

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**EMIÇÃO DE GASES DO SOLO, ESTRUTURA DO DOSSEL E
MORFOGÊNESE DO CAPIM MARANDU SUBMETIDO À ESTRATÉGIAS DE
INTENSIFICAÇÃO**

Fernando Ongaratto
Zootecnista

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**EMIÇÃO DE GASES DO SOLO, ESTRUTURA DO DOSSEL E
MORFOGÊNESE DO CAPIM MARANDU SUBMETIDO À ESTRATÉGIAS DE
INTENSIFICAÇÃO**

Fernando Ongaratto

Orientador: Prof. Dr. Euclides Braga Malheiros

Coorientadora: Dr^a. Márcia H. M. da Rocha Fernandes

**Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias –
UNESP, Câmpus de Jaboticabal,
como parte das exigências para a
obtenção do título de Doutor em
Zootecnia.**

FICHA CATALOGRÁFICA

O58e	Ongaratto, Fernando Emissão de Gases do Solo, Estrutura do Dossel e Morfogênese do Capim Marandu Submetido à Estratégias de Intensificação / Fernando Ongaratto. -- Jaboticabal, 2021 105 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal Orientador: Euclides Braga Malheiros Coorientadora: Márcia Helena Machado da Rocha Fernandes 1. Intensificação. 2. Dossel. 3. Adubação. 4. Gases do efeito estufa. 5. Sustentabilidade. I. Título.
------	--

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

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: EMISSÃO DE GASES DO SOLO, ESTRUTURA DO DOSSEL E MORFOGÊNESE DO
CAPIM MARANDU SUBMETIDO À ESTRATÉGIAS DE INTENSIFICAÇÃO

AUTOR: FERNANDO ONGARATTO

ORIENTADOR: EUCLIDES BRAGA MALHEIROS

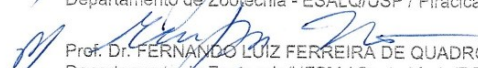
COORDINADORA: MÁRCIA HELENA MACHADO DA ROCHA FERNANDES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em ZOOTECNIA, pela
Comissão Examinadora:


Prof. Dr. EUCLIDES BRAGA MALHEIROS (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas (DECEX) / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Pós-doutorando ABMAEL DA SILVA CARDOSO (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. CARLOS GUILHERME SILVEIRA PEDREIRA (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia - ESALQ/USP / Piracicaba/SP


Prof. Dr. FERNANDO LUIZ FERREIRA DE QUADROS (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia/UFSM / Santa Maria/RS


Ph.D. MARIA LUCIA SILVEIRA (Participação Virtual)
Range Cattle Research and Education Center / University of Florida (USA)

Jaboticabal, 20 de maio de 2021

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

FERNANDO ONGARATTO – filho de Elisa Maria Ongaratto e Juarez Justino Ongaratto, nascido em São Bernardo do Campo - SP, no dia 27 de março de 1989.

Em março de 2011 ingressou no curso de graduação em Zootecnia, na Universidade Federal de Santa Maria, sendo estagiário e bolsista CNPq sob orientação do prof. Dr. Fernando Luiz Ferreira de Quadros; monitor e bolsista sob orientação do prof. Dr. Fabiano Nunes Vaz, graduando-se em janeiro de 2016.

Em fevereiro de 2016 ingressou no PPG em Zootecnia, na Universidade Federal de Santa Maria, bolsista CAPES, sob orientação da prof^a. Dr^a. Marta Gomes da Rocha, graduando-se mestre em fevereiro de 2018.

Em março de 2018 ingressou no PPG em Zootecnia, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, câmpus de Jaboticabal, bolsista CAPES, sob orientação do prof. Dr. Euclides Braga Malheiros, graduando-se doutor em maio de 2021.

Esse trabalho é dedicado em memória de *Olga Maria Guardiola Soares* (1945-2020), pelos infinitos ensinamentos durante a minha infância e por me despertar o gosto pela leitura, estudos, livros, doravante academia de ciências.

Tu me dizes, eu esqueço;
Tu me ensinas, eu lembro;
Tu me envolves, eu aprendo.
(Benjamin Franklin).

*O tempo é bom professor,
cobra caro,
mas ensina bem!*

Os analfabetos do século XXI não serão aqueles
que não sabem ler e escrever, mas aqueles

que não sabem

APRENDER

DESAPRENDER e

REAPRENDER

(Alvin Toffler).

AGRADECIMENTOS

Ao chegar no fim dessa jornada é de fundamental importância lembrar quem me apoiou, ajudou, torceu, vibrou para que ela fosse possível e valesse a pena.

Agradeço:

A Elisa Maria Ongaratto, Juarez Justino Ongaratto, Laura Ongaratto, Ivete Justina Ongaratto, Ilseu “Branco” de Rossi, Justina Inês Ongaratto e Camila Ongaratto pelo apoio/estímulo familiar imprescindível para que eu pudesse alcançar esse título, amo vocês, obrigado por tudo.

Ao professor Fernando Luiz Ferreira de Quadros por me propiciar a primeira oportunidade na forragicultura, ela foi a mais importante. A professora Marta Gomes da Rocha a qual disse que eu deveria continuar meus estudos e que “os bons pais deixam os filhos voarem sozinhos”, obrigado pelos conselhos e orientações.

Ao inigualável e amável professor Euclides Braga Malheiros, o destino foi muito bom comigo ao colocar o senhor de meu orientador. Muito obrigado por toda a orientação, companheirismo, amizade e conversas investidas no meu crescimento intelectual e humano. Tive sem dúvidas o melhor orientador da FCAV - UNESP.

Ao professor Ricardo Andrade Reis por me aceitar em sua equipe de trabalho. Obrigado por todas as ajudas, oportunidades, conselhos, ensinamentos em gramíneas C4, forragem conservada e planejamento forrageiro. Obrigado por me mostrar que o “mundo forrageiro” é muito além da morfogênese.

A Márcia Helena Machado da Rocha Fernandes pela oportunidade de trabalhar e construirmos juntos o projeto FAPESP 2017/18750-7. Obrigado pelo carinho, amizade e ajudas, quem mais tem um coorientadora que vai à coleta de gás? E com chuva. Obrigado por me permitir cuidar do melhor setor da FCAV - UNESP, a Bovinocultura de Corte, ali aprendi a manejar capim Marandu e a cuidar da cria e da recria e também pelo inesquecível conselho: “O que não tem solução, solucionado está”.

Aos meus “orientadores dos caminhos das pedras”: Abmael da Silva Cardoso, Eliéder Prates Romanzini e Erick Escobar Dallantonia, que se tornaram grandes amigos:

Abmael, muitíssimo obrigado por todos os ensinamentos, esclarecimentos, ajudas, conselhos, orientações e cuidado comigo ao longo dessa jornada. Obrigado principalmente por todas as nossas conversas, muito evoluímos com elas; numa delas me lembro que leu a seguinte frase: Ensina a quem sabe menos que tu e a sabedoria ampliar-te-áos méritos culturais pela recapitulação dos valores educativos.

Eliéder “Macumbinha e Lebrão”, você me recebeu de portas e braços abertos, antes mesmo da minha chegada em Jaboticabal, muito obrigado por ser o meu irmão mais velho nessa caminhada. Obrigado por todas as ajudas, conselhos, conversas, risadas e atenção constante comigo. No dia da defesa da sua tese disseste para mim e agora dedico a ti: você é uma estrela que brilha no meu céu.

Erick “Devasso”, você me recebeu de portão e braços abertos na Bovino. Muito obrigado pelo companheirismo, por sempre estar disposto a me ajudar, pelos ensinamentos no manejo do Marandu, na cria e na recria. Por me ensinar a resolver problemas, pelas risadas quando a rotina era pesada e, especialmente, pelas ajudas nos momentos de maior dificuldade. Obrigado por toda a atenção comigo, mesmo depois da sua partida, sua ajuda fez você se tornar inesquecível.

A Laís de Oliveira Lima “Mística”, obrigado por seu apoio incondicional nos momentos de maior dificuldade nessa jornada, obrigado por me proteger e tanto me ajudar, especialmente no 1º ano de coleta, e se tornar a minha irmã do coração. Nossa parceria foi fundamental para que pudéssemos atingir nossos objetivos, você é muito especial para mim.

A seleção de pós-graduandos do ciclo 2019/2020, obrigado Andressa Scholz Berça “Caninha”, Guilherme Alves do Val “Capitão Mathias” e Natalia Vilas Boas Fonseca “Fiona”, por toda amizade, ajuda, alegria e principalmente companheirismo. Sozinhos éramos apenas pós-graduandos, juntos somos inesquecíveis, que ciclo vivemos, nem a pandemia nos parou e no final deu tudo certo. Obrigado especialmente ao Capitão Matias (meu irmão mais novo),

pela parceria na condução do experimento e cuidado com o setor de Bovino de Corte, o qual era um “brinco de ouro”.

A Izabela Larosa Rigobello, bióloga raiz, obrigado por sua ajuda incondicional nas coletas; você chegou para aliviar a rotina e torná-la mais alegre, suas palavras de “calma, vai dar certo” foram fundamentais, juntos aprendemos muito.

A professora Ana Cláudia Ruggieri, Mara Cristina Pessoa da Cruz, professor Newton La Scala Júnior e Danísio Prado Munari por sempre estarem dispostos a me ajudar e me ensinar quando requisitados, obrigado pelo carinho e ensinamentos que sempre recebi de vocês.

Aos meus inesquecíveis orientados de TCC: Igor de Martin Velludo, Pedro Paulo de Miranda Junior, Carlos Henrique Cogo Biffi e Luca Cicilini Benedini Moura. Obrigado por acreditarem em mim, ensinei e aprendi muito mais com vocês. Obrigado em especial pelas ajudas no campo, ao Igor nas coletas de morfogênese e o Pedro “Tite” nas coletas de gás, a parceria de vocês foi fundamental.

Aos também inesquecíveis orientados de iniciação científica FAPESP: Laís Mayumi Gomes “Manilha” e Jorge Augusto Americo Campos “Onguinha”. Obrigado por todas as ajudas nos dias de coletas, na salinha com os dados e por juntos escrevermos resumos, me alegrava muito ver a evolução de vocês.

As servidoras do departamento de Ciências Exatas Adriana Takakura, Shirley Martinelli e a “Zezé” Servidone pelo carinho comigo e por alegrarem, organizarem e tornarem esse departamento o melhor lugar para um pós-graduando estudar. Aos servidores do departamento de Zootecnia, Ademir Valentin Servidone e Oswaldo Ferrari “Juninho” pelos socorros, ensinamento e parceria na condução do experimento.

Aos pós-graduandos Yuri Guimarães, Rayanne Costa pelas ajudas e em especial a Angélica Bahia, Carol Corrêa, Geovany Carvalho e Vanessa Longhini por me ensinarem as rotinas de coletas de gases do efeito estufa, solo e amônia. Aos TT3’s Alessandra “Vermeia”, Iago Lúcio, Matheus “Perna” e Anderson Firmino pelas ajudas, nas inúmeras coletas.

Aos companheiros do departamento de Ciências Exatas: Ana Paula, Jaqueline Rosa, Larissa Braga, Leyde Costa, Letícia Joaquim, Priscila Bernardes, Rafael Watanabe, Rebeca Costa, Samla Cunha e Walter

Maldonado pelos inúmeros cafés, risadas e companheirismo, isso tornava a rotina mais alegre.

Aos estagiários do UNESPFOR: Ângelo “DaTerra”, Ana “Hipo”, Deborah “Daqui”, Breno “Tido da Boi”, Emerson “Quililide”, Felipe “Kanastra”, Isabela “Moranguinho”, Isadora “Caipira”, João Victor “Ribiti”, Luana “Xodó”, Maria Luisa “Benta”, Matheus “Mazzaropi”, Pedro “Oreia”, Willi “Wonka” pela oportunidade de ensinar e aprender com vocês, bem como pela alegria de trabalharmos juntos.

A Lizia Carvalho, Jeferson Montoya, Matheus Mancini, Ricardo Dal Rio, Nauara Lage, por dividirmos a mesma morada, isto é um aprendizado fundamental.

A República 51, pois estar em Jaboticabal é estar no sistema de república e fui aceito pelos amigos dessa casa. Obrigado Rhaony “Zé Mayer”, Guilherme “Nonno”, Ygor “Prendado”, Pedro “Sapatêro”, Leonardo “R1”, Luís “ET” pelas inúmeras ajudas (alguns na república e no setor) e pela alegria de conviver com vocês.

Ao Rafael, Vanusa, Lucas e Bernardo Giancesini por todo carinho e apoio que recebi de vocês, minha família de Ribeirão Preto.

A minha grande amiga Camilla Teixeira (ATZ53 – UFSM), que apesar da distância sempre esteve presente e disposta a me ouvir e me incentivar, você é show, mais uma vez seu apoio foi fundamental.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À FAPESP (projeto 2017/18750-7) pelo financiamento.

A FCAV - UNESP, em especial ao departamento de Ciências Exatas e departamento de Zootecnia, pela estrutura disponível para a realização da tese.

A Deus, Nossa Senhora Aparecida, Santa Bárbara e ao anjo da guarda pela fé que me motiva e me protege.

A todos vocês fica o meu tradicional e fraterno: **Forte abraço**

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	V
ABSTRACT	VI
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	8
Ecossistema pastoril: serviços ecossistêmicos, características do dossel e emissão de gases do efeito estufa.....	9
RESUMO	9
INTRODUÇÃO.....	10
DESENVOLVIMENTO	10
Intensificação do sistema pecuário.....	10
Adubação com nitrato de amônio.....	12
Taxa de aparecimento e filocrono	12
Taxa de alongação foliar	13
Duração de vida da folha.....	13
Duração de alongação foliar.....	14
Taxa de senescência foliar.....	14
Número de folhas	15
Altura do dossel.....	15
Massa e taxa de acúmulo de forragem	16
Relação folha-colmo.....	17
Intensidade e frequência de desfolha.....	18
Emissão de gases do efeito estufa.....	18
Perdas de nitrogênio por amônia volatilizada	20
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	21
REFERÊNCIAS	22
CAPÍTULO 2	30
How does the increased use of pastures alter morphogenesis and the canopy structure of palisade grass?	31
Abstract.....	31
1. Introduction	31
2. Materials and Methods.....	32
2.1 Local treatments and grazing management.....	32
2.2 Soil chemical composition	33
2.3 Canopy height and morphogenesis	33

2.4 Morphogenic characteristics, elongation duration, and senescence rate	34
2.5 Number of live leaves per tiller	34
2.6 Herbage mass, structural composition, herbage accumulation, and tiller weight.....	34
2.7 Defoliation intensity and interval	35
2.8 Efficiency of nitrogen usage and nutrition index	35
2.9 Experimental design and statistical analyses	35
3. Results and Discussion.....	36
3.1 Canopy height and stocking rate	36
3.2 Morphogenic variables, senescence rate, and elongation duration ..	37
3.3 Canopy structural variables	38
3.4 Defoliation intensity and interval	40
3.5 Efficiency of nitrogen usage.....	41
3.6 Implications.....	42
4. Conclusions	43
References	43
CHAPTER 3	50
Interações entre o tipo de excreta e fertilizante nitrogenado sobre as emissões de gases de efeito estufa e amônia em pastagens.....	51
Resumo	51
1. Introdução	52
2. Material e métodos.....	54
2.1 Área.....	54
2.2 Tratamentos	55
2.3 Disposição do experimento e período de coleta.....	55
2.4 Coleta de fezes e urina bovina	56
2.5 Avaliação das emissões de N ₂ O, CH ₄ e CO ₂	57
2.6 Avaliação das perdas de N por volatilização de amônia	58
2.7 Variáveis auxiliares.....	59
2.8 Análise estatística.....	60
3. Resultados e discussão	60
3.1 Temperatura, precipitação e espaço poroso do solo.....	60
3.2 Variação sazonal dos fluxos de N ₂ O	62
3.3 Variação sazonal dos fluxos de CH ₄	64
3.4 Variação sazonal dos fluxos de CO ₂	65

3.5 Efeito da fonte de N sobre as emissões acumuladas de N ₂ O, CH ₄ e CO ₂	67
3.6 Efeito do tipo de excreta e dose de N sobre a emissão N ₂ O, CH ₄ e CO ₂	68
3.7 Volatilização da amônia.....	70
3.8 Fator de emissão de N ₂ O e CH ₄	72
4. Conclusão	75
Referências.....	76
CAPÍTULO 4 – IMPLICAÇÕES PRÁTICAS	83
APÊNDICES.....	85

CERTIFICADO DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DOS ANIMAIS



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Jaboticabal



CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado **"Impacto da intensificação sustentável da produção de bovinos de corte em áreas tropicais na mitigação das mudanças climáticas"**, protocolo nº 007979/18, sob a responsabilidade da Prof.^a Dr.^a Marcia Helena Machado da Rocha Fernandes, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 14 de junho de 2018.

Vigência do Projeto	01/11/2018 a 30/09/2020
Espécie / Linhagem	Bovinos (<i>Bos taurus indicus</i>)
Nº de animais	238
Peso / Idade	210 a 510 kg / 15 a 27 meses
Sexo	Macho
Origem	Fazenda externa / Compra

Jaboticabal, 14 de junho de 2018.

Profª Drª Fabiana Pilarski
Coordenadora – CEUA

EMIÇÃO DE GASES DO SOLO, ESTRUTURA DO DOSSEL E MORFOGÊNESE DO CAPIM MARANDU SUBMETIDO A ESTRATÉGIAS DE INTENSIFICAÇÃO

RESUMO: A intensificação na produção pecuária é a forma de se obter sustentabilidade e preservar recursos ambientais. Nesse estudo tivemos por objetivo avaliar se o impacto da intensificação do sistema produtivo de bovinos de corte altera as variáveis estruturais, morfogênicas, utilização de nitrogênio e intensidade e intervalo de desfolha do capim Marandu. Objetivou-se também avaliar o fator de emissão de óxido nitroso e metano, fluxos de emissão de óxido nitroso, metano, dióxido de carbono e amônia volatilizada de fezes ou urina, combinadas com dose de nitrato de amônio (N). Foram conduzidos dois experimentos distintos e simultâneos, por dois anos consecutivos, em área de Latossolo Vermelho Amarelo e dossel de *Urochloa brizhanta* cv. Marandu, em condições de clima tropical. No experimento que avaliou o dossel, foram constituídos três níveis de intensificação de utilização das pastagens (NIUP): Extensivo (zero de nitrogênio), Semi-intensivo (75 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) e intensivo (150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹). Com delineamento em Blocos Casualizados (bloco = ano), sendo três tratamentos, quatro repetições (piquetes), nível de significância de 5 %; sob método de lotação contínua e taxa de lotação variável, para manter a altura alvo de 25 cm. A coleta de dados ocorreu no período das águas, de dezembro a abril de 2018/19 e 2019/20. No experimento que avaliou a emissão de gases do efeito estufa, foram constituídos os seguintes tratamentos: Fezes, Fezes + 75 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, Fezes + 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, Urina, Urina + 75 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, Urina + 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, 75 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ e basal. Com delineamento em Blocos Casualizados (duplo bloqueio = ano e declividade do terreno), sendo oito tratamentos, cinco repetições, nível de significância de 5 %. A coleta de dados ocorreu durante o período das águas e secas, de fevereiro a dezembro de 2019; de janeiro a outubro de 2020. A altura do dossel (25,3 cm) e a massa de forragem (5400 kg MS ha⁻¹) foram similares entre os NIUP. A taxa de lotação, filocrono e o índice de nutrição nitrogenada, foram diferentes entre os três NIUP: Extensivo: 1,8 unidade animal (UA), 13,3 dias e 0,67; Semi-intensivo: 2,8 UA, 11,7 dias e 0,98; Intensivo: 3,8 UA, 9,8 dias e 1,15, respectivamente. A frequência de desfolha (14,9 dias) foi maior no Semi-intensivo e Intensivo. O fator de emissão de óxido nitroso foi maior na Urina (0,60 %), intermediário para Fezes (0,22 %) e menor no 75 kg de nitrato ha⁻¹ ano⁻¹ (0,17 %) e tem efeito linear aditivo para a combinação de fezes ou urina, com nitrato de amônio. O fator de emissão de metano do solo (0,18 kg CH₄ animal⁻¹ ano⁻¹) foi similar nos três tratamentos com fezes. E a perda de nitrogênio por amônia volatilizada tem efeito linear decrescente na combinação de fezes ou urina, com nitrato de amônio. Assim a intensificação do sistema produtivo de bovinos de corte é sustentável, pois o dossel propicia aumento de produtividade sem que haja degradação, quando adubado com nitrato de amônio, e os fatores de emissão são menores que os reportados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas.

Palavras-chave: amônia volatilizada, bovinocultura de corte, dossel, intensificação, metano, morfogênese, óxido nitroso, sustentabilidade.

SOIL GASES EMISSION, SWARD STRUCTURE AND MORPHOGENESIS OF PALISSADEGRASS UNDER INTENSIFICATION STRATEGIES

ABSTRACT: The intensification of livestock production is the way to obtain sustainability and preserve environmental resources. In this study we aimed to evaluate whether the impact of the intensification of the beef cattle production system alters the structural, morphogenesis variables, nitrogen utilization and intensity and interval of defoliation of palisadegrass. The aim was also to evaluate the nitrous oxide and methane emission factors, nitrous oxide, methane, carbon dioxide and volatile ammonia emission flows, in dung or urine, combined with ammonium nitrate (N) dose. Two distinct and simultaneous experiments were conducted, for two consecutive years, in an area of typical Hapludox and canopy of *Urochloa brizhanta* cv. Marandu, in tropical climate conditions. In the experiment which evaluated the canopy, three levels of pasture intensification (LI) were adopted: Extensive (zero nitrogen), Semi-intensive (75 kg of N ha⁻¹ year⁻¹) and Intensive (150 kg of N ha⁻¹ year⁻¹). With a randomized block design (block = year), with three treatments and four repetitions (paddocks), significance level of 5 %; under continuous grazing method and variable stocking rate, to maintain the target height of 25 cm. Data were collected during the wet season, from December to April 2018/19 and 2019/20. In the experiment that evaluated the emission of greenhouse gases, the following treatments were adopted: Feces, Feces + 75 kg of N ha⁻¹ year⁻¹, Feces + 150 kg of N ha⁻¹ year⁻¹, Urine, Urine + 75 kg of N ha⁻¹ year⁻¹, Urine + 150 kg of N ha⁻¹ year⁻¹, 75 kg of N ha⁻¹ year⁻¹ and Basal. With a randomized block design (block = year and slope of the land), with eight treatments and five repetitions, with significance level of 5 %. Data were collected during the wet and dry season, from February to December 2019 and January to October 2020. The height of the canopy (25.3 cm) and the forage mass (5400 kg DM ha⁻¹) were similar among LI. The stocking rate, phyllochron and the nitrogen nutrition index differed among the three LI: Extensive: 1.8 animal unit (AU), 13.3 days, 0.67; Semi-intensive: 2.8 AU, 11.7 days, 0.98; Intensive: 3.8 AU, 9.8 days and 1.15, respectively. The interval of defoliation (14.9 days) was higher ($P < 0.05$) in the Semi-intensive and Intensive system. The nitrous oxide emission factor was higher in Urine (0.60 %), intermediate for Feces (0.22 %) and lower in 75 kg of nitrate ha⁻¹ year⁻¹ (0.17 %) and has a linear additive effect for the combination of feces or urine, with ammonium nitrate. The soil methane emission factor (0.18 kg CH₄ animal⁻¹ year⁻¹) was similar for the three treatments with feces. And the loss of nitrogen by volatilized ammonia has a decreasing linear effect in the combination of feces or urine, with ammonium nitrate. Thus, the intensification of the beef cattle production system is sustainable, as the canopy provides increased productivity, without degradation, when fertilized with ammonium nitrate, and the emission factors are lower than those reported by the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Key Words: beef cattle, sward, intensification, methane, morphogenesis, nitrous oxide, sustainability, volatilized ammonia

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

A revisão bibliográfica desta tese foi aceita para a publicação, no formato de capítulo de livro, o qual traz por título: Zootecnia: Pesquisa e Práticas Contemporâneas - Vol.1 (comprovação no apêndice, página 90).

Ecossistema pastoril: serviços ecossistêmicos, características do dossel e emissão de gases do efeito estufa

Fernando Ongaratto¹; Eliéder Prates Romanzini¹

¹Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp/Jaboticabal – SP.

RESUMO

O ecossistema pastoril sempre foi vital para a vida na terra e a produção de alimentos para humanos. Infelizmente poucas pessoas sabem quais são os serviços ecossistêmicos (suprimento, contribuição, regulador e cultural) das áreas de pastagens, levando a críticas descabidas a pecuária. Também são poucos que entendem quais são as variáveis do dossel (filocrono, duração de vida da folha, massa de forragem, altura, etc...) que são a chave para o entendimento do manejo das pastagens. Ao conhecer essas premissas podemos entender a dinâmica dos gases do efeito estufa: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), e óxido nitroso (N₂O) e a perda de amônia (NH₃), para entender esse ecossistema e livrá-lo de críticas.

Palavras-Chaves: Adubação nitrogenada, Dossel, Ecossistema pastoril, Gases de Efeito Estufa, Serviços ecossistêmicos.

INTRODUÇÃO

Os ecossistemas pastoris são vitais para a produção de alimentos no mundo, especialmente na produção de ruminantes, que ao ser bem conduzida reduz o impacto da ação antrópica. Entretanto a bovinocultura de corte é, por vezes, criticada por seu papel na emissão de gases do efeito estufa (GEE), na degradação de solos, na competição por produção de alimentos para humanos e na transformação de áreas preservadas em monoculturas (pasto doravante soja, milho, algodão). Contudo a produção de carne em pastagens atende o conceito de “*human-inedible food*” (Tedeschi et al., 2015) assim sendo, o desafio para os pecuaristas é intensificar a produção de carne na mesma área pastoril, contribuindo para a diminuição do desmatamento e na redução dos impactos ambientais por kg de carne produzida. Estudos com a produção de ruminantes desenvolvidos por Cohn et al. (2014), Barbero et al. (2015), Cardoso et al. (2016), Silva et al. (2016), Florindo et al. (2017), White e Hall (2017) comprovam que óxido nitroso, metano e dióxido de carbono são drenados para o solo, quando o manejo respeita as condições do dossel e a taxa de lotação.

Delevatti et al. (2019) ao adubar capim Marandu com diferentes doses de nitrogênio (N; fonte ureia e altura de dossel a 25 cm) observaram aumentos lineares na massa e acúmulo de forragem, o que permitiu aumentar de 3,3 UA (unidade animal = 450 kg ha⁻¹) onde não foi adubado, para 6,5 UA na dose de 270 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹. Ao considerar que a perda por volatilização de amônia da ureia é aproximadamente cinco vezes maior que a do nitrato de amônio (Corrêa et al., 2018), levanta-se à hipótese de que menores doses de adubos nitrogenados (nitrato de amônio, abaixo de 180 kg N ha⁻¹ ano⁻¹), possibilitariam similares massa de forragem, taxa de acúmulo e melhor aproveitamento de N no sistema. Aliada a isso também se espera que dosséis manejados com maiores alturas alvo diminuam a emissão de CO₂. Conforme Brito et al., (2015) que manejou capim Marandu com distintas alturas alvo obteve, no acumulado de dois anos de coleta, a emissão de 133,7; 132,8; 122,8 T CO₂ ha⁻¹, para 15, 25, 35 cm respectivamente. A lacuna que queremos responder com esta revisão é quais são os serviços ecossistêmicos das pastagens, tornar público as variáveis estudadas pela ciência da forragicultura e quais são os principais gases do efeito estufa na agropecuária.

DESENVOLVIMENTO

Intensificação do sistema pecuário

O avanço da produção agropecuária brasileira é uma realidade, esse fato fez com que o país deixasse à condição de importador para se tornar exportador de alimentos; expansão que ocorreu concomitantemente ao crescimento da demanda interna de alimentos, impulsionada pelo crescimento populacional de 90 milhões para 200 milhões de habitantes, da década de 70 até o início do século XXI (Vieira Junior et al., 2019). A produção agropecuária brasileira cresceu mais de 247% nos últimos 40 anos, ultrapassando a marca dos 237 milhões de toneladas na última safra (CONAB 2018/19), sendo que nesse período a área cultivada aumentou apenas 31%. Com a ressalva que 61% da área dos biomas está preservados, utilizando apenas 28% do território nacional na produção agropecuária. Para atender à demanda mundial e a agenda geopolítica, a partir dos conceitos da produção sustentável, o Brasil tem a responsabilidade de contribuir com a geração de energia renovável e de elevar a produção de alimentos, otimizando recursos naturais e resguardando a biodiversidade. O aumento da produtividade é uma das alternativas para aumentar o suprimento mundial,

especialmente de alimentos, sem a necessidade de abertura e uso de novas áreas (Bungenstab et al., 2012).

Intensificação sustentável é um conceito que surge nesse cenário, vislumbrando compatibilizar a segurança alimentar e as condições ambientais (emissão/mitigação de GEE) de maneira a não colocar em risco o bem-estar da humanidade no futuro (Tedeschi et al., 2015). Ecossistemas pastoris são áreas utilizadas para intensificação sustentável, pois, integrada a produção animal, estão os serviços ecossistêmicos de: suprimento, contribuição, regulador e cultural (Figura 1; citado por Sanderson e Liebig, 2020). Em um futuro próximo com o reconhecimento pela sociedade da importância dos ecossistemas pastoris, será preciso estudar uma maneira de compensar os produtores por essa prestação de serviços.

Figura 1. Serviços ecossistêmicos básicos derivados de sistemas de produção de



Vale lembrar que desde os primórdios da ocupação do planeta pelos humanos, sempre houve mutualismo com grandes herbívoros, como: rebanhos de *Aurochs* (ancestral dos bovinos domésticos), *Tarpan* (cavalo primitivo), bisões, antílopes, cervídeos. Essas são espécies cujas interações com o ambiente sustentam e promovem a vida (Tree, 2018), sendo a partir da instalação de indústrias que os níveis de GEE aumentaram (Bergamaschi e Bergonci, 2017). Isso requer da comunidade científica, especialmente a área de produção animal, a busca e a investigação de formas de intensificação sustentável da produção de ruminantes, para aumentar a produção por área (sem necessidade de abrir novas extensões de terra). Também se torna necessário estudar sobre o fator de emissão dos GEE da pecuária, em cada bioma brasileiro, a fim de gerar inventários mais fidedignos com a realidade nacional, especialmente nas regiões de clima tropical, onde a maioria dos bovinos são criados.

Para iniciar o processo de intensificação e atingir os objetivos estabelecidos devemos saber que tecnologias vamos usar, sendo tecnologias de processos (ajuste de lotação, diferimento de pastos) e/ou tecnologias de insumos (suplementação estratégica dos animais, controle de invasoras, fertilização e calagem do solo, sobressemeadura de

¹ Fonte: Adaptado de Millennium Ecosystem Assessment (2005), citado por Sanderson e Liebig (2020).

espécies de diferentes ciclos, irrigação; Nabinger e Jacques, 2019). Uma das tecnologias de insumos que viabiliza a intensificação de sistemas pastoris é a utilização de adubação nitrogenada, pois permite o aumento na taxa de lotação na estação das águas, devido à resposta dos perfilhos na alongação das folhas (Campos et al., 2020), aumento no acúmulo de forragem (Gomes et al., 2020), propiciando maior ganho por área (Martins et al., 2020) e reduzindo a necessidade de abertura de novas áreas (Moreira et al., 2011; Wedekin et al., 2017). O N é o elemento mais limitante para a produção de massa de forragem no ecossistema pastoril, seguido de carbono, hidrogênio e oxigênio, pois é um nutriente muito demandado pelos vegetais e é considerado fundamental para a manutenção da produtividade e persistência de uma gramínea (Lemaire e Meynard 1997; Lemaire et al., 2008).

Adubação com nitrato de amônio

A adubação das pastagens, principalmente a nitrogenada, é um dos fatores mais importantes para elevar o nível de produção de forragem por área (De Oliveira et al., 2020). Segundo Delevatti et al. (2019) a adubação do capim Marandu com níveis crescentes de N (ureia), quase dobrou a taxa de lotação, saindo de 3,37 UA (0 de N) para 6,55 UA (270 kg de N ha⁻¹). Existem dúvidas sobre o impacto ambiental negativo para elevadas doses de N, haja visto o potencial de perda por lixiviação na forma de amônia e a contaminação do lençol freático, especialmente em regiões com clima úmido ou em período chuvoso (Primavesi et al., 2006). Assim, fontes de N com menor volatilização são alternativas para melhorar o aproveitamento pelos perfilhos e diminuir a lixiviação. Em estudo conduzido por Corrêa et al. (2018) com três fontes de N (ureia, nitrato de amônio e sulfato de amônio), em três níveis (90, 180 e 270 kg de N ha⁻¹), observou-se que as perdas por volatilização de amônia entre os fertilizantes avaliados, em ordem decrescente foram: ureia > nitrato de amônio > sulfato de amônio. As perdas acumuladas de amônia aumentaram linearmente com a dose de N aplicada, sendo: ureia 13,9; 24,4 e 44,6%; nitrato de amônio de 2,0; 3,2 e 7,7%; sulfato de amônio 2,2; 3,1 e 5,3% nas doses de 90, 180 e 270 kg N ha⁻¹, respectivamente.

As plantas absorvem primariamente, via sistema radicular, o N em formas inorgânicas como amônio e nitrato (Williams e Miller, 2001), portanto a utilização de nitrato como fonte de N é uma forma de diminuir as perdas e facilitar o aproveitamento de nutrientes pelo dossel. Raros são os trabalhos com nitrato de amônio na adubação de pastagens, alguns dos artigos publicados com essa fonte de adubação foram com as seguintes espécies forrageiras: Coastcross (*Cynodon dactylon* cv. Coastcross; Primavesi et al., 2006, Silveira et al., 2007), Pensacola (*Paspalum notatum* Flügge; Silveira et al., 2015), capim Sudão (*Sorghum sudanense*; Abo-Zeid et al., 2017) Tifton 85 (*Cynodon* spp.; Borges et al., 2017). Assim os pastos de *Urochloa* (especialmente *Urochloa brizantha* cv. Marandu) devido à área estabelecida no Brasil, aproximadamente 82 milhões de hectares (Zimmer et al., 2012), necessitam de informações com fontes menos voláteis de N, frente às pressões para produzir bovinos de corte com menor impacto ambiental.

Taxa de aparecimento e filocrono

As variáveis morfogênicas descritas em 1993 por Chapman e Lemaire, publicadas em 1996 como capítulo de livro, tornaram-se a base para os trabalhos morfogênicos,

juntamente com a técnica de perfilhos marcados descrita por Carreré et al. (1997). A morfogênese vegetal é definida como a dinâmica de crescimento e expansão da planta no espaço, tendo como variáveis a taxa de aparecimento foliar, taxa de alongação foliar e duração de vida da folha. Dentre essas variáveis, a taxa de aparecimento foliar é considerada a mais importante, pois influencia as três principais variáveis estruturais: tamanho da folha, densidade populacional de perfilhos e número de folhas por perfilho. Associado a taxa de aparecimento foliar está o filocrono, definido como o tempo necessário para o aparecimento de folhas sucessivas em um colmo (Bergamaschi e Bergonci, 2017), calculado como o inverso da taxa de aparecimento. Segundo Gomes et al. (2019) a taxa de aparecimento foliar do *Urochloa brizantha* cv. Marandu é em média $0,08 \text{ folha dia}^{-1}$, portanto o filocrono é 12,5 dias. O aparecimento foliar e o filocrono são influenciados por: temperatura, água, nutrientes e pastejo, dentre esses fatores o que mais influência é a água (Romanzini et al., 2017).

A taxa de aparecimento foliar representa o trajeto de uma folha ao longo do pseudocolmo e sua emergência, por isso que maiores alturas de dossel, por conseguinte maior pseudocolmo, tem menor taxa de aparecimento e maior filocrono (Santos et al., 2011; Sales et al., 2014).

Taxa de alongação foliar

A taxa de alongação foliar representa o efeito cumulativo da divisão e alongamento celular, ou seja, o aumento diário no comprimento de folhas individuais (Schnyder et al., 2000). A taxa de alongação foliar é a variável morfogênica que, isoladamente, mais se correlaciona com a massa seca de forragem (Horst et al., 1978). Essa variável é muito influenciada pela radiação, temperatura, níveis de umidade e nutrientes no solo, especialmente o N. Alexandrino et al. (2004) relataram que a adubação nitrogenada interfere na taxa de alongação foliar, sendo o fator responsável pelo maior comprimento médio de folhas; o que permite a reconstituição da área foliar após a desfolha, portanto, fundamental para manutenção da perenidade da forrageira. Salvador et al. (2016) em pastagem de *Urochloa plantaginea* e Martins et al. (2020) em pastagem de capim Marandu relataram que a adubação nitrogenada aumentou a taxa de lotação, de forma que o pastejo mais intensivo removeu os tecidos foliares formados, não permitindo a alongação dos colmos, diminuindo também a quantidade de material senescente (Gomes et al., 2020).

Duração de vida da folha

A duração de vida da folha (DVF) é o parâmetro morfogênico que determina o equilíbrio entre o crescimento e a senescência dos tecidos foliares. A senescência tende a ser menor no início do estabelecimento da pastagem, porque a primeira folha começa a entrar em senescência só após o perfilho atingir seu número máximo de folhas vivas. A partir desse momento haverá equilíbrio entre a taxa de aparecimento foliar e a taxa de senescência (Nabinger, 1999). O conhecimento da DVF é fundamental no manejo do pastejo, pois indica o teto potencial de rendimento da espécie. Esse manejo deve permitir manter índices de área foliar próximos da maior eficiência de interceptação luminosa (95% para capim Marandu em lotação contínua) e máxima taxa de crescimento (Nabinger e Pontes, 2001; Carnevalli et al., 2006; Santana et al., 2017).

Caso o intervalo entre pastejos for mais curto do que o tempo médio de DVF, a eficiência da utilização da forragem será otimizada. Entretanto, se o intervalo entre pastejos for maior do que a vida útil das folhas ou se há uma grande massa de forragem residual após o pastejo, então uma maior proporção de tecido foliar senescerá antes do próximo período de pastejo e a eficiência de utilização da forragem irá diminuir (Gastal e Lemaire, 2015). A DVF é dentre as variáveis morfogênicas, a que mais varia com o manejo, períodos de avaliação e estação do ano. Neves Neto et al. (2015) relataram que a DVF é de 55 dias folha⁻¹ quando o capim Marandu está em consórcio com milho ou sorgo, e de 47,89 dias folha⁻¹ em cultivo estreme. Casagrande et al., (2010) observaram que a DVF foi diferente entre períodos de avaliação, variando de 36,8 a 48,6 dias folha⁻¹, não havendo diferença para distintas ofertas de forragem. Para as estações do ano a DVF do capim Marandu foi: 31, 42, 55 e 116 dias folha⁻¹ para primavera, verão, outono e inverno, respectivamente (Carvalho et al., 2016).

A aplicação de fertilizante nitrogenado diminui a DVF, pois a quantidade de perdas de tecido foliar por senescência aumenta em comparação aos relvados não adubados, se estes não forem severamente desfolhados antes do período correspondente à DVF média da espécie (Nabinger e Pontes, 2001). Dessa forma, podem ocorrer efeitos adversos na produção animal, como consequência do acúmulo excessivo de tecido foliar morto, alongação de entrenó, quando o método de manejo da planta forrageira não é bem controlado e são utilizados fertilizantes nitrogenados (Pereira et al., 2011). De maneira simplista pode-se dizer que a adubação nitrogenada “acelera” os perfilhos e as consequências são a diminuição da DVF e aumento do material senescente, caso a folha não for pastejada (Lima et al., 2019; Campos et al., 2020; Gomes et al., 2020).

Duração de alongação foliar

Após emergir a lâmina foliar cresce a uma taxa diária de alongação, determinada pela temperatura, o que corresponde ao período de duração de alongação foliar, o qual é proporcional ao intervalo de aparecimento de folhas (Nabinger e Pontes, 2001). A duração da alongação foliar é obtida multiplicando-se o filocrono pelo número de folhas alongando, representado o tempo que a folha alonga, do aparecimento até a exposição da lígula. A duração de alongação foliar auxilia no entendimento do ecossistema pastoril e pode ser usada como critério para determinação de períodos de descanso, a exemplo de trabalho de Kuinchtner et al., (2018) com espécies nativas do bioma Pampa, de rota fotossintética C4. Para espécies de interesse comercial como milho, arroz, trigo, cevada, Azevém e Sorgo a duração de alongação foliar utilizada, em estudos de modelagem, é apontada entre os principais determinantes da área foliar individual e total, sendo utilizada para explicar diferenças no comprimento final da folha em resposta às condições ambientais e/ou entre genótipos (Voorend et al., 2014).

Taxa de senescência foliar

A senescência foliar é fortemente influenciada pela expressão gênica (Taiz et al., 2017), não sendo considerada uma variável morfogênica, mas auxilia no entendimento e tomada de decisão sobre o ecossistema pastoril, uma vez que elevada taxa de senescência representa a falta de eficiência na condução do manejo de pastejo. Os herbívoros se alimentam das partes verdes das plantas, logo a disponibilidade de forragem deve ser entendida como a biomassa aérea viva acumulada durante o processo

de crescimento das plantas que compõem o dossel (Hodgson, 1990). Se as condições ambientais permanecem num nível ótimo, este processo de acúmulo é contínuo e constante, enquanto não ocorrer senescência das partes mais velhas das plantas. A deficiência de N reduz a DVF (Gastal e Lemaire, 1988; Pereira et al., 2011), entretanto a taxa de senescência aumenta devido ao efeito do N sobre a taxa de aparecimento foliar e no tamanho da folha (Mazzanti e Lemaire, 1994). Assim, um aumento nas doses de N aplicado, sem um adequado ajuste no manejo do pastoreio pode levar a um aumento na senescência (Alexandrino et al., 2004) e ao acúmulo de material morto na pastagem. Além disso, sabe-se que gramíneas C4 aumentam a senescência foliar e, conseqüentemente diminui sua área foliar, como resposta ao déficit hídrico (Santos et al., 2013).

Número de folhas

O número de folhas vivas por perfilho é uma característica relativamente estável para uma determinada planta/genótipo (Lemaire e Chapman, 1996; Matthew et al., 2000), sendo o resultado da interação entre a taxa de aparecimento foliar e DVF (Duru e Ducrocq, 2000; Lemaire e Chapman, 1996), condição essa que favorece a existência de folhas de diferentes estágios de desenvolvimento em um mesmo perfilho. Por outro lado, dependendo do estágio de desenvolvimento e idade do perfilho, o número de folhas vivas por perfilho pode variar. Casagrande et al. (2010) observaram que o capim Marandu manteve diferente número de folhas vivas por perfilho, em diferentes períodos de avaliação, definidos pelos meses do ano janeiro, fevereiro, março e abril, durante a estação de crescimento, sendo: 3,7; 4,5; 4,1; 3,6 folhas vivas por perfilho, respectivamente. Já Paiva et al. (2012) observou, em capim Marandu, que a idade do perfilho determinou número diferente de folhas em expansão (1,3; 1,34; 1,16 para perfilhos jovem, maduro e velho, respectivamente) e em senescência (0,22; 0,50; 0,51 para perfilhos jovem, maduro e velho, respectivamente). O mesmo artigo observou que o número de folhas vivas também foi diferente para distintas idades de perfilhos, sendo que no verão foi: 4,0; 3,7; e 3,1 e outono/inverno: 3,2; 3,8; 3,3 para perfilhos jovem, maduro e velho, respectivamente.

Altura do dossel

O conceito de índice de área foliar crítico, condição na qual 95% da luz incidente são interceptados, originalmente descrito e aplicado com sucesso em plantas de clima temperado, demonstrou-se efetivo e válido para o manejo de gramíneas tropicais, uma vez que mostrou relação análoga com variáveis como acúmulo de forragem (Sbrissia et al., 2007). O índice de área foliar crítico é onde o dossel atinge o máximo de interceptação luminosa (95%) para a produção de folhas e acima desse valor o acúmulo de forragem é via pseudocolmo e material senescente (CARNEVALLI et al., 2006). Isso pode ser traduzido pela altura média do dossel, onde os estudos pioneiros indicam uma amplitude ótima de condições de pasto para produção de forragem variando de 20 a 40 cm para capim Marandu (Lupinacci, 2002; Gonçalves, 2002; Andrade, 2004; Sarmento, 2003; Molan, 2004; Sbrissia, 2004). Esses resultados obtidos, tanto com lotação contínua quanto com lotação intermitente, onde a altura do dossel passou a ser considerada uma ferramenta de manejo de fácil adoção, levou ao que Da Silva (2004) denominou de alvos ou metas de manejo do pastejo. Na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp Câmpus de Jaboticabal, estudos com distintas alturas de manejo

para lotação contínua (15, 25 e 35 cm) iniciaram no ciclo de águas 2007/08, sendo a tese de Casagrande (2010) e a publicação de todos os trabalhos dessa linha por Ruggieri et al., (2020). No ciclo de águas 2014/15 a altura média de 25 cm do dossel foi adotada como critério de manejo em todos os piquetes de capim Marandu. A altura de 25 cm é a indicada para o manejo de capim Marandu em método de lotação contínua (Santana et al., 2017; Gomes et al., 2019), pois nessa altura são combinadas características desejáveis das variáveis morfogênicas (taxa de aparecimento, filocrono, DVF) e estruturais (taxa de sobrevivência e mortalidade de perfilhos, massa de forragem, relação folha/colmo). A frequência de desfolha nessa altura também não compromete o comportamento ingestivo (Casagrande et al., 2010; Vieira et al., 2017) permitindo elevado ganho médio diário e produção por hectare (Reis et al., 2013; Ruggieri et al., 2020) e menor emissão de metano por hectare (Barbero et al., 2015).

Massa e taxa de acúmulo de forragem

A massa de forragem é definida como a quantidade total de forragem presente por unidade de área acima do nível do solo (preferencialmente, contudo, não obrigatoriamente), sendo uma medida de caráter pontual, normalmente expressa em kg matéria seca hectare⁻¹. Já a taxa de acúmulo é o aumento na massa de forragem (crescimento e senescência de tecidos) de uma área de pasto durante um determinado período, por exemplo 28 dias, expressa em kg de matéria seca hectare⁻¹ dia⁻¹ (Pedreira, 2002; Allen et al., 2015). Se a altura de manejo é uma variável instantânea para ajuste de taxa de lotação (Santana et al., 2017), a combinação dessa com massa de forragem e taxa de acúmulo (Heringer e Carvalho, 2002) são extremamente fidedignas e o ponto de partida para a tomada de decisão na condução do pastoreio, por exemplo: Marandu a 25 cm e massa de forragem de 5 toneladas (ha⁻¹), é uma condição ótima de manejo. Euclides et al., (2019) utilizou capim Marandu em diferentes alturas do dossel: 15, 30 e 45 cm e concluiu que dosséis mantidos a 15 cm é comprometido a perenidade do pasto, pois a massa de forragem é baixa (Tabela 1), recomendando a altura de 30 a 45 cm. Em outro estudo, Delevatti et al., (2019; capim Marandu), com altura de manejo do dossel a 25 cm e distintos níveis de adubação nitrogenada (ureia; Tabela 1), observou-se o efeito da adubação nitrogenada no aumento linear da massa de forragem, taxa de acúmulo e, consequentemente, na taxa de lotação. Entretanto, os autores também observaram que o aumento do nível de adubação nitrogenada diminuiu linearmente a relação do ganho animal por kg de N aplicado, recomendando doses até 180 kg N ha⁻¹ ano⁻¹.

Tabela 1. Estrutura do dossel e taxa de lotação de capim Marandu manejo por alturas e doses de nitrogênio

Variável	Altura do dossel [§]				Dose de nitrogênio ^œ		
	15	30	45	0	90	180	270
Taxa de acúmulo [∞]	75,2	91,8	99,1	31,3	51,2	71,5	91,0
Taxa de lotação [†]	3,25	3,0	2,5	3,3	4,6	5,8	6,5
Massa de forragem [‡]	2,4	4,8	5,8	5,7	6,3	6,4	6,4

[∞]kg MS ha⁻¹ dia⁻¹; [†]unidade animal (UA = 450 kg de peso vivo ha⁻¹); [‡]kg MS ha⁻¹; [§]cm; [∞] Kg de N ha⁻¹; Fonte: Adaptado de Euclides et al. (2019) e Delevatti et al. (2019)

Relação folha-colmo

O crescimento vegetal é caracterizado pela emissão e expansão de novas estruturas (folhas e/ou colmos) e constitui o principal determinante da produção de matéria seca do pasto (Pinto et al., 2001). O alongamento de colmos em espécies tropicais também assume importância relativa como característica morfogênica e determina a relação folha:colmo, que constitui uma variável estrutural do dossel (Sbrissia e Da Silva, 2001). Essa variável também tem influência no consumo devido à preferência dos animais pelas folhas (Forbes e Hodgson, 1985), que apresentam maior facilidade de apreensão e maior valor nutritivo. As porções verdes das plantas são as mais nutritivas da dieta e consumidas preferencialmente pelos animais. A alta relação folha/colmo representa forragem com elevados teores de proteína, digestibilidade e consumo, além de conferir à gramínea melhor adaptação ao pastejo ou tolerância ao corte (Wilson e T'mannetje, 1978). Em condições de pastejo, o consumo é influenciado pela disponibilidade de forragem e pela estrutura do dossel como a relação folha/colmo. Por outro lado, ainda não foi descrito na literatura um valor ótimo para a relação folha-colmo, pois nem sempre a maior relação representa os melhores resultados zootécnicos. Por exemplo, Delevatti et al. (2019) para distintos níveis de adubação nitrogenada (0, 90, 180 e 270 kg de N ha⁻¹) observaram valores para relação folha-colmo de: 1,38; 1,27; 0,92 e 0,9, respectivamente. Nesse estudo não foi observado diferença na digestibilidade da matéria orgânica, entretanto teores de proteína bruta e fibra em detergente neutro, taxa de acúmulo e taxa de lotação aumentaram com o aumento da dose de N aplicada, ou seja, onde não foi adubado manteve uma relação folha-colmo de 1,38, apesar da maior proporção de folhas, há menor disponibilidade de proteína bruta. A diminuição da relação folha-colmo com o aumento da adubação nitrogenada e o manejo estabelecido (altura de 25 cm) foi decorrente da taxa de lotação maior onde o dossel foi adubado.

Euclides et al. (2019), que manejaram Marandu em lotação contínua, sem adubação nitrogenada, em distintas alturas observaram as seguintes relações folha-colmo 3,7. 2,2. 1,3 para 15, 30 e 45 cm, respectivamente. Os autores indicam a faixa de manejo entre 30 e 45 cm, onde a relação folha-colmo é menor. Em lotação rotativa, Ongaratto et al. (2020) também observaram que a relação folha-colmo de azevém no período de descanso com maior frequência de cortes (125 graus-dia), foi maior (2,6), em relação aos intervalos 375 e 500 graus-dia (0,85), com valor intermediário para 250 graus-dia (1,58), indicando que onde há maior frequência de desfolha os perfilhos investem na emissão de folhas para recuperar área fotossintética. Com o relato desses três artigos (Delevatti et al., 2019, Euclides et al., 2019, Ongaratto et al., 2020) o argumento de que “o manejo deve propiciar maior relação folha-colmo” torna-se falho, pois devemos equilibrar o ganho por área e ganho médio diário. Para Delevatti et al. (2019) e Euclides et al. (2019) as taxas de lotações foram menores onde foi maior a relação folha-colmo; Ongaratto et al. (2020) também não recomenda o período de descanso de 125 graus-dia, onde a relação folha-colmo foi maior, devido a menor massa de forragem, por conseguinte menor taxa de lotação, lembrando que o paga o investimento na produção de bovinos de corte é o ganho por área.

Intensidade e frequência de desfolha

A desfolha consiste basicamente na remoção de parte dos tecidos das plantas e é caracterizada principalmente por sua intensidade e sua frequência (intervalo de desfolha; GASTAL; LEMAIRE, 2015). A intensidade de desfolha é definida como a quantidade de tecido foliar removida em cada evento individual de desfolhação (HODGSON, 1966), podendo ser quantificada de duas maneiras:

- A) Medir a altura do perfilho estendido antes e após cada evento de pastejo, conforme proposto por Wade et al. (1989)
- B) Medir o comprimento da lâmina foliar antes e após cada evento individual de desfolhação, conforme proposto por Lemaire; Chapman (1996); Lemaire et al., (2009)

Em lotação contínua a intensidade de desfolha dos perfilhos estendidos (cm), foi de 35 % da altura do perfilho, pastejado por bovinos leiteiros (WADE et al., 1989). Para lâmina foliar a intensidade de desfolha varia no intervalo de 40-60 % com base no comprimento individual da folha (MAZZANTI; LEMAIRE, 1994; LEMAIRE et al., 2009).

Gonçalves (2002), citado por Miqueloto et al., (2020) em estudos com *Urochloa brizantha* cv. Marandu observou valores de intensidade de desfolhação de perfilho estendido variando de 11,4 % para pastos manejados mais altos (40 cm altura) a 33,5 % para pastos manejados mais baixos (10 cm de altura). O mesmo autor observou maior intensidade de desfolha da lâmina foliar (76 %) para o dossel manejado mais baixo (10 cm de altura). As variações de severidades observadas por diferentes pesquisadores possivelmente são reflexos das interações entre arquitetura e morfologia de planta e comportamento ingestivo dos animais em pastejo (LEMAIRE et al., 2009). Possivelmente, os menores valores de severidades relatados para plantas tropicais podem estar relacionados à maior participação de colmos vegetativos que atuam como componente físico limitante de consumo (DA SILVA; CARVALHO, 2005). Já a frequência de visitação representa o intervalo (dias) entre duas desfolhações sucessivas na mesma folha/perfilho (LEMAIRE et al., 2009). Intervalos entre desfolha muito longos ou curtos comprometem o valor nutritivo da forragem, a estrutura do dossel e consequentemente o consumo de forragem e o desempenho animal (CÂNDIDO et al., 2005).

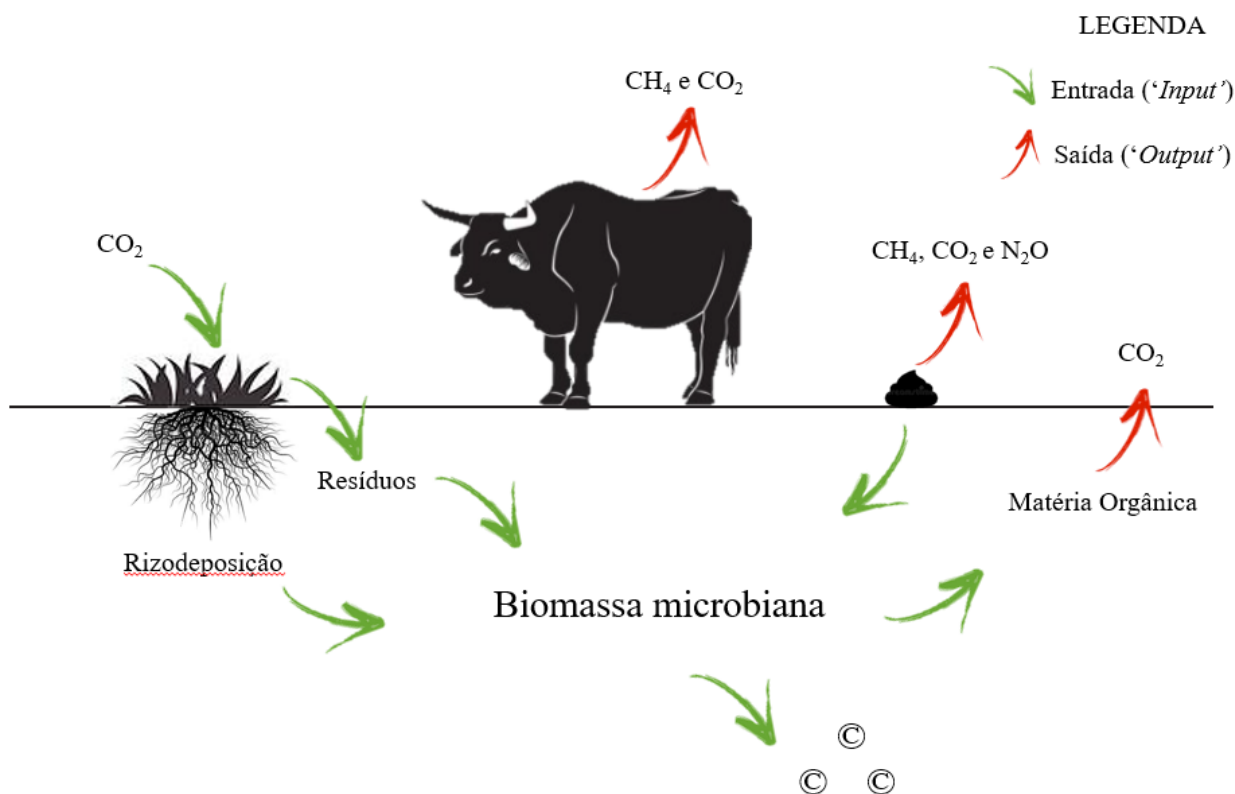
Lima et al., (2019) ao trabalhar com diferentes níveis de intensificação da produção de bovinos de corte, extensivo, semiextensivo e intensivo, observaram diferença na frequência e a intensidade de desfolha de capim Marandu mantido a 25 cm de altura. A frequência de desfolha foi maior no sistema extensivo, não havendo diferença para os demais, 18 e 14 dias respectivamente. Com períodos de 28 dias de duração, nos sistemas intensivo e semiextensivo é permitido ao animal pastejar duas vezes o mesmo perfilho.

Emissão de gases do efeito estufa

A temperatura da superfície terrestre depende do balanço de radiação solar e da movimentação das massas de ar. Por sua vez, o balanço de radiação resulta das múltiplas interações da energia solar com a atmosfera e com a própria superfície terrestre. Ao atravessar a atmosfera, uma parte da radiação é absorvida ou refletida e cerca de metade dela chega à superfície terrestre. O efeito estufa é exercido por diversos gases presentes na atmosfera, que absorvem e emitem grande quantidade de energia de

ondas longas. Dentre estes gases, destaca-se o vapor d'água, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O ; Liebig et al., 2013). Este efeito sempre foi indispensável para a vida na Terra, pois mantém a temperatura dentro de limites adequados, reduzindo o resfriamento noturno, que seria muito maior se não existissem os GEE. Por outro lado, aumentos na concentração de alguns GEE, sobretudo a partir 1760 com a revolução industrial (em particular, do CO_2), vêm causando alterações no regime térmico da atmosfera terrestre, que tendem a se pronunciar na medida em que as emissões de GEE se mantêm elevadas (Bergamaschi, 2016). Esse aumento da temperatura atmosférica é o que se denomina de aquecimento global, levantando a hipótese que tem reflexos nas mudanças climáticas, tais como distribuição irregular das chuvas, aumento ou diminuição de temperaturas da atmosfera, elevação do nível do mar, entre outros. Ao contrário de países industrializados, no Brasil, a maior parcela das emissões de CO_2 , CH_4 e N_2O provêm da agropecuária (Cardoso et al., 2016), conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2. Ciclo do carbono simplificado oriundo de um sistema pastoril, categorizando 'inputs' e 'outputs' referentes às emissões de gases de efeito estufa (GEE)²



Apesar da alta relevância da agropecuária para a economia nacional e internacional, esta muitas vezes é vista negativamente pela opinião pública, devido sua participação no processo de desmatamento e sua contribuição para emissão de GEE (Oliveira et al., 2018). Além disso, a comunidade internacional frequentemente questiona as práticas de manejo e seu impacto ambiental, devido os baixos índices produtivos dos sistemas extensivos de exploração animal, que resultam em pastagens, que muitas vezes, são degradadas ou abaixo de seu potencial de produção (Machado et al., 2011, Oliveira et

² Fonte: Adaptado de Rumpel et al. (2015)

al., 2020). Cardoso et al. (2016) ressalta que a intensificação no sistema produtivo de bovinos de corte reduz a emissão de GEE por unidade de produto produzido por hectare (carne), chamada de pegada de carbono, assim como a prática de consorciar gramíneas e leguminosas e/ou adubar gramíneas com N reduz em um terço, ou metade, a pegada de carbono e complementa-se com Oliveira et al., (2020) a qual diz que notavelmente a intensificação no manejo das pastagens “poupa a terra”. Assim, a intensificação sustentável, explica a necessidade de aumentar a produção agrícola e pecuária por área, levando em consideração alternativas sustentáveis de produção que atendam plenamente à três pilares da sustentabilidade (planeta, pessoas e lucro; Swiatkiewicz et al., 2014; Tedeschi et al., 2015). Os esforços dos pesquisadores brasileiros comprovam que o correto manejo do ecossistema pastoril é a melhor forma de mitigar a emissão de GEE, pois não há abertura de novas áreas para a atividade pecuária. Por exemplo, a intensificação do sistema de produção de bovinos de corte com a aplicação de 75 a 90 kg de N^{-1} , pode multiplicar a produção carne na mesma área (Wedekin et al., 2017; Cardoso et al., 2020).

Perdas de nitrogênio por amônia volatilizada

A volatilização é a perda de N na forma de amônia (NH_3), a qual leva a baixa eficiência de utilização de fertilizantes nitrogenados. A NH_3 perdida por volatilização pode ser proveniente tanto do fertilizante aplicado, quanto da mineralização da matéria orgânica. Embora a NH_3 não seja diretamente um GEE, suas transformações na biosfera podem contribuir, potencialmente, para o aquecimento global (Vieira, 2017). Na pecuária, a NH_3 é gerada pelo processo de volatilização e trata-se de uma perda advinda do uso dos fertilizantes nitrogenados em pastagem (especialmente a ureia) e dejetos animais, que causa prejuízos econômicos e ambientais (Smith et al., 2020). A intensificação do uso de fertilizantes nitrogenados, nas últimas décadas, tem aumentado a emissão global de NH_3 e provocado efeitos adversos nas mudanças climáticas globais, devido as perdas por N no ambiente. Na atmosfera, a NH_3 possui um tempo de residência que varia entre uma e duas semanas. Sua concentração é maior nas proximidades do seu local de origem, diminuindo rapidamente com a distância (Dragosits et al., 2002). As concentrações relativas de nitrato e amônio são determinadas pelo pH da solução do solo. Pois, quando a ureia é aplicada no solo, a sua hidrólise, resultante da ação da urease, converte o $R-NH_2$ para amônio. Por consumir H^+ do meio, essa reação promove a elevação do pH no microsítio abaixo do grânulo do fertilizante (Sommer et al., 2004), favorecendo a desprotonação do amônio à NH_3 que é a forma gasosa passível de ser perdida por volatilização. Esta elevação do pH decorrente da hidrólise da ureia, faz com que o aumento do teor de NH_3 próxima ao grânulo e sua subsequente perda, ocorra mesmo em solo com pH ácido. Em solos alcalinos ou com $pH > 7$, qualquer fertilizante nitrogenado que contém N amoniacal está sujeito a perdas de NH_3 por volatilização (Cantarella, 2007). Em valores de pH abaixo de 7 quase todo o N amoniacal está presente na forma ionizada (amônio).

De forma geral, maiores emissões de NH_3 estão associadas a temperaturas mais elevadas, uma vez que nestas condições a hidrólise da ureia é maior e consequentemente este processo ocorre com maior intensidade entre as 10 h e 15 h. Nas temperaturas baixas de inverno, as perdas de N por volatilização podem ser menores que 5,5% do N aplicado (ureia; Viera et al., 2017). Assim sendo, o potencial de volatilização de NH_3 é maior em regiões tropicais, principalmente nos cultivos de verão, do que em regiões

subtropicais ou de clima temperado. Oliveira et al., (2015) obteve a correlação entre a emissão de NH_3 e variáveis ambientais (Tabela 2).

Tabela 2. Coeficientes da Correlação de Pearson entre a emissão de amônia e variáveis ambientais em sistemas de produção de bovinos de corte em pastagens com diferentes graus de intensificação

Correlação de Pearson	Solo		Atmosfera (Ar)			
	Temperatura (T°C)	Umidade	T°C Media	T°C Máxima	T°C Mínima	Umidade Relativa
<i>P-valor</i>	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
<i>R²</i>	0,82	0,91	0,93	0,93	0,92	0,93

Fonte: Adaptado de Oliveira et al., 2015.

Em pastagens tropicais, a volatilização de NH_3 é uma das principais vias de perda, podendo chegar a 80% do N do fertilizante aplicado (Martha Júnior et al., 2004). Assim, dentre as opções de para não se perder o N é utilizar outras fontes, como nitrato de amônio e sulfato de amônio, que tem valores percentuais bem inferiores a ureia para a volatilização de N (Corrêa et al., 2018) tanto na comparação por fonte, como na comparação por dose (90, 180 e 270 kg N ha⁻¹). Oliveira et al., (2015) compararam a emissão de NH_3 por dois anos em dois sistemas de intensificação da bovinocultura de corte, sendo o Sistema 1, adubado com 400 kg de ureia, e o Sistema 2 adubado com 200 kg de ureia, ao longo das estações do ano. Os valores para o Sistema 1 foram: 0,65; 15,48; 10,25 e 6,83% para primavera, verão, outono e inverno, respectivamente. Enquanto que para o Sistema 2, 0,31. 18,79. 18,25 e 3,51% para primavera, verão, outono e inverno, respectivamente. Dentre os processos para reduzir as perdas de NH_3 por volatilização segue o compilado de recomendações dos pesquisadores da EMBRAPA Meio Ambiente (Vieira, 2017) e EMBRAPA Pecuária Sudeste (Oliveira et al., 2015), sendo:

- Aplicar fertilizantes 5-10 cm abaixo da superfície do solo
- Aplicar fertilizantes nitrogenados parceladamente
- Aplicar fertilizantes nitrogenados junto a possíveis ocorrências de chuvas
- Utilizar fertilizantes de eficiência aumentada
- Aplicar ureia incorporada
- Mistura de ureia e nitrato de amônio
- Irrigação se possível após aplicar ureia
- Fertilizantes com inibidores de nitrificação
- Fertilizantes com minerais alumino silicatos (clinoptilolita, zeólita, bentonita)
- Utilização de fontes orgânicas (cama de frango, esterco bovino)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ecossistemas pastoris sempre foram vitais para a vida na terra, devido aos serviços ecossistêmicos, especialmente a produção de proteína animal; entender as características morfogênicas e estruturais do dossel, bem como os eventos de intensidade e frequência e de desfolha são o passo inicial para manejar de maneira adequada, intensificando o sistema e mitigando gases do efeito estufa.

AGRADECIMENTOS

Ao programa de Ciência Animal da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da Unesp de Jaboticabal-SP, por estimular os alunos a serem cientistas.

FINANCIAMENTO

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento da bolsa de Doutorado do primeiro autor e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento do treinamento de Pós Doutorado do segundo autor (#150985/2019-3).

REFERÊNCIAS

- Abo-Zeid ST, Abd El-Latif AL, Elshafey, S** (2017) Effect of sources and rates of nitrogen fertilizers on forage yield and nitrate accumulation for Sudan grass. *Egyptian Journal of Soil Science* **57** (1), 23-30.
- Alexandrino E, Nascimento Júnior DD, Mosquim PR, Regazzi AJ, Rocha FC** (2004) Características morfogênicas e estruturais na rebrotação da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a três doses de nitrogênio. *Revista Brasileira de Zootecnia* **33** (6), 1372-1379.
- Allen VG, Batello C, Berretta EJ, Hodgson J, Kothmann M, Li X, Mcivor J, Milne J, Morris C, Peeters A, Sanderson M** (2011) An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and Forage Science* **66** (1), 2-28.
- Andrade FME** (2004) *Produção de forragem e valor alimentício do capim-Marandu submetido a regimes de lotação contínua por bovinos de corte*. 2004. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura, “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- Barbero RP, Malheiros EB, Araújo TLR, Nave RLG, Mulliniks JT, Berchielli TT, Reis RA** (2015) Combining Marandu grass grazing height and supplementation level to optimize growth and productivity of yearling bulls. *Animal Feed Science and Technology* **209**, 110-118.
- Bergamaschi H** (2016) Influência das Mudanças Climáticas no Rendimento das Culturas. In: Paes MCD. *Milho e sorgo: inovações, mercado e segurança alimentar*. 1 ed. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo. Cap. 2, 14-48pp.
- Bergamaschi H, Bergonci JI** (2017) *As plantas e o Clima Princípios e Aplicações*. Guaíba: Agrolivros. Cap. 1, 21-24pp.
- Borges BM, Silveira ML, Cardoso SS, Moline EF, Coutinho Neto AM, Lucas FT, Coutinho EL** (2017) Growth, herbage accumulation, and nutritive value of ‘Tifton 85’ bermudagrass as affected by nitrogen fertilization strategies. *Crop Science* **57** (6), 3333-3342.
- Bretas IL, Paciullo DSC, Alves BJR, Martins MR, Cardoso AS, Lima MA, Rodrigues RAR, Silva FF, Chizzotti FHM** (2020) Nitrous oxide, methane, and ammonia emissions from cattle excreta on *Brachiaria decumbens* growing in monoculture or silvopasture with *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis*. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **295**, e-106896.
- Brito LF, Azenha MV, Januszkiewicz ER, Cardoso AS, Morgado ES, Malheiros EB, La Scala Jr N, Reis RA, Ruggieri AC** (2015) Seasonal fluctuation of soil carbon dioxide emission in differently managed pastures. *Agronomy Journal* **107** (3), 957-962.

- Bungenstab DJ** (2012) *Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável*. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa. Cap.1, 1-10pp.
- Campos JAA, Ongaratto F, Reis RA, Fernandes MHMR, Rigobello IL, Gomes LM** (2020) Como diferentes níveis de intensificação da pecuária de corte alteram as variáveis morfogênicas do capim marandu? In: Simpósio Brasileiro de Agricultura Sustentável, 10 ed. *Anais eletrônicos...* Viçosa: UFV.
- Cândido MJD, Alexandrino E, Gomide CADM, Gomide JA, Pereira WE** (2005) Período de descanso, valor nutritivo e desempenho animal em pastagem de *Panicum maximum* cv. Mombaça sob lotação intermitente. *Revista Brasileira de Zootecnia* **34** (5), 1459-1467.
- Cantarella H, Alvarez VVH, Barros NF, Fontes LEF, Neves JCL** (2007) Nitrogênio. In: Novais RF, Alvarez VVH, Barros NL, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL. *Fertilidade do solo*. 1 ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Cap. 7, 375-470pp.
- Cardoso AS, Barbero RP, Romanzini EP, Teobaldo RW, Ongaratto F, Fernandes MHMDR, Reis RA** (2020) Intensification: A key strategy to achieve great animal and environmental beef cattle production sustainability in *Brachiaria* grasslands. *Sustainability* **12** (16), e-6656.
- Cardoso AS, Berndt A, Leytem A, Alves BJ, De Carvalho IDN, De Barros Soares LH, Boddey RM** (2016) Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. *Agricultural Systems* **143**, 86-96.
- Cardoso AS, Oliveira SC, Januszkiewicz ER, Brito LF, Morgado ES, Reis RA, Ruggieri AC** (2019) Seasonal effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions for beef cattle excreta and urea fertilizer applied to a tropical pasture. *Soil and Tillage Research* **194**, e-104341.
- Carnevali RA, Da Silva SC, Bueno ADO, Uebele MC, Bueno FO, Hodgson J, Morais JPG** (2006) Herbage production and grazing losses in *Panicum maximum* cv. Mombaça under four grazing managements. *Tropical Grasslands* **40** (3), 165-176.
- Carrère P, Louault F, Soussana JF** (1997) Tissue turnover within grass-clover mixed swards grazed by sheep. Methodology for calculating growth, senescence and intake fluxes. *Journal of Applied Ecology* **34** (2), 333-348.
- Carvalho RM, Santos MER, Carvalho BHR, Carvalho CRA, Silveira JPF, Costa LKP** (2016) Morphogenesis of marandu palisade grass closer to or farther from cattle feces varies by season. *Semina: Ciências Agrárias* **37** (5), 3231-3242.
- Casagrande DR, Ruggieri AC, Januszkiewicz ER, Gomide JA, Reis RA, Valente ALDS** (2010) Características morfogênicas e estruturais do capim-marandu manejado sob pastejo intermitente com diferentes ofertas de forragem. *Revista Brasileira de Zootecnia* **39** (10), 2108-2115.
- Casagrande DR** (2010) *Suplementação de novilhas de corte em pastagem de capim-Marandu submetidos à intensidades de pastejo sob lotação contínua*. 2010. 127 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.
- Chapman DF, Lemaire G** (1993) Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In: *Grasslands for our world* (ed. Baker MJ). 55–64 pp.
- Cohn AS, Mosnier A, Havlík P, Valin H, Herrero M, Schmid E, Obersteiner M** (2014) Cattle ranching intensification in Brazil can reduce global greenhouse gas emissions by sparing land from deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **111** (20), 7236-7241.
- Corrêa DCC, Cardoso AS, Souza NCS, Toniello AD, Reis RA, Ruggieri AC** (2018) Effect of nitrogen source and level on ammonia volatilization in marandu grass

- pasturelands. In: Proceedings of the 2nd International Conference on Forages. *Proceedings...* Lavras, UFLA, p.225-226.
- Da Silva SC** (2004) Fundamentos para o manejo do pastejo de plantas forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum*. In: II Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology. Curitiba. *Anais...* p.1-6.
- Da Silva SC, Carvalho PCF** (2005) Foraging behaviour and herbage intake in the favourable tropics/sub-tropics. In: McGilloway DA. *Grassland: a global resource*. Wageningen: Wageningen Academic Publ. Chap. 6. 81-95pp.
- De Oliveira JK, Corrêa, DCDC, Cunha AM, Rêgo ACD, Faturi C, Silva WLD, Domingues FN** (2020) Effect of nitrogen fertilization on production, chemical composition and morphogenesis of guinea grass in the humid tropics. *Agronomy* **10** (11), e-1840.
- Delevatti LM, Cardoso AS, Barbero RP, Leite RG, Romanzini EP, Ruggieri AC, Reis RA** (2019) Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality, and animal performance in a tropical pasture. *Scientific Reports* **9**, e-7596.
- Dragosits U, Theobald MR, Place CJ, Lord E, Webb J, Hill J, ApSimon HM, Sutton MA** (2002) Ammonia emission, deposition and impact assessment at the field scale: a case study of sub-grid spatial variability. *Environmental Pollution* **117** (1), 147-158.
- Duru M, Ducrocq H** (2000) Growth and senescence of the successive grass leaves on a tiller. Ontogenic development and effect of temperature. *Annals of Botany* **85** (5), 635-643.
- Euclides VP, Montagner DB, Macedo MCM, De Araújo AR, Difante GS, Barbosa RA** (2019) Grazing intensity affects forage accumulation and persistence of Marandu palisadegrass in the Brazilian savannah. *Grass and Forage Science* **74** (3), 450-462.
- Florindo TJ, Florindo GIBM, Talamini E, Da Costa JS, Ruviaro CF** (2017) Carbon footprint and life cycle costing of beef cattle in the Brazilian midwest. *Journal of Cleaner Production* **147**, 119-129.
- Forbes TDA, Hodgson J** (1985) Comparative studies of the influence of sward conditions on the ingestive behaviour of cows and sheep. *Grass and Forage Science* **40** (1), 69-77.
- Gastal F, Lemaire G** (2015) Defoliation, shoot plasticity, sward structure and herbage utilization in pasture: Review of the underlying ecophysiological processes. *Agriculture* **5** (4), 1146-117.
- Gomes LM, Ongaratto F, Reis RA, Fernandes MHMR, Rigobello IL, Campos JAA** (2020) Como diferentes sistemas de intensificação da bovinocultura de corte alteram a estrutura do dossel de capim marandu? In: Simpósio Brasileiro de Agricultura Sustentável, 10. *Anais eletrônicos...* Viçosa: UFV.
- Gomes LM, Ongaratto F, Velludo IM, Azenha MV, Malheiros EB, Ruggieri AC** (2019) Morfogênese e número de folhas de capim marandu manejado sob distintas alturas de dossel. In: Congresso Brasileiro de Zootecnia, Uberaba. *Anais...* 29^o Congresso Brasileiro de Zootecnia.
- Gonçalves AC** (2002) *Características morfogênicas e padrões de desfolhação em pastos de capim-Marandu submetidos a regimes de lotação contínua*. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagem) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura, “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- Heringer I, Carvalho PCF** (2002) Ajuste da carga animal em experimentos de pastejo: uma nova proposta. *Ciência Rural* **32** (4), 675-679.
- Hodgson J** (1990) *Grazing management. Science into practice*. Longman Group UK Ltd.

- Hodgson J** (1966) The frequency of defoliation of individual tillers in a set-stocked sward. *Journal of the British Grassland Science* **21** (4), 258-263.
- Horst GL, Nelson CJ, Asay KH** (1978) Relationship of leaf elongation to forage yield of tall fescue genotypes. *Crop Science* **18** (5), 715-719.
- IPCC 2006 - Intergovernmental Panel on Climate Change** (2006) Guidelines for national greenhouse gas inventories. *Greenhouse Gas Inventory Reference Manual*, 4.
- Kuinchtner BC, Quadros FLFD, Jochims F, Casanova PT, Dutra GM, Ongaratto F, Carvalho RMRD** (2018) Performance and feed intake of beef heifers on rotational grazing of natural grassland receiving protein and energy supplement in cool season. *Ciência Rural* **48** (4), e-20170563.
- Lemaire G, Chapman D** (1996) Tissue flows in grazed plant communities. In: Hodgson J, Illius AW (Ed.) *The ecology and management of grazing systems*. New York, NY: CAB International. Cap. 1, 5-36pp.
- Lemaire G, Da Silva SC, Agnusdei M, Wade M, Hodgson J** (2009) Interactions between leaf lifespan and defoliation frequency in temperate and tropical pastures: a review. *Grass and Forage Science* **64** (4), 341-353.
- Lemaire G, Jeuffroy MH, Gastal F** (2008) Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage: Theory and practices for crop N management. *European Journal of Agronomy* **28** (4), 614-624.
- Lemaire G, Meynard JM** (1997) *Diagnosis on the nitrogen status in crops*. Springer: Verlag. Cap. 1, 3-44pp.
- Liebig MA, Kronberg SL, Hendrickson JR, Dong X, Gross JR** (2013) Carbon dioxide efflux from long-term grazing management systems in a semiarid region. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **164**, 137-144.
- Lima LO, Velludo IM, Ongaratto F, Dallantonio EE, Fernandes MHMR, Malheiros EB** (2019) Intensidade e frequência de desfolhação do capim-marandu sob diferentes níveis de intensificação In: Simpósio de Pecuária de Corte 11. Lavras, *Anais...* Lavras: UFLA/NEPEC.
- Lupinacci AV** (2002) *Reservas orgânicas, índice de área foliar e produção de forragem em "Brachiaria brizantha" cv. Marandu. submetida a intensidades de pastejo por bovinos de corte*. 160 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- Machado FS, Pereira LGR, Guimarães Jr R, Lopes FCF, Chaves AV, Campos MM, Morenz MJM** (2011) *Emissões de metano na pecuária: conceitos, métodos de avaliação e estratégias de mitigação*. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite. Documentos, 147. 92 p.
- Martha Júnior GB, Corsi M, Trivelin PCO, Vilela L, Pinto TLF, Teixeira GM, Barioni LG** (2004) Perda de amônia por volatilização em pastagem de capim-tanzânia adubada com uréia no verão. *Revista Brasileira de Zootecnia* **33** (6), 2240-2247.
- Martins PG, Felipe DM, Val GA, Ongaratto F, Malheiros EB, Fernandes MHM** (2020) Como diferentes sistemas de intensificação de recria em tourinhos nelore influenciam no seu desempenho? In: Simpósio Brasileiro de Agricultura Sustentável, 10. *Anais eletrônicos...* Viçosa: UFV.
- Matthew C, Assuero SG, Black CK, Sackville Hamilton NR** (2000) Tiller dynamics of grazed swards. In: Lemaire G, Hodgson J, Moraes AD, Carvalho PCF, Nabinger C. *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*. 1. ed. Wallingford: Cabi Publising. Cap. 7. 141-164pp.

- Mazzanti A, Lemaire G** (1994) Effect of nitrogen fertilization on herbage production of tall fescue swards continuously grazed by sheep. 2. Consumption and efficiency of herbage utilization. *Grass and Forage Science* **49** (3), 352-359.
- Miqueloto T, De Medeiros Neto C, Martins CDM, Barbosa RA, Da Silva SC, Sbrissia AF** (2020) Herbage utilisation efficiency of continuously stocked pastures during periods of restricted pasture growth. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil & Plant Science* **70** (3), 208-214.
- Molan LK** (2004) *Estrutura do dossel, interceptação luminosa e acúmulo de forragem em pastos de capim-marandu submetidos a alturas de pastejo por meio de lotação contínua*. 159 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- Moraes AD, Pelissari A, Carvalho PCF, Anghinoni I, Lustosa S, Balbinot Junior AA, Schuster M** (2017) Avanços técnico-científicos em SIPA no subtrópico brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 4. *Palestras...* Pato Branco: UTFPR.
- Moreira LM, Santos MER, Fonseca DM, Martuscello JA, Morais RV, Mistura C** (2011) Produção animal em pastagem de capim-braquiária adubada com nitrogênio. *Arquivos Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* **63** (4), 914-921.
- Nabinger C** (1999) *Princípios da exploração intensiva das pastagens*. In Simpósio sobre Manejo da pastagem. 1 ed. Piracicaba: FEALQ. Cap. 2. 15-96pp.
- Nabinger C, Jacques AVA** (2019) A questão da produção pecuária em campo nativo no Bioma Pampa: contexto geral. In: Carvalho PCF, Wallau MO, Bremm C, Bonnet O, Da Trindade JK, Rosa FQ, Freitas TS, Moojen FG, Nabinger C (Ed.) *Boletim Nativão + de 30 anos de pesquisa em campo nativo*. Uruguaiana: Viapampa. p.1-6.
- Nabinger C, Pontes LS** (2001) Morfogênese de plantas forrageiras e estrutura do pasto. In: 38º Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Piracicaba. p.755-771.
- Neves Neto DN, Santos A, Sousa L, Santos P, Araujo A, Alencar N** (2015) Establishment of *Urochloa brizantha* cultivars intercropped with different cereal grains. *Semina: Ciências Agrárias*, **36** (5), 3353-3368.
- Oliveira PPA, Berndt A, Pedroso AF, Alves TC, Pezzopane JRM, Sakamoto LS, Rodrigues PHM** (2020) Greenhouse gas balance and carbon footprint of pasture-based beef cattle production systems in the tropical region (Atlantic Forest biome). *Animal* **14** (S3), S427-S437.
- Oliveira PPA, Pezzopane JRM, Pedroso AF, Nicodemo MLF, Berndt A** (2018) Produção de carne carbono neutro: um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos. In: IV Simpósio Brasileiro de Produção de Ruminantes no Cerrado, 4. *Anais...* Uberlândia: UFU. p.73-84.
- Oliveira PPA, Rodrigues PHM, Azenha MV, Lemes AP, Sakamoto LS, Corte RU, Praes MFFM** (2015) *Emissões de GEE e amônia em sistemas pastoris: mitigação e boas práticas de manejo*. In: Sistemas de Produção, Intensificação e Sustentabilidade da Produção Animal. 1 ed. Piracicaba: FEALQ. Cap. 7. 179-223pp.
- Ongaratto F, Rocha MG, Pötter L, Bergoli TL, Severo PO, Dutra JS, Machado JM, Dotto LR, Martini AC, Oliveira EP** (2020) Canopy structure and morphogenesis of Italian ryegrass intercropped with red clover under cutting intervals determined by thermal sum. *Ciência Rural* **50** (11), e-20190989.
- Paiva AJ, Silva SCD, Pereira LET, Guarda VDÁ, Pereira PDM, Caminha FO** (2012) Structural characteristics of tiller age categories of continuously stocked marandu palisade grass swards fertilized with nitrogen. *Revista Brasileira de Zootecnia* **41** (1), 24-29.

- Pedreira CGS** (2002) Avanços metodológicos na avaliação de pastagens. In: 39ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Recife. p.100-150.
- Pereira OG, Rovetta R, Ribeiro KG, Santos MER, Fonseca DMD, Cecon PR** (2011) Características morfológicas e estruturais do capim-tifton 85 sob doses de nitrogênio e alturas de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia* **40** (9), 1870-1878.
- Pinto LFM, Silva SC, Sbrissia AF, Carvalho CABD, Carnevalli RA, Fagundes JL, Pedreira CGS** (2001) Dinâmica do acúmulo de matéria seca em pastagens de Tifton 85 sob pastejo. *Scientia Agricola* **58** (3), 439-447.
- Primavesi O, Primavesi AC, Corrêa LDA, Silva AGD, Cantarella H** (2006) Lixiviação de nitrato em pastagem de coastcross adubada com nitrogênio. *Revista Brasileira de Zootecnia* **35** (3), 683-690.
- Reis RA, Valente ALS, Dos Santos SMC, De Souza FHM, Berchielli TT, Ruggieri AC, Santana SS, Serra JM** (2013) Performance of young Nelore bulls grazing marandu grass pasture at different heights. *Tropical Grassland* **1**, 114-115.
- Romanzini EP, Malheiros EB, Delevatti LM, Leite RG, Hoffmann A, Reis RA** (2017) Fatores fundamentais para produção de pastos de *Brachiaria brizantha* cv Marandu adubados com níveis crescentes de nitrogênio. In: IV SAMPA - Simpósio de Adubação e Manejo de Pastagens e IV SIMPAPASTO - Simpósio de Produção Animal a Pasto. *Anais... Unesp – Dracena*. p.79-82.
- Ruggieri AC, Cardoso AS, Ongaratto F, Casagrande DR, Barbero RP, Brito LDF, Reis RA** (2020) Grazing Intensity Impacts on Herbage Mass, Sward Structure, Greenhouse Gas Emissions, and Animal Performance: Analysis of *Brachiaria Pastureland*. *Agronomy* **10** (11), e-1750.
- Rumpel C, Crème A, Ngo PT, Velásquez G, Mora ML, Chabbi A** (2015) The impact of grassland management on biogeochemical cycles involving carbon, nitrogen and phosphorus. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* **15** (2), 353-371.
- Sales ECJ, Dos Reis ST, Júnior VRR, Monção FP, Matos VM, Pereira DA, Da Silva Antunes AP** (2014) Características morfológicas e estruturais da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a diferentes doses de nitrogênio e alturas de resíduos. *Semina: Ciências Agrárias* **35** (5), 2673-2684.
- Salvador PR, Pötter L, Rocha MG, Hundertmarck AP, Sichonany MJO, Amaral Neto LG, Moterle PH** (2016) Sward structure and nutritive value of Alexandergrass fertilized with nitrogen. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **88** (1), 385-395.
- Sanderson MA, Liebig MA** (2020) *Forages and the Environment*. In: *Forages II: The Science of Grassland Agriculture*, Chichester, 2, 249-259pp.
- Santana SS, Brito LF, Azenha MV, Oliveira AA, Malheiros EB, Ruggieri AC, Reis RA** (2017) Canopy characteristics and tillering dynamics of Marandu palisade grass pastures in the rainy-dry transition season. *Grass and Forage Science* **72** (2), 261-270.
- Santos MER, Fonseca DMD, Braz TGDS, Silva SPD, Gomes VM, Silva GP** (2011) Características morfológicas e estruturais de perfilhos de capim-braquiária em locais do pasto com alturas variáveis. *Revista Brasileira de Zootecnia* **40** (3), 535-542.
- Santos PM, Cruz PGD, Araujo LCD, Pezzopane JRM, Valle CBD, Pezzopane CDG** (2013) Response mechanisms of *Brachiaria brizantha* cultivars to water deficit stress. *Revista Brasileira de Zootecnia* **42** (11), 767-773.
- Sarmiento DOL** (2003) *Comportamento ingestivo de bovinos em pastos de capim marandu submetidos a regimes de lotação contínua*. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

- Sbrissia AF, Silva SC** (2001) *O ecossistema de pastagens e a produção animal*. In: 38º Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Piracicaba. p. 731-754.
- Sbrissia AF** (2004) *Morfogênese, dinâmica do perfilhamento e do acúmulo de forragem em pastos de capim-Marandu sob lotação contínua*. 171 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura, “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- Sbrissia AF, Da Silva SC, Nascimento Júnior D** (2007) *Ecofisiologia de plantas forrageiras e o manejo do pastejo*. In: Simpósio sobre Manejo da pastagem. 1 ed. Piracicaba: FEALQ. Cap. 5, 153-176pp.
- Schnyder H, Schäufele R, De Visser R, Nelson CJ** (2000) An integrated view of C and N uses in leaf growth zones of defoliated grasses. In: Lemaire G, Hodgson J, Moraes AD, Carvalho PCF, Nabinger C. *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. 1 ed. Wallingford: CAB Publishing. Cap. 3, 41-60pp.
- Silva RS, Barioni LG, Hall JAJ, Matsuura MF, Albertini TZ, Fernandes FA, Moran D** (2016) Increasing beef production could lower greenhouse gas emissions in Brazil if decoupled from deforestation. *Nature Climate Change* **6** (5), 493-497.
- Silveira ML, Vendramini JMB, Sellers B, Monteiro FA, Artur AG, Dupas E** (2015) Bahiagrass response and N loss from selected N fertilizer sources. *Grass and forage Science* **70** (1), 154-160.
- Silveira ML, Haby VA, Leonard AT** (2007) Response of coastal bermudagrass yield and nutrient uptake efficiency to nitrogen sources. *Agronomy Journal* **99** (3), 707-714.
- Smith AP, Johnson IR, Schwenke G, Lam SK, Suter HC, Eckard RJ** (2020) Predicting ammonia volatilization from fertilized pastures used for grazing. *Agricultural and Forest Meteorology* **287**, e-107952.
- Sommer SG, Schjoerring JK, Denmead OT** (2004) Ammonia emission from mineral fertilizers and fertilized crops. *Advances in Agronomy* **82**, 557-622.
- Swiatkiewicz S, Swiatkiewicz M, Arczewska-Wlosek A, Jozefiak D** (2014) Genetically modified feeds and their effect on the metabolic parameters of food-producing animals: A review of recent studies. *Animal Feed Science and Technology* **198**, 1-19.
- Taiz L, Zeiger E, Möller IM, Murphy A** (2017) Senescência Vegetal e Morte Celular. In: *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. 6. ed. Porto Alegre, RS: Artmed, Cap 22, 665-692pp.
- Tedeschi LO, Muir JP, Riley DG, Fox DG** (2015) The role of ruminant animals in sustainable livestock intensification programs. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology* **22** (5), 452-465.
- Tree I** (2018) If you want to save the world, veganism isn't the answer. *The Guardian*, London.
- Vieira Junior PA, Contini E, Henz GP, Nogueira VGC** (2019) *Geopolítica do alimento: o Brasil como fonte estratégica de alimentos para a humanidade*. Embrapa, Brasília-DF, 322 p.
- Vieira BR, Azenha MV, Casagrande DR, Costa DFA, Ruggieri AC, Berchielli TT, Reis RA** (2017) Ingestive behavior of supplemented Nellore heifers grazing palisadegrass pastures managed with different sward heights. *Animal Science Journal* **88** (4), 696-704.
- Vieira RF** (2017) *Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas*. Embrapa Meio Ambiente: Jaguariúna. Cap. 9, 77-127pp.
- Voorend W, Lootens P, Nelissen H, Roldán-Ruiz I, Inzé D, Muylle H** (2014) LEAF-E: a tool to analyze grass leaf growth using function fitting. *Plant methods* **10**, e-37.

- Wade MH, Peyraud JL, Lemaire G, Cameron EA** (1989) The dynamics of daily area and depth of grazing and herbage intake of cows in a five-day paddocks system. In: International Grassland Congress, 16. Nice. *Proceedings...* p. 1111-1112.
- Wedekin I, Pinazza LA, Lemos FK** (2017) *Economia da pecuária de corte: fundamentos e ciclo de preços*. São Paulo: Wedekin Consultores. 180p.
- White RR, Hall MB** (2017) Nutritional and greenhouse gas impacts of removing animals from US agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **114** (48), E10301-E10308.
- Williams LE, Miller AJ** (2001) Transporters responsible for the uptake and partitioning of nitrogenous solutes. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* **52**, 659-688.
- Wilson JR, Mannetje L't** (1978) Senescence, digestibility and carbohydrate content of buffel grass and green panic leaves in swards. *Australian Journal of Agricultural Research* **29** (3), 503-516.
- Zimmer AH, Macedo MCM, Kichel AN, Almeida RG** (2012) *Degradação, recuperação e renovação de pastagens*. Embrapa Gado de Corte, Campo Grande. 42p.

CAPÍTULO 2

O artigo a seguir está redigido conforme normas de publicação do Periódico: Agronomy <https://www.mdpi.com/journal/agronomy>

How does the increased use of pastures alter morphogenesis and the canopy structure of palisade grass?

Firstname Lastname ¹, Firstname Lastname ² and Firstname Lastname ^{2,*}

¹ Affiliation 1; e-mail@e-mail.com

² Affiliation 2; e-mail@e-mail.com

* Correspondence: e-mail@e-mail.com; Tel.: (optional; include country code; if there are multiple corresponding authors, add author initials)

Abstract: Pasture intensification in beef cattle production optimizes the pastoral environment by increasing the number of animals per hectare. However, how does this pasture intensification affect the canopy's morphogenic and structural variables? Here, the intensification of the pastoral ecosystem changed morphogenesis and the canopy structure of marandu palisade grass in continuous stocking grazing with different levels of intensification: extensive, semi-intensive, and intensive systems N-fertilized with zero, 75, and 150 kg of N ha⁻¹ year⁻¹, respectively, as ammonium nitrate (32 % of N). The phyllochron (9.8 days) and the leaf lifespan (34.7 days) were shorter in intensified pastures. The herbage mass was similar among the three levels and the accumulation rate was higher in semi-intensive, lower in extensive, and intermediate in intensive systems. Tiller visitation interval was lower in intensive (14.4 days) and higher in extensive (18.7 days) treatments. The nitrogen nutrition index (NNI) was 0.67, 0.98, and 1.15 for extensive, semi-intensive, and intensive systems, respectively. Thus, pasture intensification of beef cattle production accelerates leaf appearance and decreases the leaf lifespan with higher frequencies of tiller visitation, changing the accumulation rate, but not the herbage mass. Otherwise, the extensive system presents the NNI nearest to the optimal value of 1.

Citation: Lastname, F.; Lastname, F.; Lastname, F. Title. *Agronomy* **2021**, *11*, x. <https://doi.org/10.3390/xxxxx>

Keywords: canopy; intensification; morphogenesis; ammonium nitrate; beef cattle; *Urochloa*

Academic Editor: Firstname Lastname

Received: date
Accepted: date
Published: date

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

The success of grazing cattle production depends on optimizing the intake of grazing animals. Forage intake is highly affected by the structure of the pasture (Pontes-Prates et al., 2020). However, the lack of N replacement and inadequate grazing management leads to a pasture structure that results in low productivity (Cardoso et al., 2020). Therefore, knowing the structure of the pasture according to different intensification strategies is fundamental for achieving sustainable intensification of animal production.

The sustainable intensification of pastoral ecosystems is achieved in numerous ways (consortium of forage species, grazing by different herbivores, strategic supplementation of beef cattle, irrigation, fertilization, or integration of crop-livestock-forestry), all excelling in high productivity, thereby contributing to a low carbon footprint (Dubeux 2017; Pereira et al., 2017; Cardoso et al., 2020). To produce more food (meat) in the same area, pasture management is a primordial factor, because it is from primary production (pasture) that we have secondary production (meat). Nitrogen (N) increases forage production and alters

the canopy structure, whereby the application of the synthetic form is a management method that allows an increase in pasture stocking rate.

Morphogenic variables show how tillers develop according to the conditions of the pastoral ecosystem. Nitrogen fertilization accelerates the rate of leaf expansion (Baldiserra et al., 2020) and decreases the lifespan of leaves (Gastal and Lemaire, 2015), in response to greater canopy carbon and nitrogen cycling. Due to the low volatility of ammonium nitrate and its nitrogen form being readily available for the absorption by roots, we are able to observe different responses of these variables to what has already been reported.

Although the target height of canopy management is standard for all paddocks, the nitrogen supply alters the morphogenic variables, even though results with ammonium nitrate are not described in the literature. As a result, structural components such as the percentage of leaf, stem, and dead material in the canopy will present different proportions, as noted by Ruggieri et al. (2020).

For instance, Delevatti et al. (2019) observed linear increases in herbage mass and accumulation of palisade grass pasture fertilized with increasing doses of nitrogen (as urea and continuous stocking managed at 25 cm canopy height), which allowed an increase from 3.3 AU (animal unit = 450 kg ha⁻¹) in unfertilized pastures, to 6.5 AU in the 270 kg N ha⁻¹ fertilized pastures. Considering that N-NH₃ volatilization losses of urea are approximately five times higher than those of ammonium nitrate (Corrêa et al., 2021), it is hypothesized that lower doses of ammonium nitrate fertilization (below 180 kg N ha⁻¹ year⁻¹) might enable similar herbage mass, accumulation rate, and efficiency of N utilization in the system. Several studies have shown that sustainable intensification of beef cattle production can be achieved through fertilization and animal supplementation (Delevatti et al., 2019; Domiciano et al., 2020; Hoffmann et al.; 2021). However, studies focusing on how forage structure and morphological behavior vary in different levels of intensified *Urochloa* grasslands are lacking.

To implement successful sustainable intensified systems with marandu palisade grass, it is necessary to measure the forage production, morphogenesis, and structure under different levels of N supply. The research question addressed was: How does pasture intensification through nitrogen fertilization, alter the morphogenic and structural variables of the pasture ecosystem? Therefore, the objective of this study was to assess the impact of pasture intensification on the morphogenic and structural variables of marandu grass pastures managed under continuous stocking and canopy height of 25 cm, fertilized with ammonium nitrate.

2. Materials and Methods

2.1 Local treatments and grazing management

The experiment was carried out at the Beef Cattle Center of Sao Paulo State University "Julio de Mesquita Filho" (UNESP), Jaboticabal, Sao Paulo, Brazil (21°15'22" S, 48°18'08" W, 595 m altitude). The climate is humid subtropical with dry winters and warm summers (Aw), according to Köppen's classification, and the soil is classified as typical Hapludox with a clayey texture (Soil Taxonomy, USDA, 1999). The pasture was established in 2005 with *Urochloa brizantha* cv. Marandu (marandu grass). The experimental area comprised 24 ha, divided into 12 paddocks of approximately 2 ha each. The grazing method was continuous stocking with a variable stocking rate to maintain a canopy height of 25 cm (Santana et al., 2017).

The treatments consisted of different levels of intensification (increased stocking rate), extensive, semi-intensive, and intensive, with

four replicates (paddocks) in a completely randomized design. Paddocks from extensive, semi-intensive and intensive treatments were N-fertilized with 0, 75 and 150 kg of N ha⁻¹ year⁻¹, respectively, as ammonium nitrate (32 % of N), fractioned in three doses of the same amount per year, according to rain occurrence precipitation distribution; on the following dates: Dec 19, 2018, Jan 23, 2019, Feb 23, 2019, Dec 10, 2019, Jan 30, 2019, and Mar 20, 2020. The experimental period was December to April of 2018/2019 and 2019/2020. The evaluations started when the canopy height reached 25 cm and the initial herbage mass did not differ between treatments ($P > 0.05$). Weather data were obtained from the Agrometeorological Station of the Department of Engineering and Exact Sciences at UNESP, located 500 m from the experimental area. The accumulated thermal sum was calculated by adding the average daily temperatures (T_{avg}), obtained using the following formula:

$$T_{avg} = [(T^{\circ}Mx + T^{\circ}Mn)/2],$$

1)

where $T^{\circ}Mx$ is the maximum daily temperature (°C) and $T^{\circ}Mn$ is the minimum daily temperature (°C).

The animals used in this study were cared for according to the rules of the São Paulo State University Animal Care and Use Committee and the National Council of Animal Experimentation Control. The committee reviewed and approved the experiment and all procedures carried out in the study (certificate number 7979/18). Forty-eight young Nelore bulls (*Bos indicus*) in each year with an initial age of approximately 15 months and initial body weight (BW) of 308 ± 20 kg were used to manage pastures under continuous stocking using the put-and-take method to maintain a pre-established grazing height of 25 cm. According to the treatments, the stocking rate averages were 1.9, 2.8, and 3.8 AU ha⁻¹ for the levels of intensification extensive, semi-intensive, and intensive, respectively, where one (1) AU (animal unit) was considered to be an animal of 450 kg BW.

2.2 Soil chemical composition

Soil samples (0–20 cm) per paddock were collected at the beginning of the experimental period in each year. The average values were: pH (CaCl₂) 5.0, organic matter 23.6 g dm⁻³, P-resin 7.4 mg dm⁻³, K⁺ 1.9 mmolc dm⁻³; Ca²⁺ 19.9 mmolc dm⁻³; Mg²⁺ 10.2 mmolc dm⁻³; H+Al 24.7 mmolc dm⁻³; sum of bases 31.9 mmolc dm⁻³; CEC 56.7 mmolc dm⁻³; and base saturation 55.8 %.

2.3 Canopy height and morphogenesis

The canopy height was measured weekly with a centimeter-graduated ruler at the curvature of the upper leaves at 80 random points per paddock. To evaluate morphogenesis, two representative points at the canopy average height per paddock were marked with a fixed wooden stake in the ground until the end of the evaluation period of the final year. At each point, four tillers (eight per paddock) were selected and tagged with colored plastic rings (Carrère et al., 1997). Tagged tillers were measured twice a week and changed every 28 days.

The length of the fully expanded, expanding, and senescent leaves, the height of the pseudostem (stem + sheath), and the height of the extended tiller were measured in the tagged tillers. The expanded leaves were measured from the ligule, while the expanding leaves were measured from the ligule of the last expanded leaf. In the senescent leaves, only the green portion of the leaf was measured (those with a

maximum 50 % brown parts); tillers were classified as dead when more than 50 % of the parts were brown. The first leaf portion of each tagged tiller was identified by white liquid paper correction fluid, so that it could be identified in subsequent collections. The height of the pseudostem was measured from the base of the soil to the height of the ligule of the last expanded leaf. The height of the extended tiller was measured from the base of the soil to the apex of the highest leaf.

2.4 Morphogenic characteristics, elongation duration, and senescence rate

The leaf appearance rate (leaves day⁻¹) was estimated as the ratio between the number of leaves produced and the thermal sum of the evaluated interval, and the phyllochron (the time interval between the appearance of successive leaves) was considered the inverse value. The leaf lifespan (days) was calculated as the product of the average number of green leaves per tiller and the average phyllochron. The leaf elongation duration (days) was calculated as the product of the average number of expanding leaves and the average phyllochron. The elongation (mm leaf⁻¹ day⁻¹) and senescence (mm leaf⁻¹ day⁻¹) rates were calculated as the ratio between the elongation or average senescence of the leaf between two consecutive evaluations and the thermal sum of the interval. Senescence was identified by the yellowing of the leaf apex, considering senescent leaves as those that presented above 50 % of their blade in yellow (Ongaratto et al., 2020).

2.5 Number of live leaves per tiller

The total number of leaves per tiller was determined by the number of expanding and expanded leaves of the tiller, not counting those that had more than 50% senescence, whereas the number of live expanded leaves per tiller was determined by discarding expanding leaves and those with more than 50 % senescence.

2.6 Herbage mass, structural composition, herbage accumulation, and tiller weight

Herbage mass was estimated every 28 days at four average sward height sites per paddock, at soil level, of all plants included within the perimeter of a metal circular rim (0.25 m²) representing the mean herbage mass of the paddocks. Samples were then separated into dead material, stem + sheath, and green leaves and dried at 55 °C to a constant weight to estimate forage dry matter per hectare.

The average weight per tiller was estimated by collecting a sample of 30 tillers per paddock every 28 days.

Herbage accumulation (HA) was quantified using the paired cage method (Klingman et al., 1943) every 28 days. The cubic exclusion cages (1 m³) were allocated to two random sites per paddock. Samples (initial herbage mass) from 1 m² inside the cage (paired samples) were clipped to ground level. After 28 days of cage placement, forage samples were collected again and dried at 55 °C in a forced-air dryer to a constant weight, and weighed. The forage accumulation rate (kg ha⁻¹ d⁻¹) was calculated by dividing the cumulative forage dry mass by the number of days between evaluations. Cumulative forage dry mass was obtained from the difference between the forage dry mass of the samples collected from inside the cage on the date of sampling and the forage dry mass of

the sample outside the cage (paired sample) on the date of the previous sampling.

2.7 Defoliation intensity and interval

To calculate the defoliation intensity (INT), the grazed leaf blades were identified and used in the formula:

$$\text{INT} = [(\text{initial length} - \text{final length}) / \text{initial length}]. \quad 2)$$

To calculate the removal intensity of the extended tiller, grazed tillers were identified and used in the formula:

$$\text{EXT} = [(\text{initial length extended} - \text{final length extended}) / \text{initial length extended}] \times 100. \quad 3)$$

The visitation interval (days to return to the same tiller) was calculated using the formula:

$$\text{FREQ} = \text{N}^\circ \text{ of touches on pasture days} / \text{duration of evaluation} \quad 4)$$

2.8 Efficiency of nitrogen usage and nutrition index

The indices related to nitrogen fertilization efficiency were calculated by the following formulae (Delevatti et al., 2019). Apparent N recovery (REC) by forage was estimated based on the N uptake of fertilized and unfertilized pastures as:

$$\text{N uptake (kg N ha}^{-1}\text{)} = \{(\text{TFL} + \text{AcF}) \times \text{X \% N forage}\}, \quad 5)$$

where TFL is the total forage leaf dry mass of the treatment in kg ha⁻¹, and AcF is the cumulative forage dry mass, and

$$\text{REC (\%)} = \{(\text{Uf} - \text{Uo}) / \text{Nf}\}, \quad 6)$$

where REC is the apparent N recovery of fertilized pastures, Nf is the rate of N fertilization (kg ha⁻¹), Uf is the N uptake for a given Nf (kg ha⁻¹), and Uo is the N uptake of unfertilized paddocks.

Efficiency of N usage (NUE) by the plants was estimated by:

$$\text{NUE (kg kg}^{-1}\text{ N)} = \{(\text{TFL}) / \text{N uptake}\}, \quad 7)$$

where NUE is the efficiency of N usage, TFL is the total forage leaf dry mass of the treatment in kg ha⁻¹, and N uptake is nitrogen uptake by the pasture in kg ha⁻¹.

Nitrogen nutrition index (NNI) was estimated as follows:

$$\text{NNI} = \text{Na} / \text{Nc}, \quad 8)$$

where Na is the actual N concentration, Nc is the critical N concentration using the formula: $\text{Nc} = aW^{-b}$, W is the forage dry matter yield (Mg ha⁻¹), and a and b are species-specific constants for C4 perennial grasses (3.6 and 0.34, respectively). Luxury N consumption was assumed for NNI values > 1 (Lemaire, Meynard, 1997; Lemaire, Jeuffroy, Gastal, 2008).

2.9 Experimental design and statistical analyses

The experiment was evaluated in two consecutive years and five periods (28-day cycle, repeated measure) within each year, according to a randomized complete block design (block = year), with three treatments

(levels of intensification) and four replicates (paddocks). Variables were analyzed as repeated measures in time (periods). Data were tested for normality and equal variance using the Shapiro-Wilk normality test and Bartlett test of homogeneity of variances, respectively. The best covariance structure used for repeated-measures analyses was chosen as the one that achieved the lowest corrected Akaike information. Comparisons between treatments were performed using Tukey's test, and significance was declared at $P \leq 0.05$. Data were analyzed using the MIXED procedure of SAS (version 9.3; SAS Institute, Cary, NC, USA).

3. Results and Discussion

The mean values of temperature, rainfall, and number of rainy days of 2018/2019 and 2019/2020 were 24.8 and 24.5 °C, 731.7 and 798 mm, and 62 and 58 days, respectively. The analysis of variance comparing these variables for the 2018/2019 and 2019/2020 cycles was similar, with mean temperature ($P = 0.56$), rainfall ($P = 0.93$), and number of rainy days ($P = 0.99$). These environmental conditions were not restrictive to plant development.

Table 1. Temperature and accumulated precipitation in 2018/19^a and 2019/20^b

	T °C maximum*	T °C minimum*	T °C mean*	Accumulated precipitation**	ND ***
2018					
Decem ber	30	20.2	25.2	88.2	16
2019					
Januar y	32.7	20.9	26.1	148.1	11
Februa ry	30.9	20.4	24.4	282.6	17
March	31	20.1	24.5	115.2	12
April	30.6	19.0	23.9	97.6	6
Decem ber	30.3	20.1	25.2	230	14
2020					
Januar y	30.9	20.1	25.1	266.3	19
Februa ry	29.2	19.9	24.5	185	18
March	31.2	18.1	24.7	84.1	6
April	29.4	16.5	22.9	32.6	1

^aDec 10, 2018 – Apr 29, 2019; ^bDec 09, 2019 – Apr 27, 2020; * degrees Celsius; **millimeters; ***number of rainy days; Agrometeorological Station of the Department of Engineering and Exact Sciences at UNESP.

3.1 Canopy height and stocking rate

The canopy height (25.3 cm; $P > 0.12$; SEM = ± 3.7) was similar between the levels of intensification. The stocking rate (Animal Unit ha⁻¹ =

450 kg; AU) differed ($P < 0.05$; SEM = ± 0.01) between levels of intensification, increasing from 1.8, 2.8, and 3.8 AU for extensive, semi-intensive, and intensive level of intensification, respectively. Canopy height and stocking rate there variable so that we could infer the level of intensification, without a misinterpretation between treatment and management.

3.2 Morphogenic variables, senescence rate, and elongation duration

The leaf appearance rate increased, whereas the phyllochron decreased with the intensification of beef cattle systems (Table 2). The leaf appearance rate represents the displacement of the sheath within the pseudostem, whose length was similar between treatments (average of 12.6 cm; $P > 0.05$), presumably due to similarities and maintenance of canopy height at ± 25 cm. Previous studies reported that shorter pseudostems promoted a higher rate of appearance and lower phyllochron of tillers (Santos et al., 2011; Sales et al., 2014), which was not observed in this study. Gimenes et al. (2017) and Baldiserra et al. (2020) reported that larger inputs of nitrogen decrease the phyllochron of C4 grasses, because nitrogen accelerates the process of sprouting of the tillers, allowing a rapid reconstitution of the leaf area. The combination of nitrogen fertilization, canopy height of ± 25 cm, stocking rate, and tiller visitation interval (Table 4), probably reflected less phyllochron (or faster leaf appearance rate), allowing tillers to maintain their leaf area index and photoassimilate production.

Table 2. Morphogenic variables, leaf elongation duration, and senescence rate of marandu pastures under different levels of intensification

Variable	Level of intensification			P-value	SEM*
	Extensive	Semi-Intensive	Intensive		
Phyllochron ¹	13.3 ^a	11.7 ^b	9.8 ^c	< 0.0001	0.06
Leaf appearance rate ²	0.08 ^c	0.09 ^b	0.11 ^a	< 0.0001	0.05
Leaf elongation rate ³	0.10 ^b	0.11 ^a	0.12 ^a	< 0.0001	0.06
Leaf senescence rate ³	0.17	0.15	0.15	0.06	0.02
Leaf elongation duration ¹	15.9 ^a	14.7 ^a	12.8 ^b	< 0.0001	0.0008
Leaf lifespan ¹	42.2 ^a	41.2 ^a	34.7 ^b	0.02	0.31

¹days, ²leaves day⁻¹, ³mm leaves⁻¹ day⁻¹, *standard error of the mean

The leaf elongation rates were higher in the intensive and semi-intensive and lower in the extensive beef cattle systems (Table 2) because of nitrogen fertilization in the canopy. Nitrogen is part of the chlorophyll molecule, and its level determines a higher concentration of chloroplasts and higher efficiency in the capture of intercepted radiation. Numerous studies have reported that nitrogen promotes the growth of the foliar lamina (Paciullo et al., 2016; Salvador et al., 2016; Gomes et al., 2019), and the consequence of this is an increase in the stocking rate; if this does not occur, the opportunity to graze foliar lamina is lost due to senescence.

The leaf senescence rate (Table 2) was similar (0.16 mm leaves⁻¹ day⁻¹) among intensification systems, because leaf senescence is not affected by leaf defoliation but by environmental characteristics, especially water deficit (Santos et al., 2013), which was not observed during the two collection cycles (Table 1).

The leaf lifespan (average 41.7 days) and leaf elongation duration (average 15.3 days) were longer ($P < 0.05$) in extensive and semi-intensive

than intensive beef cattle systems (Table 2). The intensive and semi-intensive beef cattle systems showed a nitrogenated nutrition index above the physiological limit for grasses ($NNI > 1$; Table 5), and the value observed was the so-called "luxury consumption", reflecting a shorter leaf lifespan and leaf elongation duration, because nitrogen accelerates the growth of leaf tissues, by increasing leaf elongation rate and light competition (Domiciano et al., 2020; Martuscello et al., 2005; Fagundes et al., 2006; Pereira et al., 2011).

The similarity in leaf lifespan between semi-intensive and extensive beef cattle systems disagrees with previous studies that reported a decrease in leaf lifespan with nitrogen fertilization (Martuscello et al., 2006; Pereira et al., 2011; Pereira et al., 2017), presumably indicating that the semi-intensive system was undergrazed. Conversely, the similarity in leaf elongation duration between semi-intensive and extensive beef cattle systems agreed with Gastal and Lemaire (2002), who reported that leaf elongation duration was not affected by nitrogen application in studies with C3 grasses (Gastal and Lemaire, 1988) and other plant species (Vos and Biemond, 1992; Taylor et al., 1993; Trapani and Hall, 1996; Vos et al., 1996). In the present study, there was a difference in leaf elongation duration between semi-intensive and intensive systems, although since we studied a gramineous photosynthetic C4 route, the discrepancy between our study and that of Gastal and Lemaire (2002) might indicate the need for further studies to understand the limit dose of nitrogen to alter this variable in C4 grasses.

3.3 Canopy structural variables

The number of expanded (average 2.8), live (average 4.1), and total leaves (average 4.6) was higher ($P < 0.05$) in semi-intensive and intensive compared to extensive (2.6, 3.8, and 4.3, respectively) beef cattle systems. The number of expanding leaves differed ($P < 0.05$) among treatments, being 1.20, 1.25, and 1.30, for extensive, semi-intensive, and intensive beef cattle systems, respectively.

The number of leaves per tiller is a result of the interaction between the leaf appearance rate and leaf lifespan (Lemaire and Chapman, 1996; Duru and Ducrocq, 2000); however, as the intensification of the system increased, these variables differed among treatments (Table 2), presenting a higher number of expanded, live, and total leaves in the more intensified systems. Gastal and Lemaire (2015) explained that nitrogen supply alters cell division rates in expanding leaves, stimulating cell production with increased N doses. Moreover, the number of senescent leaves was similar (average 1.15; $P = 0.87$, $SEM \pm 0.006$) among beef cattle intensification systems. In agreement with our findings, a previous study observed no difference in the number of senescent leaves between unfertilized and 150 kg N ha⁻¹ fertilized pastures; otherwise, nitrogen fertilization increased the number of senescent leaves at doses of 300 and 450 kg ha⁻¹ (Paiva et al., 2012), which would result in higher intensification levels than those used here, suggesting that the cycling of nitrogen in the cellular metabolism of senescent leaves may be affected only by high doses of nitrogen (Schnyder et al., 2000; Chapman 2016).

The herbage mass was similar (5400 kg DM ha⁻¹) among beef cattle systems (Table 3), as a consequence of the combination of canopy height maintained at ± 25 cm with nitrogen input, and the increased stocking rate of the more intensified systems, where herbage mass production was controlled by animal consumption. The accumulation rate (Table 3) was higher in the semi-intensive than the extensive, and both were similar to the intensive beef production system (Table 3). Nitrogen is the most limiting element for plant growth (Gastal and Lemaire, 2015), and the

application of this element promotes an increase in the herbage accumulation rate and consequently, an increase in the stocking rate.

Table 3. Herbage mass, percentage of leaf, stem, and dead material, leaf:stem ratio, accumulation rate, and tiller weight of marandu pastures under different levels of beef cattle intensification

Variable	Level of intensification			P-value	SEM*
	Extensive	Semi-Intensive	Intensive		
Herbage mass ¹	5150	5500	5550	0.07	0.44
Leaf ²	21 ^c	27 ^b	33 ^a	< 0.0001	0.01
Stem ²	16 ^b	22 ^a	25 ^a	< 0.0001	0.01
Leaf:Stem	1.44	1.48	1.55	0.70	0.02
Dead material ²	61 ^a	49 ^b	42 ^c	< 0.0001	0.06
Accumulation rate ³	76.1 ^b	117.1 ^a	104.8 ^{ab}	0.02	0.87
Tiller weight ⁴	0.88 ^a	0.79 ^b	0.72 ^c	< 0.0001	0.01

¹kg dry matter (DM) ha⁻¹, ²%, ³ kg DM ha⁻¹ dia⁻¹, ⁴grams (g), * standard error of the mean

The intensification of beef cattle systems increased the percentage of leaves and stems and decreased the amount of dead material (Table 3). The leaf percentage reflects the number of leaves and leaf appearance rate (Table 2), showing that there is more leaf quantity and leaf appearance as intensification of beef cattle systems increases.

The percentage of pseudostems was higher in the more intensified systems (Table 3). The pseudostem is the leaf support structure, so intensified beef production systems with greater leaf percentages also had greater pseudostem participation. Likely, Delevatti et al. (2019) also observed a higher proportion of stems in nitrogen-fertilized pastures.

The percentage of dead material decreased with the intensification of beef cattle systems (Table 3). The highest percentage of dead material in the extensive system is probably due to the higher number of senescent tissues adhered to the tiller from the dry season management. Furthermore, the carbon: nitrogen ratio (C:N) is known to act in the decomposition of dead material, in which the microorganisms use spare inorganic nitrogen in the soil to sustain their growth pushed by the availability of carbon (Addiscott, 2004). Thus, in pastoral production systems, soil nitrogen immobilization is predominant, explaining the decrease in dead material percentages with the intensification of the system in which nitrogen fertilizer was applied. In fact, a previous study observed that marandu grass pastures fertilized with nitrogen produced higher concentrations of N in the litter (7.9 ± 0.4 g kg⁻¹ organic matter, OM), resulting in a lower C:N ratio (34.0 ± 2.8) than in unfertilized marandu grass pastures (44.1 ± 2.8 ; Longhini et al., 2021), which might have favored the decomposition of dead material by microorganisms.

The leaf:stem ratio did not differ among treatments (Table 3) and exhibited compensation in the proportions of leaf, stem, and dead material that occurred in the canopy. In semi-intensive and intensive systems, the nitrogen inputs together with the increased stocking rate favored dead material decomposition and stimulated the appearance of new tissues (stem and leaves). Although the proportions of leaf, stem, and dead material differed among treatments (Table 3), the leaf:stem ratio was similar, indicating that a compensation between the photosynthetic and the support/translocation tissues might have occurred, irrespective of the intensification of beef cattle systems.

The weight of the tillers differed among treatments (Table 3), in which lighter tillers were observed in intensified beef cattle systems where fertilization occurred. According to Gomide and Gomide (2002) and Calvano et al. (2011), as new leaves appear (Table 2), increasing competition is established between tillers for light, nutrients (nitrogen), and water, generating a greater number of tillers per area. In the case of unfertilized pastures, such as extensive systems, tillers tend to be heavier to preserve the scarce resources of the environment. Sbrissia and Da Silva (2008) explained a compensation between the size and density of marandu grass tillers to maintain leaf area index and light interception of the canopy, driven by environmental factors (water, radiation, temperature, and nutrients) and management (Gastal and Lemaire 2015).

Intensification via nitrogen allowed the canopy structure to have a greater number and percentage of leaves, a consequence of the higher rate of leaf appearance. In the extensive system with stocking rate adjustments to maintain canopy height at 25 cm, cattle were allowed to have an ADG similar to the intensified levels, with an average of 0.880 kg (Lima et al., 2021; $P = 0.67$, SEM = 0.04).

3.4 Defoliation intensity and interval

Individual extended tillers were longer (27.5 cm; $P < 0.05$) in the semi-intensive, shorter (24.9 cm) in the extensive, and intermediate (26.8 cm) in the intensive beef cattle production systems. The extended tiller was longer in the semi-intensive compared to the extensive and intensive systems because the canopy was N-fertilized, which promoted plant tissue growth, but the stocking rate was moderate, which may have lowered the defoliation interval. However, intensive systems presented a high stocking rate and defoliation intensity of the extended tiller (Table 4), showing that nitrogen provides the recovery of the tiller length, but defoliation regulates its height. In the extensive system, although the stocking rate was lower compared to the others, the defoliation intensity was high, but with no nitrogen input, resulting in a shorter extended tiller. In fact, Boval et al. (2003) reported that tillers are larger in nitrogen-fertilized canopies; nonetheless, we observed that regarding intensification levels of beef cattle systems, both nitrogen and defoliation intensity dictated the size of the extended tiller.

The semi-intensive system presented lower defoliation intensity of the leaf and extended tiller, but with high visitation interval (Table 4), which indicates that the lower proportion of leaf and extended tiller removal was due to the increase in the nutritional value of the leaves (Boval et al., 2003) resulting from nitrogen fertilization (Delevatti et al., 2019) combined with the actual stocking rate (2.8 AU, intermediate between systems; Lemaire and Agnusdei, 2000), which allowed the animals to select only the most digestible portions of the leaf.

Table 4. Defoliation intensity of leaf, and extended tiller and visitation interval of marandu pastures under different levels of beef cattle intensification

Variable	Level of intensification			P-value	SEM*
	Extensive	Semi-Intensive	Intensive		
Leaf blade ¹	57 ^{ab}	53 ^b	58 ^a	0.002	0.01
Extended tiller ²	23 ^{ab}	22 ^b	26 ^a	0.002	0.007
Tiller visitation interval ³	18.7 ^a	15.5 ^b	14.4 ^b	< 0.0001	0.47

¹% of leaf blade removal, ²% of extended tiller removal, ³days, *standard error of the mean

Conversely, the intensive system had a higher proportion of foliar blade and extended tiller removal, and higher visitation. Although nitrogen fertilization of the intensive system might have increased the nutritional value of the pasture, the actual stocking rate (3.8 UA, the highest among intensification systems) may have implied the maximum grazing of digestible tissues of the pasture (Miqueloto et al., 2019). The extensive system had low visitation of tillers due to the low stocking rate (1.9 AU), but the high proportion of foliar blade and extended tiller removal was probably a way to compensate for the low nutritional value of the pasture (Benvenutti et al., 2016).

The intensification of the use of pastures for beef cattle production did not alter the canopy, and a higher rate of leaf appearance and a decrease in the leaf life span was observed, demonstrating the ability of the canopy to adapt to the imposed conditions. Recently, pasture researchers have started suggesting flexibility in management based on target heights, proposing heights in the lower and/or upper limits. These heights are within the resistance limits of tillers, that is, respecting their regenerative capacity, with care that the lower limit makes the plant more demanding in fertilization and soil fertility. Therefore, it will soon be necessary to study the morphogenic and structural variables of the canopy within this flexibility, and with less volatile nitrogen sources, in order to increase the stocking rate, and consequently, create better sustainability in the use of pastures.

3.5 Efficiency of nitrogen usage

In this study, the different levels of beef cattle intensification systems were implicated with the use of N-fertilizer as ammonium nitrate, at doses of 0, 75, and 150 kg N ha⁻¹ year⁻¹ for extensive, semi-intensive, and intensive systems, respectively. Thus, regarding the nitrogen usage of systems, we observed that nitrogen uptake increased with the intensification of beef cattle systems, i.e., with increasing N fertilization. Delevatti et al. (2019) reported that increasing doses of nitrogen (90, 180, and 270 kg N ha⁻¹) resulted in increased N uptake from 110 to 175 kg N ha⁻¹, using urea as a source of N fertilizer. Although urea has been reported to produce greater N-NH₃ volatilization losses than ammonium nitrate (Corrêa et al., 2021), when urea is applied with moderate rainfall, losses by volatilization are markedly decreased (Stott and Gourley, 2016), explaining the similarity between our results and those of Delevatti.

Table 5. Efficiency of nitrogen usage of marandu pastures under different levels of beef cattle intensification.

Variable	Extensive	Semi-Intensive	Intensive	P-value	SEM*
N recovery ¹	54.9 ^c	96.5 ^b	113.8 ^a	< 0.0001	0.0035
Efficiency of N usage ²	-	58.3 ^a	40.9 ^b	< 0.0124	0.1042
Nitrogen nutrition index	0.67 ^c	0.98 ^b	1.15 ^a	< 0.0001	0.0104

¹kg N ha⁻¹, ²g used kg⁻¹ N applied, *standard error of the mean

The NUE is differ between semi-intensive and intensive treatments (Table 5), which received N fertilization, indicating that moderate doses of nitrogen (± 75 kg of N ha⁻¹) were efficient in allowing tropical grasses to

develop without impairing animal production (Cardoso et al., 2020), or harming the environment by N leaching (Corrêa et al., 2021).

Regarding NNI (Table 5), values >1 indicate luxury consumption and <1 denote deficiency, in which $NNI = 1$ is the critical level (Lemaire and Meynard, 1997; Lemaire et al., 2008). The NNI increased as intensification increased ($P < 0.05$), observing luxury consumption in the semi-intensive and intensive systems, implying that moderate nitrogen doses in Brazilian pastures may result in greater efficiency, saving monetary and environmental resources. The NNI observed in the semi-intensive system (Table 5) approached 1, suggesting that management at 25 cm and adjustments in the stocking rate with moderate doses of nitrogen ($\pm 75 \text{ kg of N ha}^{-1}$) are suitable strategies to improve the management of marandu grass.

The use of nitrogen alters the number and weight of tillers (De Oliveira et al., 2020), and nitrogen sources such as sulfate and ammonium nitrate are less volatile when compared to urea (Corrêa et al., 2021). Therefore, it is necessary to study how these less volatile sources of N alter tillering dynamics. Failure to understand the behavior of the basic canopy unit, the tiller, will compromise the production of forage, the consumption by ruminants, and ultimately the sustainability of the pastoral ecosystem.

3.6 Implications

The morphogenic variables indicate that nitrogen accelerates the flow of appearance and expansion of leaf blades, meaning new leaves promptly available for consumption by cattle, making it possible to place more animals in the same area. If we observe the morphogenesis data and canopy structure of the extreme systems (extensive and intensive systems), we can infer that the intensive system did not harm the pasture, because there was no difference in the herbage mass, with less phyllochron, shorter lifespan of the leaf, higher accumulation rate, more leaves, and less dead material; therefore, the canopy renews itself in the face of intensification, as supported by the higher stocking rate. Conversely, an extensive system characterizes a lower stocking rate and excess dead material.

The extensive system, although named as such, has an inherent stocking rate adjustment control, and sets the initial parameters for grazing management for future fertilization, supplementation, irrigation, and other tools. The semi-intensive system results may lead us to conclude that it was undergrazed, because the phyllochron was intermediate, but the leaf lifespan did not differ from the extensive system, since even with greater fertilization, it showed the lowest value of defoliation intensity (leaf blade and extended profile), but an NNI close to the critical value. Moreover, the accumulation rate of the semi-intensive was numerically higher among all treatments, but with a lower rate of capacity than the intensive system, indicating that we could have allocated more animals to this treatment.

Prior to this experiment, pastures were managed to mimic an extensive scene of production with low inputs of fertilizers or gypsum. The results obtained in this study can be improved in future years by adopting management strategies that improve soil structure. Delevatti et al. (2019), in an adjacent area with high fertility, observed that the stocking rate increased from 3.3 AU without nitrogen fertilization, to 6.5 AU with $270 \text{ kg of N ha}^{-1}$. Otherwise, the low soil fertility in the studied area is more reliable for the scenario of livestock farming in Brazil, especially in the transition region from the Atlantic Forest to the Cerrado. The use of ammonium nitrate as a source of nitrogen is an

environmentally friendly alternative because its volatilization is much lower and its use efficiency by the canopy is high.

The management practices adopted here (height $\pm$ 25 cm, control of stocking rate, nitrogen fertilization) supported by the data of morphogenesis, canopy structure, and efficiency of nitrogen usage, demonstrate the impact of pasture intensification as an alternative to increase productivity and decrease pasture areas, sparing areas from deforestation in the face of criticism that pastoral activity should be intensified to preserve resources, according to Cardoso et al. (2020).

4. Conclusions

Pasture intensification alters both the morphogenic and structural variables of the marandu grass canopy. The marandu grass pasture ecosystem managed under continuous stocking and variable stocking rate at canopy height of $\pm$ 25 cm and fertilized with ammonium nitrate, is not harmed by the intensification of pasture usage, supported by analysis of morphogenic and structural variables of the canopy, combined with visitation and intensity of defoliation and efficiency of nitrogen use.

The nitrogen nutrition index is closest to the critical value (1) in semi-intensive beef cattle production systems. Intensive beef cattle production systems produce low phyllochron and leaf lifespans, high tiller visitation frequencies, and high stocking rates, i.e., better efficiency of pasture usage. The extensive system produces excessive forage losses due to dead material.

Author Contributions: Conceptualization, F.O., M.H.M da R.F., A.d.S.C., R.A.R. and A.C.R. ; data collection, F.O., E.E.D., G.A. do V., I.L.R., J.A.M.C. and L.O.L. ; data analysis, F.O. and E.B.M.; writing—original draft preparation, reviewing, and editing, F.O., A.d.S.C., E.B.M., M.H.M.d.R.F., and R.A.R.; funding acquisition and project administration, M.H.M.d.R.F. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by the Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp grant numbers 2017/18750-7)). The research and associated scholarships were also funded by the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) and the Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Data Availability Statement:

Acknowledgments: Special thanks are given to the members of UnespFor for their contributions during the trials and insightful scientific discussions. We thank the staff of the forage and pasture sector of São Paulo State University (Jaboticabal).

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- Addiscott, T.M., 2005. Nitrate, agriculture and the environment, first ed. CABI Publishing, Wallingford.
- Baldissera, T. C., Pontes, L. D. S., Barro, R. S., Giostri, A. F., Guera, K. C., Michetti, M., Carvalho, P. C. F., 2014. Phyllochron and leaf lifespan of four C4 forage grasses cultivated in association with trees. In: Proceedings of XXII International Grassland Congress. 22°, Kentucky. p. 1029-1030.
- Benvenuti, M. A., Pavetti, D. R., Poppi, D. P., Gordon, I. J., Cangiano, C. A., 2016. Defoliation patterns and their implications for the management of vegetative tropical pastures to control

intake and diet quality by cattle. *Grass Forage Sci.*, n. 3, p. 424-436. <https://doi.org/10.1111/gfs.12186>.

Boval, M., Archimède, H., Fleury, J., Xandé, A., 2003. The ability of faecal nitrogen to predict digestibility for goats and sheep fed with tropical herbage. *J. Agric. Sci.*, n. 4, p. 443-450. <https://doi.org/10.1017/S0021859603003265>.

Calvano, M. P. C. A., Euclides, V. P. B., Montagner, D. B., Lempp, B., Difante, G. D. S., Flores, R. S., Galbeiro, S., 2011. Tillering and forage accumulation in Marandu grass under different grazing intensities. *Rev. Ceres*, n. 6, p. 781-789. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2011000600015>.

Chapman, D. F., 2016. Using ecophysiology to improve farm efficiency: Application in temperate dairy grazing systems. *Agriculture*, n. 2, <https://doi.org/10.3390/agriculture6020017>.

Cardoso, A. D. S.; Barbero, R. P.; Romanzini, E. P.; Teobaldo, R. W.; Ongaratto, F.; Fernandes, M. H. M. R.; Reis, R. A., 2020. Intensification: A Key Strategy to Achieve Great Animal and Environmental Beef Cattle Production Sustainability in Brachiaria Grasslands. *Sustainability*, n. 16. doi:10.3390/su12166656

Carrère, P., Louault, F., Soussana, J. F., 1997. Tissue turnover within grass-clover mixed swards grazed by sheep. Methodology for calculating growth, senescence and intake fluxes. *J. Appl. Ecol*, n. 2, p. 333-348. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n5p3231>

Corrêa, D.C.D., Cardoso, A.S., Ferreira, M.R., Siniscalchi, D., Toniello, A.D., Lima, G.C., Reis, R.A., Ruuggieri, A.C., 2021. CH₄, CO₂ and N₂O emissions from soil are affected by the sources and doses of N in tropical pastures?. *Atmosphere*, 12, x. <https://doi.org/10.3390/xxxxx>

Delevatti, L.M., Cardoso, A.S., Barbero, R.P., Leite, R.G., Romanzini, E.P., Ruggieri, A., Reis, R.A., 2019. Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality, and animal performance in a tropical pasture. *Sci. Rep.* 9, <http://doi:10.1038/s41598-019-44138-x>.

De Oliveira, D. D., de Oliveira Fernandes, F. H., Nogueira, H. C. R., de Carvalho, A. N., Santos, M. E. R., Borges, G. S., Borges, B. G., 2020. Tillering and characterisation of tillers on marandu palisadegrass deferred and fertilised with nitrogen. *Semin Ciênc Agrár*, 41 (2), <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n2p621>

Domiciano, L. F., dos Santos, M. L., Boote, K. J., dos Santos, P. M., Pereira, D. H., Pedreira, B. C., 2020. Physiological responses and forage accumulation of Marandu palisadegrass and

Mombaça guineagrass to nitrogen fertilizer in the Brazilian forage-based systems. *Grassl. Sci.* <https://doi.org/10.1111/grs.12291>

Dubeux Jr, J. C. B., Sollenberger, L. E., Muir, J. P., Tedeschi, L. O., dos Santos, M. V., da Cunha, M. V., DiLorenzo, N., 2017. Sustainable intensification of livestock production on pastures. *Arch. Latino Am. Prod. Anim.* 25(3-4).

Duru, M., Ducrocq, H., 2000. Growth and senescence of the successive grass leaves on a tiller. Ontogenic development and effect of temperature. *Anna Bot.* n. 5. <https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1116>.

Fagundes, J. L., Fonseca, D. M. D., Mistura, C., Morais, R. V. D., Vitor, C. M. T., Gomide, J. A., Costa, L. T. D., 2006. Características morfogênicas e estruturais do capim-braquiária em pastagem adubada com nitrogênio avaliadas nas quatro estações do ano. *R. Bras. Zootec.*, n. 1, p. 21-29. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982006000100003>.

Gastal, F., Lemaire, G., 2015. Defoliation, Shoot Plasticity, Sward Structure and Herbage Utilization in Pasture: Review of the Underlying Ecophysiological Processes. *Agriculture*, n. 4, p. 1146-117. <https://doi.org/10.3390/agriculture5041146>.

Gastal, F., Lemaire, G., 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *J. Exp. Bot.*, n. 370, p. 789-799. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.370.789>.

Gastal, F., Lemaire, G., 1988. Study of a tall fescue sward under nitrogen deficiency conditions. In: *Proceedings of General Meeting of the European Grassland Federation*. 12°, Dublin.

Gimenes, F. A. M A., Barbosa, H. Z., Gerdes, L., Giacomini, A. A., Batista, K., de Mattos, W. T., de Vasconcellos Miguel, A. N., 2017. The utilization of tropical legumes to provide nitrogen to pastures: A review. *Afr. J. Agric. Res.*, n. 2, p. 85-92. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11893>.

Gomes, L.M.; Ongaratto, F.; Velludo, I.M.; Azenha, M.V.; Malheiros, E.B.; Ruggieri, A.C., 2019. Morfogênese e número de folhas de capim marandu manejado sob distintas alturas de dossel. In: *Proceedings of Congresso Brasileiro de Zootecnia (Zootec)*. 29°, Uberaba.

Gomide, C. A. D. M., Gomide, J. A., Martinez y Huaman, C. A., Paciullo, D. S. C., 2002. Fotossíntese, reservas orgânicas e rebrota do Capim-Mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) sob diferentes intensidades de desfolha do perfilho principal. *R. Bras. Zootec.*, n. 6, p. 2165-2175. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982002000900003>.

Hoffmann, A., Berça, A.S., Cardoso, A.S., Fonseca, N.V.B., Silva, M.L.C., Leite, R.G., Ruggieri, A.C., Reis, R.A., 2021. Does the Effect of Replacing Cottonseed Meal with Dried Distiller's Grains on Nellore Bulls Finishing Phase Vary between Pasture and Feedlot? *Animals*, n. 1, <https://doi.org/10.3390/ani11010085>

Klingman, D. L., Miles, S.R., Mott, G.O., 1943. The cage method for determining consumption and yield of pasture herbage. *J. Soc. Agron.*, n. 9, p. 739-746. <https://doi.org/10.2134/agronj1943.00021962003500090001x>.

Lemaire, G., Jeuffroy, M. H., Gastal, F., 2008. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage: Theory and practices for crop N management. *Eur. J. of agronomy*, n. 4, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.01.005>.

Lemaire, G.; Agnusdei, M., 2000. Leaf tissue turnover and efficiency of herbage utilization, in: Lemaire, G.; Hodgson, J.; Moraes, A. ; Carvalho, P. C. F.; Nabinger, C. (Eds), *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. CAB Publishing, Wallingford, p. 265-288.

Lemaire, G.; Meynard, J. M., 1997. *Diagnosis on the nitrogen status in crops*, first ed. Springer, Verlag.

Lemaire, G.; Chapman, D, 1996. Tissue flows in grazed plant communities. In: Hodgson, J.; Illius, A. W. (Eds.), *The ecology and management of grazing systems*. CAB International, New York, p. 5-36.

Lima, L.O.; Ongaratto, F.; Dallantonia, E.E.; Leite, R.G.; Argentini, G.P.; Fernandes, M.H.M.R.; Reis, R.A.; Malheiros, E.B., 2021. Environmental and productive impact of Nellore young bulls grazing tropical pasture fertilized with increasing nitrogen doses. *Tropical Animal Health and Production*. In press.

Longhini, V.Z., Cardoso, A.S., Berça A.S., Boddey R.M., Reis R.A., Dubeux, J.C.B. Jr., Ruggieri, A.C., 2021. Could forage peanut in low proportion replace N fertilizer in livestock systems? *PLoS ONE* 16(3): e0247931. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247931>

Martuscello, J. A., Fonseca, D. M. D., Nascimento Júnior, D. D., Santos, P. M., Ribeiro Junior, J. I., Cunha, D. D. N. F. V. D., Moreira, L. D. M., 2005. Características morfogênicas e estruturais do capim-xaraés submetido à adubação nitrogenada e desfolhação. *R. Bras. Zootec.*, v. 5, p. 1475-1482. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982005000500007>.

Martuscello, J. A., Fonseca, D. M. D., Nascimento Júnior, D. D., Santos, P. M., Cunha, D. D. N. F. V. D., Moreira, L. D. M., 2006. Características morfogênicas e estruturais de capim-massai

submetido a adubação nitrogenada e desfolhação. R. Bras. Zootec., v. 3, p. 665-671. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982006000300006>.

Miqueloto, T., Medeiros Neto, C., Martins, C. D. M., Barbosa, R. A., Da Silva, S. C.; Sbrissia, A. F., 2020. Herbage utilisation efficiency of continuously stocked pastures during periods of restricted pasture growth. ACTA Agr Scand B-S P, n. 3. <https://doi.org/10.1080/09064710.2019.1699157>.

Ongaratto, F., Rocha, M.G., Pötter, L., Bergoli, T.L., Severo, P.O., Dutra, J.S., Machado, J.M., Dotto, L.R., Martini, A.C., Oliveira, E.P., 2020. Canopy structure and morphogenesis of Italian ryegrass intercropped with red clover under cutting intervals determined by thermal sum. Cienc. Rural, Santa Maria, v. 50, epub. <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190989>.

Paiva, A. J., Silva, S. C. D., Pereira, L. E. T., Guarda, V. D. Á., Pereira, P. D. M., Caminha, F. O., 2012. Structural characteristics of tiller age categories of continuously stocked marandu palisade grass swards fertilized with nitrogen. R. Bras. Zootec. n. 1, p. 24-29. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982012000100004>.

Paciullo, D. S. C., Gomide, C. D. M., Castro, C. R. T., Maurício, R. M., Fernandes, P. B., Morenz, M. J. F., 2017. Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. Grass Forage Sci., v. 3, p. 590-600. <https://doi.org/10.1111/gfs.12264>.

Pereira, J. C., Gomes, F. K., Oliveira, M. D., Lara, M. A., Bernardes, T. F., Casagrande, D. R., 2017. Defoliation management affects morphogenetic and structural characteristics of mixed pastures of brachiaria grass and forage peanut. Afr. J. Range For. Sci., n. 1, p. 13-19. <https://doi.org/10.2989/10220119.2017.1315960>.

Pereira, O. G., Rovetta, R., Ribeiro, K. G., Santos, M. E. R., Fonseca, D. M. D., Cecon, P. R., 2011. Características morfogênicas e estruturais do capim-tifton 85 sob doses de nitrogênio e alturas de corte. R. Bras. Zootec., v. 9, p. 1870-1878. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982011000900005>.

Pontes-Prates, A., Carvalho, P.C. F., Laca, E.A., 2020. Mechanisms of Grazing Management in Heterogeneous Swards. Sustainability 2020, n. 12, 8676. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12208676>

Ruggieri, A. C.; Cardoso, A. D. S.; Ongaratto, F.; Casagrande, D. R.; Barbero, R. P.; Brito, L. D. F.; Reis, R. A, 2020. Grazing Intensity Impacts on Herbage Mass, Sward Structure, Greenhouse Gas Emissions, and Animal Performance: Analysis of Brachiaria Pastureland. Agronomy, 11, DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10111750>.

Sales, E. C. J., Dos Reis, S. T., Júnior, V. R. R., Monção, F. P., Matos, V. M., Pereira, D. A., Da Silva Antunes, A. P., 2014. Características morfogênicas e estruturais da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a diferentes doses de nitrogênio e alturas de resíduos. *Semina: Ciênc. Agrár.*, Londrina, n. 5. DOI: 10.5433/1679-0359.2014v35n5p2673.

Santos, M. E. R.; Fonseca, D. M. D.; Braz, T. G. D. S.; Silva, S. P. D.; Gomes, V. M.; Silva, G. P., 2011. Características morfogênicas e estruturais de perfilhos de capim-braquiária em locais do pasto com alturas variáveis. *R. Bras. Zootec.*, n. 3, p. 535-542. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982011000300010>.

Santos, A. B. D., Quadros, F. L. F. D., Soares, L. S. U., Rocha, M. G. D., Machado, J. M., & Martini, A. P. M., 2013. Morphogenetic characteristics of natural grasses of South Brazil under nitrogen levels. *Ciência Rural*, n. 3, p. 503-508. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782013000300021>.

Santana, S. S., Brito, L.F., Azenha, M.V., Oliveira, A.A., Malheiros, E.B., Ruggieri, A.C., Reis, R.A., 2017. Canopy characteristics and tillering dynamics of Marandu palisade grass pastures in the rainy-dry transition season. *Grass Forage Sci.* n. 2., p. 261-270. <https://doi.org/10.1111/gfs.12234>.

Salvador, P. R., Pötter, L., Rocha, M. G., Hundertmarck, A. P., Sichonany, M. J. O., Amaral neto, L. G., Moterle, P. H., 2016. Sward structure and nutritive value of Alexandergrass fertilized with nitrogen. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, n. 1., p. 385-395. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201620150180>.

Sbrissia, A. F., Silva, S. C. D., 2008. Compensação tamanho/densidade populacional de perfilhos em pastos de capim-marandu. *R. Bras. Zootec.*, n. 1, p. 35-47. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982008000100005>.

Schnyder, H.; Schäufele, R.; De Visser. R.; Nelson, C. J., 2000. An integrated view of C and N uses in leaf growth zones of defoliated grasses, in: Lemaire, G.; Hodgson, J.; Moraes, A. ; Carvalho, P. C. F.; Nabinger, C. (Eds), *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. CAB Publishing, Wallingford, p.41-60.

Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys, 2 ed, US Department of Agriculture, 1999.

Stott, K. J., Gourley, C. J., 2016. Intensification, nitrogen use and recovery in grazing-based dairy systems. *Agric. Syst.*, v. 144, p. 101-112. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.01.003>.

Taylor, G, McDonald A. J. S, Stadenberg I, Freer-Smith PH., 1993. Nitrate supply and the biophysics of leaf growth in *Salix viminalis*. *J. Exp. Bot.* n. 1, p. 155–164. <https://doi.org/10.1093/jxb/44.1.155>.

Trapani, N., Hall, A.J., 1996. Effects of leaf position and nitrogen supply on the expansion of leaves of field-grown sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Plant Soil*, n. 2, p. 331–340. <https://doi.org/10.1007/BF00010462>.

Vos, J., Biemond H., 1992. Effects of nitrogen on the development and growth of the potato plant. I. Leaf appearance, expansion growth, life span of leaves and stem branching. *Ann. Bot.* n. 1, p. 27–35. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a088435>.

Vos, J., Biemond, H., Struik P.C., 1996. Dynamics of change of leaf attributes of brussels sprouts in response to switches between high and low supply of nitrogen. *Neth. J. Agri. Sci.*, n. 1, p. 31–42. <https://doi.org/10.18174/njas.v44i1.556>.

CHAPTER 3

O artigo a seguir está redigido conforme normas de publicação do Periódico: Agriculture, Ecosystems and Environment (exceto o idioma)

Interações entre o tipo de excreta e fertilizante nitrogenado sobre as emissões de gases de efeito estufa e amônia em pastagens

Resumo: O Painel Intragovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) estipula, para os cálculos de inventários de emissão de gases do efeito estufa do Brasil, dados *default*, sem distinguir fezes e urina e não saber se a combinação de excretas e nitrogênio (N) tem caráter aditivo ou não. Para elucidar esse problema, tivemos por objetivo avaliar o fator de emissão de N_2O , CH_4 e a volatilização da NH_3 para a combinação de fezes ou urina com doses de nitrato de amônio (N). Foi conduzido um experimento, por dois anos consecutivos, durante o período das águas e das secas, em área Latossolo Vermelho Amarelo e dossel de *Urochloa brizhanta* cv. Marandu, nas condições de clima tropical, Jaboticabal - SP. Para avaliar a emissão de gases do efeito estufa foram constituídos oito tratamentos, sendo: Fezes, Fezes + 75 kg de N $ha^{-1} ano^{-1}$, Fezes + 150 kg de N $ha^{-1} ano^{-1}$, Urina, Urina + 75 kg de N $ha^{-1} ano^{-1}$, Urina + 150 kg de N $ha^{-1} ano^{-1}$, 75 kg de N $ha^{-1} ano^{-1}$ e Basal. Foi utilizado delineamento em Blocos Casualizados (duplo bloqueio = ano e declividade do terreno), com cinco repetições. O fator de emissão de N_2O foi maior ($P < 0,05$) para Urina (0,60 %), intermediário para Fezes (0,22 %) e menor no 75 kg de nitrato $ha^{-1} ano^{-1}$ (0,17 %) e tem efeito linear aditivo ($P < 0,05$) para a combinação de fezes ou urina, com nitrato de amônio. O fator de emissão de CH_4 de fezes (0,18 kg $CH_4 animal^{-1} ano^{-1}$) foi similar ($P > 0,05$) para os três tratamentos com fezes. E a perda de nitrogênio por NH_3 volatilizada tem efeito linear decrescente ($P < 0,05$) para a combinação de fezes ou urina, com nitrato de amônio. Assim os fatores de emissão, para condições de clima tropical, são menores que os reportados pelo IPCC e a combinação de fezes ou urina com nitrato de amônia promove menor perda de nitrogênio, na forma de NH_3 .

Palavras-chave: CO_2 , fator de emissão, CH_4 , nitrato de amônio, N_2O , solos tropicais, *Urochloa*

1. Introdução

Os ecossistemas pastoris são vitais para a produção de alimentos no mundo devido aos serviços ecossistêmicos prestados: suprimento, contribuição, regulador e cultural (Sanderson; Liebig, 2020), contudo emitem óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2), os quais são apontados com os principais gases do efeito estufa (GEE) na produção de bovinos de corte. Além disso, a atividade pecuária também é responsável pela degradação de solos, competir na produção de alimentos para humanos e transformar áreas preservadas em monoculturas. No entanto estudos com produção de ruminantes desenvolvidos por Cohn et al. (2014), Barbero et al. (2015), Cardoso et al. (2016), Silva et al. (2016), Florindo et al. (2017), White e Hall (2017) demonstram que há alternativas para a mitigação dos GEE.

Os países signatários do protocolo de Kyoto devem reportar suas emissões de gases de forma obrigatória ou facultativa. Para a realização destes inventários foi desenvolvida a metodologia do IPCC órgão acessor da ONU para as mudanças climáticas. O fator de emissão de N_2O e CH_4 para excretas bovinas (fezes + urina) e adubos nitrogenados preconizado pelo Painel Intragovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) pode ser utilizado para calcular os inventários de GEE de cada País. Entretanto, para o Brasil esses cálculos são com dados *default*, ou seja, não representa a real situação da emissão das excretas e fertilizantes submetidos a variações de solo e clima regionalizados, com o agravante de não ser separado para fezes e urina, o que pode estar superestimando a emissão de GEE. Os fatores de emissão *default* de acordo com o guia do IPCC (2019) são de 2 % de N excretado emitido na forma de N_2O [quantidade de nitrogênio nas excretas (fezes + urina)] e 1 % de perdas como N_2O para fertilizantes nitrogenados, já o fator de emissão do CH_4 de fezes é $1 \text{ kg } CH_4 \text{ animal}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Escassos são os trabalhos que calcularam o fator emissão de N_2O em clima tropical. Simon et al., (2018) é um dos trabalhos mais recentes com o tema e observou que o fator de emissão da urina é de 0,34 % e das fezes de 0,11 %, valores que se somados representam menos de $\frac{1}{4}$ do valor indicado/utilizado pelo IPCC. Cardoso et al., (2019) observaram os seguintes fatores de emissão: 1,02 % (urina), 0,84 % (fezes + ureia) e 0,36 % (fezes),

para urina também foram observados valores de 0,35 % (Sordi et al., 2014) e 0,26 % (Mazzetto et al., 2014), todos em clima tropical.

O guia IPCC estipula como fator de emissão para adubos nitrogenados sintéticos o valor de 1 % do nitrogênio (N) aplicado no solo, com variação de 0,3 a 3 %. Em experimento de longo prazo, com dossel de azevém (*Lolium multiflorum*) + Aveia (*Avena sativa*) e feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) no verão, Piva et al., (2019) calcularam o fator de emissão para duas doses de nitrogênio (ureia) 75 e 150 kg ha⁻¹, obtendo valores de 1,7 e 1,1 % respectivamente, ou seja, dentro do estipulado. Enquanto o estudo de Cardoso et al. (2019) confirmou o fator de emissão do IPCC de 1% para fertilizantes nitrogenados (ureia).

Já o fator de emissão de CH₄ medido por Cardoso et al., (2019) em latossolos com *Urochloa brizhanta* cv. Marandu, são de 0,79 e 0,18 kg CH₄ animal⁻¹ ano⁻¹ para estação das águas e estação das secas, respectivamente, com valor anual médio de 0,54 kg CH₄ animal⁻¹ ano⁻¹. No Brasil Mazzetto et al., (2014) observou fatores de emissão de 0,02 kg CH₄ animal⁻¹ ano⁻¹ (inverno) e 0,05 kg CH₄ animal⁻¹ ano⁻¹ (verão) em região subtropical, em região tropical observou 0,06 kg CH₄ animal⁻¹ ano⁻¹ (inverno) e 0,10 kg CH₄ animal⁻¹ ano⁻¹ (verão).

Outra importante fonte de perda de N para atmosfera é a volatilização de amônia (NH₃). Em estudo conduzido por Corrêa et al., (2021) com três fontes de N (ureia, nitrato de amônio e sulfato de amônio), em três níveis (90, 180 e 270 kg de N ha⁻¹), observou-se que as perdas por volatilização de NH₃ entre os fertilizantes avaliados, em ordem decrescente foram: ureia > nitrato de amônio > sulfato de amônio. As perdas de N na forma de NH₃ aumentaram linearmente com a dose de N aplicada, sendo: ureia 13,9; 24,4 e 44,6 %; nitrato de amônio de 2,0; 3,2 e 7,7 %; nas doses de 90, 180 e 270 kg N ha⁻¹, respectivamente, surgindo a hipótese que a utilização de nitrato pode ser benéfica, visando a sustentabilidade do ecossistema pastoril.

Já foi reportado por Hyde et al., (2016), Chadwick et al., (2018), Marie et al., (2020), Zhu et al., (2021) a menor emissão de N₂O e o comportamento de emissão aditivo da interação excreta e N, para climas temperados. Também é demonstrado menor emissão de CH₄ (Cardoso et al., 2019) para fezes e urina e a menor volatilização de NH₃ (Corrêa et al., 2021) para distintas fontes e

doses de N em solos tropicais. No entanto, ainda são raros (Marie et al. 2020 é uma exceção) dados de fator de emissão na interação entre fezes ou urina e combinações com adubo nitrogenado, em condições de clima tropical.

Há poucos estudos que demonstram os fatores de emissão de N_2O , CH_4 , NH_3 volatilizada para fezes, urina e doses de nitrogênio (em condições de clima tropical), tornando-se necessário à elucidação dessa lacuna, a fim de se obter fator de emissão fidedigno. Ao calculá-lo pode-se responder à pergunta de pesquisa: qual o fator de emissão de N_2O , CH_4 para fezes ou urina, combinadas com nitrato de amônio nas condições de clima tropical?

O objetivo desse trabalho foi calcular o fator de emissão de N_2O , CH_4 e a volatilização da NH_3 e os fluxos de N_2O , CH_4 e CO_2 para fezes ou urina bovina, combinados com doses de nitrato de amônio, nas condições de clima tropical e identificar as variáveis chaves que explicam a produção de cada gás em pastos de capim Marandu.

2. Material e métodos

2.1 Área

O experimento foi conduzido, durante dois ciclos de águas e seca, 2018/2019 e de 2019/2020, para calcular as emissões de N_2O , CH_4 , CO_2 e a volatilização da NH_3 com diferentes excretas: fezes ou urina, combinados com doses de nitrato de amônio. As coletas ocorreram no laboratório de Bovinocultura de Corte do departamento de Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (FCAV - UNESP), campus de Jaboticabal. Localizada na região fisiográfica do Planalto Ocidental Paulista, coordenadas 21°15'22"S, 48°18'08"O, com altitude de 595m acima do nível do mar. O clima da região é tropical de altitude (Aw), conforme classificação de Köppen e o solo é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (Dos Santos et al., 2018), a *Urochloa brizantha* cv. Marandu (capim Marandu) já está estabelecida na área desde 2005.

O solo da área experimental foi coletado, a 20 cm de profundidade, no início do período experimental. Os valores médios das características químicas do solo na área experimental são: P resina: 11,5 mg/dm³; MO: 28,5 g/dm³; pH

CaCl₂: 5,3; K⁺: 4,6 mmolc/dm³; Ca²⁺: 24 mmolc/dm³; Mg²⁺: 13,5 mmolc/dm³; H+Al: 26 mmolc/dm³; SB: 42,5 mmolc/dm³; CTC: 68,5 mmolc/dm³; V: 62 % e os valores médios das características físicas do solo são: argila: 27,5 %; silte: 6 %; areia total: 66 %, sendo 30 % de grossa e 36 % de fina.

2.2 Tratamentos

Oito tratamentos foram constituídos pela combinação de fezes ou urina com doses de nitrato de amônio (Tabela 1). A adubação nitrogenada foi feita utilizando 75 ou 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, a fonte utilizada foi o nitrato de amônio, o qual possui 32 % de nitrogênio. Foi aplicado 1,6 kg de fezes e 1 litro de urina, nos respectivos tratamentos, conforme Lessa et al. (2014).

Tabela 1 - Tratamentos para avaliação de N₂O, CH₄, CO₂, NH₃ volatilizada em Latossolo Vermelho Amarelo em região de transição Mata Atlântica e Cerrado durante os anos de 2019 e 2020

	Dose de nitrato de amônio (kg de N ha ⁻¹ ano ⁻¹)		
	0	75	150
Fezes	F	F+75N	F+150N
Urina	U	U+75N	U+150N
Solo	Basal	75N	-

2.3 Disposição do experimento e período de coleta

A coleta dos GEE foi realizada em uma área de 2.195 m², a qual foi vedada do acesso de animais, em setembro de 2018. O dossel dessa área foi mantido na altura de 25 cm, com corte. Os tratamentos foram aplicados em três áreas distintas:

1. Câmara estática padronizada (Cardoso et al., 2019) para coletar gás e posteriormente quantificar N₂O, CH₄ e CO₂;
2. Área de 1 m² de solo para quantificação de espaço poroso, umidade, amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻);
3. Câmara semi-estática aberta (Araújo et al., 2009) para NH₃

As coletas de gás e solo foram feitas entre as seguintes datas:

1° Ano - 18/02/2019 (implantação) a 17/12/2019 (término)

A) Águas: 19/02/2019 – 16/04/2019

B) Seca: 30/04/2019 – 17/12/2019

2° Ano - 20/01/2020 (implantação) a 13/10/2020 (término)

A) Águas: 21/01/2020 – 17/03/2020

B) Seca: 21/04/2020 – 13/10/2020

A implantação e o término do experimento para coleta de NH_3 volatilizada foi nas seguintes datas:

A) 18/03/2019 – 08/04/2019

B) 17/02/2020 – 09/03/2020

2.4 Coleta de fezes e urina bovina

Foram coletadas fezes e urina de bovinos de corte, imediatamente após a excreção, de um experimento paralelo e simultâneo (durante o período das águas) que avaliava recria de tourinhos em distintos níveis de intensificação de utilização dos pastos (Extensivo: zero de nitrogênio; Semi-intensivo: 75 kg de nitrato de amônio $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$; Intensivo: 150 kg de nitrato de amônio $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$). Este experimento foi avaliado em dois períodos de águas, tendo início 10/12/2019 e 09/12/2020, sendo a coleta de fezes e urina realizada no mês de janeiro (para os dois anos de avaliação), já no segundo período experimental. As fezes e urina bovinas do Extensivo foram aplicadas no tratamento F e U, do Semi-intensivo aplicadas no F+75N e U+75N, do Intensivo aplicadas no F+150N e U+150N.

O material foi armazenado em refrigerador a temperatura de $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Posteriormente estas amostras foram descongeladas e aplicadas nas câmaras, de acordo com os respectivos tratamentos. Foi quantificado o teor de nitrogênio de fezes e urina por método de Kjeldahl (Embrapa, 2017), o pH da urina foi aferido por peagâmetro digital e o teor de carbono orgânico das fezes pelo de método volumétrico de dicromato de potássio (MAPA, 2017). A relação carbono

e nitrogênio foi obtida dividindo o teor de carbono pela soma de nitrogênio de fezes + urina. As características das excretas são apresentadas a seguir (Tabela 2).

Tabela 2 - Caracterização de matéria seca das fezes (MSF), carbono das fezes (CF), nitrogênio (N) de fezes e urina, pH da urina e relação de carbono e nitrogênio (C/N) de excretas de tourinhos Nelore em pasto de capim Marandu sob distintos níveis de intensificação de utilização do pasto

Variáveis	Tratamentos		
	Extensivo*	Semi-intensivo**	Intensivo***
MSF ¹	15,5	15,5	14,8
CF ²	437,7	450,9	431,6
N – fezes ³	10,9	11,8	12,6
N – urina ⁴	1,6	1,8	0,7
pH - urina	7,7	8,1	8,2
C/N	34,9	33,1	32,1

*Zero de nitrogênio; **75 kg de nitrato de amônio (32%N) ha⁻¹ ano⁻¹; ***150 kg de nitrato de amônio (32%N) ha⁻¹ ano⁻¹; ¹%; ² g/kg de Carbono; ³g/kg; ⁴g/L.

2.5 Avaliação das emissões de N₂O, CH₄ e CO₂

As emissões diretas de N₂O, CH₄ e CO₂ foram medidas utilizando câmaras estáticas padronizada (Cardoso et al., 2019) constituídas de uma base de metal medindo 0,6 x 0,4 x 0,15 cm. As câmaras foram inseridas a ± 7 cm de profundidade e a parte superior foi fechada com caixa plástica de 24 cm de altura, revestida por isolante térmico (espessura 8 mm).

As amostras de gás, após a imposição dos tratamentos, foram coletadas três vezes na primeira semana, duas vezes na segunda, terceira e quarta semana e uma vez por semana na quinta, sexta, sétima e oitava semana. De maio de 2019 a dezembro de 2019 e março de 2020 a outubro de 2020, eram coletadas amostras a cada quinze dias. As amostragens foram realizadas entre 9 e 10 h da manhã, como preconizado por Alves et al. (2012). As câmaras foram fechadas por 40 min e amostras de ar foram coletadas nos tempos 0, 20 e 40 min. As coletas foram realizadas com seringa de polipropileno de 30 mL. As temperaturas do solo e do ar, no interior e fora da câmara, foram medidas usando termômetros digitais. As amostras de ar foram transferidas para frascos

de cromatografia pré-evacuados (30 mL) e em seguida a concentração do gás foi determinada por cromatografia gasosa.

As amostras foram analisadas em cromatógrafo gasoso (Shimadzu Green House Gas Analyzer GC-2014; Kyoto, Japan) com as seguintes condições para mensurar N₂O: injetor a 250 °C, coluna a 80 °C, usando N₂ como gás de arraste (30 mL min⁻¹), e o detector de captura elétrica a 325 °C. Para o CH₄: usando H₂ como gás de arraste (30 mL min⁻¹), detector de ingestão de chama a 280 °C.

No período de incubação os fluxos dos gases (mg N-N₂O ou C-CH₄ m⁻² h⁻¹) foram calculadas em função da mudança da concentração do gás no interior da câmara, pela seguinte equação: Fluxo do gás = $\delta_{\text{gas}}/\delta T \times M/V_m \times V/A$; onde, δ_{gas} é o aumento na concentração do gás no período de incubação ($\mu\text{L L}^{-1}$); δT é o período de incubação (h); M é a massa molar do gás em N e C; V_m é o volume molecular corrigido pela temperatura e pressão no momento de amostragem (L mol^{-1}); V é o volume da câmara (m^3); e a área que a câmara cobre (m^2).

Os fluxos horários, dos três gases, foram multiplicados por 24 obtendo as emissões diárias e então foram integradas através de interpolação linear obtendo-se a emissão cumulativa. Os fluxos negativos foram incluídos nos cálculos para evitar enviesamento nos resultados (Van Der Weerden et al., 2016). O fator de emissão direto (EF) N₂O-N emitido em função da porcentagem de N aplicado foi calculado por: $\text{EF} = ((\text{N-N}_2\text{O tratamento} - \text{N-N}_2\text{O tratamento controle}) / \text{N aplicado}) \times 100 \%$, respectivamente em g N m⁻². As emissões cumulativas de CH₄ (g C-CH₄ kg fezes seca) foram multiplicadas pela produção fecal anual de um animal adulto para obter o fator de emissão de CH₄ originários das fezes ($\text{kg CH}_4 \text{ cabeça}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). As emissões cumulativas de CO₂ foram calculadas em tonelada hectare ano (T ha^{-1}).

2.6 Avaliação das perdas de N por volatilização de amônia

Foram avaliadas as perdas de N na forma de NH₃ volatilizada, com fezes ou urina e diferentes doses de nitrato de amônio. As avaliações foram feitas utilizando câmara de coleta de NH₃ volatilizada descrita por (Araújo et al., 2009). As coletas foram realizadas no 1°, 3°, 5°, 9°, 14° e 21° dias, após a

imposição dos tratamentos, sempre às 17 h. Para a determinação de volatilização da NH_3 foi utilizada uma câmara coletora de NH_3 SALE (câmara estática Semiaberta livre) confeccionada a partir de garrafas PET (plástico transparente de politereftalato de etileno), com capacidade para 2 L e área de $0,008 \text{ m}^2$. No interior da garrafa PET, foi feito o sistema absorvedor de NH_3 , constituído de uma lâmina de espuma de poliuretano ($0,017 \text{ g cm}^{-3}$) com 3 mm de espessura, 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento, umedecidas com solução ácida, suspensa verticalmente com um fio rígido de 1,5 mm de diâmetro.

Em um frasco de plástico com capacidade para 50 mL, suspenso pela extremidade inferior do fio rígido, foram adicionados 10 mL de solução de H_2SO_4 , 1 mol dm^{-3} + glicerina (2 % v/v). Na instalação, a lâmina de espuma foi mantida com a extremidade inferior dentro do frasco de 50 mL, de forma a evitar respingos da solução ácida no substrato, e a outra extremidade da espuma foi presa à parte superior do fio rígido, para mantê-la na posição vertical. A câmara ficou suspensa a aproximadamente 1,5 cm da superfície do solo. A determinação do N- NH_3 retido na espuma foi realizada por destilação e titulação (método de Kjeldahl; Embrapa, 2017).

2.7 Variáveis auxiliares

A densidade do solo foi medida no início do experimento, novembro de 2018. Amostras (10 cm diâmetro x 5 cm altura) foram secas a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ por 72 h e então secas obtendo a densidade do solo (Mg m^{-3}). Amostras de solos foram coletadas na profundidade de 0 - 10 cm (área de 1 m^2) cm para determinação da umidade do solo pelo método gravimétrico, concentração de amônio e nitrato. Essas amostras coletas nos mesmos dias de coleta de gás, sempre às 7 h da manhã. Aproximadamente 10 g de solo foram misturados em 50 mL, 2 M de KCl e agitadas por 30 min a 240 RPM e filtradas. A solução filtrada foi congelada até a determinação de N-nitrato (mais N-nitrito), e N-amônio. A reação de Berthelot (Forster, 1995) e redução pelo cloreto de vanádio-III (Doane; Horwath, 2003) foram utilizados para determinação de NH_4^+ e NO_3^- , respectivamente. O restante do solo foi seco a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ por 72 h, para determinar a umidade gravimétrica. O espaço poroso do solo saturado com

água (% EPSA) foi calculado usando a densidade do solo e a densidade das partículas ($2,65 \text{ g cm}^{-3}$). A precipitação diária, temperatura do ar mínima, máxima e média, precipitação foram obtidas da estação agrometeorológica da FCAV – UNESP do Departamento de Engenharia e Ciências Exatas, localizada 500 m distante da área de avaliação.

2.8 Análise estatística

O experimento foi avaliado em dois anos consecutivos, segundo o Delineamento em Blocos Casualizados (duplo bloqueio: blocos = declividade do terreno e ano), com oito tratamentos (Tabela 1) e cinco repetições. As pressuposições da análise foram avaliadas, sendo: valor influente, valor outlier, normalidade do resíduo e homocedasticidade. Foram realizadas análises estatísticas objetivando comparar a fonte de N sobre os gases e a interação entre o tipo de excreta com a dose de N aplicado. As comparações das médias dos tratamentos de distintos tipos de N: F, U, 75N e basal foram feitas por teste de Tukey (alfa = 5 %). Já para os tratamentos que combinaram excretas e dose: F, F+75N, F+150N, U, U+75N, U+150N, foi feito desdobramento por contrastes ortogonais, para identificar a interação entre excreta e dose de nitrato. Dentro de cada fonte de N os fluxos de gases (variável resposta) e as variáveis explicativas (umidade, temperatura, amônio e nitrato do solo e precipitação) foram submetidas à análise de regressão linear (admitindo-se *P*-valor de até 0,15), sendo estas análises realizadas utilizando o software SAS (versão 9.3).

3. Resultados e discussão

3.1 Temperatura, precipitação e espaço poroso do solo

A condição de precipitação e temperatura caracterizaram as estações típicas do clima tropical de Jaboticabal - SP, com estação chuvosa e estação seca bem definidas. Na estação das águas choveu 323,7 mm (2019) e 403 mm (2020) durante o período experimental, já na estação seca os valores foram

praticamente nulos. A temperatura média foi de 23,7 °C (EPM = 0,17) e 23,2 °C (EPM = 0,19) para 2019 e 2020, respectivamente. O espaço poroso preenchido com água foi maior na implantação do experimento e diminui com o passar do tempo, sendo 0,36 % (variando entre 0,08 e 0,90 %), na média (EPM = 0,3%), para 2019 e 2020 (Figura 1).

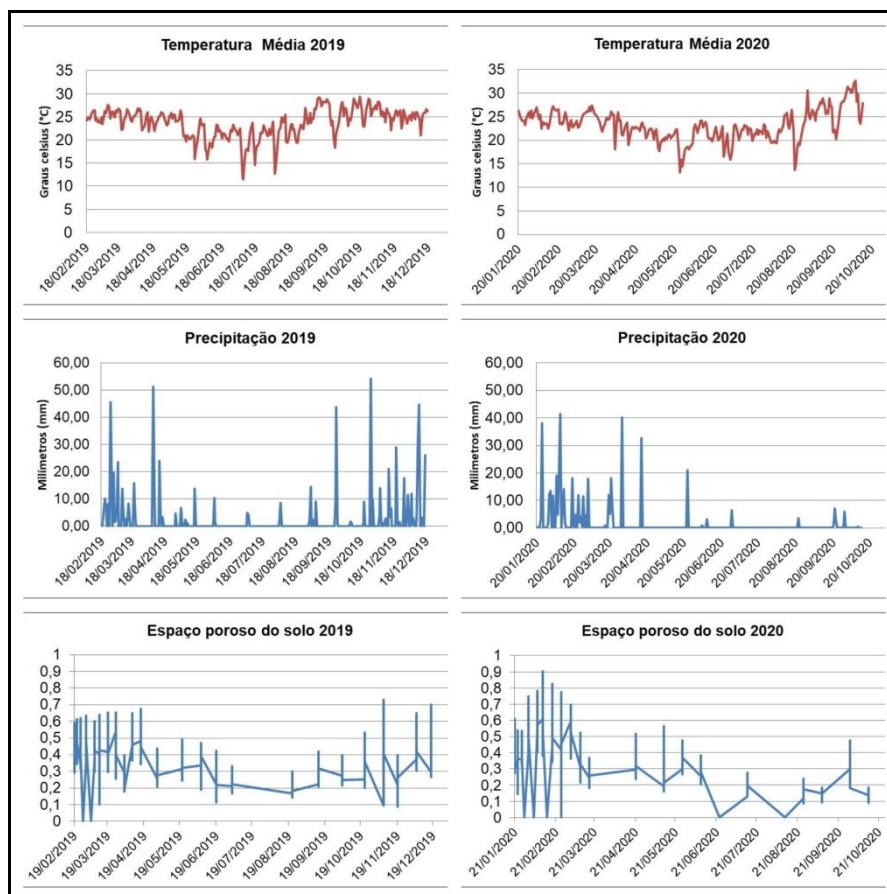


Figura 1 - Temperatura média, precipitação volumétrica para o município de Jaboticabal - SP e espaço poroso do solo (%) de Latossolo Vermelho Amarelo em região de transição Mata Atlântica e Cerrado durante as águas e secas de 2019 e 2020

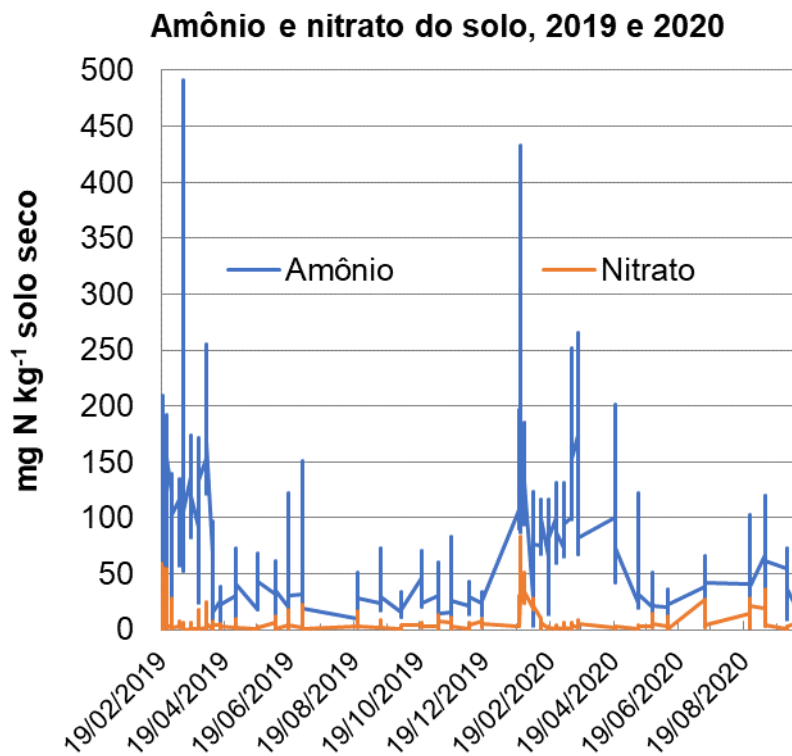


Figura 2 – Teores de amônio e nitrato de Latossolo Vermelho Amarelo em região de transição Mata Atlântica e Cerrado durante as águas e secas de 2019 e 2020

3.2 Variação sazonal dos fluxos de N_2O

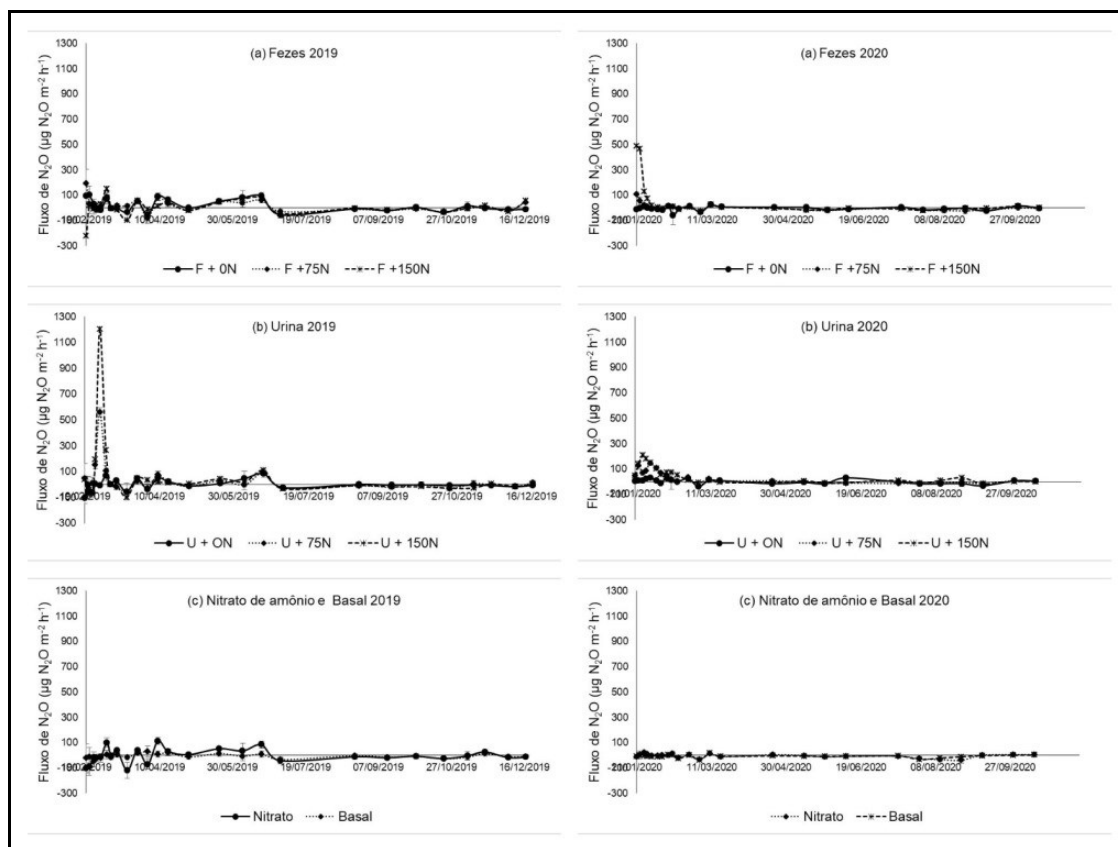


Figura 3 – Fluxo N_2O para urina, fezes, nitrato de amônio e basal do solo em Latossolo Vermelho Amarelo em região de transição Mata Atlântica e Cerrado durante as águas e secas de 2019 e 2020

A maior emissão de N_2O ocorreu após a imposição das excretas e N, nos dias 01/03/2019 e 26/01/2020, portanto nos primeiros 15 dias, na combinação U+150N (Tabela 4), isso também foi observado por Sordi et al., (2014). Durante a estação da seca as emissões de N_2O foram praticamente nulas (Figura 3), para ambas as estações os fluxos observados estão de acordo com a baixa ou não emissão de N_2O medidas por Cardoso et al., (2019), que avaliaram os fluxos, separadamente, por estação.

Dentre os oito tratamentos avaliados, os fluxos de N_2O tiveram correlação com precipitação, para seis deles: F+75N ($P = 0,05$), F+150N ($P = 0,01$), U+75N ($P = 0,04$), U+150N ($P = 0,04$), 75N ($P = 0,11$), Basal ($P = 0,05$), sendo a variável chave para a emissão, o que também foi observado por Sordi et al., (2014) e Cardoso et al., (2017). Raposo et al., (2020) salienta que devemos investigar quais são as variáveis chave para o fluxo de N_2O , pois nesse estudo o N_2O apresentou correlação com precipitação e em Cardoso et al., (2019) isso não foi observado, o que os autores atribuíram a seca durante

o período de coleta. Pois, após evento de chuva, quando há aumento no EPSA, maiores emissões de N_2O podem ser detectadas (Giacomini et al., 2006).

Os fluxos negativos de N_2O observados podem ser explicados pelo equilíbrio entre a concentração de N_2O nos poros do solo e na superfície da pastagem (difusão de gás). De acordo com Cardoso et al., (2017), um possível mecanismo para a absorção de N_2O é a falta de nitrato disponível no solo, levando as bactérias desnitrificantes a usar o N_2O como um aceitador de elétrons, que por sua vez contribui para a rede de absorção de N_2O (Mazzetto et al., 2014).

3.3 Variação sazonal dos fluxos de CH_4

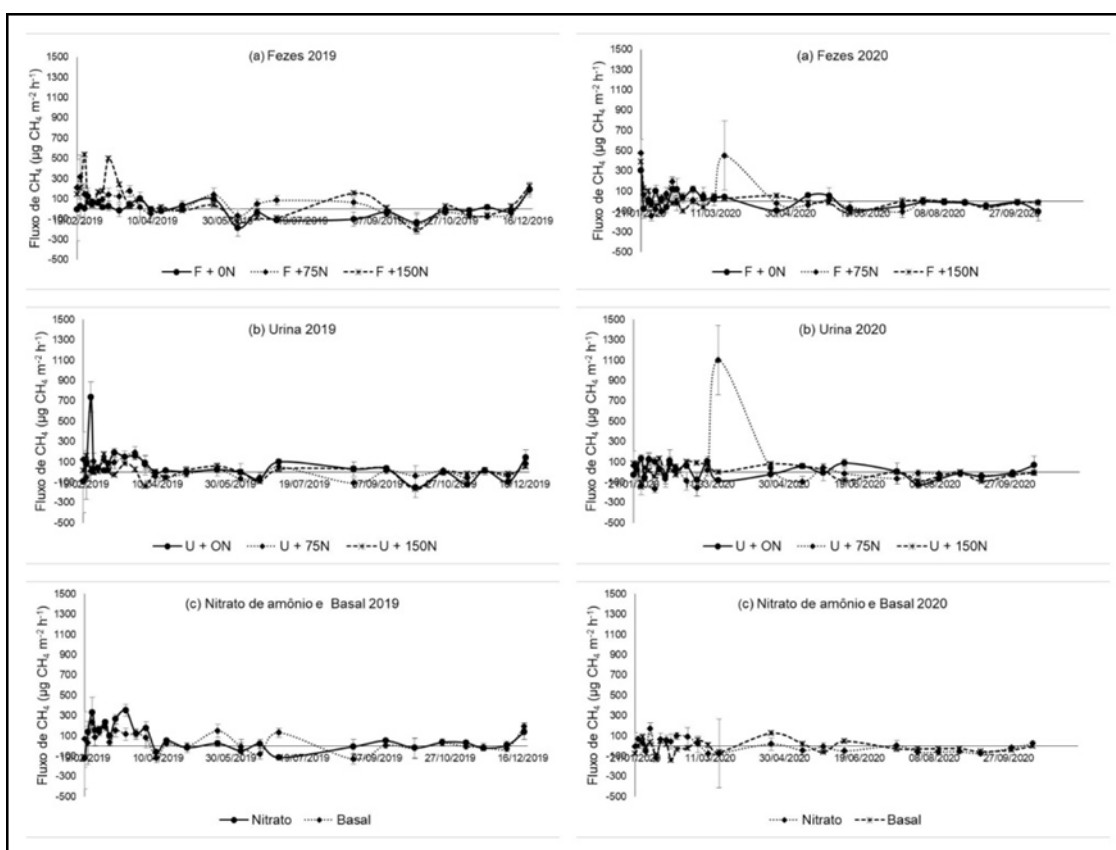


Figura 4 - Fluxo de CH_4 para urina, fezes, nitrato de amônio e basal do solo em Latossolo Vermelho Amarelo em região de transição Mata Atlântica e Cerrado durante as águas e secas de 2019 e 2020

A maior emissão de CH_4 ocorreu após a imposição das excretas e N, embora não tenha dado diferença estatística. A combinação do nitrogênio do fertilizante com o carbono disponível do solo propiciou que bactérias metanogênicas produzissem mais CH_4 (Cardoso et al., 2018). Durante a estação da seca as emissões de CH_4 foram praticamente nulas (Figura 4).

As emissões de CH_4 foram maiores nos primeiros dias após a imposição de excretas e N, pois além do aporte de nitrogênio, as fezes dos bovinos contêm bactérias metanogênicas (Saggar et al., 2004). Essas bactérias excretadas nas fezes e o maior conteúdo de carbono das fezes produz CH_4 , portanto também são elevadas as emissões onde é aplicado fezes. Isso também foi observado por Cardoso et al., (2018 e 2019), ambos para bovinos de corte.

Os fluxos de CH_4 tiveram correlação com os teores de amônio (figura 2), para seis tratamentos: F ($P = 0,04$), F+75N ($P = 0,02$), F+150N ($P = 0,03$), U+75N ($P = 0,006$), 75N ($P = 0,004$), Basal ($P = 0,10$), sendo a variável chave para a emissão. Sabe-se que fertilizantes nitrogenados inibem a oxidação de CH_4 pela NH_3 , a qual compete com o CH_4 pelo metano monooxigenase, em metanotróficos (Bédard e Knowles, 1989). Li et al., (2020) relata que altas concentrações de amônio ($> 40 \text{ mg NH}_4^+ \text{ N kg}^{-1}$) são conhecidos por inibir substancialmente a oxidação de CH_4 .

3.4 Variação sazonal dos fluxos de CO_2

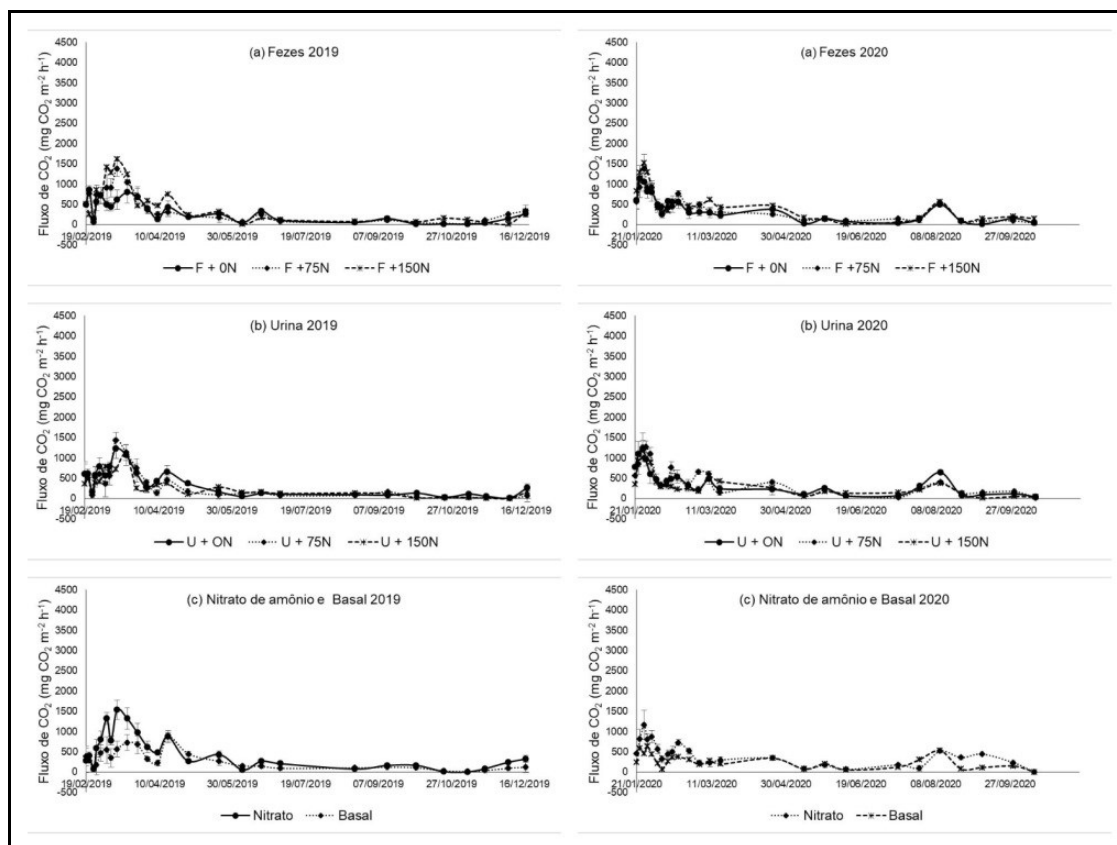


Figura 5 – Fluxo de CO₂ para urina, fezes, nitrato de amônio e basal do solo em Latossolo Vermelho Amarelo em região de transição Mata Atlântica e Cerrado durante as águas e secas de 2019 e 2020

A maior emissão de CO₂ ocorreu após a imposição das excretas e N, dia 12/03/2019 e 26/01/2020, portanto nos primeiros 21 e 7 dias, respectivamente, na combinação F+150N (Tabela 4) durante a estação das águas, isso também foi observado por Brito et al., (2015). Durante a estação da seca as emissões de CO₂ foram praticamente nulas (Figura 5), para ambas as estações os fluxos observados estão de acordo com Brito et al., (2015) e Cardoso et al., (2017B), que avaliaram os fluxos, separadamente, por estação.

Houve correlação de CO₂ e amônio nos seguintes tratamentos: F ($P = 0,03$), U ($P = 0,09$), U+75N ($P = 0,09$), U+150N ($P = 0,01$); e com precipitação nos seguintes tratamentos: F ($P = 0,001$), U ($P = 0,12$), U+150N ($P = 0,002$), 75N ($P = 0,04$), Basal ($P = 0,001$), deixando claro que o nitrogênio é o fator chave para a emissão, pois o N fornece substratos para a microbiologia do solo, permitindo maior atividade e, por conseguinte, maior emissão.

Os eventos de precipitação determinaram a variação sazonal de CO₂, sugerindo que o aumento na umidade do solo, o que ocorre principalmente nos verões chuvosos (Brito et al., 2015). Provavelmente, ocorre o aumento da

taxa a respiração das raízes, devido ao crescimento da planta e processos microbianos envolvidos na decomposição de matéria orgânica lábil do solo, consequente aumento de produção e emissão de CO_2 (Luo e Zhou, 2006). E o amônio teve correlação com o fluxo de CO_2 , provavelmente para fornecer N para o crescimento das raízes, consequência da elevada taxa de respiração (Guo et al., 2009).

3.5 Efeito da fonte de N sobre as emissões acumuladas de N_2O , CH_4 e CO_2

A emissão acumulada de N_2O (1,18 mg N_2O m^2) e CH_4 (47,4 mg N_2O m^2) foram similares ($P > 0,05$) quando comparada as fontes de N (Tabela 3). Foi relatado que as emissões acumuladas de N_2O em locais de urina são muito mais altas do que locais com fezes (Van der Weerden et al., 2011; Sordi et al., 2014; Lessa et al., 2014). Cardoso et al. (2019), em condições similares, aplicou urina bovina junto com fezes e observou que as emissões de N_2O eram semelhantes aos dos locais com urina, exclusiva.

Contudo, nessa condição experimental não foi observado diferença para a emissão acumulada entre os três tipos de N + Basal. Isso é devido à fonte de nitrogênio utilizada ter menor volatilização (Côrrea et al. 2021) e a uréase emitir em torno de 1 % de N_2O da urina, o restante é perdido na forma de NH_3 . Nas fezes, devido o a relação C:N (33,3) estar acima do proposto (25) por Klemetsson et al. (2005) e Marie et al., (2020), as fezes aplicadas, aliado às condições de umidade e disponibilidade de N, estimularam a atividade microbiana, criando um ambiente ideal para emissões de N_2O .

O tipo de nitrogênio presente nas excretas ou nitrato de amônio influencia a emissão de N_2O . Cardoso et al., (2017) observou que a emissão de N_2O pelas fezes (N - orgânico) teve início no quinto dia e persistiu até o 38°; e a emissão de N_2O da urina (N - ureia) iniciou no 10 dia e persistiu até o 65°. Liyanagea et al., (2020) observou que diferentes doses de N têm efeito na emissão de N_2O , não necessariamente linear. E Côrrea et al., 2021, observou diferença para a perda de N na forma de NH_3 para distintas fontes (N - sintético) e doses, mas não observou diferença no fluxo de N_2O .

Não houve efeito do tipo de N sobre a emissão acumulada de CH₄, talvez em nosso estudo, a taxa de N não estimulou diferenças no crescimento e atividade de oxidantes de CH₄. Cardoso et al., (2018) diz que o efeito de diferentes formas de nitrogênio provavelmente está relacionado ao papel do NH₃ competir por enzimas de metano monooxigenase (Holmes et al. 1995), aumentando a oxidação da NH₃ (Hütsch, 1998) ou efeitos osmóticos (Kravchenko et al. 2002), independente do N.

Tabela 3 - Emissão acumulada de N₂O, CH₄ e CO₂ para fezes ou urina, nitrato de amônio e basal em Latossolo Vermelho Amarelo em região de transição Mata Atlântica e Cerrado durante as águas e secas de 2019 e 2020

Tratamento	N ₂ O (mg N ₂ O m ²)	CH ₄ (mg CH ₄ m ²)	CO ₂ (T ha ⁻¹)
F	7,49	19,16	84,9 ^{ab}
U	4,87	60,70	104,2 ^{ab}
75N ¹	0,40	71,44	115,1 ^a
Basal	-8,05	38,43	71,5 ^b
EPM ^{**}	0,01	0,19	4,70
P-valor	0,15	0,16	0,008

Distintas letras na coluna indicam diferença entre os tratamentos por teste de Tukey a 5% de significância; ¹75 kg de nitrato de amônio ha⁻¹ ano⁻¹ (32% de nitrogênio); **erro padrão da média

A emissão acumulada de CO₂ foi diferente (Tabela 3), sendo maior no 75N, intermediário para F e U e menor no Basal. As distintas formas de N influenciaram a emissão de CO₂, sendo que o nitrogênio das fezes (N orgânico) e N da urina (N ureia) foram similares, e o N sintético, do nitrato de amônio, o maior. Isso ocorre por essa forma de N ser a mais prontamente disponível (Raposo et al., 2020).

3.6 Efeito do tipo de excreta e dose de N sobre a emissão N₂O, CH₄ e CO₂

A emissão de N_2O , em fezes ou urina, teve efeito linear crescente com a dose de nitrato (Tabela 4), caracterizando o efeito aditivo da interação excretas e dose de nitrogênio, conforme observado por Hyde et al., (2016) em relvados de azevém (*Lolium perenne* L.) da Irlanda, Zhu et al., (2021) em relvado de capim kikuyu (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.) + capim Rhodes (*Chloris gayana* Kunth) no Quênia e pastos de capim Marandu no Brasil (Raposo et al., 2020). Hyde et al., (2016) resume que os efeitos multiplicativos observados provêm, da combinação de nitrato do solo e do fertilizante com o carbono prontamente disponível para interações com fezes e da umidade da urina quando aplicada.

A emissão acumulada de CH_4 para fezes ou urina, combinado com doses de nitrogênio, não se ajustou ao modelo linear ou quadrático (Tabela 4), com valor médio de 50,2 mg CH_4 m² e 43,8 mg CH_4 m², respectivamente. O fluxo de CH_4 é o resultado líquido entre a produção oriunda da metanogênese e a oxidação por processos de metanotrofia (Baggs, 2006), geralmente solos não perturbados (pastos) são considerados como agentes oxidantes de CH_4 (Mojeremane et al., 2012), com esse estudo demonstramos que é independente da excreta ou dose de nitrato.

Chan e Parkin (2001) e Alluvione et al. (2009) sugeriram que após um longo período de fertilização com N, as populações microbianas podem se adaptar à adição de N e nenhum efeito inibidor sobre a captação de CH_4 é observado. Em média, durante o período das águas, 12 kg de N é incorporado ao solo, como o dossel onde as amostras de gás foram coletadas está estabelecido desde 2005, pode ser que os teores de N do solo sejam elevados ao ponto de não interferir na oxidação do CH_4 . Assim, sugerimos que novos estudos com diferentes fontes de N (excretas, fontes e doses) e condições de solo sejam avaliados, a fim de compreender essa interação.

A emissão total de CO_2 teve efeito linear crescente na combinação fezes e dose de nitrato (Tabela 4), pois a disponibilidade de carbono no solo e o aporte de nitrogênio sintético no solo permitiram maior atividade microbiana, por conseguinte maior emissão (Lubbers et al., 2013, Raposo et al. 2020). A emissão de CO_2 para a combinação urina e dose de nitrogênio não se ajustou ao modelo linear ou quadrático (Tabela 4), sendo observado

valor médio de $99,9 \text{ T ha}^{-1}$, talvez pelo fato da relação C:N não propiciar elevada atividade microbiana do solo, e por conseguinte, emissão de CO_2 (Tabela 4).

Em ambos os tipos de excretas combinadas com nitrogênio, à emissão de CO_2 , foram maiores que os dados apresentados por Brito et al., (2015). O solo do trabalho de Brito et al., (2015) tem um histórico de reposição de nutrientes, via adubo sintético de ± 20 anos, os dados de emissão de CO_2 foram 58 T ha^{-1} (2011) e 74 T ha^{-1} (2012), para a mesma altura do dossel (25 cm). Isso comprova que a menor fertilidade do solo é um fator que aumenta a emissão CO_2 (De Figueiredo et al., 2018; Godde, 2020).

Tabela 4 - Emissão acumulada de N_2O , CH_4 e CO_2 para fezes ou urina e interação com nitrato de amônio em Latossolo Vermelho Amarelo em região de transição Mata Atlântica e Cerrado durante as águas e seca de 2019 e 2020

Excreta	Dose de nitrato de amônio* ($\text{D}^{\S}$)	N_2O ($\text{mg N}_2\text{O m}^2$)	CH_4 ($\text{mg CH}_4 \text{ m}^2$)	CO_2 (T ha^{-1})
Fezes	0	7,4	19,1	84,7
	75N ¹	17,0	65,9	106,5
	150N ²	74,2	65,7	133,8
	Efeito	linear	NS	linear
	P-valor $\text{D}^{\S} \times \text{F}^{\dagger}$	0,016	0,08	0,005
Urina	0	4,5	60,7	104,2
	75N ¹	47,2	42,4	101,8
	150N ²	75,2	28,45	93,8
	Efeito	linear	NS	NS
	P-valor $\text{D}^{\S} \times \text{U}^{\infty}$	0,003	0,37	0,74
EPM**		0,08	0,29	2,52

*32% de nitrogênio; [§]dose de nitrato de amônio; [†]fezes [∞]urina; ¹75 kg de nitrato $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; ²150 kg de nitrato $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; **erro padrão da média

3.7 Volatilização da amônia

A NH_3 volatilizada contribui indiretamente para a emissão de N_2O , sendo necessária quantificar para que possamos utilizar fontes de N menos voláteis (Corrêa et al., 2021). A perda de nitrogênio pela volatilização da NH_3 foi similar (9,5 %; $P > 0,05$; erro padrão da média = 0,11) para F, U e 75N. Esses valores são diferentes dos observados na literatura como no caso de Lessa et al.,

(2014), os quais observaram maior perda para urina e quase insignificante para fezes. Os autores citam que há uma ampla faixa para a emissão de NH_3 , quando a fonte de N é urina (Lockyer e Whitehead, 1990; Petersen et al., 1998; Saarijärvi et al., 2006; Mulvaney et al., 2008). Já as perdas do nitrato de amônio estão de acordo com Das Chagas et al., (2017), que relata baixa volatilização de NH_3 quando a fonte é nitrato de amônio, em comparação a ureia, ureia com inibidor de uréase e ureia com polímero, na dose de 100 kg de N ha^{-1} .

A perda de nitrogênio pela volatilização da NH_3 para fezes ou urina teve efeito linear decrescente, com a dose de nitrogênio (Tabela 6). A Combinação de fezes ou urina bovina, com distintas doses de nitrogênio, é inédita nos estudos com volatilização de NH_3 . A perda de N não aumentou, possivelmente, devido à acidez do solo, o qual combinado com a dose de N inviabilizou a perda percentual de NH_3 . Uma grande variação (1,5 - 40%) em NH_3 volatilizado foi encontrada quando a urina era a fonte de N, em solos de pastagens temperadas (Bol et al., 2004; Mulvaney et al., 2008; Cardoso et al., 2019). Para fezes foram observados valores de 2 a 12,4 % e 3,8 a 8,9 % para a combinação fezes + urina (Cardoso et al., 2019). Outro fator que ajuda a explicar esse efeito decrescente, é que o nitrato de amônio é uma fonte menos volátil de N (Rochette et al., 2013; Corrêa et al., 2021).

Tabela 5 - Amônia volatilizada (NH_3) de distintas doses de nitrato de amônio combinado com fezes ou urina em Latossolo Vermelho Amarelo em região de transição Mata Atlântica e Cerrado durante as águas e seca de 2019 e 2020

Excreta	Dose de nitrato de amônio* ($\text{D}^\S$)	NH_3 (%)
Fezes	0	6,75
	75N ¹	5,32
	150N ²	2,28
	Efeito	linear
	P-valor $\text{D}^\S \times \text{F}^\dagger$	0,0003
Urina	0	14,10
	75N ¹	5,00
	150N ²	3,27
	Efeito	linear

P -valor $D^{\S} \times U^{\infty}$	<0,0001
EPM**	0,018

*32% de nitrogênio; [§]dose de nitrato de amônio; [†]fezes [∞]urina;
¹75 kg de nitrato ha⁻¹ ano⁻¹; ²150 kg de nitrato ha⁻¹ ano⁻¹; **erro
padrão da média

A volatilização da NH₃ está dentro dos valores observados na literatura, para clima tropical e pastagens de capim Marandu (Cardoso et al., 2019; Côrrea et al., 2021). Nesse estudo foi utilizada uma fonte de N menos volátil, ao ser comparada com ureia (Rochette et al., 2013), a fonte mais barata e utilizada no Brasil. Contudo o produtor não é subsidiado por utilizar nitrato de NH₃ no pasto, assim temos a oportunidade de ganhar crédito e permitir a sustentabilidade do sistema.

3.8 Fator de emissão de N₂O e CH₄

O fator de emissão de N₂O foi maior para urina, intermediário para fezes e menor no 75N (Tabela 6). Em solos tropicais outros autores já reportavam menores fatores de emissão para clima temperado, Simon et al., (2018) observou 0,34 % para urina e 0,11 % para fezes, em dossel de capim Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) e bovinos leiteiros. Para clima tropical o fator de emissão para urina, reportado por Mazzetto et al., (2014), foi de 0,26 %, em dossel de *Urochloa decumbens* e bovinos Nelore. O fator de emissão para 75N (Tabela 6) é inferior ao reportado pelo IPCC e também quando comparado a outras fontes (ureia) e mesma dose, sendo observado valor de 1,7 % (Piva et al., 2019) e 2,15 % (Hyde et al., 2016) para 90 kg de N ha⁻¹, da fonte nitrato de amônio e cálcio. Cardoso et al., (2019) para similares condições de clima e solo observou os seguintes fatores de emissão: 0,33 % urina; 0,47 % fezes; 0,34 % urina + fezes e 0,71 % ureia.

O tipo de excreta pode influenciar o tipo de emissões de N₂O (Cardoso et al., 2019; Krol et al., 2016). Imediatamente após a micção do bovino, a ureia da urina é rapidamente hidrolisada em amônio no solo, aumentando o pH do solo e estimulando a liberação de carbono solúvel em água disponível como

um suprimento alimentar microbiano para bactérias desnitrificantes (Monaghan e Barraclough, 1992), aumentando a emissão de N_2O .

Já o N mineral nas fezes é menor, consequentemente, a transformação do N do solo pela atividade microbiana, abaixo dos locais com fezes, é menor. De acordo com Van der Weerden et al. (2011) interação entre os locais de fezes e a atividade microbiana do solo, pode ser restringida devido à elevada matéria seca das fezes. Isso também pode reduzir o potencial de infiltração de N das fezes no solo, resultando em menor N disponível para ser emitido como N_2O (Cardoso et al., 2019). E o menor fator de emissão do nitrato de amônio é devido a sua composição não conter uréase, portanto sua volatilização é menor (Corrêa et al., 2021).

Tabela 6 - Fator de emissão de N_2O para fezes, urina e nitrato de amônio*, em Latossolo Vermelho Amarelo em região de transição Mata Atlântica e Cerrado durante as águas e seca de 2019 e 2020

Tratamento	N_2O (%)
F	0,22 ^{ab}
U	0,60 ^a
75N ¹	0,17 ^b
EPM**	0,21
P-valor	0,03

Distintas letras na coluna indicam diferença entre os tratamentos por teste de Tukey a 5% de significância; ¹75 kg de nitrato de amônio ha⁻¹ ano⁻¹ (32% de N); **erro padrão da média.

Para a interação fezes ou urina e dose de nitrato o fator de emissão apresentou efeito foi linear crescente (Tabela 7). Embora crescente, os dados são similares aos apresentados por Simon et al., (2018), os quais observaram 0,34 %, sem adição de nitrogênio, em condições subtropicais. O efeito linear crescente para o fator de emissão da combinação urina e dose de nitrato é similar ao reportado por Maire et al., (2020) em condições subtropicais. Conforme postulado por Hyde et al., (2016), o carbono disponível das fezes aumenta a atividade microbiana do solo, juntamente com o N disponível do adubo, por conseguinte aumentou o fator de emissão. Já para urina e nitrogênio outros autores haviam demonstrado separadamente, que locais com

urina (Van der Weerden et al., 2011; Lessa et al., 2014) e doses de nitrogênio (Corrêa et al., 2021) aumentavam a emissão de N_2O , pela atividade de nitrificação que ocorre no solo, agora observamos para a combinação urina e nitrato de amônio.

Tabelas 7 - Fator de emissão de N_2O de distintas doses de nitrato de amônio, combinado com fezes ou urina, em Latossolo Vermelho Amarelo em região de transição Mata Atlântica e Cerrado durante as águas e seca de 2019 e 2020

Excreta	Dose de nitrato de amônio* ($D^{\S}$)	Fator de emissão N_2O (%)
Fezes	0	0,10
	75N ¹	0,13
	150N ²	0,42
	Efeito	linear
	P -valor $D^{\S} \times F^{\dagger}$	0,01
Urina	0	0,19
	75N ¹	0,58
	150N ²	1,03
	Efeito	linear
	P -valor $D^{\S} \times U^{\infty}$	0,0006
EPM**		0,09

*32% de nitrogênio; $\S$ dose de nitrato de amônio; $\dagger$ fezes ∞ urina; ¹75 kg de nitrato $ha^{-1} \text{ ano}^{-1}$; ²150 kg de nitrato $ha^{-1} \text{ ano}^{-1}$; **erro padrão da média

O fator de emissão de CH_4 do solo foi similar (0,18 kg CH_4 animal⁻¹ ano⁻¹; $P = 0,08$; erro padrão da média = 1,24) para F, F+75N e F+150N. Esse resultado foi inferior ao observado por Cardoso et al., (2019; 0,54 kg CH_4 animal⁻¹ ano⁻¹), em condições similares de avaliação. Em outro estudo realizado em condições de clima tropical (Rondônia), foram observados fatores de emissão 0,06 kg CH_4 animal⁻¹ ano⁻¹ (inverno) e 0,10 kg CH_4 animal⁻¹ ano⁻¹ (verão; Mazzetto et al., 2014). Portanto nesse estudo, o tipo e a dose de nitrogênio e a relação C:N não propiciaram diferenças para o CH_4 do solo.

A flutuação desses valores explica-se pelo fato das pastagens terem um potencial para remoção de CH_4 da atmosfera. Saggart et al. (2007), mensuraram o fluxo de emissão de GEE durante dois anos em pastagens

neozelandesas e concluíram que as pastagens funcionaram como um dreno para o CH_4 , com remoção anual de carbono na forma de CH_4 na faixa de $0,64 \pm 0,14$ kg/ha. Assim o balanço de emissão e mitigação não permite que observemos diferenças entre fontes e doses de N.

Este trabalho preenche uma importante lacuna para os cálculos de inventários de gases de efeito estufa no Brasil, pois quantificamos separadamente os fatores de emissão para fezes, urina e sua interação com doses de nitrato, nas condições de solo tropical do Sudoeste e Centro-oeste. Nessas regiões estão aproximadamente 50 % da área total de pastagens e 53 % do total de bovinos do País, isso permite melhorar o cálculo de inventário de gases do efeito estufa brasileiro, tornando-o mais fidedigno.

Novos estudos devem quantificar os fatores de emissão das interações entre excretas de outros herbívoros (ovinos, caprinos, equinos) com distintas fontes de fertilizantes, bem como sobre a microbiologia das emissões de GEE de pastagens. Embora a fertilização nitrogenada aumente a emissão de N_2O e CO_2 , o sistema deve ser pensado com um todo, ou seja, se fizermos uma análise da pegada de carbono, a maior produção de carne e o efeito poupa-terra conferem maior sustentabilidade para sistemas intensificados. Esses dados podem formar a base para mais pesquisas avaliando o potencial de fertilização com N alcançar a intensificação sustentável da pecuária com base em pastagens.

4. Conclusão

O fator de emissão de N_2O de fezes e urina é menor que o preconizado pelo IPCC, sendo 1/10 para fezes e 1/3 para urina, havendo efeito aditivo com a dose de nitrato aplicada, em ambas as excretas.

O fator de emissão do CH_4 também é menor que o estipulado pelo IPCC, sendo observado 1/5 do valor atual. As emissões de CO_2 tem efeito aditivo na combinação fezes e dose de nitrato. E a NH_3 volatilizada tem efeito linear decrescente na combinação fezes ou urina, com doses de nitrato.

Contribuições dos autores: Conceituação: F.O., M.H.M da R.F., A.S.C., R.A.R., A.C.R. Coleta de dados: F.O., E.E.D., G.A. do V., I.L.R., L.M.G. e L.O.L.

Análise de dados F.O. e E.B.M. Redação, preparação, revisão e edição originais, todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamento: Este trabalho foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (bolsa Fapesp, 2017/18750-7; 2017/11274-5) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. As bolsas de pesquisa e associadas também foram financiadas pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pela Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Agradecimentos: Agradecimentos especiais aos membros da UNESPFOR por suas contribuições durante os ensaios e discussões científicas perspicazes. Agradecemos a equipe do setor de Bovino de Corte e Forragicultura da Universidade Estadual Paulista (Jaboticabal).

Conflitos de interesse: Declaramos não haver conflito de interesses.

Referências

- Alves B.J.R., Smith K.A., Flores R.A., Cardoso A.S., Oliveira W.R.D, Jantalia C. P., Urquiaga S., Boddey, R.M. 2012. Selection of the most suitable sampling time for static chambers for the estimation of daily mean N₂O flux from soils. *Soil Biol. Biochem.*, 46, 129-135, <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.11.022>
- Alluvione F., Halvorson A.D., Del Grosso S.J. 2009. Nitrogen, tillage, and crop rotation effects on carbon dioxide and methane fluxes from irrigated cropping systems. *J. Environ. Qual.*, 38, 2023-2033, <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0517>
- Araújo E.D.S., Marsola T., Miyazawa M., Soares L.H.B., Urquiaga S., Boddey R.M., Alves B.J.R. 2009. Calibração de câmara semiaberta estática para quantificação de NH₃ volatilizada do solo. *Pesqui. Agropecu. Bras*, 44, 769-776, <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000700018>.
- Baggs E. M. 2006. Partitioning the components of soil respiration: a research challenge. *Plant Soil*, 284, 1-5, <https://doi.org/10.1007/s11104-006-0047-7>.
- Barbero R.P., Malheiros E.B., Araújo T.L.R., Nave R.L.G., Mulliniks J.T., Berchielli T.T., Reis R.A. 2015. Combining Marandu grass grazing height and supplementation level to optimize growth and productivity of yearling bulls. *Anim. feed sci. technol.*, 209, 210-218 <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.09.010>.

- Bédard C., & Knowles R. 1989. Physiology, biochemistry, and specific inhibitors of CH₄, NH₄⁺, and CO oxidation by methanotrophs and nitrifiers. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, 53, 68-84, <https://doi.org/10.1128/mr.53.1.68-84.1989>
- Brito L.F., Azenha M.V., Januszkiewicz E.R., Cardoso A.S., Morgado E.S., Malheiros E.B., La Scala Jr. N., Reis R.A., Ruggieri A.C. 2015. Seasonal Fluctuation of Soil Carbon Dioxide Emission in Differently Managed Pastures. *Agron. J.*, 107, 957-962, <https://doi.org/10.2134/agronj14.0480>
- Bol R., Petersen S.O., Christofides C., Dittert K., Hansen M.N. 2004. Short-term N₂O, CO₂, NH₃ fluxes, and N/C transfers in a Danish grass-clover pasture after simulated urine deposition in autumn. *J. Plant. Nutr. Soil Sci.*, 167, 568-576, <https://doi.org/10.1002/jpln.200321334>
- Cardoso A.S., Berndt A., Leytem A., Alves B.J., De Carvalho I.D.N., De Barros Soares L.H., Boddey R.M. 2016. Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. *Agric. Syst.*, 143, 86-96, <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.12.007>
- Cardoso A.S., Brito L.F.L., Januszkiewicz E.R., da Silva Morgado E., Barbero R.P., Koscheck J.F.W., Reis R.A., Ruggieri A.C., 2017. Impact of grazing intensity and seasons on greenhouse gas emissions in tropical grassland. *Ecosystems*, 20, 845-859, <https://doi.org/10.1007/s10021-016-0065-0>
- Cardoso A.S., Quintana B. G., Januszkiewicz E.R., Brito L.F., Morgado E.S., Reis R.A., Ruggieri A.C., 2017b. N₂O emissions from urine-treated tropical soil: Effects of soil moisture and compaction, urine composition, and dung addition. *Catena*, 157, 325-332, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.05.036>
- Cardoso A.S., Quintana B.G., Januszkiewicz E.R., Brito L.F., Morgado E.S., Reis R.A., Ruggieri A.C. 2018. How do methane rates vary with soil moisture and compaction, N compound and rate, and dung addition in a tropical soil?. *Int. J. Biometeorol.*, 63, 1533-1540, <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1641-0>
- Cardoso A.S., Oliveira S.C., Januszkiewicz E.R., Brito L.F., da Silva Morgado E., Reis R.A., Ruggieri A.C. 2019. Seasonal effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions for beef cattle excreta and urea fertilizer applied to a tropical pasture. *Soil Tillage Res.*, 194, 104341, <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104341>
- Chadwick D.R., Cardenas L.M., Dhanoa M.S., Donovan N., Misselbrook T., Williams J.R., Thorman R.E., McGeough K.L., Watson C.J., Bell M., Anthony S.G., Rees R.M. 2018. The contribution of cattle urine and dung to nitrous oxide emissions: Quantification of country specific emission factors and implications for national inventories. *Sci. Total Environ.*, 635, 607-617, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.152>
- Chan A.S.K., Parkin T.B. 2001. Effect of land use on methane flux from soil. *J Environ Qual*, 30, 786-797, <https://doi.org/10.2134/jeq2001.303786x>

Cohn A.S., Mosnier A., Havlík P., Valin H., Herrero M., Schmid E., Obersteiner M. 2014. Cattle ranching intensification in Brazil can reduce global greenhouse gas emissions by sparing land from deforestation. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 111, 7236-7241, <https://doi.org/10.1073/pnas.1307163111>.

Corrêa D.C.C., Cardoso A.S., Ferreira M.R., Siniscalchi D., Gonçalves P.H.A., Lumasini R.N., Reis R.A., Ruggieri A.C. 2021. Ammonia volatilization, forage accumulation, and nutritive value of Marandu palisade grass pastures in different N sources and doses. *J. Environ. Qual.*, in press.

Das Chagas P.H.M., Gouveia G.C.C., da Costa G.G.S., Barbosa W.F.S., Alves A.C. 2017. Volatilização de amônia em pastagem adubada com fontes nitrogenadas. *Rev. Agric. Neotrop.*, 4, 76-80, <https://doi.org/10.32404/rean.v4i2.1301>

De Figueiredo E.B., Jayasundara S., de Oliveira Bordonal R., Berchielli T.T., Reis R. A., Wagner-Riddle C., La Scala Jr N. 2018. Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. *J. Clean. Prod.*, 142, 420-431, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.132>

Doane T.A., Horwath W.R. 2003. Spectrophotometric determination of nitrate with a single reagent. *Anal. Lett.*, 36, 2713-2722, <https://doi.org/10.1081/AL-120024647>

Dos Santos H.G., Jacomine P.K.T., Dos Anjos L.H.C., De Oliveira V.A., Lumbreras J.F., Coelho M.R., Cunha T.J.F. 2018. Sistema brasileiro de classificação de solos, 5° ed. EMBRAPA, Brasília.

Embrapa, Empresa Brasileira De Pesquisa e Agropecuária. In: Teixeira P.C., Donagema G.K., Fontana A., Teixeira W.G. 2017. Manual de métodos de análise de solo. Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E).

Florindo T.J., Florindo G.I.B.M., Talamini E., Da Costa J.S., Ruviano C.F. 2017. Carbon footprint and Life Cycle Costing of beef cattle in the Brazilian midwest. *J. Clean. Prod.*, 147, 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.021>

Forster J.C. 1995. Soil nitrogen. Alef K, Nannipieri P (eds) *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic, San Diego, pp 79-87.

Giacomini S.J., Jantalia C.P., Aita C., Urquiaga S.S., Alves B.J.R. 2006. Emissão de óxido nitroso com a aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41, 1653-1661. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006001100012>

Godde C.M., De Boer I.J., Zu E.E., Herrero M.; Van Middelaar C.E., Muller A., Garnett T. 2020. Soil carbon sequestration in grazing systems: managing expectations. *Climate Chan.*, pp 1-7. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02673-x2020>.

- Guo S., Zhou Y., Shen Q., Zhang F. 2007. Effect of ammonium and nitrate nutrition on some physiological processes in higher plants-growth, photosynthesis, photorespiration, and water relations. *Plant. Biol.*, 9, 21-29. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924541>
- Hütsch B.W. 1998. Methane oxidation in arable soil as inhibited by ammonium, nitrite and organic manure with respect to soil pH. *Biol. Fertil. Soils* 28, 27–35 <https://doi.org/10.1007/s003740050459>
- Hyde B.P., Forrestal P.J., Jahangir M.M., Ryan M., Fanning A.F., Carton O.T., Richards K.G. (2016). The interactive effects of fertiliser nitrogen with dung and urine on nitrous oxide emissions in grassland. *Irish J. Agric. Food Res.* 55, 1-9. <https://doi.org/10.1515/ijafr-2016-0001>.
- Holmes A.J., Costello A., Lidstrom M.E., Murrell J.C. 1995. Evidence that particulate methane monooxygenase and ammonia monooxygenase may be evolutionarily related. *FEMS Microbiol. Lett.* 132, 203–208. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1995.tb07834.x>
- IPCC. 2019. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In Emissions from livestock and manure management, 4, pp. 10.1–10.209. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>
- Kravchenko I., Boeckx P., Galchenko V., Van Cleemput O., 2002. Shortand medium-term effects of NH_4^+ On CH_4 and N_2O fluxes in arable soils with a different texture. *Soil Biol. Biochem.* 34, 669–678. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00232-2](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00232-2)
- Klemetsson L., Von Arnold K., Weslien P., Gundersen P., 2005. Soil CN ratio as a scalar parameter to predict nitrous oxide emissions. *Glob. Chang. Biol.* 11, 1142–1147. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.00973.x>.
- Krol D.J., Carolan R., Minet E., McGeough K.L., Watson C.J., Forrestal P.J., Lanigan G.J., Richards K.G. 2016. Improving and disaggregating N_2O emission factors for ruminant excreta on temperate pasture soils. *Sci. Total Environ.* 568, 327–338. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.016>
- Lessa A.C.R., Madari B.E., Paredes D.S. Boddey R.M., Urquiaga S., Jantalia C.P., Alves B.J. 2014. Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. *Agric. Ecosyst. Environ.* 190, 104-111. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.01.010>.
- Li Y., Liu Y., Pan H., Hernández M., Guan X., Wang W., Zhang Q., Luo Y., Di H., Xu J. 2020. Impact of grazing on shaping abundance and composition of active methanotrophs and methane oxidation activity in a grassland soil. *Biol. Fertil. Soils*, 56, 799-810. <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01461-0>
- Liyanage A., Grace P.R., Scheer C., de Rosa D., Ranwala S., Rowlings D.W. 2020. Carbon limits non-linear response of nitrous oxide (N_2O) to increasing N

inputs in a highly-weathered tropical soil in Sri Lanka. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 292, 106808. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106808>

Lockyer D.R., Whitehead D.C., 1990. Volatilization of ammonia from cattle urine applied to grassland. *Soil Biol. Biochem.*, 22, 1137–1142. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(90\)90040-7](https://doi.org/10.1016/0038-0717(90)90040-7)

Lubbers I.M., Van Groenigen K.J., Fonte S.J., Six J., Brussaard L., Van Groenigen J.W. 2013. Greenhouse-gas emissions from soils increased by earthworms. *Nat. Clim. Chang.* 3, 187–194. <https://doi.org/10.1038/nclimate1692>.

Luo Y., Zhou X. 2006. Processes of CO₂ production in soil. In Y. Luo & X. Zhou (Eds.), *Soil respiration and the environment*, pp.35–59. San Diego, CA: Academic Press, Elsevier.

Maire J., Krol D., Pasquier D., Cowan N., Skiba U., Rees R.M., Reay D., Lanigan G.J., Richards K.G. 2020. Nitrogen fertiliser interactions with urine deposit affect nitrous oxide emissions from grazed grasslands. *Agric. Ecosyst. Environ.* 290, 106784. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106784>

Ministério da agricultura, Pecuária e Abastecimento. [MAPA]. 2017. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos. Brasília, DF: MAPA.

Mazzetto A.M., Barneze A.S., Feigl B.J., Van Groenigen J.W., Oenema O., De Klein C.A.M., Cerri C.C. 2014. Use of the nitrification inhibitor dicyandiamide (DCD) does not mitigate N₂O emission from bovine urine patches under Oxisol in Northwest Brazil. *Nutr. cycling agroecosyst.*, 101, <https://doi.org/10.1007/s10705-014-9663-4>

Mojeremane W., Rees R.M., Mencuccini M. 2012. The effects of site preparation practices on carbon dioxide methane and nitrous oxide fluxes from a peaty gley soil. *Forestry*, 85, 1–15, <https://doi.org/10.1093/forestry/cpr049>.

Monaghan R.M., Barraclough D. 1992. Some chemical and physical factors affecting the rate and dynamics of nitrification in urine-affected soil. *Plant Soil* 143, 11–18, <http://dx.doi.org/10.1007/BF00009124>.

Mulvaney M.J., Cummins K.A., Wood C.W., Wood B.H., Tyler P.J. 2008. Ammonia emissions from field-simulated cattle defecation and urination. *J. Environ. Qual.*, 37, 2022–2027, <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0016>

Piva J.T., Sartor L.R., Sandini I.E., Moraes A., Dieckow J., Bayer C., Rosa, C.M. 2019. Emissions of nitrous oxide and methane in a subtropical Ferralsol subjected to nitrogen fertilization and sheep grazing in integrated croplivestock system. *Rev. Bras. Ciênc. Solo.* 43, e0180140. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20180140>.

Petersen S.O., Sommer S.G., Aaes O., Sørensen K. 1998. Ammonia losses from urine and dung of grazing cattle: effect of N intake. *Atmos. Environ.* 32, 295–300, [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(97\)00043-5](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(97)00043-5)

- Raposo E., Brito L.F., Januszkiewicz E.R., Oliveira L.F., Versuti J., Assumpção F.M., Cardoso A.B., Siniscalchi D., Delevatti L.M., Malheiros E.B., Reis R.A., Ruggieri A.C. 2020. Greenhouse gases emissions from tropical grasslands affected by nitrogen fertilizer management. *Agron. J.*, 112, 4666-4680. <https://doi.org/10.1002/agj2.20385>
- Rochette P., Angers D.A., Chantigny M.H., Gasser M.O., Macdonald J.D., Pelster D.E., Bertrand N. 2013. NH_3 volatilization, soil NH_4^+ concentration and soil pH following subsurface banding of urea at increasing rates. *Can. J. Soil Sci.* 83, 261-268, <https://doi.org/10.4141/cjss2012-095>
- Saarijärvi K., Mattila P.K., Virkajärvi P. 2006. Ammonia volatilization from artificial dung and urine patches measured by the equilibrium concentration technique (JTI method). *Atmos. Environ.* 40, 5137–5145. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.03.052>
- Saggar S., Bolan N., Bhandral R., Hedley M., Luo J. 2004. A review of emissions of methane, ammonia, and nitrous oxide from animal excreta deposition and farm effluent application in grazed pastures. *New Zealand J. Agric. Res.* 47, 513–544. <https://doi.org/10.1080/00288233.2004.9513618>
- Saggar S., Hedley C.B., Giltrap D.L., Lambie S.M. 2007. Measured and modelled estimates of nitrous oxide emission and methane consumption from a sheep-grazed pasture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 122, 357-365. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.02.006>.
- Sanderson M.A. Liebig M.A. 2020. Forages and the Environment. In: *Forages II: The Science of Grassland Agriculture*, Chichester, 2, 249-259, <https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch13>
- Silva R.S., Barioni L.G., Hall J.A.J., Matsuura M. F., Albertini T. Z., Fernandes F.A., Moran D. 2016. Increasing beef production could lower greenhouse gas emissions in Brazil if decoupled from deforestation. *Nat. Clim. Chang.* 6, 493-497. <https://doi.org/10.1038/nclimate2916>
- Simon P. L., Dieckow J., De Klein C.A., Zanatta J.A., Van Der Weerden T.J., Ramalho B., Bayer C. 2018. Nitrous oxide emission factors from cattle urine and dung, and dicyandiamide (DCD) as a mitigation strategy in subtropical pastures. *Agric. Ecosyst. Environ.* 267, 74-82. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.08.013>.
- Sordi A., Dieckow J., Bayer C., Albuquerque M. A., Piva J. T., Zanatta J. A., Oraes A. 2014. Nitrous oxide emission factors for urine and dung patches in a subtropical Brazilian pastureland. *Agric. Ecosyst. Environ.* 190, 94-103. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.004>.
- Van Der Weerden T.J., Luob J., Dic H.J., Podolyanc A., Phillipsd R.L., Saggare S., De Kleina C.A.M., Coxa N., Ettemaf P., Rysf G. 2016 Nitrous oxide emissions from urea fertilizer and effluent with and without inhibitors applied to pasture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 219, 58-70. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.12.006>

Van Der Weerden T.J., Luo J., Klein C.A.M., Hoogendoorn C.J., Littlejohn R.P., Rys G.J. 2011. Disaggregating nitrous oxide emission factors for ruminant urine and dung deposited onto pastoral soils. *Agric. Ecosyst. Environ.* 141, 426–436. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2011.04.007>.

White R.R., Hall M.B. 2017. Nutritional and greenhouse gas impacts of removing animals from US agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 114, 10301-10308. <https://doi.org/10.1073/pnas.1707322114>.

Zhu Y., Merbold L., Leitner S., Wolf B., Pelster D., Goopy J., Butterbach-Bahl K. 2021. Interactive effects of dung deposited onto urine patches on greenhouse gas fluxes from tropical pastures in Kenya. *Sci. Total Environ.* 761, 143184. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143184>

CAPÍTULO 4 – IMPLICAÇÕES PRÁTICAS

Se observarmos os dados de morfogênese e estrutura do dossel dos sistemas extremos [Extensivo e Intensivo ($150 \text{ kg de nitrogênio ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)] podemos dizer que o sistema Intensivo não prejudica o dossel, pois não houve diferença na massa de forragem. Também foi observado menor filocrono, menor duração de vida da folha, elevada taxa de acúmulo, maior quantidade de folhas e menor quantidade de material morto, ou seja, um dossel que se renova frente à intensificação com adubação de nitrogênio. Isso permite alta taxa de lotação, enquanto o contrário foi observado para o sistema o Extensivo, o qual apresentou uma taxa de lotação inferior, ou seja, houve um menor aproveitamento do pasto, conseqüentemente excesso de material morto. O sistema Extensivo, embora assim nomeado, já tem controle de altura alvo do dossel e ajuste de taxa de lotação, sendo um início de melhorias a adoção de tecnologias de processos.

O Semi-intensivo ($75 \text{ kg de nitrogênio ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) apresentou dados que levam a concluir que houve sub pastejo, pois o acúmulo diário de $72,15 \text{ kg}$ de matéria seca aliado a um filocrono de $11,7$ dias (aceleração dos perfilhos) permitiria colocar mais uma unidade animal ($UA = 450 \text{ kg de peso vivo}$) na área, com a metade do nitrogênio aplicado. Isso nos leva a pensar que esse sistema seria a melhor intensificação, pois podemos aumentar a taxa de lotação, com metade do nitrogênio utilizado.

Se observarmos os fatores de emissão de óxido nitroso e metano fica claro, que para as condições de solo tropical, os inventários que utilizam dados do Painel Intragovernamental de Mudanças Climáticas superestimam e real emissão de gases do efeito estufa do Brasil. E os dados de amônia demonstram que a utilização de nitrato tem similar emissão quando comparado com fezes e urina; e que o uso dessa fonte de nitrogênio diminui as perdas por volatilização na interação com essas excretas. Assim sendo, o nitrato é uma fonte “amigável” pela menor emissão de óxido nitroso e metano e diminuir as perdas

de nitrogênio por volatilização, além de os perfilhos responderem bem a adubação (emitindo novas folhas, o que permitindo aumento da taxa de lotação).

Ressaltamos que a área experimental voltou a ser utilizada no ciclo de águas 16/17 (com adubação nitrogenada e aplicação de gesso agrícola no ciclo 17/18), após mais de cinco anos sem qualquer tipo de adubação, ajuste de lotação ou qualquer outra medida de controle do pastejo. Portanto a fertilidade do solo ainda necessita de alguns anos para atingir níveis elevados de nutrientes, sendo que a baixa fertilidade do solo da área estuda demonstram com maior fidedignidade o cenário da pecuária no Brasil, especialmente para região de transição Mata Atlântica para o Cerrado.

APÊNDICES



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias
FertLab - Laboratório de Fertilidade do Solo

Responsáveis: Prof. Manoel Evaristo Ferreira – CREA 21177 e Profa. Mara Cristina Pessoa da Cruz – CREA 505035
Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/nº CEP 14884-900 Jaboticabal (SP) Fone (0xx16) 3209-7402

Proprietário: Erick Escobar											
Propriedade: Fazenda FCAV (Bovinocultura)											
Município: Jaboticabal						Estado: SP					
Entrada: 14-08-2018						Saída: 26-09-2018					
Amostra nº		P resina	MO	pH CaCl ₂	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	SB	CTC	V
Seção	Interessado										
		mg/dm ³	g/dm ³		----- mmol _c /dm ³ -----						%
0902	01	8	19	4,8	1,3	11	10	31	22	53	42
0903	02	6	19	4,3	1,3	9	7	40	17	57	30
0904	03	5	17	4,4	1,4	10	8	34	19	53	36
0905	04	5	19	4,7	1,0	13	8	29	22	51	43
0906	05	7	20	4,7	1,1	14	9	29	24	53	45
0907	06	4	17	4,6	2,6	12	7	28	22	50	44
0908	07	5	17	4,7	1,2	13	7	28	21	49	43
0909	08	9	27	5,0	1,3	28	10	26	39	65	60
0910	09	7	23	5,1	2,5	28	10	25	41	66	62
0911	10	10	19	5,2	1,3	24	10	22	35	57	62
Observações:											

SIGNIFICADO DOS SÍMBOLOS

P resina = fósforo extraído do solo por resina trocadora de íons

MO = matéria orgânica

pH em CaCl₂ = pH determinado em solução centimolar de cloreto de cálcio

K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ = respectivamente potássio, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis

H+Al = acidez potencial

SB = soma de bases (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺)

CTC = capacidade de troca de cátions = SB + (H+Al)

V = índice de saturação por bases = 100SB/CTC

S-SO₄²⁻ = enxofre na forma de sulfato extraído com solução de Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol/L

CLASSES DE INTERPRETAÇÃO

Interpretação	P resina				S-SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	V	Acidez (pH)
	anuais	florestais	perenes	hortaliças						
	mg/dm ³									
Muito baixo	0 – 6	0-2	0-5	0-10		0 – 0,7			0-25	>6,0
Baixo	7 – 15	3-5	6-12	11-25	0-4	0,8–1,5	0 – 3	0 – 4	26-50	5,6-6,0
Médio	16 – 40	6-8	13-30	26-60	5-10	1,6-3,0	3- 7	5 – 8	51-70	5,1-5,5
Alto	41 – 80	9-16	31-60	61-120	>10	3,1-6,0	>7	>8	71-90	4,4-5,0
Muito alto	>80	>16	>60	>120		>6,0			>90	Até 4,3

Análise química do solo, agosto de 2018, laboratório de Fertilidade, FCAV – UNESP...

Responsáveis: Prof. Manoel Evaristo Ferreira – CREA 21177 e Profa. Mara Cristina Pessoa da Cruz – CREA 505035
Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/nº CEP 14884-900 Jaboticabal (SP) Fone (0xx16) 3209-7402

Proprietário: Erick Escobar											
Propriedade: Fazenda FCAV (Bovinocultura)											
Município: Jaboticabal						Estado: SP					
Entrada: 14-08-2018						Saída: 26-09-2018					
Amostra nº		P resina	MO	pH CaCl ₂	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	SB	CTC	V
Seção	Interessado	mg/dm ³	g/dm ³								
					----- mmol _c /dm ³ -----						%
0912	11	6	21	5,3	4,7	22	11	21	38	59	64
0913	12	9	19	5,2	9,0	19	13	21	41	62	66
0914	F1	5	24	5,2	0,8	27	9	24	37	61	61
0915	F2	8	24	5,2	8,4	19	12	28	39	67	58
0916	R1	22	25	5,7	7,4	34	20	22	61	83	74
0917	R2	9	22	5,2	2,3	24	11	28	37	65	57
0918	R3	4	18	4,6	1,6	13	7	34	22	56	39
0919	R4	6	17	4,2	0,9	9	6	42	16	58	27
0920	R5	6	21	5,2	1,6	25	9	26	36	62	58
0921	R6	8	25	5,1	2,0	21	11	29	34	63	54
Observações:											

SIGNIFICADO DOS SÍMBOLOS

P resina = fósforo extraído do solo por resina trocadora de íons

MO = matéria orgânica

pH em CaCl₂ = pH determinado em solução centimolar de cloreto de cálcio

K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ = respectivamente potássio, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis

H+Al = acidez potencial

SB = soma de bases (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺)

CTC = capacidade de troca de cátions = SB + (H+Al)

V = índice de saturação por bases = 100SB/CTC

S-SO₄²⁻ = enxofre na forma de sulfato extraído com solução de Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol/L

CLASSES DE INTERPRETAÇÃO

Interpretação	P resina				S-SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	V	Acidez (pH)
	anuais	florestais	perenes	hortaliças						
			mg/dm ³				----- mmol _c /dm ³ -----		%	
Muito baixo	0 – 6	0-2	0-5	0-10		0 – 0,7			0-25	>6,0
Baixo	7 – 15	3-5	6-12	11-25	0-4	0,8–1,5	0 – 3	0 – 4	26-50	5,6-6,0
Médio	16 – 40	6-8	13-30	26-60	5-10	1,6-3,0	3- 7	5 – 8	51-70	5,1-5,5
Alto	41 – 80	9-16	31-60	61-120	>10	3,1-6,0	>7	>8	71-90	4,4-5,0
Muito alto	>80	>16	>60	>120		>6,0			>90	Até 4,3



...continuação

Responsáveis: Prof. Manoel Evaristo Ferreira – CREA 21177 e Profa. Mara Cristina Pessoa da Cruz – CREA 505035
Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/nº CEP 14884-900 Jaboticabal (SP) Fone (0xx16) 3209-7402

[illegible]

SIGNIFICADO DOS SÍMBOLOS

P resina = fósforo extraído do solo por resina trocadora de íons

MO = matéria orgânica

pH em CaCl_2 = pH determinado em solução centimolar de cloreto de cálcio

K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} = respectivamente potássio, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis

H+Al = acidez potencial

SB = soma de bases ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+}$)

CTC = capacidade de troca de cátions = SB + (H+Al)

$$V = \text{índice de saturação por bases} = 100\text{SB}/\text{CTC}$$

S-SO₄²⁻ = enxofre na forma de sulfato extraído com solução de Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol/L

CLASSES DE INTERPRETAÇÃO

Interpretação	P resina				S-SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	V	Acidez (pH)
	anuais	florestais	perenes	hortaliças						
	mg/dm ³					mmol _c /dm ³			%	
Muito baixo	0 – 6	0-2	0-5	0-10		0 – 0,7			0-25	>6,0
Baixo	7 – 15	3-5	6-12	11-25	0-4	0,8–1,5	0 – 3	0 – 4	26-50	5,6-6,0
Médio	16 – 40	6-8	13-30	26-60	5-10	1,6-3,0	3 – 7	5 – 8	51-70	5,1-5,5
Alto	41 – 80	9-16	31-60	61-120	>10	3,1-6,0	>7	>8	71-90	4,4-5,0
Muito alto	>80	>16	>60	>120		>6,0			>90	Até 4,0

...final



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias
FertLab - Laboratório de Fertilidade do Solo

Responsáveis: Prof. Manoel Evaristo Ferreira – CREA 21177 e Profa. Mara Cristina Pessoa da Cruz – CREA 505035
Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/nº CEP 14884-900 Jaboticabal (SP) Fone (0xx16) 3209-7402

Proprietário: Fernando Ongaratto												
Propriedade: FCAV/Unesp – Bovinocultura de Corte												
Município: Jaboticabal							Estado: SP					
Entrada: 08-05-2019							Saída: 20-07-2019					
Amostra n ^o		P resina	MO	pH CaCl ₂	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	SB	CTC	V	
Seção	Interessado											
		mg/dm ³	g/dm ³	----- mmol _e /dm ³ -----							%	
0036	01	8	27	5,0	1,4	15	10	24	26	50	52	
0037	02	10	28	5,3	1,4	22	13	22	36	58	62	
0038	03	18	30	5,4	1,8	25	18	20	45	65	69	
0039	04	7	27	5,0	1,9	23	9	24	34	58	59	
0040	05	7	25	5,0	1,1	15	9	24	25	49	51	
0041	06	7	22	5,2	1,1	23	15	20	39	59	66	
0042	07	7	27	5,3	0,8	23	15	20	39	59	66	
0043	08	8	31	5,6	2,9	29	10	19	42	61	69	
0044	09	5	27	5,4	1,0	26	9	19	36	55	65	
0045	10	8	30	5,1	1,1	24	8	22	33	55	60	
0046	11	7	30	5,1	1,0	26	10	24	37	61	61	
0047	12	5	26	5,2	1,0	24	9	21	34	55	62	
Observações:												

SIGNIFICADO DOS SÍMBOLOS

P resina = fósforo extraído do solo por resina trocadora de íons

MO = matéria orgânica

pH em CaCl₂ = pH determinado em solução centimolar de cloreto de cálcio

K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ = respectivamente potássio, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis

H+Al = acidez potencial

SB = soma de bases (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺)

CTC = capacidade de troca de cátions = SB + (H+Al)

V = índice de saturação por bases = 100SB/CTC

S-SO₄²⁻ = enxofre na forma de sulfato extraído com solução de Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol/L

CLASSES DE INTERPRETAÇÃO

Interpretação	P resina				S-SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	V	Acidez (pH)
	anuais	florestais	perenes	hortaliças						
			mg/dm ³						%	
Muito baixo	0 – 6	0-2	0-5	0-10		0 – 0,7			0-25	>6,0
Baixo	7 – 15	3-5	6-12	11-25	0-4	0,8–1,5	0 – 3	0 – 4	26-50	5,6-6,0
Médio	16 – 40	6-8	13-30	26-60	5-10	1,6-3,0	3- 7	5 – 8	51-70	5,1-5,5
Alto	41 – 80	9-16	31-60	61-120	>10	3,1-6,0	>7	>8	71-90	4,4-5,0
Muito alto	>80	>16	>60	>120		>6,0			>90	Até 4,3

Análise química do solo, maio de 2019, laboratório de Fertilidade, FCAV – UNESP



ATHENAS CONSULTORIA AGRÍCOLA E LABORATÓRIO LTDA.
Av. Carlos Berchieri, 2271 - Cidade Jardim - Jaboticabal - SP - CEP: 14890-400
Fone: (16) 3209-1100 e-mail: athenas@athenasagricola.com.br
www.athenasagricola.com.br



RELATÓRIO DE ENSAIO N° S18/8245

Nome: **Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP** Material: **Solo** Realização dos Ensaios: 5/10/2018 até 11/10/2018
Endereço: Rua Pio XI, 1500 Data de Recebimento: 4/10/2018 Plano de Amostragem: NS Quantidade de Amostras: 2
Cidade: São Paulo Página: 1/1

Lab.	Cliente				ANÁLISE FÍSICA DO SOLO (%)							
	Propriedade	Talhão	Prof.	Grid	FRAÇÃO DA AREIA				Argila dispersa em água	Grau de flocculação	Grau de dispersão	
					ARGILA	SILTE	AREIA TOTAL	AMG	AG	AM	AF	AMF
S18/Z09324	Unesp	F1	0-20	PASTAGEM	29	4	67	-	31	-	36	-
S18/Z09325	Unesp	F2	0-20	PASTAGEM	26	8	65	-	29	-	37	-

AMG= areia muito grossa AG= areia grossa AM= areia média AF= areia fina AMF= areia muito fina

** EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro).
Manual de métodos de análise de solo/ Centro Nacional de Pesq. De Solos. - 2ª ed. revista. - Rio de Janeiro, 2011. 230p.

observações:

- Este Relatório de ensaio só deve ser reproduzido de forma completa.
- Amostragem realizada pelo cliente
- NS - Não Solicitado
- Os resultados se referem somente aos itens ensaiados.

FOR-SG 5.10-01 REV00

Jaboticabal, 11 de Outubro de 2018

Diogo Mazza Barbieri
Responsável Técnico - CREA: 5061992320



CERTIFICADO DE ACEITE PARA PUBLICAÇÃO

Data Submissão: **02/04/2021**

Data Aprovação: **03/04/2021**

Certificado N°: **210404069**

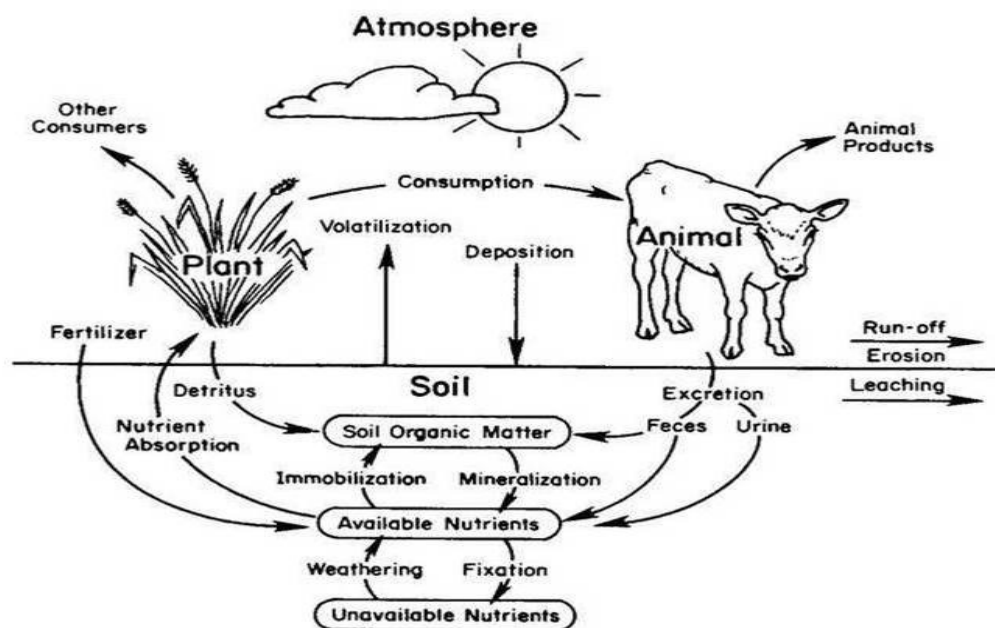
A Editora Científica Digital declara para os devidos fins que o artigo "ECOSSISTEMA PASTORIL SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS, CARACTERÍSTICAS DO DOSSEL E EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA" de autoria de Fernando Ongaratto, Eliéder Prates Romanzini foi aprovado e ACEITO pelo nosso Conselho Editorial e encontra-se no prelo para ser publicado como um capítulo de livro.

Reinaldo Cardoso

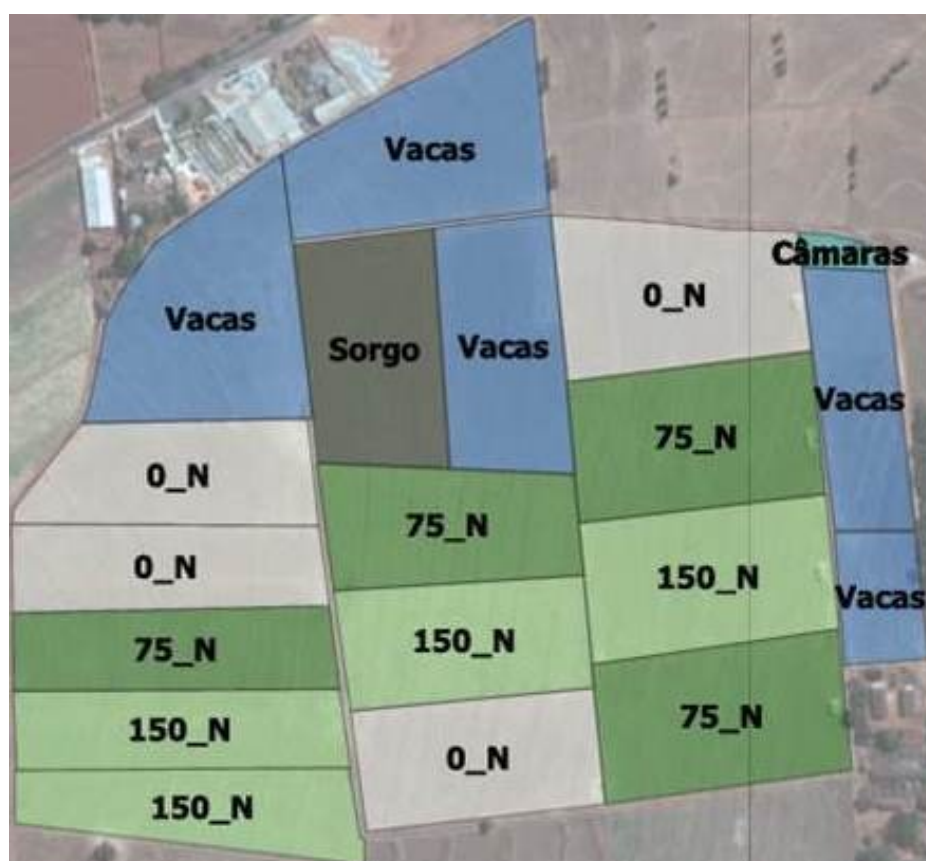
Editor-Geral



Comprovação de aceite da revisão de literatura, no formato de capítulo de livro, denominado:
Zootecnia: Pesquisa e Práticas Contemporâneas - Vol.1



Ecosistema pastoril, adaptado de Wilkinson e Lowery 1973



Área experimental, setor de Bovinocultura de Corte, FCAV – UNESP 2018 - 2020



Régua para medir a altura do dossel



Área de coleta de gases do efeito estufa e solo, 2019



Área para coleta de amônia, 2020



Bovinos experimentais, 2018



Medição de perfilhos e interação positiva com os bovinos, 2020



Fim de tarde no setor de Bovinocultura de Corte, FCAV – UNESP, 2020