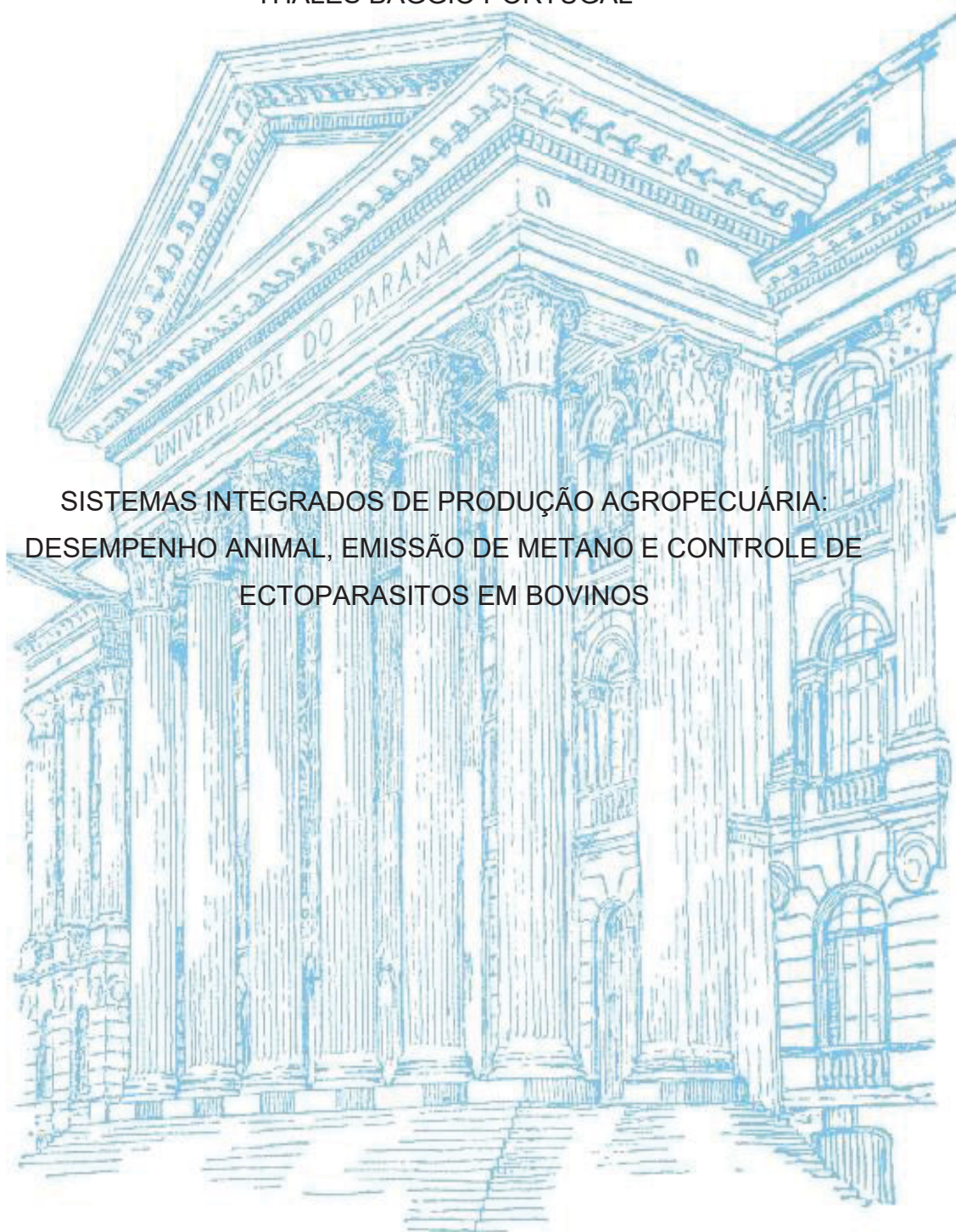


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

THALES BAGGIO PORTUGAL

SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA:
DESEMPENHO ANIMAL, EMISSÃO DE METANO E CONTROLE DE
ECTOPARASITOS EM BOVINOS



CURITIBA

2020

THALES BAGGIO PORTUGAL

SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA:
DESEMPENHO ANIMAL, EMISSÃO DE METANO E CONTROLE DE
ECTOPARASITOS EM BOVINOS

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação
em Agronomia, Área de concentração em
Produção Vegetal, Setor de Ciências Agrárias,
Universidade Federal do Paraná, como
requisito parcial para obtenção do título de
Doutor em Ciências.

Orientadora: Profa. Dra. Alda Lúcia Gomes
Monteiro

CURITIBA

2020

Portugal, Thales Baggio

Sistemas integrados de produção agropecuária: desempenho animal, emissão de metano e controle de ectoparasitos em bovinos. - Curitiba, 2020.

95f. : il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

Orientador: Profa. Dra. Alda Lúcia Gomes Monteiro

1. Produção agropecuária. Bovinos de corte. 3. Meio ambiente. I. Monteiro, Alda Lúcia Gomes. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AGRONOMIA
(PRODUÇÃO VEGETAL) - 40001016031P6

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **THALES BAGGIO PORTUGAL** intitulada: **SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA: DESEMPENHO ANIMAL, EMISSÃO DE METANO E CONTROLE DE ECTOPARASITOS EM BOVINOS**, sob orientação da Profa. Dra. ALDA LUCIA GOMES MONTEIRO, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 10 de Julho de 2020.

Assinatura Eletrônica
10/07/2020 17:48:09.0
ALDA LUCIA GOMES MONTEIRO
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
11/07/2020 08:28:19.0
ANIBAL DE MORAES
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
14/07/2020 14:19:31.0
GILBERTO VILMAR KOZLOSKI
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA)

Assinatura Eletrônica
10/07/2020 13:41:42.0
LEONARDO SILVESTRI SZYMCAK
Avaliador Interno Pós-Doc (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
10/07/2020 13:55:17.0
CRISTINA SANTOS SOTOMAIOR
Avaliador Externo (PONTIFICA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, pela vida e oportunidade;

Aos meus pais Jussara e João Cid e ao meu irmão Thomas, pelo apoio, carinho e amor;

À minha orientadora Prof^a Alda Lúcia Gomes Monteiro, profissional que tenho muito respeito e admiração, por toda sua determinação e esforço em tudo que faz. Fica meu agradecimento especial, foi excelente ter tido a oportunidade de ser seu orientado nesses últimos seis anos, muito obrigado;

Aos meus coorientadores Prof. Anibal de Moraes, Prof. Marcelo Beltrão Molento e Prof. Paulo César de Faccio Carvalho, pelos ensinamentos, conselhos e amizade;

Aos meus amigos e parceiros do componente pecuário, Breno Menezes de Campos, Daniela Maria Martin e Renata Franciéli Moraes, pelo trabalho árduo no dia a dia do campo, mas que trouxe uma grande amizade e companheirismo que levarei para a vida;

Aos meus amigos e colegas do PGAPV, Carlos Franco, Charles Leonel, Eduardo Roncatto, Gustavo Padilha, Leonardo Deiss, Leonardo Szymczak, Rafael Bonatto, Rubia Dominscheki e Silvano Kruchelski, pela imensa ajuda, conselhos e amizade;

Aos meus amigos e colegas do GPEP, Anderson Soares, Angel Zubieta e Gentil Félix, pela amizade, companheirismo e conselhos;

Aos meus amigos Jean Savian, Jusiane Rossetto e Willian Filho, Pós-docs que muito me ajudaram nessa reta final, sempre dispostos a me ajudar e aconselhar;

Aos mais de 200 estagiários que tive o prazer de trabalhar no período de pós-graduação, sem o esforço de cada um deles nada disso seria possível;

Ao Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária (NITA), onde tive o prazer de trabalhar desde o início do projeto em 2012. Foram dias de muito aprendizado, trabalho e desafios, mas que valeram muito para meu crescimento pessoal e profissional;

Aos funcionários da Fazenda Experimental do Canguiri, por todo trabalho na área experimental;

À Universidade Federal do Paraná e Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela oportunidade de cursar a pós-graduação;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos;

À todos vocês, de coração, meu muito obrigado!

“Deus nos concede, a cada dia, uma página de vida nova no livro do tempo.
Aquilo que colocarmos nela, corre por nossa conta.”

Chico Xavier

RESUMO

A emissão de gases do efeito estufa (GEE), causada principalmente por ações antrópicas, tem influenciado as mudanças climáticas, agindo diretamente nos ecossistemas por meio do aquecimento global. Logo, relacionar a produção de alimentos com a diminuição dos impactos ambientais é um desafio para a atual geração. Nesse contexto, os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), foram considerados pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) como modelos de produção sustentável, contribuindo para redução das emissões de GEE por unidade de produto agropecuário. Esse trabalho tem como objetivo: (I) contribuir para o entendimento sobre as emissões de metano entérico por bovinos em pastejo em diferentes sistemas pecuários em uma área de preservação ambiental (APA); (II) quantificar o desempenho animal e as emissões de metano por unidade de produto em bovinos, com manutenção do estado sanitário através do Tratamento Seletivo Bovino (TSB) em diferentes sistemas pecuários. Para isso, foi conduzido um experimento no Núcleo de Inovações Tecnológicas em Agropecuária (NITA), entre junho de 2017 e abril de 2018 (ano 1) e de agosto de 2018 a abril de 2019 (ano 2). O NITA está situado na Fazenda Experimental do Canguiri, Pinhais – PR, pertencente à Universidade Federal do Paraná (UFPR). O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com três repetições e quatro sistemas de produção, sendo eles: Pecuária (PEC), Pecuária-Floresta (PF), Lavoura-Pecuária (LP) e Lavoura-Pecuária-Floresta (LPF). Em todos os sistemas, a planta forrageira predominante no inverno foi a *Avena strigosa* Schreb e no verão, o *Megathyrsus maximus* cv. Áries. O sistema PEC apenas teve a presença do componente pecuário. Nos sistemas LP e LPF foram utilizados o sistema “*ley farming*”, com um ano de lavoura (*Zea mays*) antecedendo dois anos de pasto (2017 e 2018). O componente arbóreo do PF e LPF foi plantado em 2013, com espaçamento de 14 m entre linhas e 2 m entre plantas, com *Eucalyptus benthamii*. Foram utilizados novilhos da raça Angus, com peso vivo inicial de 154,78 kg $\pm$ 35,22 kg e 10 meses de idade no ano 1 e 241,19 kg $\pm$ 50,31 kg e 16 meses de idade no ano 2. Em cada sistema foram utilizados três animais testes. Foram avaliadas as emissões de metano (CH₄) entérico e consumo de matéria seca, assim como a composição química da forragem aparentemente consumida e a produção animal por área. Para o capítulo 2, os animais foram separados em três níveis de aplicação contra ectoparasitas, sendo: abaixo de três aplicações/ano, nível Baixo; três aplicações/ano, nível Médio; acima de três aplicações/ano, Nível Alto. O valor nutritivo da dieta foi semelhante entre os sistemas, diferindo entre estações do ano, sendo melhor no inverno ($p < 0,05$) em relação à pastagem de verão. As emissões de CH₄ (g animal dia⁻¹, g kg⁻¹ MO ingerida, g kg⁻¹ GMD e g hectare⁻¹) diferiram entre estações do ano, sendo maiores na pastagem de verão ($p < 0,05$). Os diferentes arranjos espaço-temporais de SIPA livre de pesticidas não afetam o consumo de forragem e a composição química da dieta aparentemente ingerida por bovinos em pastagens anuais de inverno e pastagens perenes de verão. Isso significa que os benefícios do manejo do pastejo moderado são preservados, reduzindo a intensidade da emissão de metano pelos bovinos. Em relação ao tratamento seletivo contra parasitoses, para cada sistema de produção, não houve diferença ($p > 0,05$) entre o ganho

médio diário dos animais por período de avaliação dos diferentes níveis de aplicação. Todas as variáveis relacionadas ao consumo de matéria seca e emissão de metano não diferiram entre níveis de aplicação de fármacos dentro de cada sistema de produção, com exceção da emissão de CH₄ por animal/dia. Neste caso, os animais do sistema PEC em nível Alto (> 3 aplicações/ano), apresentaram as maiores emissões. Conclui-se que a rotação entre lavoura para a produção de grãos e pastagens para a produção de bovinos pode ser recomendada como estratégia para maior eficiência na produção animal, com a vantagem da menor emissão de gás metano. Além disso, o uso de fármacos antiparasitários foi menor nos sistemas LP e LPF em relação aos demais sistemas. Para os sistemas integrados de produção agropecuária, a utilização do tratamento seletivo bovino não interfere no desempenho animal, consumo de forragem e emissão de metano.

Palavras-chave: GEE; bovinos; pasto; metano entérico; SICOPA.

ABSTRACT

The emission of greenhouse gases (GHG), caused mainly by human actions, has influenced climate change, acting directly on ecosystems through global warming. Therefore, relating food production to the reduction of environmental impacts is a challenge for the current generation. In this context, the integrated crop livestock systems (ICLS), were considered by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) as sustainable production models, contributing to the reduction of GHG emissions per unit of agricultural product. This work aims to: (I) contribute to the understanding of enteric methane emissions by cattle grazing in different livestock systems in an environmental preservation area (EPA); (II) quantify animal performance and methane emissions per unit of product in cattle, maintaining the health status through the Bovine Selective Treatment (BST) in different livestock systems. To this end, an experiment was conducted at the Center for Technological Innovations in Agriculture (NITA), between June 2017 and April 2018 (year 1) and from August 2018 to April 2019 (year 2). NITA is located at Canguiri Experimental Farm, Pinhais - PR, belonging to the Federal University of Paraná (UFPR). The experimental design was randomized blocks, with three replications and four production systems, namely: Livestock (PEC), Livestock-Forest (PF), Crop-Livestock (LP) and Crop-Livestock-Forest (LPF). In all systems, the predominant forage plant in winter was *Avena strigosa* Schreb and in summer, *Megathyrus maximus* cv. Aries. The PEC system only had the presence of the livestock component. In the LP and LPF systems, the "ley farming" system was used, with one year of farming (*Zea mays*) preceding two years of pasture (2017 and 2018). The PF and LPF tree component was planted in 2013, with a spacing of 14 m between rows and 2 m between plants, with *Eucalyptus benthamii*. Angus steers were used, with an initial live weight of $154.78 \text{ kg} \pm 35.22 \text{ kg}$ and 10 months of age in year 1 and $241.19 \text{ kg} \pm 50.31 \text{ kg}$ and 16 months of age in year 2. In each three test animals were used. Enteric methane (CH_4) emissions and dry matter consumption were evaluated, as well as the chemical composition of the apparently consumed forage and animal production by area. For Chapter 2, the animals were separated into three levels of application against ectoparasites, being: below three applications/year, Low level; three applications/year, Medium level; above three applications/year, High Level. The nutritional value of the diet was similar between systems, differing between seasons, being better in winter ($P < 0.05$), in relation to summer pasture. CH_4 emissions (g animal day^{-1} , $\text{g kg}^{-1} \text{ MO ingested}$, g kg^{-1} average daily gain (ADG) and g hectare^{-1}) differed between seasons, being higher in summer pasture ($P < 0.05$). We found that different spatiotemporal arrangements of pesticide-free ICLS do not affect DMI and diet chemical composition apparently ingested by beef cattle in winter annual and summer perennial

pastures. This means that the benefits of managing moderate grazing are preserved, reducing the intensity of methane emissions by animals. Regarding the selective treatment against parasites, for each production system, there was no difference ($p > 0.05$) between the average daily gain of the animals per evaluation period of the different levels of application. All variables related to dry matter consumption and methane emission did not differ between drug application levels within each production system, except for CH₄ emission per animal /day. In this case, the animals of the PEC system at High level (> 3 applications / year), presented the highest emissions. It is concluded that the rotation between crops for the production of grains and pastures for the production of cattle can be recommended as a strategy for greater efficiency in animal production, with the advantage of less emission of methane gas. In addition, the use of antiparasitic drugs was lower in the LP and LPF systems compared to the other systems. For integrated crop livestock systems, the use of selective bovine treatment does not interfere with animal performance, forage consumption and methane emission.

Keywords: GHG; cattle; pasture; enteric methane; SICOPA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Área experimental do Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária (NITA), com as divisões de tratamentos (vide texto) e de blocos, localizada na Fazenda Experimental do Canguiri da Universidade Federal do Paraná, dentro da Área de Proteção Ambiental do Iraí, Pinhais, PR.	30
Figura 2.2 – Esquema de condução do protocolo experimental e do período de avaliações sob diferentes sistemas para bovinos no NITA/UFPR.....	30
Figura 2.3 - Diagrama de ordenação de Análise de Coordenadas Principais (PCoA) da contribuição de cada espécie forrageira na dieta aparentemente ingerida por bovinos manejados em diferentes sistemas de produção pecuária a pasto (PEC: Pecuária; PF: Pecuária-Floresta; LP: Lavoura-Pecuária; LPF: Lavoura-Pecuária-Floresta) no inverno (i) e verão (v). Legenda: Outras, fabáceas e inflorescências.	39
Figura 3.1 - Área experimental do Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária (NITA), com as divisões de tratamentos (vide texto) e de blocos, localizada na Fazenda Experimental do Canguiri da Universidade Federal do Paraná, dentro da Área de Proteção Ambiental do Iraí, Pinhais, PR.	62
Figura 3.2 – Esquema de condução do protocolo experimental e do período de avaliações sob diferentes sistemas para bovinos no NITA/UFPR.....	62
Figura 3.3 - Porcentagem de utilização de carrapaticida ■, mosquicida □ e bernicida ■ nos diferentes sistemas de produção agropecuária. (a) PEC, ano 1; (b) PEC, ano 2; (c) PF, ano 1; (d) PF, ano 2; (e) LP, ano 1; (f) LP, ano 2; (g) LPF, ano 1; (h) LPF, ano 2.	68
Figura 3.4 – Porcentagem de doses de carrapaticida ■, mosquicida □ e bernicida ■ utilizadas em relação ao número de animais e desempenho animal entre os níveis de tratamento Baixo, Médio e Alto nos diferentes sistemas de produção agropecuária.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Massa de forragem e taxa de acúmulo do pasto de inverno e verão em sistemas de produção pecuária a pasto (PEC: Pecuária; PF: Pecuária-Floresta; LP: Lavoura-Pecuária; LPF: Lavoura-Pecuária-Floresta).....	36
Tabela 2.2 - Ingestão de forragem e composição química da dieta aparentemente ingerida (g kg^{-1}) por bovinos manejados em diferentes sistemas de produção pecuária a pasto (PEC: Pecuária; PF: Pecuária-Floresta; LP: Lavoura-Pecuária; LPF: Lavoura-Pecuária-Floresta).	37
Tabela 2.3 - Emissão de metano entérico, carga animal, ganho médio diário e ganho por área de bovinos manejados em diferentes sistemas de produção pecuária a pasto (PEC: Pecuária; PF: Pecuária-Floresta; LP: Lavoura-Pecuária; LPF: Lavoura-Pecuária-Floresta).	38
Tabela 3.1 - Número de aplicações mensais contra ectoparasitas em bovinos manejados em diferentes sistemas de produção agropecuária (PEC: Pecuária; PF: Pecuária-Floresta; LP: Lavoura-Pecuária; LPF: Lavoura-Pecuária-Floresta).	69
Tabela 3.2 - Consumo de MS e emissão de metano entérico por bovinos manejados em diferentes sistemas de produção agropecuária (PEC: Pecuária; PF: Pecuária-Floresta; LP: Lavoura-Pecuária; LPF: Lavoura-Pecuária-Floresta) e diferentes níveis de aplicação de fármaco antiparasitário (Baixo, Médio e Alto).....	71

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	16
1.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
2. CAPÍTULO 1 - EMISSÕES DE METANO POR BOVINOS EM PASTEJO EM ARRANJOS DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA (SIPA)	24
2.1 RESUMO	25
2.2 ABSTRACT	26
2.3 INTRODUÇÃO	27
2.3.1 Local experimental	28
2.3.2 Tratamentos e implantação dos sistemas pecuários	29
2.3.3 Manejo e adubação dos pastos	31
2.3.4 Avaliações na pastagem e análise química da forragem	31
2.3.5 Composição e valor nutricional da dieta	32
2.3.6 Animais	32
2.3.7 Análise dos dados	35
2.4 RESULTADOS	36
2.4.1 Características do pasto	36
2.4.2 Emissão de metano e desempenho animal	37
2.4.3 Contribuição de componentes pastagem na dieta aparentemente ingerida	38
2.5 DISCUSSÃO	39
2.5.1 Ingestão de forragem e desempenho animal	39
2.5.2 Emissão de CH ₄ entérico	40
2.6 CONCLUSÃO	44
2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

3. CAPÍTULO 2 - CONTRIBUIÇÃO DO TRATAMENTO SELETIVO DOS BOVINOS (TSB) PARA O CONTROLE DE ECTOPARASITAS E MITIGAÇÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA	56
3.1 RESUMO	57
3.2 ABSTRACT	58
3.3 INTRODUÇÃO	59
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	61
3.4.1 Local.....	61
3.4.2 Sistemas de produção pecuários e implantação	61
3.4.3 Manejo e adubação do pasto	63
3.4.4 Animais.....	63
3.4.5 Análise dos dados	67
3.5 RESULTADOS.....	67
3.6 DISCUSSÃO	71
3.7 CONCLUSÃO	75
3.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
VITA.....	95

1. INTRODUÇÃO GERAL

Nas últimas décadas, a comunidade científica de diferentes lugares do mundo vem alertando a sociedade em relação às mudanças climáticas, principalmente via ações antrópicas (Thornton e Herrero, 2010; FAO, 2011; Berndt e Tomkins, 2013; Gerber et al., 2013; FAO, 2017; Ramankutty et al., 2018). Tais mudanças vêm ocasionando o aquecimento da temperatura média da Terra, trazendo consigo uma série de consequências que desafiarão a sobrevivência da humanidade, como por exemplo, aumento no degelo (Jia et al., 2019), desertificação (Mirzabaev et al., 2019), insegurança alimentar (Faria, 2018), aumento nas doenças infecciosas (Wu et al., 2016), redução da biodiversidade (Smith et al., 2019), entre outras.

Dentre as atividades antrópicas, o setor agropecuário é responsável por pouco menos de um quarto, aproximadamente 10 a 12 Gt CO₂.eq.ano⁻¹, das emissões de gases de efeito estufa – GEE (IPCC, 2014). Desse total, atribui-se 2,5 Gt CO₂.eq.ano⁻¹ à bovinocultura de corte, sendo a pecuária de uma maneira geral responsável por aproximadamente 7,1 Gt CO₂.eq.ano⁻¹ das emissões, onde 44% estão na forma de metano - CH₄ (Gerber et al., 2013). Entretanto, este setor tem uma característica peculiar por apresentar diversas alternativas potenciais de mitigação dos GEE, tais como, o aumento da produtividade, redução do desmatamento e degradação florestal, aumento dos teores de carbono orgânico no solo, redução nas perdas pós-colheita, melhora no manejo das pastagens, diversificação agrícola e conservação do solo (Smith et al., 2019).

Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) são caracterizados como sistemas planejados para explorar sinergismos e propriedades emergentes, resultado de interações entre os diferentes compartimentos solo-planta-animal-atmosfera, que se interagem em diferentes escalas espaço-temporais (Moraes et al., 2014). Esses sistemas são encontrados em 25 milhões de km² (Bell e Moore, 2012) e respondem por aproximadamente 50% da produção mundial de alimentos com 65% da

produção de carne bovina, 75% do leite e 55% da produção de cordeiros dos países em desenvolvimento (Herrero et al., 2010). Segundo IPCC (2014), Havlík et al. (2014), Hoagland et al. (2010), Lemaire et al. (2014), Salton et al. (2014) e Savian et al. (2014), os SIPA têm potencial para contribuir para a redução das emissões de GEE por unidade de produto agropecuário, aumentando os estoques de carbono (C) no solo, a eficiência na ciclagem de nutrientes e qualidade do solo, preservando os recursos naturais e o meio ambiente.

A *Food and Agriculture Organization of the United Nations* – FAO, tem proposto modelos agrícolas de produção de alimentos com a finalidade de alcançar as alternativas potenciais para reduzir os impactos ambientais (FAO, 2010). Dentre esses modelos, os SIPA se destacam, uma vez que incrementam serviços ambientais (Bonaudo et al., 2014; Moraes et al., 2014), serviços ecossistêmicos (Lemaire et al., 2014), aumento nos teores de carbono e nitrogênio no solo (Assmann et al., 2014), aumento da biodiversidade e produtividade (Lemaire et al., 2014), além de potencializar a agricultura conservacionista pela diversidade e pelos fluxos de nutrientes oriundos da presença do animal em pastejo, resultando na mimetização de ecossistemas naturais (Moraes et al., 2014).

Na região sul do Brasil, as propriedades rurais que integram lavoura e pecuária na mesma área têm como característica a presença de lavouras de grãos nos períodos mais quentes do ano e pastos durante o ano todo, geralmente composto por plantas forrageiras anuais nos períodos mais frios e plantas forrageiras perenes nos períodos mais quentes (Carvalho et al., 2010; Moraes et al., 2014). Essa particularidade permite aos produtores planejar o uso das áreas de diversas formas, seja através da utilização de lavouras de inverno ou verão, seja escolhendo o melhor momento do ano para entrada e saída dos animais nas áreas (Moraes et al., 2014).

Além da utilização de modelos agrícolas que possibilitem a redução dos impactos ambientais, a utilização de ferramentas que auxiliem para essa redução é essencial. Dentre essas ferramentas, está o Tratamento Seletivo dos Bovinos (TSB), desenvolvido com objetivo de evitar a resistência dos endo e

ectoparasitas aos medicamentos, prolongar a eficácia dos mesmos e aumentar a efetividade dos tratamentos, ao mesmo tempo em que o desempenho animal não seja prejudicado (Molento, 2004). Segundo esse autor, o TSB consiste numa metodologia que identifica os animais atacados por determinado parasito e direciona o tratamento antiparasitário somente nestes, evitando aplicação em todo rebanho.

Levando em conta que o desempenho animal tem papel fundamental na mitigação dos GEE, uma vez que a diminuição nas emissões de GEE por produto animal é reduzida quanto maior o desempenho animal (Gill et al., 2009; Berndt e Tomkins, 2013), a utilização do TSB pode vir a contribuir para uma pecuária mais sustentável, utilizando menor quantidade de produtos químicos, sem comprometer o desempenho animal.

Logo, há necessidade de mensurar os efeitos climáticos associados à utilização dos SIPA visando melhor entendimento desse tipo de sistema. Essa tese vem para contribuir com esse cenário, através de modelos e ferramentas que possibilitem alternativas para a produção agrícola no presente e no futuro. Além disso, visa demonstrar a possibilidade de um sistema de produção diversificado, produtivo e com mais autonomia, uma vez que a dependência de *inputs*, tais como fertilizantes e agrotóxicos, diminui em relação aos sistemas tradicionais (Magne et al., 2019).

As hipóteses desse trabalho são: (I) a diversidade espaço-temporal planejada dos componentes do sistema (agricultura, silvicultura e pastagem) pode afetar a produção de forragem e, conseqüentemente, aumentar a emissão de metano entérico animal em comparação com sistemas de pecuária baseados em pastagens bem manejadas e (II), a aplicação do método TSB pode monitorar o estado de saúde dos animais, garantindo o potencial biológico sem comprometer às emissões de metano por bovinos em pastejo em diferentes sistemas integrados de produção agropecuária. Para obter esse entendimento, essa tese foi dividida em dois capítulos, com os seguintes objetivos: (I) quantificar o desempenho animal e as emissões de metano por bovinos em pastejo em arranjos de sistemas pecuários, durante o período de inverno e de verão; e (II) quantificar o desempenho animal e as emissões de

metano por unidade de produto em bovinos, com manutenção do estado sanitário por meio do TSB em diferentes sistemas pecuários.

1.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Assmann, J.M., Anghinoni, I., Martins, A.P., de Andrade, S.E.V.G., Cecagno, D., Carlos, F.S. e de Faccio Carvalho, P.C., 2014. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop–livestock system under no-tillage in southern Brazil. *Agriculture, ecosystems & environment*, 190, pp.52-59.

Bell, L.W. e Moore, A.D., 2012. Integrated crop–livestock systems in Australian agriculture: Trends, drivers and implications. *Agricultural Systems*, 111, pp.1-12.

Berndt, A. e Tomkins, N.W., 2013. Measurement and mitigation of methane emissions from beef cattle in tropical grazing systems: a perspective from Australia and Brazil. *Animal*, 7(s2), pp.363-372.

Bonaudo, T., Bendahan, A.B., Sabatier, R., Ryschawy, J., Bellon, S., Leger, F., Magda, D. e Tichit, M., 2014. Agroecological principles for the redesign of integrated crop–livestock systems. *European Journal of Agronomy*, 57, pp.43-51.

Carvalho, P.C. de F., Anghinoni, I., de Moraes, A., de Souza, E.D., Sulc, R.M., Lang, C.R., Flores, J.P.C., Lopes, M.L.T., da Silva, J.L.S., Conte, O. e de Lima Wesp, C., 2010. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 88(2), pp.259-273.

Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2010. An international consultation on integrated crop-livestock systems for development: The way forward for sustainable production intensification. *Integrated Crop Management*, 13(1).

Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011. World livestock 2011–Livestock in food security.

Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO, 2017. The future of food and agriculture Trends and challenges. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf>

Faria, A.C.F.P.de, 2018. Understanding How Climate Change Impacts Food Security and Human Development in the Fragile States: A Comparative Study of Five of the Most Fragile States in Africa. *Journal for Peace and Justice Studies*, 28(1), pp.3-39.

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

Gill, M., Smith, P. e Wilkinson, J.M., 2009. Mitigating climate change: the role of domestic livestock. *Animal*, 4(3), pp.323-333.

Havlík, P., Valin, H., Herrero, M., Obersteiner, M., Schmid, E., Rufino, M.C., Mosnier, A., Thornton, P.K., Böttcher, H., Conant, R.T. e Frank, S., 2014. Climate change mitigation through livestock system transitions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(10), pp.3709-3714.

Herrero, M., Thornton, P.K., Notenbaert, A.M., Wood, S., Msangi, S., Freeman, H.A., Bossio, D., Dixon, J., Peters, M., van de Steeg, J. e Lynam, J., 2010. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. *Science*, 327(5967), pp.822-825.

Hoagland, L., Hodges, L., Helmers, G.A., Brandle, J.R. e Francis, C.A., 2010. Labor availability in an integrated agricultural system. *Journal of sustainable agriculture*, 34(5), pp.532-548.

IPCC, C.C., 2014. Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jia, G., E. Shevliakova, P. Artaxo, N. De Noblet-Ducoudré, R. Houghton, J. House, K. Kitajima, C. Lennard, A. Popp, A. Sirin, R. Sukumar, L. Verchot, 2019: Land–climate interactions. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)].

Lemaire, G., Franzluebbbers, A., de Faccio Carvalho, P.C. e Dedieu, B., 2014. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190, pp.4-8.

Magne, M.A., Martin, G., Moraine, M., Ryschawy, J., Thenard, V., Triboulet, P. e Choisis, J.P., 2019. An Integrated Approach to Livestock Farming Systems' Autonomy to Design and Manage Agroecological Transition at the Farm and Territorial Levels. In *Agroecological Transitions: From Theory to Practice in Local Participatory Design* (pp. 45-68). Springer, Cham.

Mirzabaev, A., J. Wu, J. Evans, F. García-Oliva, I.A.G. Hussein, M.H. Iqbal, J. Kimutai, T. Knowles, F. Meza, D. Nedjraoui, F. Tena, M. Türkeş, R.J. Vázquez, M. Wertz, 2019: Desertification. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)].

Molento, M.B., 2004. Resistência de helmintos em ovinos e caprinos. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, 13(1), pp.82-87.

Moraes, A.D., de Faccio Carvalho, P.C., Anghinoni, I., Lustosa, S.B.C., de Andrade, S.E.V.G. e Kunrath, T.R., 2014. Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. *European Journal of Agronomy*, 57, pp.4-9.

Ramankutty, N., Mehrabi, Z., Waha, K., Jarvis, L., Kremen, C., Herrero, M. e Rieseberg, L.H., 2018. Trends in global agricultural land use: implications for environmental health and food security. *Annual review of plant biology*, 69, pp.789-815.

Salton, J.C., Mercante, F.M., Tomazi, M., Zanatta, J.A., Concenção, G., Silva, W.M. e Retore, M., 2014. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190, pp.70-79.

Savian, J.V., Neto, A.B., de David, D.B., Bremm, C., Schons, R.M.T., Genro, T.C.M., do Amaral, G.A., Gere, J., McManus, C.M., Bayer, C. e de Faccio Carvalho, P.C., 2014. Grazing intensity and stocking methods on animal production and methane emission by grazing sheep: Implications for integrated crop–livestock system. *Agriculture, ecosystems & environment*, 190, pp.112-119.

Smith, P., J. Nkem, K. Calvin, D. Campbell, F. Cherubini, G. Grassi, V. Korotkov, A.L. Hoang, S. Lwasa, P. McElwee, E. Nkonya, N. Saigusa, J.-F. Soussana, M.A. Taboada, 2019: Interlinkages Between Desertification, Land Degradation, Food Security and Greenhouse Gas Fluxes: Synergies, Trade-offs and Integrated Response Options. In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Portner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)].

Thornton, P.K. e Herrero, M., 2010. Potential for reduced methane and carbon dioxide emissions from livestock and pasture management in the tropics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(46), pp.19667-19672.

Wu, X., Lu, Y., Zhou, S., Chen, L. e Xu, B., 2016. Impact of climate change on human infectious diseases: Empirical evidence and human adaptation. *Environment international*, 86, pp.14-23.

**2. CAPÍTULO 1 - EMISSÕES DE METANO POR BOVINOS EM PASTEJO
EM ARRANJOS DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO
AGROPECUÁRIA (SIPA)**

Emissões de metano por bovinos em pastejo em arranjos de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA)

2.1 RESUMO

Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), além de intensificar o uso da terra e diversificar a produção, tem potencial de incrementar serviços ecossistêmicos, tais como reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE). O objetivo foi estimar as emissões de metano entérico por bovinos em pastejo em diferentes arranjos de SIPA. O experimento foi conduzido no Núcleo de Inovações Tecnológicas em Agropecuária (NITA), na Fazenda Experimental do Canguiri, Pinhais, PR, Brasil, entre 2017 e 2019, em Área de Proteção Ambiental (APA). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro tratamentos (sistemas de produção pecuária): Pecuária (PEC), Pecuária-Floresta (PF), Lavoura-Pecuária (LP) e Lavoura-Pecuária-Floresta (LPF); e três repetições, totalizando 12 piquetes. Foram utilizados 72 novilhos castrados da raça Angus, sendo 36 novilhos com peso vivo de 154,78 kg $\pm$ 35,22 kg e 10 meses de idade (ano 1) e 36 novilhos com 241,15 kg $\pm$ 49,18 kg e 14 meses de idade (ano 2). As pastagens eram predominantemente formadas por *Avena strigosa* Schreb no inverno e *Megathyrsus maximus* cv. Aries no verão. Em cada repetição, as emissões de CH₄ entérico e consumo de matéria seca foram medidas em três novilhos. Além disso, foram avaliadas as características do pasto, a composição química da forragem aparentemente consumida e a produção animal por área. O valor nutritivo da dieta foi semelhante entre os sistemas, diferindo entre estações do ano, sendo melhor no inverno, com maiores teores de PB e menor FDN no pasto de aveia preta e azevém, em relação à pastagem de verão composta por capim Áries. As emissões de CH₄ por animal, por kg de matéria orgânica ingerida e por área diferiram entre estações do ano, sendo maiores na pastagem de verão. Conclui-se que os diferentes arranjos espaço-temporais de SIPA livre de pesticidas não afetam o consumo de forragem e a composição química da dieta aparentemente ingerida por bovinos em pastagens anuais de inverno e pastagens perenes de verão. Isso significa que os benefícios do manejo do pastejo moderado são preservados, reduzindo a intensidade da emissão de metano pelos bovinos.

Palavras-chave: GEE, mitigação, produção animal, pastagem.

Methane emissions from cattle grazing in different arrangements of Integrated Crop Livestock Systems (ICLS)

2.2 ABSTRACT

The integrated crop livestock systems (ICLS), in addition to intensifying land use and diversifying production, have the potential to increase ecosystem services, such as reducing greenhouse gas (GHG) emissions. The objective was to estimate enteric methane emissions from cattle grazing in different ICLS arrangements. The experiment was conducted at the Center for Technological Innovations in Agriculture (NITA), at the Canguiri Experimental Farm, Pinhais, PR, Brazil, between 2017 and 2019, in an Environmental Protection Area (EPA). The experimental design was in randomized blocks, with four treatments (livestock production systems): Livestock (L), Livestock-Forest (LF), Crop-Livestock (CL) and Crop-Livestock-Forest (CLF); and three repetitions, totaling 12 paddocks. 72 castrated Angus steers were used, 36 steers with a live weight of $154.78 \text{ kg} \pm 35.22 \text{ kg}$ and 10 months old (year 1) and 36 steers with $241.15 \text{ kg} \pm 49.18 \text{ kg}$ and 14 months old (year 2). Pastures were predominantly made up of *Schreb strigosa* in winter and *Megathyrus maximus* cv. Aries in the summer. In each repetition, the emissions of enteric CH_4 and dry matter consumption were measured in three steers. In addition, the characteristics of the pasture, the chemical composition of the forage apparently consumed and the animal production by area were evaluated. The nutritional value of the diet was similar between systems, differing between seasons, being better in winter, with higher levels of CP and lower NDF in black oat and ryegrass pasture, compared to summer pasture composed of Aries grass. CH_4 emissions per animal, per kg of organic matter ingested and per area differed between seasons, being higher in summer pasture. We found that different spatiotemporal arrangements of pesticide-free ICLS do not affect DMI and diet chemical composition apparently ingested by beef cattle in winter annual and summer perennial pastures. This means that the benefits of managing moderate grazing are preserved, reducing the intensity of methane emissions by animals.

Keyword: GHG, mitigation, animal production, pasture.

2.3 INTRODUÇÃO

Embora os avanços na produção de alimentos nas últimas décadas tenham acompanhado o crescimento da população humana, trouxeram consigo um elevado custo ambiental (Ramankutty et al., 2018). Paralelamente a esses avanços, a sociedade vem reivindicando garantias e transparência quanto aos sistemas de produção animal (FAO, 2017). Equalizar a produção de alimentos com a preservação do meio ambiente é questão fundamental de segurança alimentar e ecológica, representando um grande desafio para as gerações humanas atuais e futuras (Lemaire et al., 2014).

A agropecuária é responsável por pouco menos de um quarto ou aproximadamente 10 a 12 Gt CO₂eq por ano das emissões antropogênicas de gases do efeito estufa (GEE), principalmente através do desmatamento e da pecuária (IPCC, 2014). Desse total, atribui-se à pecuária aproximadamente 7,1 Gt CO₂eq ano⁻¹ das emissões, sendo 44% na forma de CH₄ (Gerber et al., 2013). Entretanto, em sistemas de produção a pasto, quando o manejo do pasto garante níveis altos de consumo de forragem pelos animais e uma dieta de alto valor nutritivo, estes são capazes de mitigar a emissão e intensidade de CH₄ proveniente da fermentação entérica (Congio et al., 2018; Savian et al., 2018; Souza-Filho et al., 2019), além de mitigar as emissões do solo (Congio et al., 2018) e emissões de óxido nitroso (N₂O) de excretas provenientes da urina de ruminantes (Chirinda et al., 2019), por exemplo.

Como resposta aos desafios de acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhorar a nutrição humana, enquanto promove a agricultura sustentável (United Nations, 2015), a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) tem apoiado muitos modelos agrícolas de produção de alimentos, tais como os sistemas integrados de produção agropecuária – SIPA (FAO, 2010). Segundo Moraes et al. (2014), os SIPA incrementam serviços ambientais tanto da agricultura quanto da pecuária, potencializando a agricultura conservacionista pela diversidade e pelos fluxos de nutrientes oriundos da presença do animal em pastejo, resultando na mimetização de ecossistemas naturais. Essa abordagem diversifica a paisagem, aumenta a biodiversidade e produtividade do sistema, ao mesmo tempo em que promove serviços ecossistêmicos (Lemaire et. al., 2014).

Esses sistemas são encontrados em 25 milhões de km² (Bell e Moore, 2012) e respondem por aproximadamente 50% da produção mundial de alimentos com 65% da produção de carne bovina, 75% do leite e 55% da produção de cordeiros dos países em desenvolvimento (Herrero et al., 2010). Segundo IPCC (2014), Havlík et al. (2014), Hoagland et al. (2010), Lemaire et al. (2014), Salton et al. (2014) e Savian et al. (2014), os SIPA têm potencial para contribuir para a redução das emissões de GEE por unidade de produto agropecuário, aumentando os estoques de carbono (C) no solo, a eficiência na ciclagem de nutrientes e qualidade do solo, preservando os recursos naturais e o meio ambiente.

A hipótese deste trabalho é que a diversidade espaço-temporal planejada dos componentes do sistema (lavoura, pastagem e silvicultura) pode afetar a produção de forragem e, conseqüentemente, aumentar a emissão de metano entérico animal em comparação com sistemas de pecuária baseados em pastagem bem manejadas. O objetivo do estudo foi quantificar a emissão de metano por bovinos de corte em diferentes arranjos espaço-temporais de SIPA livre de pesticidas, durante os períodos de inverno e verão.

2.3.1 Local experimental

O experimento foi conduzido em dois anos, de julho de 2017 a fevereiro de 2018 (ano 1) e de agosto de 2018 a março de 2019 (ano 2) no Núcleo de Inovações Tecnológicas em Agropecuária (NITA), situado na Fazenda Experimental do Canguiri, Pinhais – PR, pertencente à Universidade Federal do Paraná (UFPR), com coordenadas geográficas aproximadas: 25°24'4,31"S de latitude e 49° 7'15,02"O de longitude, 918 m de altitude. Segundo classificação de Köppen, o clima da região é descrito como Cfb, com precipitação anual média de 1400 mm e temperaturas médias variando de 12,5°C a 22,5°C, sujeito a geadas frequentes e severas (Nitsche et al., 2019).

A área experimental está situada na Área de Proteção Ambiental (APA) Estadual do Iraí. Segundo o Artigo 15 da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, “a Área de Proteção Ambiental é uma área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou

culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais”. De acordo com o Decreto nº 1753, de 06 de maio de 1996, que institui a APA Estadual do Iraí, no seu Artigo 6º, parágrafo V, é proibido “o uso de agrotóxicos e outros biocidas em desacordo com as normas ou recomendações instituídas no Plano de Manejo”. Logo, não foi utilizado nenhum defensivo químico para controle de pragas, doenças e plantas daninhas no experimento.

Esse trabalho foi aprovado pela Comissão de Ética no uso de animais do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná - protocolo número 069/2016.

2.3.2 Tratamentos e implantação dos sistemas pecuários

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três repetições (piquete) e quatro tratamentos, sendo eles: Pecuária (PEC), Pecuária-Floresta (PF), Lavoura-Pecuária (LP) e Lavoura-Pecuária-Floresta (LPF). A área experimental total foi de 20,87 ha, divididos em 12 unidades experimentais (piquete) de $1,74 \pm 0,30$ ha cada (Figura 2.1). O fator de bloqueamento foi em função da declividade do terreno e padrões de drenagem, sendo o bloco 1 e 2 divididos por uma curva de nível divergente e, entre os blocos 2 e 3, pelo divisor de águas. Nos dois anos de experimento, em todos os tratamentos foi utilizada como pastagem de inverno a mistura de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) e plantas espontâneas, tais como azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), trevo vermelho (*Trifolium pratense* L.), ervilhaca (*Vicia sp*), entre outras. Já no verão, foi utilizado o capim Áries [*Megathyrsus* (ex *Panicum*) *maximum*] e plantas espontâneas, tais como capim Papuã [*Urochloa* (ex *Brachiaria*) *plantaginea*], Estrela Africana (*Cynodon plectostachyus*), Hemartria (*Hemarthria altissima*) entre outras. O capim Áries foi estabelecido no verão de 2012/2013 em ambos os tratamentos.

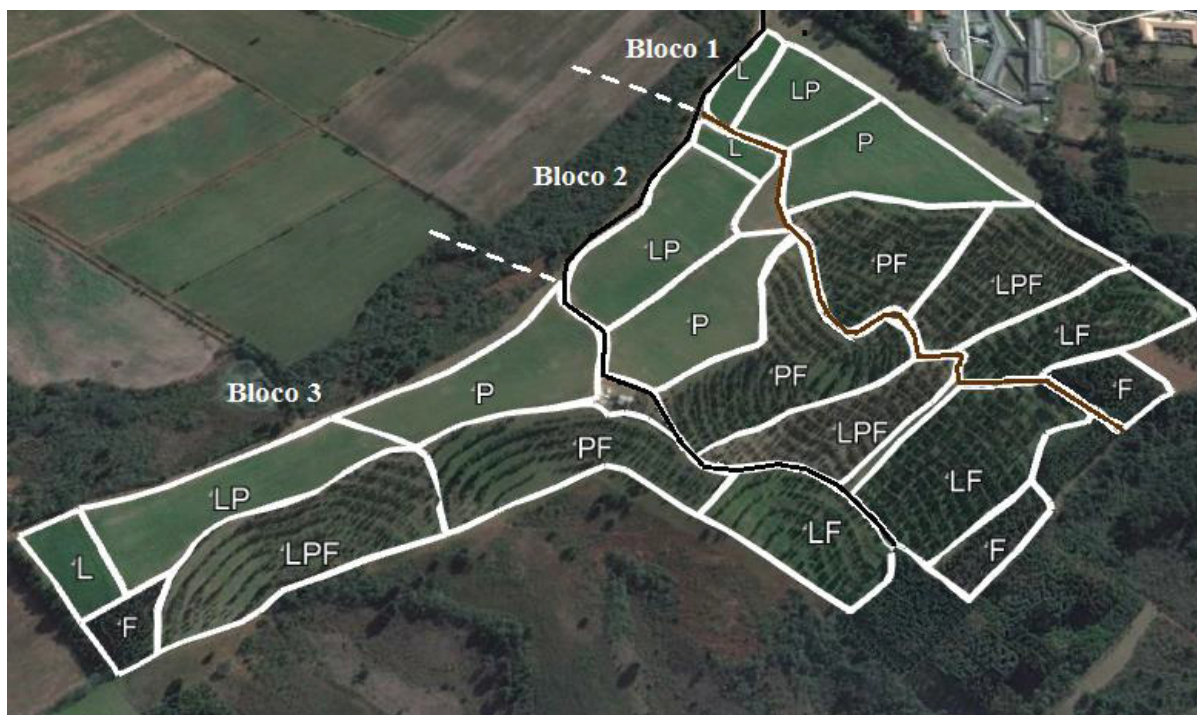


Figura 2.1 - Área experimental do Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária (NITA), com as divisões de tratamentos (vide texto) e de blocos, localizada na Fazenda Experimental do Canguiri da Universidade Federal do Paraná, dentro da Área de Proteção Ambiental do Iraí, Pinhais, PR.

A Figura 2.2 apresenta o esquema de condução do protocolo experimental e o período de avaliações.

Sistemas de produção	Condução do protocolo experimental		Período de avaliações
PEC e PF	Pastejo 	Pastejo 	Pastejo 
	inverno/primavera 2016	verão 2016/2017	inverno 2017 a verão 2018/2019
LP e LPF	Cobertura verde 	Lavoura 	Pastejo 
	inverno/primavera 2016	verão 2016/2017	inverno 2017 a verão 2018/2019

Figura 2.2 – Esquema de condução do protocolo experimental e do período de avaliações sob diferentes sistemas para bovinos no NITA/UFPR.

Os animais permaneceram nos sistemas entre junho de 2017 a abril de 2018 (ano 1) e entre agosto de 2018 a abril de 2019 (ano 2). Nos períodos de outono, os animais eram retirados para o estabelecimento das forrageiras de inverno. O sistema PEC se caracteriza por ser formado unicamente de pasto em todos os anos, não tendo outro componente vegetal (árvore ou lavoura). Nos sistemas com lavoura (LP e LPF), antecedendo ao experimento, foi cultivado milho (*Zea mays* L) em sistema de plantio direto sem utilização de

herbicida, no verão 2016/2017. Os sistemas PF e LPF se caracterizam pela presença do componente arbóreo. As árvores foram plantadas em 2013, com espaçamento de 14 m entre linhas e 2 m entre plantas, com *Eucalyptus benthamii* conforme descrito por Porfírio-da-Silva et al. (2018). No outono de 2017 foi realizado um desbaste, retirando aproximadamente 50% das árvores da área experimental (Porfírio-da-Silva et al., 2018).

2.3.3 Manejo e adubação dos pastos

Em abril de 2017 e 2018 foram semeados 80 kg.ha⁻¹ de aveia preta em sistema de plantio direto sem utilização de herbicida para dessecação. Para cada ano, foram realizadas duas adubações nitrogenadas a lanço com 90 kg N ha⁻¹ por aplicação na forma de ureia em cada inverno. A primeira aplicação quando a aveia preta apresentava três a cinco folhas. A segunda aplicação 40 dias após a entrada dos animais nos piquetes. Uma terceira aplicação com 130 kg N ha⁻¹ na forma de ureia, foi realizada no mês de dezembro de 2018 e dezembro de 2019, quando o capim Áries começava a predominar. Juntamente com esta adubação, foi aplicado 110 kg de K₂O na forma de KCl e 200kg de P₂O₅ na forma de fosfato natural. Todos os tratamentos receberam a mesma quantidade de N, P e K.

O método de pastoreio utilizado foi o contínuo, com carga animal variável, segundo a técnica *put-and-take* (Mott e Lucas, 1952).

2.3.4 Avaliações na pastagem e análise química da forragem

A cada semana, a altura do pasto foi estimada aferindo 150 pontos de altura de lâmina foliar por piquete, utilizando um *sward stick* (Barthram, 1985), tendo como meta manter a altura do pasto em 20 cm. A cada 28 dias foi estimada a taxa de acúmulo diária de matéria seca (TAMS), pelo método do triplo emparelhamento (Moraes et al., 1990) utilizando três gaiolas de exclusão de pastejo por piquete. As gaiolas foram alocadas de forma aleatória em cada piquete. A massa de forragem (MF) era colhida rente ao solo com auxílio de um quadrado metálico de 0,25 m². As amostras eram secas em estufa a 65°C até atingirem peso constante para posterior pesagem.

2.3.5 Composição e valor nutricional da dieta

Uma amostra composta da dieta aparentemente consumida pelos animais foi colhida através da simulação de bocados, utilizando-se a técnica de monitoramento contínuo de bocados proposta por Bonnet et al., (2015) por período de quarenta e cinco minutos em cada piquete. As avaliações do monitoramento contínuo de bocados foram realizadas em dez períodos de avaliação em todos os piquetes (julho/2017, agosto/2017, setembro/2017, dezembro/2017, janeiro/2018, fevereiro/2018, agosto/2018, dezembro/2018, janeiro/2019 e fevereiro/2019). Para cada avaliação, foi observado um animal teste por piquete, totalizando 12 amostras por avaliação e 120 amostras totais.

Detalhes sobre familiarização com os animais e elaboração da grade de bocados são encontrados em Martin (2018). Após isso, as amostras foram compostas de acordo com os percentuais de cada bocado dado pelo animal e suas respectivas MS. Posteriormente foram secas até atingir peso constante em estufa a 55°C e moídas para determinação da matéria orgânica, cinzas, proteína bruta, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e energia bruta.

2.3.6 Animais

Foram utilizados 36 novilhos castrados da raça Angus, com peso vivo inicial de $154,78 \pm 35,2$ kg e 10 meses de idade no ano 1 e $241,15 \pm 49,2$ kg e 14 meses de idade no ano 2. Em cada tratamento foram utilizados três animais testes ($n=72$) e número variável de animais reguladores, sendo ambos semelhantes em peso, raça e idade. Os animais tiveram acesso a água limpa e sal mineral *ad libitum*. O manejo sanitário dos animais foi realizado de maneira seletiva para endo e ectoparasitas, medicando apenas os animais que atingiam determinada incidência parasitária, de acordo com Molento (2004).

2.3.6.1 Desempenho animal

A cada 28 dias, os animais foram submetidos a jejum de sólidos e líquidos por 12 horas, para posterior pesagem. O ganho médio diário (GMD), expresso

em kg de peso vivo (PV) por animal dia^{-1} , foi calculado pela diferença do peso final do peso inicial, dividido pelo número de dias que os animais (testes) permaneceram em pastejo. O ganho por área, expresso em kg de PV/ha, foi calculado pela multiplicação do ganho de peso total dos animais testes pela carga animal média do piquete, dividido pelo peso corporal dos animais testes, dividido pela área do piquete. A carga animal diária foi calculada pela adição do peso vivo dos animais testes com o peso vivo dos animais reguladores. A média das cargas animal diárias resultou na carga animal média por piquete.

2.3.6.2 Consumo de forragem

Para estimar o consumo de matéria orgânica (MO) da pastagem, foram utilizados três animais testes por piquete, através da equação: Matéria orgânica ingerida = $1,10 + (101,19 \times \text{N-fecal (g/dia/kg de PV)})$ (Kozloski et al., 2018). Para determinação da produção fecal, foi utilizada a técnica do marcador externo dióxido de titânio (TiO_2) nos dez períodos correspondentes às avaliações do monitoramento contínuo de bocados (item 2.3.5). Em cada avaliação, dosagens de 5 g de TiO_2 foram realizadas duas vezes ao dia, às 09h00 e 15h00, durante 12 dias, sendo os sete primeiros dias para estabilização do marcador e os últimos cinco dias para recuperação fecal (Glindemann et al., 2009). Anteriormente a cada início de avaliação, foram coletadas amostras de fezes de todos os animais para descontar concentrações de TiO_2 já existentes (1,24 e 2,11 $\mu\text{g TiO}_2/\text{ml}$ para ano 1 e 2, respectivamente). O TiO_2 foi envolto por papel seda na forma de papelote, sendo administrado via oral com auxílio de uma mangueira plástica. As amostras de fezes foram coletadas duas vezes ao dia, às 09h00 e 15h00, direto da ampola retal, totalizando 10 subamostras por animal, sendo posteriormente secas em estufa a 55°C até atingir peso constante. Após secagem, foi utilizado 0,5g de cada subamostra para compor a amostra. As amostras foram moídas para determinação do marcador, segundo técnica descrita por Myers et al. (2004).

As concentrações de TiO_2 nas fezes foram corrigidos pelos valores da taxa de recuperação fecal (1,00) sugeridas por Glindemann et al. (2009) para

experimentos a pasto. Valores semelhantes foram sugeridos por Titgemeyer et al. (2001; 0,95), Sampaio et al. (2011; 0,995) e Peres et al. (2019; 1,00).

2.3.6.3 Emissões de metano

Foram estimadas as emissões de CH₄ nos três animais testes de cada piquete, a partir da técnica do gás traçador hexafluoreto de enxofre – SF₆ (Johnson et al., 1994), em onze períodos de avaliação (julho/2017, agosto/2017, setembro /2017, dezembro/2017, janeiro/2018, fevereiro/2018, agosto/2018, setembro/2018, dezembro/2018, janeiro/2019 e março/2019). Os animais foram dosados (*per os*) com uma cápsula de permeação, com média de $1.845,08 \pm 83,67 \text{ ng.min}^{-1}$ e $1.796,06 \pm 166,35 \text{ ng.min}^{-1}$ de taxa de permeação no ano de 2017 e 2018, respectivamente.

A cada avaliação, animais foram equipados com cabresto acoplado de um cilindro de aço inoxidável, com volume de 0,5 L, regulado por um rolamento de esferas de bronze (Gere e Gratton, 2010). Estes foram calibrados para permitir vácuo remanescente de cerca de 500 mbar no cilindro, representando, ao final de cinco dias consecutivos, metade do seu volume total. Antes de cada coleta, os cilindros foram limpos com nitrogênio gasoso de alta pureza e pré-evacuados. Além disso, para cada avaliação, foram utilizados quatro cilindros “brancos” para coleta do ar atmosférico, para posterior correção nos valores dos gases de interesse existentes no ambiente.

A determinação das concentrações de CH₄ (mg/kg) e SF₆ (ng/kg) foi realizada no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, em cromatógrafo a gás GC-2014 (Shimadzu, Japão), equipado com detectores de ionização de chama (FID) a 250°C e coluna empacotada 1/800 Shimalite Q (0.7 m, malha 80/100) para leitura de CH₄ e para leitura de SF₆, um detector de captura de elétrons (ECD) a 325°C e coluna empacotada de 1/8” Porapak N (1.5m , malha 100/800). Para análise de SF₆, foi utilizado uma mistura de 5% CH₄ + Argônio como gás de compensação. A coluna do cromatógrafo a gás foi mantida a 80°C durante a análise, utilizando N₂ como transportador de gás com fluxo de $25 \text{ cm}^3.\text{min}^{-1}$.

Gases padrão certificados (White Martins Development Laboratory) foram utilizados para estabelecer as curvas de calibração, com concentrações de 2,41, 5,00, 10,42 e 20 mg/kg de CH₄ e 11,30 e 98,00 ng/kg de SF₆. Os limites mínimos de detecção foram de 0,15 mg/kg para CH₄ e 5,20 ng/kg para SF₆.

O percentual do gasto de energia bruta consumida pela metagênese (GEB) foi calculado pela multiplicação da energia bruta gasta com a produção diária de metano - EBCH₄ (em kg) pela energia bruta consumida diariamente (EBCMS). Para obtenção do valor de EBCH₄, o valor da quantidade de CH₄ emitido pelo animal foi multiplicado por 55,65 MJ/kg (constante usada para transformar CH₄ em EBCH₄)

As emissões de CH₄ foram expressas em g de CH₄ por animal dia⁻¹, g de CH₄ por peso vivo (PV)⁻¹, g de CH₄ por peso metabólico (PM)⁻¹, g de CH₄ por kg de GMD⁻¹, g de CH₄ por MO ingerida⁻¹, % GEB e g de CH₄ por hectare dia⁻¹.

2.3.7 Análise dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância ao nível de significância de 5% ($p < 0,05$), por meio de modelos mistos ajustados com a função “lmer” do pacote “lme4” (Bates et al., 2015) do software R, versão 4.1.0 (R Core Team, 2019). Foram testados modelos com a inclusão de diferentes efeitos aleatórios: período de coleta, ano, bloco, piquete e animal (para as variáveis de emissões de CH₄). Os modelos foram comparados com base no critério de informação Akaike (AIC), sendo o modelo escolhido o que apresentou menor valor AIC. Foram considerados os efeitos fixos de sistema de produção (tratamento), estação do ano (verão e inverno) e sua interação, além da medida repetida no tempo como efeito aleatório. Quando significativos as médias foram comparadas pelo teste Tukey HSD por meio do pacote “emmeans” do software R.

As pressuposições de normalidade foram verificadas pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$) e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$). A independência dos resíduos foi verificada por análise gráfica visual. Quando necessário, os dados foram transformados pela função logarítmica para atender as pressuposições da análise de variância.

As variáveis relacionadas a contribuição dos componentes da pastagem na dieta aparentemente ingerida não atingiram as pressuposições da ANOVA, mesmo após transformação dos dados. Dessa forma, foi realizada uma análise multivariada de ordenação das medias pelas coordenadas principais, tendo como medida de semelhança a distância euclidiana para comparação de unidades amostrais (sistemas de produção). A ordenação foi realizada no software Multiv (Pillar, 2004).

2.4 RESULTADOS

2.4.1 Características do pasto

Não foram observadas interações ($P>0,05$) entre os sistemas de produção e as estações do ano para as variáveis referentes à caracterização do pasto (Tabela 2.1). A massa de forragem foi inferior ($P=0,006$) nos sistemas com árvores (PF e LPF) em relação aos sistemas sem árvores PEC e LP. No inverno, a massa de forragem foi 38% menor em relação a do verão. Consequentemente, a taxa de acúmulo de forragem foi levemente superior nos sistemas sem árvores (PEC e LP), sem diferenças significativas entre as estações do ano.

Tabela 2.1 - Massa de forragem e taxa de acúmulo do pasto de inverno e verão em sistemas de produção pecuária a pasto (PEC: Pecuária; PF: Pecuária-Floresta; LP: Lavoura-Pecuária; LPF: Lavoura-Pecuária-Floresta).

	Tratamento				Estação		Valor P		
	PEC	PF	LP	LPF	Inverno	Verão	Pt	Pe	Ptxe
MF (kg MS/ha)	2893 a	1897 ab	2485 a	1553 b	1699 B	2716 A	0,006	0,005	0,310
TAMS (kg MS/ha/dia)	48 ab	39 b	51 a	43 ab	39	51	0,018	0,063	0,147

Legenda: Massa de forragem (kg MS ha⁻¹); TAMS, taxa de acúmulo (kg MS ha⁻¹ dia⁻¹). Letras diferentes na linha representam diferenças significativas de acordo com teste de Tukey a 5% de significância. Pt, probabilidade para tratamento; Pe, probabilidade para estação do ano; Ptxe, probabilidade para interação entre tratamento e estação do ano. Os valores presentes são uma média dos dois anos (2017/2018 e 2018/2019).

Quanto à composição química da dieta aparentemente ingerida pelos animais (Tabela 2.2), não foram observadas interações significativas ($P>0,05$)

entre os sistemas de produção e as estações do ano. O pasto no inverno apresentou teor de proteína bruta 36% superior e FDN 22% inferior em relação ao pasto no verão, indicando ser forragem de qualidade superior ofertada aos animais. Isso é confirmado através do maior consumo de pasto de inverno ($P=0,007$; Tabela 2.2) em relação à de verão. Não houve efeito dos sistemas de produção sobre a ingestão de matéria seca do pasto.

Tabela 2.2 - Ingestão de forragem e composição química da dieta aparentemente ingerida (g kg^{-1}) por bovinos manejados em diferentes sistemas de produção pecuária a pasto (PEC: Pecuária; PF: Pecuária-Floresta; LP: Lavoura-Pecuária; LPF: Lavoura-Pecuária-Floresta).

	Tratamento				Estação		Valor P		
	PEC	PF	LP	LPF	Inverno	Verão	Pt	Pe	Ptxe
MSI %PV	2,19	2,33	2,37	2,44	2,78 ^A	1,89 ^B	0,377	0,007	0,437
MO	923 ^a	918 ^{ab}	922 ^a	914 ^b	907	917	0,004	0,121	0,196
RM	84 ^b	89 ^{ab}	85 ^b	93 ^a	93	83	0,004	0,140	0,210
PB	172	176	181	179	204 ^A	150 ^B	0,158	0,005	0,135
FDA	262	267	254	270	225	302	0,999	0,649	0,979
FDN	542	553	529	553	477 ^B	612 ^A	0,222	<0,001	0,955
EB	4078	4074	4086	4074	4034	4122	0,933	0,079	0,055

Legenda: MSI %PV, massa seca ingerida em relação ao percentual do peso vivo; MO, matéria orgânica; RM, resíduo mineral; PB, proteína bruta; FDA, fibra em detergente ácido; FDN, fibra em detergente neutro; EB, energia bruta. EPM, erro padrão da média. Letras diferentes na linha representam diferenças significativas de acordo com teste de Tukey a 5% de significância. Pt, probabilidade para tratamento; Pe, probabilidade para estação do ano; Ptxe, probabilidade para interação entre tratamento e estação do ano. Os valores presentes são uma média dos dois anos (2017/2018 e 2018/2019).

2.4.2 Emissão de metano e desempenho animal

Não foram encontradas interações significativas ($P>0,05$) entre os sistemas de produção e estações do ano para as variáveis relativas à emissões de metano entérico (Tabela 2.3). As emissões médias de CH_4 por animal dia^{-1} , por matéria orgânica ingerida, por ganho médio diário e por hectare foram 82, 57, 126 e 128% maiores para os bovinos produzidos em pastagens de verão em relação ao inverno, respectivamente. Já, o gasto de energia bruta foi 47% menor em pastagens de inverno em relação às pastagens de verão.

Quanto à produtividade animal, a carga animal média foi de 752 kg ha^{-1} , não diferindo entre os sistemas de produção ($P=0,685$). No verão, a carga

animal média foi 2,2 vezes maior em relação ao período de inverno, apresentando diferença significativa ($P < 0,001$) entre as estações (Tabela 2.3). O ganho médio diário e o ganho de peso vivo por área apresentaram valores médios iguais a $1,027 \text{ kg an}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e $2,15 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, sem diferença significativa entre os sistemas de produção e entre as estações do ano.

Tabela 2.3 - Emissão de metano entérico, carga animal, ganho médio diário e ganho por área de bovinos manejados em diferentes sistemas de produção pecuária a pasto (PEC: Pecuária; PF: Pecuária-Floresta; LP: Lavoura-Pecuária; LPF: Lavoura-Pecuária-Floresta).

	Tratamento				Estação		Valor P		
	PEC	PF	LP	LPF	Inverno	Verão	Pt	Pe	Ptxe
g CH ₄ /an/dia	176	187	189	191	140 ^B	231 ^A	0,828	0,001	0,327
g CH ₄ /kg PV	0,621	0,666	0,635	0,662	0,651	0,642	0,793	0,838	0,223
g CH ₄ /kg PM	2,48	2,71	2,61	2,68	2,47	2,77	0,758	0,347	0,371
g CH ₄ /kg MO	33,4	32,8	31,1	32,7	25,3 ^B	39,7 ^A	0,915	0,026	0,298
g CH ₄ /kg GMD	249	220	188	182	129 ^B	291 ^A	0,447	0,002	0,601
g CH ₄ /ha/dia	514	470	450	443	286 ^B	653 ^A	0,915	0,026	0,298
GEB %	10,44	9,76	9,72	9,56	7,99 ^B	11,75 ^A	0,879	0,038	0,555
CA	853	759	722	673	476 ^A	1027 ^B	0,685	<0,001	0,092
GMD	0,965	0,988	1,124	1,030	1,251	0,803	0,105	0,067	0,178
GPV	1,98	2,10	2,46	2,08	2,60	2,27	0,420	0,076	0,174

Legenda: CA, carga animal ($\text{kg peso vivo ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$); GMD, ganho médio diário ($\text{kg peso vivo dia}^{-1}$); GPV, ganho de peso vivo diário por área ($\text{kg peso vivo ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$); Letras diferentes na linha representam diferenças significativas de acordo com teste de Tukey a 5% de significância. Pt, probabilidade para tratamento; Pe, probabilidade para estação do ano; Ptxe, probabilidade para interação entre tratamento e estação do ano. Os valores presentes são uma média dos dois anos (2017/2018 e 2018/2019).

2.4.3 Contribuição de componentes pastagem na dieta aparentemente ingerida

A contribuição dos componentes da pastagem para dieta aparente ingerida foi explicada em 94 e 4% no eixo X e Y, respectivamente, na ordenação (Figura 2.3). As espécies de maior correlação com o eixo X foram aveia preta (0.98) e capim Áries (-0.97) demonstrando a maior variação entre os sistemas. A contribuição dos componentes da pastagem para dieta aparente ingerida no inverno foi de 71% e 13% de aveia preta e capim Áries, respectivamente, independente do sistema de produção.

No sistemas de produção testados a aveia preta e o azevém compuseram a dieta dos animais exclusivamente no inverno. No verão, em todos sistemas de produção, o contribuição média na dieta foi mais relacionado a de capim Áries (68%) e outras gramíneas (25%).

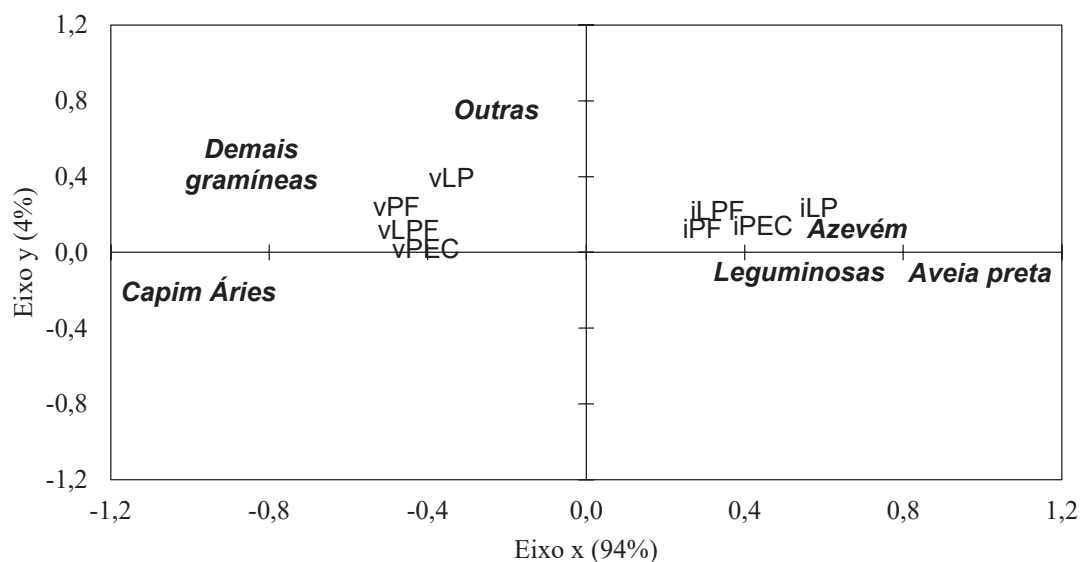


Figura 2.3 - Diagrama de ordenação de Análise de Coordenadas Principais (PCoA) da contribuição de cada espécie forrageira na dieta aparentemente ingerida por bovinos manejados em diferentes sistemas de produção pecuária a pasto (PEC: Pecuária; PF: Pecuária-Floresta; LP: Lavoura-Pecuária; LPF: Lavoura-Pecuária-Floresta) no inverno (i) e verão (v). Legenda: Outras, fabáceas e inflorescências.

2.5 DISCUSSÃO

2.5.1 Ingestão de forragem e desempenho animal

O consumo de MS por ruminantes está associado a disponibilidade e qualidade da dieta (Hodgson, 1990; Johnson e Johnson, 1995; Hegarty, 2009), conforto térmico (Nardone et al., 2010; Zereu, 2016) e principalmente pela estrutura do pasto (Laca et al., 1992; Da Silva e Carvalho, 2005). A capacidade de ingestão dos animais está relacionada à estrutura das forrageiras (Carvalho, 2013), pela influência direta sobre as características do bocado e taxa de ingestão (Fonseca et al., 2012; Amaral et al., 2012; Mezzalira et al., 2014), e

consequentemente ao desempenho animal (Schons et al., 2021) e emissão de CH₄ entérico (Savian et al., 2018).

No verão, os animais de todos os sistemas reduziram a ingestão de forragem e consequentemente, o GMD. Da Silva e Carvalho (2005) sugerem que quando a barreira de consumo por conta da estrutura do pasto é superada, como observado em todos os sistemas avaliados, os mecanismos nutricionais de restrição do consumo (Mertens, 1987) se tornam mais relevantes (Poppi et al., 1987; Tedeschi et al., 2019). Fibras de baixa velocidade de digestão causam um efeito de enchimento ruminal e consequentemente uma sensação de saciedade, limitando a ingestão de forragem (Gregorini et al., 2007; Pino et al., 2018). No inverno, a dieta era basicamente composta por plantas C₃ (~78,4%), enquanto no verão, a maior parte da dieta era composta por plantas C₄ (~93,3%) (Figura 2.3). Naturalmente, plantas forrageiras C₄ apresentam maiores teores de lignina, sendo mais resistentes à digestão física e microbiana do que as forrageiras C₃ (Archimède et al., 2011), podendo explicar o menor consumo durante o verão.

2.5.2 Emissão de CH₄ entérico

A produção média diária de metano pelos bovinos de 187 g dia⁻¹ ficou dentro do estimado pelo IPCC (2014). A semelhança nas emissões entre sistemas de produção era esperada, uma vez que o consumo total de MS e a qualidade da dieta ingerida foram similares em todos os sistemas, diferindo apenas entre estações do ano. A emissão diária de CH₄ por animal e por kg de peso vivo, assim como o consumo de MS no inverno foram similares aos encontrados por Boland et al. (2013), Pontes et al. (2018) e Souza Filho et al. (2019). No verão, os valores foram similares a Frota et al. (2017) e Congio et al. (2018).

As emissões de metano entérico estão diretamente relacionadas à quantidade de MS ingerida pelos bovinos, aumentando proporcionalmente ao aumento do consumo (Kurihara et al., 1999; Hegarty, 2009). Naturalmente, animais de maior peso vivo tem maior capacidade de ingestão do que animais menores (Hegarty, 2009). O fato dos animais estarem mais pesados no verão teve por consequência o aumento na ingestão de MS e nas emissões de CH₄

por animal. Resultados similares foram encontrados em DeRamus et al. (2003) trabalhando com bovinos em pastejo, onde vacas (540kg de PV; 120 a 255g CH₄ dia⁻¹) emitiram mais metano entérico em relação às novilhas (390kg de PV; 86 a 193g CH₄ dia⁻¹).

As emissões de CH₄ por kg de PV e PM se mantiveram constantes entre as estações do ano, não havendo diferenças entre sistemas de produção ($P>0,05$). Apesar dos animais terem consumido proporcionalmente mais forragem no inverno, tendendo a aumentar as emissões de CH₄ por PV e PM, a qualidade do pasto de verão foi pior, equilibrando os valores de emissão. Isso é condizente aos valores de perda de energia bruta pelo processo de metanogênese, sendo 47 % maiores para os animais no verão (Tabela 2.3). Esses valores estão associados ao fato das forragens de verão apresentarem maior FDN em relação às de inverno (Tabela 2.2). Segundo DeRamus et al. (2003), o aumento da eficiência do uso de energia para alimentação animal é uma das estratégias para mitigação do CH₄, uma vez que a perda de metano por unidade de produto é diminuída. Forragens de melhor valor nutricional estão associadas a menor perda de energia bruta (Moe e Tyrrell, 1979; Shibata e Terada, 2010; Archimède et al., 2011; Hristov et al., 2013; Gere et al., 2019).

Os valores de perda de energia bruta (7,99 e 11,75%, respectivamente para inverno e verão) ficaram dentro do limite descrito por Johnson e Johnson (1995). Valores semelhantes foram encontrados em Pinares-Patiño et al. (2003), Pinares-Patiño et al. (2007), Munõz et al. (2016), Dall-Orsoletta et al. (2016), Frota et al. (2017) e Van Wyngaard et al. (2018). Devido a qualidade da dieta ingerida pelos animais ser muito parecida entre os sistemas de produção, em ambas as estações, a perda de energia bruta foi similar. Gere et al. (2019) observaram correlação positiva ($r=0,65$; $P<0,001$) entre o aumento nas perdas de energia bruta à medida que os teores de FDN se elevam, onde a ingestão de dietas semelhantes nutricionalmente apresentam perdas de EB semelhantes.

A emissão de CH₄ por kg de MO ingerida aumentou 57% no verão em relação às emissões no inverno. Valores semelhantes de emissão de CH₄ por kg de matéria orgânica ingerida foram encontrados em Souza-Filho et al.

(2019) para forrageiras de inverno e Dall-Orsoletta et al. (2016) para forrageiras de verão. Isso ocorreu devido a maior ingestão de FDN (28%) e menor ingestão de PB (26%). A proporção entre o maior consumo de plantas C_3 no inverno e C_4 no verão (Figura 2.3) possivelmente influenciou na menor emissão de CH_4 por MO ingerida nas dietas de inverno. Esses resultados corroboram com Archimède et al. (2011), que descreveram diferenças na quantidade de CH_4 por kg MO em relação a ingestão de plantas forrageiras C_3 e C_4 , onde naturalmente os teores de fibras das forrageiras tropicais (C_4) diferem das temperadas (C_3), tendendo a conter maiores teores de lignina e consequentemente favorecendo a fermentação acética, produzindo uma maior quantidade de CH_4 . Resultados semelhantes foram encontrados por Dini et al. (2017), que trabalhando com novilhas da raça Hereford em pastos com alta (plantas C_3) e baixa qualidade (predominância de planta C_4 em avançado estágio de crescimento), concluíram que pastos de maior teor de PB e menor teor de FDN apresentaram as menores emissões de CH_4 por MOI, GMD e GEB.

A emissão de CH_4 por GMD também foi maior no verão, sendo esse efeito associado a menor qualidade nutricional da forragem ingerida (Tabela 2.2), menor ingestão de forragem por PV e menor desempenho animal (Tabela 2.3). As emissões por unidade de produto animal são reduzidas, quanto maior a ingestão de forragem (Hegarty, 2009). Essa relação é relevante quando relacionado à eficiência dos ruminantes em converter forragem em produto animal. Quanto mais eficiente o ruminante, menor o impacto ambiental causado pela presença dele, contribuindo para mitigação dos GEE pelos sistemas de produção agropecuária (Thornton e Herrero, 2010).

Eckard et al. (2010) destacam a importância em melhorar a qualidade nutricional do pasto para redução nas emissões de metano entérico, seja pela diminuição da quantidade de fibras ou aumento dos carboidratos solúveis, com destaque para as forrageiras C_3 . Além disso, eles complementam que ao se melhorar a qualidade de um pasto, há diminuição no tempo que o alimento fica retido no rúmen, diminuindo a proporção de energia da dieta convertida em CH_4 . Uma alternativa dentro de um SIPA para melhorar a qualidade da forragem e aumentar a eficiência na produção animal frente às emissões de

GEE é introduzir forrageiras leguminosas no sistema, principalmente nos períodos do ano onde a qualidade das forrageiras é menor (Cardoso et al., 2016; Dini et al., 2017). Esse entendimento auxilia para um melhor planejamento dos SIPA, principalmente quando um dos objetivos é reduzir o impacto ambiental oriundo dos sistemas de produção. Além de melhorar a qualidade nutricional da dieta, contribui para fixação de nitrogênio, reduzindo a demanda por insumos nitrogenados (Rodrigues et al., 2012; Cardoso et al., 2016).

As emissões de CH₄ por área podem ser relacionadas a emissão por animal e, principalmente, a taxa de lotação sustentada por cada sistema de produção (Zubieta et al., 2021). Nas pastagens de verão, a taxa de lotação foi aproximadamente 115% maior do que nas pastagens de inverno, o que explica a emissão 367 g CH₄ ha⁻¹ maior, naquela estação.

O ganho médio diário, a taxa de lotação e o ganho de peso vivo não foram influenciados ($P > 0,05$) pelos diferentes sistemas de produção a pasto (Tabela 2.3). Esses resultados podem ser explicados pela meta de pastejo moderado, que proporcionou consumo de MS pelos animais semelhantes entre os tratamentos. (Tabela 2.2). A estrutura do pasto é considerada um fator importante no comportamento ingestivo e afeta o desempenho dos animais (Carvalho, 2013). Intensidades moderadas de pastejo podem fornecer bons níveis de desempenho animal e utilização de forragem e, conseqüentemente, diminuir a intensidade de emissão de CH₄ (Souza Filho et al., 2019; Kunrath et al., 2020). Não houve diferenças ($P > 0,05$) nas emissões de metano entre os sistemas de produção baseados em pastagens. No entanto, se o componente florestal estiver presente, eles podem aumentar o sequestro de carbono, neutralizar as emissões de gases de efeito estufa e reduzir a pegada de carbono gerada pela produção animal (Montagnini e Nair, 2004; Franzluebbbers et al., 2017; Torres et al., 2017), além de aumentar a produção de sistemas agropecuários (Domiciano et al., 2020).

Devido à região Sul do Brasil ter estações do ano que proporcionam o cultivo tanto de plantas adaptadas a baixas temperaturas quanto a altas temperaturas, há possibilidade dos produtores rurais realizarem de duas a três safras durante

o ano com diferentes culturas, seja para produção de grão ou pasto. Em propriedades que trabalham com SIPA, levando em consideração um adequado planejamento forrageiro, existe a possibilidade de escolher em qual momento do ano, os animais devem ser mantidos na área. Os resultados desse trabalho mostram que ao se fazer a recria de bovinos de corte no inverno, além de obter melhor desempenho animal, há uma menor emissão de metano por produto animal.

Os sistemas integrados de produção agropecuária vêm de encontro ao proposto pela FAO (2010), buscando uma agropecuária mais sustentável com menor impacto ambiental. Produzir mais produtos de origem animal e vegetal em uma mesma área, utilizando com mais eficiência os recursos naturais é primordial para garantir a segurança alimentar global e preservação ambiental. Esse estudo vem pra contribuir com a busca de sistemas mais sustentáveis, nos quais, ao mesmo tempo em que não utilizamos agrotóxicos para controle de pragas, doenças e plantas daninhas, conseguimos produzir de maneira eficiente e com menor impacto ao meio ambiente.

2.6 CONCLUSÃO

Diferentes arranjos espaço-temporais de SIPA livre de pesticidas não afetam o consumo de forragem e a composição química da dieta aparentemente ingerida por bovinos em pastagens anuais de inverno e pastagens perenes de verão. Isso significa que os benefícios do manejo do pastejo moderado são preservados, reduzindo a intensidade da emissão de metano pelos bovinos. Os resultados dessa tese reforçam que os SIPA bem manejados são uma alternativa agropecuária confiável para a mitigação de gases de efeito estufa.

2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaral, M.F., Mezzalira, J.C., Bremm, C., Da Trindade, J.K., Gibb, M.J., Suñe, R.W.M. e de F. Carvalho, P.C., 2013. Sward structure management for a

maximum short-term intake rate in annual ryegrass. *Grass and Forage Science*, 68(2), pp.271-277.

Archimede, H., Eugène, M., Magdeleine, C.M., Boval, M., Martin, C., Morgavi, D.P., Lecomte, P. e Doreau, M., 2011. Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. *Animal Feed Science and Technology*, 166, pp.59-64.

Barthram, G.T. e BARTHRAM, G., 1985. Experimental techniques: the HFRO sward stick.

Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., e Walker, S. (2014). Fitting linear mixed-effects models using lme4. arXiv preprint arXiv:1406.5823.

Bell, L.W. e Moore, A.D., 2012. Integrated crop–livestock systems in Australian agriculture: Trends, drivers and implications. *Agricultural Systems*, 111, pp.1-12.

Boland, T.M., Quinlan, C., Pierce, K.M., Lynch, M.B., Kenny, D.A., Kelly, A.K. e Purcell, P.J., 2013. The effect of pasture pregrazing herbage mass on methane emissions, ruminal fermentation, and average daily gain of grazing beef heifers. *Journal of Animal Science*, 91(8), pp.3867-3874.

Bonnet, O.J., Meuret, M., Tischler, M.R., Cezimbra, I.M., Azambuja, J.C. e Carvalho, P.C., 2015. Continuous bite monitoring: a method to assess the foraging dynamics of herbivores in natural grazing conditions. *Animal Production Science*, 55(3), pp.339-349.

Brasil, 2000. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial da União.

Cardoso, A.S., Berndt, A., Leytem, A., Alves, B.J., de Carvalho, I.D.N., de Barros Soares, L.H., Urquiaga, S. e Boddey, R.M., 2016. Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. *Agricultural Systems*, 143, pp.86-96.

Carvalho, P.C.F., 2013. Harry Stobbs Memorial Lecture: Can grazing behavior support innovations in grassland management?. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 1(2), pp.137-155.

Chirinda, N., Loaiza, S., Arenas, L., Ruiz, V., Faverín, C., Alvarez, C., Savian, J.V., Belfon, R., Zuniga, K., Morales-Rincon, L.A. e Trujillo, C., 2019. Adequate vegetative cover decreases nitrous oxide emissions from cattle urine deposited in grazed pastures under rainy season conditions. *Scientific reports*, 9(1), pp.1-9.

Congio, G.F., Batalha, C.D., Chiavegato, M.B., Berndt, A., Oliveira, P.P., Frighetto, R.T., Maxwell, T.M., Gregorini, P. e Da Silva, S.C., 2018. Strategic grazing management towards sustainable intensification at tropical pasture-based dairy systems. *Science of the Total Environment*, 636, pp.872-880.

Da Silva, S.C. e Carvalho, P.D.F., 2005. Foraging behaviour and herbage intake in the favourable tropics/sub-tropics. *Grassland: a global resource*, 1, pp.81-95.

Dall-Orsoletta, A.C., Almeida, J.G.R., Carvalho, P.C., Savian, J.V. e Ribeiro-Filho, H.M., 2016. Ryegrass pasture combined with partial total mixed ration reduces enteric methane emissions and maintains the performance of dairy cows during mid to late lactation. *Journal of dairy science*, 99(6), pp.4374-4383.

DeRamus, H.A., Clement, T.C., Giampola, D.D. e Dickison, P.C., 2003. Methane emissions of beef cattle on forages. *Journal of environmental quality*, 32(1), pp.269-277.

Dini, Y., Gere, J.I., Cajarville, C. e Ciganda, V.S., 2018. Using highly nutritious pastures to mitigate enteric methane emissions from cattle grazing systems in South America. *Animal production science*, 58(12), pp.2329-2334. Foley, J. A. et al. 2011. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, Londres, v.478, p.337–342.

Domiciano, L.F., Pedreira, B.C., da Silva, N.M.F., Mombach, M.A., Chizzotti, F.H.M., Batista, E.D., Carvalho, P., Cabral, L.S., Pereira, D.H., do Nascimento, H.L.B., 2020. Agroforestry systems: an alternative to intensify forage-based livestock in the Brazilian Amazon. *Agroforest Systems*, 94, pp. 1839–1849.

Eckard, R.J., Grainger, C. e De Klein, C.A.M., 2010. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: a review. *Livestock science*, 130(1-3), pp.47-56.

Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2010. An international consultation on integrated crop-livestock systems for development: The way forward for sustainable production intensification. *Integrated Crop Management*, 13(1).

Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO, 2017. The future of food and agriculture Trends and challenges.

Fonseca, L., Mezzalana, J.C., Bremm, C., Gonda, H.L. e Carvalho, P.D.F., 2012. Management targets for maximising the short-term herbage intake rate of cattle grazing in Sorghum bicolor. *Livestock Science*, 145(1-3), pp.205-211.

Franzluebbers, A.J., Chappell, J.C., Shi, W. e Cubbage, F.W., 2017. Greenhouse gas emissions in an agroforestry system of the southeastern USA. *Nutr. Cycl. Agroecosystems*, 108, pp 85-100.

Frota, M.N.L.D., Carneiro, M.S.D.S., Pereira, E.S., Berndt, A., Frighetto, R.T.S., Sakamoto, L.S., Moreira Filho, M.A., Cutrim Júnior, J.A.A. e Carvalho, G.M.C., 2017. Enteric methane in grazing beef cattle under full sun, and in a silvopastoral system in the Amazon. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52(11), pp.1099-1108.

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

Gere, J.I. e Gratton, R., 2010. Simple, low-cost flow controllers for time averaged atmospheric sampling and other applications. *Latin American applied research*, 40(4), pp.377-381

Gere, J.I., Bualó, R.A., Perini, A.L., Arias, R.D., Ortega, F.M., Wulff, A.E. e Berra, G., 2019. Methane emission factors for beef cows in Argentina: effect of diet quality. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, pp.1-9.

Glindemann, T., Tas, B.M., Wang, C., Alvers, S. e Susenbeth, A., 2009. Evaluation of titanium dioxide as an inert marker for estimating faecal excretion in grazing sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 152(3-4), pp.186-197.

Gregorini, P., Gunter, S.A., Masino, C.A. e Beck, P.A., 2007. Effects of ruminal fill on short-term herbage intake rate and grazing dynamics of beef heifers. *Grass and Forage Science*, 62(3), pp.346-354.

Havlík, P., Valin, H., Herrero, M., Obersteiner, M., Schmid, E., Rufino, M.C., Mosnier, A., Thornton, P.K., Böttcher, H., Conant, R.T. e Frank, S., 2014. Climate change mitigation through livestock system transitions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(10), pp.3709-3714.

Hegarty, R.S., 2009. Nutritional management options to reduce enteric methane emissions from NSW beef and dairy herds. In *Proceedings of the 24th Annual Conference of the Grassland Society of NSW* (pp. 40-47).

Herrero, M., Thornton, P.K., Notenbaert, A.M., Wood, S., Msangi, S., Freeman, H.A., Bossio, D., Dixon, J., Peters, M., van de Steeg, J. e Lynam, J., 2010. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. *Science*, 327(5967), pp.822-825.

Hoagland, L., Hodges, L., Helmers, G.A., Brandle, J.R. e Francis, C.A., 2010. Labor availability in an integrated agricultural system. *Journal of sustainable agriculture*, 34(5), pp.532-548.

Hodgson, J., 1990. *Grazing management. Science into practice*. Longman Group UK Ltd.

Hristov, A.N., Ott, T., Tricarico, J., Rotz, A., Waghorn, G., Adesogan, A., Dijkstra, J., Montes, F., Oh, J., Kebreab, E. e Oosting, S.J., 2013. Special topics—Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options. *Journal of Animal Science*, 91(11), pp.5095-5113.

IPCC, C.C., 2014. Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA*.

Johnson, K.A. e Johnson, D.E., 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of animal science*, 73(8), pp.2483-2492.

Johnson, K., Huyler, M., Westberg, H., Lamb, B. e Zimmerman, P., 1994. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a sulfur hexafluoride tracer technique. *Environmental science & technology*, 28(2), pp.359-362.

Kozloski, G.V., Zilio, E.M.C., Ongarato, F., Kuinchtner, B.C., Saccol, A.G., Genro, T.C.M., Oliveira, L., Faria, B.M., Cezimbra, I.M. e Quadros, F.L.F., 2018. Faecal N excretion as an approach for estimating organic matter intake by free-ranging sheep and cattle. *The Journal of Agricultural Science*, 156(3), pp.443-449.

Kunrath, T. R., de Albuquerque Nunes, P. A., de Souza Filho, W., Cadenazzi, M., Bremm, C., Martins, A. P., e de Faccio Carvalho, P. C. (2020). Sward height determines pasture production and animal performance in a long-term soybean-beef cattle integrated system. *Agricultural Systems*, 177, 102716.

Kurihara, M., Magner, T., Hunter, R.A. e McCrabb, G.J., 1999. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *British Journal of nutrition*, 81(3), pp.227-234.

Laca, E.A., Ungar, E.D., Seligman, N. e Demment, M.W., 1992. Effects of sward height and bulk density on bite dimensions of cattle grazing homogeneous swards. *Grass and forage science*, 47(1), pp.91-102.

Lemaire, G., Franzluebbers, A., de Faccio Carvalho, P.C. e Dedieu, B., 2014. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190, pp.4-8.

Martin, D.M., 2018. Seleção Alimentar de Bovinos em Pastejo em Diferentes Arranjos de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2018.

Mertens, D.R., 1987. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. *Journal of animal science*, 64(5), pp.1548-1558.

Mezzalana, J.C., Carvalho, P.C.D.F., Fonseca, L., Bremm, C., Cangiano, C., Gonda, H.L. e Laca, E.A., 2014. Behavioural mechanisms of intake rate by heifers grazing swards of contrasting structures. *Applied Animal Behaviour Science*, 153, pp.1-9.

Moe, P.W. e Tyrrell, H.F., 1979. Methane production in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 62(10), pp.1583-1586.

Molento, M.B., 2004. Resistência de helmintos em ovinos e caprinos. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, 13(1), pp.82-87.

Montagnini, F. e Nair, P. K. R., 2004. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agrofor. Syst.* 61–62, pp. 281–295.

Moraes, A.D., Carvalho, P.C.F., Anghinoni, I., Lustosa, S.B.C., de Andrade, S.E.V.G. e Kunrath, T.R., 2014. Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. *European Journal of Agronomy*, 57, pp.4-9.

Moraes, A.D., Moojen, E.L. e Maraschin, G.E., 1990. Comparação de métodos de estimativa de taxas de crescimento em uma pastagem submetida a

diferentes pressões de pastejo. *Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 27, p.332.

Mott, G.O. e Lucas, H.L., 1952, August. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In *International grassland congress* (Vol. 6, No. 1952, pp. 1380-1395).

Muñoz, C., Letelier, P.A., Ungerfeld, E.M., Morales, J.M., Hube, S. e Pérez-Prieto, L.A., 2016. Effects of pregrazing herbage mass in late spring on enteric methane emissions, dry matter intake, and milk production of dairy cows. *Journal of Dairy science*, 99(10), pp.7945-7955.

Myers, W.D., Ludden, P.A., Nayigihugu, V. e Hess, B.W., 2004. A procedure for the preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide. *Journal of Animal Science*, 82(1), pp.179-183.

Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M.S. e Bernabucci, U., 2010. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science*, 130(1-3), pp.57-69.

Nitsche, P.R., Caramori, P.H., Ricce, W.D.S. e Pinto, L.F.D., 2019. Atlas Climático do Estado do Paraná. *Londrina, PR: IAPAR*.

Paraná. Decreto nº 1753, de 06 de Maio de 1996. Área de Proteção Ambiental do Iraí. Curitiba, PR.

Peres, M.T.P., Batista, R., Twardowski, T.D.S., Ribeiro Filho, H.M.N. e Monteiro, A.L.G., 2019. Titanium dioxide (TiO₂) as a marker to estimate fecal output in sheep. *Ciência Rural*, 49(12).

Pillar, V.D., 2004. MULTIV: multivariate exploratory analysis, randomization testing and bootstrap resampling. User's Guide v. 2.3.10. Departamento de Ecologia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

Pinares-Patiño, C.S., D'hour, P., Jouany, J.P. e Martin, C., 2007. Effects of stocking rate on methane and carbon dioxide emissions from grazing cattle. *Agriculture, ecosystems & environment*, 121(1-2), pp.30-46.

Pinares-Patiño, C.S., Ulyatt, M.J., Lassey, K.R., Barry, T.N. e Holmes, C.W., 2003. Persistence of differences between sheep in methane emission under generous grazing conditions. *The Journal of Agricultural Science*, 140(2), pp.227-233.

Pino, F., Mitchell, L.K., Jones, C.M. e Heinrichs, A.J., 2018. Comparison of diet digestibility, rumen fermentation, rumen rate of passage, and feed efficiency in dairy heifers fed ad-libitum versus precision diets with low and high quality forages. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), pp.1296-1306.

Pontes, L.S., Barro, R.S., Savian, J.V., Berndt, A., Moletta, J.L., Porfírio-da-Silva, V., Bayer, C. e de Faccio Carvalho, P.C., 2018. Performance and methane emissions by beef heifer grazing in temperate pastures and in integrated crop-livestock systems: The effect of shade and nitrogen fertilization. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 253, pp.90-97.

Poppi, D.P., Hughes, T.P. e L'huillier, P.J., 1987. Intake of pasture by grazing ruminants. *Livestock feeding on pasture. Hamilton: New Zealand Society of Animal Production*, 7, pp.55-64.

Porfírio-da-Silva, V., Triches, G.P., Ultima, A.Y., Franco, C.A.C and Krucheslski, S. Componente arbóreo nos sistemas integrados de produção agropecuária em área de proteção ambiental. Sistemas integrados de produção agropecuária na promoção da intensificação sustentável: 1 ° boletim técnico do Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária. Curitiba, PR. pp.47-58.

R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Ramankutty, N., Mehrabi, Z., Waha, K., Jarvis, L., Kremen, C., Herrero, M. e Rieseberg, L.H., 2018. Trends in global agricultural land use: implications for environmental health and food security. *Annual review of plant biology*, 69, pp.789-815.

Rodrigues, O., Fontaneli, R.S., Costenaro, E.R., Marchese, J.A., SCORTGANHA, A., Saccardo, E. e Piasecki, C., 2012. Bases fisiológicas para o manejo de forrageiras. *FONTANELI, RS; SANTOS, HP; FONTANELI, RS Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na Região Sul-Brasileira. Brasília: EMBRAPA*, pp.59-125.

Salton, J.C., Mercante, F.M., Tomazi, M., Zanatta, J.A., Concenço, G., Silva, W.M. e Retore, M., 2014. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190, pp.70-79.

Sampaio, C.B., Detmann, E., Valente, T.N.P., Souza, M.A.D., Valadares Filho, S.D.C. e Paulino, M.F., 2011. Evaluation of fecal recovering and long term bias of internal and external markers in a digestion assay with cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(1), pp.174-182.

Savian, J.V., Neto, A.B., de David, D.B., Bremm, C., Schons, R.M.T., Genro, T.C.M., do Amaral, G.A., Gere, J., McManus, C.M., Bayer, C. e de Faccio Carvalho, P.C., 2014. Grazing intensity and stocking methods on animal production and methane emission by grazing sheep: Implications for integrated crop–livestock system. *Agriculture, ecosystems & environment*, 190, pp.112-119.

Savian, J.V., Genro, T.C., Neto, A.B., Bremm, C., Azevedo, E.B., David, D.B., Gonda, H.L. e Carvalho, P.C., 2018. Comparison of faecal crude protein and n-alkanes techniques to estimate herbage intake by grazing sheep. *Animal feed science and technology*, 242, pp.144-149.

Schons R.M.T., Laca, E.A., Savian, J.V., Mezzalira, J.C., Schneider, E.A.N., Caetano, L.A.M., Zubieta, A.S., Benvenutid, M.A. e Carvalho, P.C.F., 2021. “Rotatinuous” stocking: an innovation in grazing management to foster both herbage and animal production. *Livestock Science Production*, 245, p104406.

Shibata, M. e Terada, F., 2010. Factors affecting methane production and mitigation in ruminants. *Animal Science Journal*, 81(1), pp.2-10.

Souza Filho, W., de Albuquerque Nunes, P.A., Barro, R.S., Kunrath, T.R., de Almeida, G.M., Genro, T.C.M., Bayer, C. e de Faccio Carvalho, P.C., 2019. Mitigation of enteric methane emissions through pasture management in integrated crop-livestock systems: Trade-offs between animal performance and environmental impacts. *Journal of cleaner production*, 213, pp.968-975.

Tedeschi, L.O., Molle, G., Menendez, H.M., Cannas, A. e Fonseca, M.A., 2019. The assessment of supplementation requirements of grazing ruminants using nutrition models. *Translational Animal Science*, 3(2), pp.811-828.

Thornton, P.K. e Herrero, M., 2010. Potential for reduced methane and carbon dioxide emissions from livestock and pasture management in the tropics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(46), pp.19667-19672.

Titgemeyer, E.C., Armendariz, C.K., Bindel, D.J., Greenwood, R.H. e Löest, C.A., 2001. Evaluation of titanium dioxide as a digestibility marker for cattle. *Journal of Animal Science*, 79(4), pp.1059-1063.

Torres, C.M.M.E., Jacovine, L.A.G., Nolasco de Olivera Neto, S., Fraisse, C.W., Soares, C.P.B., de Castro Neto, F., Ferreira, L.R., Zanuncio, J.C e Lemes, P.G., 2017. Greenhouse gas emissions and carbon sequestration by agroforestry systems in southeastern Brazil. *Sci. Rep.*, 7, 16738.

United Nations, 2015. Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. General Assembly 70 session.

Van Wyngaard, J.D., Meeske, R. e Erasmus, L.J., 2018. Effect of concentrate level on enteric methane emissions, production performance, and rumen

fermentation of Jersey cows grazing kikuyu-dominant pasture during summer. *Journal of dairy science*, 101(11), pp.9954-9966.

Zereu, G., 2016. Factors Affecting Feed Intake and Its Regulation Mechanisms in Ruminants A Review. *International Journal of Livestock Research*, 6(04), pp.19-40.

Zubieta, A. S., Savian, J. V., de Souza Filho, W., Wallau, M. O., Gomez, A. M., Bindelle, J., Bonnet, O.J.F. e de Faccio Carvalho, P. C., 2021. Does grazing management provide opportunities to mitigate methane emissions by ruminants in pastoral ecosystems? *Science of the Total Environment*, 754, 142029.

**3. CAPÍTULO 2 - CONTRIBUIÇÃO DO TRATAMENTO SELETIVO DOS
BOVINOS (TSB) PARA O CONTROLE DE ECTOPARASITAS E
MITIGAÇÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA**

Contribuição do Tratamento Seletivo dos Bovinos (TSB) para o controle de ectoparasitas e mitigação de gases do efeito estufa

3.1 RESUMO

Os bovinos podem ser infestados por grande número de parasitos que podem causar danos à produtividade e ao bem-estar destes animais. O objetivo deste trabalho foi quantificar o desempenho animal e as emissões de metano em bovinos, com o monitoramento do estado sanitário através do método TSB, em diferentes sistemas pecuários. O experimento foi conduzido no Núcleo de Inovações Tecnológicas em Agropecuária (NITA), da UFPR, nas estações 2017/2018 e 2018/2019. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro sistemas pecuários e três repetições (piquetes). Foram utilizados novilhos castrados da raça Angus, com peso vivo entre 154,78 kg ($\pm$ 35,22 kg) e 10 meses de idade (Ano 1) e 241,15 kg ($\pm$ 49,18 kg) e 14 meses de idade (Ano 2). Os sistemas incluídos foram: Pecuária (PEC), Pecuária-Floresta (PF), Lavoura-Pecuária (LP) e Lavoura-Pecuária-Floresta (LPF). De acordo com o número de vezes em que eram aplicados os medicamentos contra ectoparasitas nos animais, durante os anos 1 e 2, estes foram separados em três níveis de aplicações, sendo: até 2 aplicações/ano, nível Baixo; 3 aplicações/ano, nível Médio; acima de 3 aplicações/ano, Nível Alto. Em cada piquete, as emissões de CH₄ entérico e consumo de matéria seca foram medidas em três animais. Foi observado menor número de aplicações ($p < 0,05$) para os sistemas LP e LPF nos meses de novembro e dezembro de 2017, não diferindo entre os sistemas no restante daquele ano. Para cada sistema de produção, não houve diferença ($p > 0,05$) entre o ganho médio diário dos animais por período de avaliação dos diferentes níveis de aplicação. Todas as variáveis relacionadas ao consumo de matéria seca e emissão de metano não diferiram entre níveis de aplicação dentro de cada sistema de produção, com exceção da emissão de CH₄ por animal/dia. Neste caso, os animais do sistema PEC em nível Alto (> 3 aplicações/ano), apresentaram as maiores emissões. Conclui-se que o uso de fármacos antiparasitários foi menor nos sistemas LP e LPF em relação aos demais sistemas. Para os sistemas integrados de produção agropecuária, a utilização do TSB não interfere no desempenho animal, consumo e emissão de metano, podendo ser recomendada.

Palavras-chave: pecuária, SICOPA, metano entérico, parasitas.

Contribution of Bovine Selective Treatment (BST) for the control of ectoparasites and mitigation of greenhouse gases

3.2 ABSTRACT

Cattle can be infested by a large number of parasites that can damage productivity and the welfare of these animals. The objective of this work was to quantify animal performance and methane emissions in cattle, with the monitoring of health status through the TSB method, in different livestock systems. The experiment was conducted at UFPR's Center for Technological Innovations in Agriculture (NITA), in the 2017/2018 and 2018/2019 seasons. The experimental design was in randomized blocks, with four livestock systems and three replications (paddocks). Castrated Angus steers were used, with live weight between 154.78 kg ($\pm$ 35.22 kg) and 10 months of age (Year 1) and 241.15 kg ($\pm$ 49.18 kg) and 14 months of age (Year 2). The systems included were: Livestock (PEC), Livestock-Forest (PF), Crop-Livestock (LP) and Crop-Livestock-Forest (LPF). According to the number of times that medications against ectoparasites were applied to animals, during years 1 and 2, they were separated into three levels of applications, being: up to 2 applications / year, Low level; 3 applications / year, Medium level; above 3 applications / year, High Level. In each paddock, enteric CH₄ emissions and dry matter consumption were measured in three animals. A smaller number of applications ($p < 0.05$) was observed for the LP and LPF systems in the months of November and December 2017, with no difference between the systems in the rest of that year. For each production system, there was no difference ($p > 0.05$) between the average daily gain of animals at different levels of treatment. All variables related to dry mass consumption and methane emission did not differ between treatment levels within each production system, except for CH₄ emission per animal/day. In this case, at the High level (> 3 applications / year), the animals in the PEC system had the highest emissions. It is concluded that the use of antiparasitic treatments was less in the LP and LPF systems in relation to the other systems. For integrated crop livestock systems, the use of bovine selective treatment does not interfere with animal performance, consumption and methane emissions.

Keyword: livestock, SICOPA, enteric methane, parasites.

3.3 INTRODUÇÃO

A população mundial se encontra em crescimento e com este cenário existe uma grande demanda por alimentos. O setor agropecuário tem auxiliado neste desafio, porém necessita apresentar novos modelos produtivos (Food and Agriculture Organization/ONU, 2011). A medida que o aumento na produção de alimentos é um dos objetivos, o setor caminha juntamente com as preocupações das mudanças climáticas, oriundas de ações antrópicas (Food and Agriculture Organization/ONU, 2017). A agropecuária é responsável por quase um quarto ($\sim 10 - 12 \text{ Gt Co}_2 \text{ eq ano}^{-1}$) das emissões antropogênicas de gases do efeito estufa (GEE) no mundo, principalmente através do desmatamento e da pecuária (IPCC, 2014). Desta forma, desenvolver tecnologias que aliem o incremento na produção com uma agropecuária mais sustentável se torna imprescindível no cenário atual (Dumont et al., 2018).

Aumentar a eficiência da produção animal em relação às emissões de metano entérico (CH_4) é uma das opções para obter uma pecuária mais sustentável (Thornton e Herrero, 2010), reduzindo consequentemente as emissões por unidade de produto (Gill et al., 2009; Berndt e Tomkins, 2013). Dentre as alternativas para esse aumento da eficiência, está o aumento nas taxas produtivas e reprodutivas do rebanho, redução na idade no primeiro parto e no intervalo entre partos, além da redução na idade de abate (Berndt e Tomkins, 2013) e aumento no desempenho individual dos animais (Kurihara, et al., 1999).

Um dos maiores problemas que limitam o desempenho de bovinos é a incidência de parasitos, mais especificamente os parasitos externos, como, *Boophilus microplus*, *Haematobia irritans*, *Dermatobia hominis* entre outros. A incidência dos ectoparasitos representa uma perda de aproximadamente US\$ 6,85 bilhões/ano para o setor no Brasil (Grisi et al., 2014). Estes patógenos são de grande impacto clínico, podendo causar a perda do apetite, anemia, dermatite, perda de peso e em casos mais extremos, a morte de animais (Graf et al., 2004; Domingos et al., 2013; Tabor et al., 2017). Os principais sinais produtivos são a redução na produção de leite e carne, queda na taxa de reprodução e o aumento na mortalidade (Domingos et al., 2013). Tais perdas

refletem a baixa eficiência dos sistemas de produção no Brasil e a grande necessidade de *inputs* no sistema (alta utilização de produtos químicos para controle de doenças, maior necessidade de adubação e suplementação animal, entre outros).

Na tentativa de evitar o ataque e o prejuízo causado por ectoparasitas aos bovinos, o produtor utiliza o controle químico de forma supressiva. Esta alta frequência de uso dos produtos, sem o devido sucesso contra os parasitos, vem causando uma sequência de adversidades, tais como, resistência parasitária aos defensivos químicos, contaminação ambiental e residual na carne e no leite (Graf et al., 2004; Molento, 2004). Esse conjunto de problemas vem se intensificando à medida que a falta de alternativas para combater a incidência de ectoparasitos dos bovinos prevalece, tendendo a piorar se a utilização das mesmas técnicas continuar.

Compreendendo a magnitude do desafio imposto aos animais, ao produtor, a economia local e aos sistemas, e procurando maneiras de agir frente aos desafios impostos pelos parasitos, foi criado o sistema integrado de controle parasitário, chamado de SICOPA (Molento, 2004). Essa ferramenta abrange um conjunto de 26 ferramentas, com objetivo de evitar a resistência dos parasitos aos medicamentos, prolongar a eficácia dos mesmos e aumentar a efetividade dos tratamentos, ao mesmo tempo em que o desempenho animal não seja prejudicado e conseqüentemente, não comprometa a eficiência da produção animal em relação às emissões de GEE. Tais ferramentas envolvem desde a seleção de animais mais tolerantes naturalmente aos parasitos, até o tratamento seletivo dos bovinos (TSB), permitindo identificar em médio e longo prazo, animais considerados susceptíveis ou tolerantes aos parasitos (Molento, 2004).

Pouca atenção tem se dado aos impactos que o estado de saúde dos animais tem sobre as emissões de GEE (Kenyon et al., 2013). A hipótese desse trabalho é que, a aplicação do método TSB pode monitorar o estado de saúde dos animais, garantindo o potencial biológico sem comprometer às emissões de metano por bovinos em pastejo em diferentes sistemas integrados de produção agropecuária. Logo, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o

desempenho animal e as emissões de metano em bovinos, utilizando o método TSB para controle das ectoparasitoses, em diferentes sistemas de produção agropecuária.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Local

O experimento foi conduzido em dois anos; Ano 1: entre julho de 2017 a fevereiro de 2018 e Ano 2: entre agosto de 2018 a março de 2019, na área experimental do Núcleo de Inovações Tecnológicas em Agropecuária, NITA, situado na Fazenda Experimental do Canguiri, Pinhais – PR, pertencente à Universidade Federal do Paraná, UFPR. O local está situado nas coordenadas geográficas aproximadas de 25°24'4.31"S de latitude e 49°7'15.02"O de longitude, sob 918 m de altitude. Segundo classificação de Köppen, o clima da região é descrito como Cfb, com precipitação anual média de 1400 mm e temperaturas médias variando de 12,5°C a 22,5°C, sujeito a geadas frequentes e severas (Nitsche et al., 2019).

3.4.2 Sistemas de produção pecuários e implantação

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três repetições e quatro sistemas de produção, sendo eles: Pecuária (PEC), Pecuária-Floresta (PF), Lavoura-Pecuária (LP) e Lavoura-Pecuária-Floresta (LPF). A área experimental total foi de 20.87ha, divididos em 12 unidades experimentais (piquete) de $1,74 \pm 0,30$ ha cada (Figura 3.1). O fator de bloqueamento foi em função da declividade do terreno e padrões de drenagem, sendo o bloco 1 e 2 divididos por uma curva de nível divergente e, entre os blocos 2 e 3, pelo divisor de águas. Nos dois anos de experimento, em todos os sistemas de produção, foi utilizada como pastagem de inverno a mistura de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) e plantas espontâneas, tais como azevém perene (*Lolium multiflorum*), trevo vermelho (*Trifolium pratense*), ervilhaca (*Vicia cracca*), entre outras. Já no verão, foi utilizado o capim Áries (*Megathyrsus*

maximum) e plantas espontâneas, tais como capim Papuã (*Urochloa plantaginea*), Estrela Africana (*Cynodon plectostachyus*), *Hemarthria altissima* entre outras.

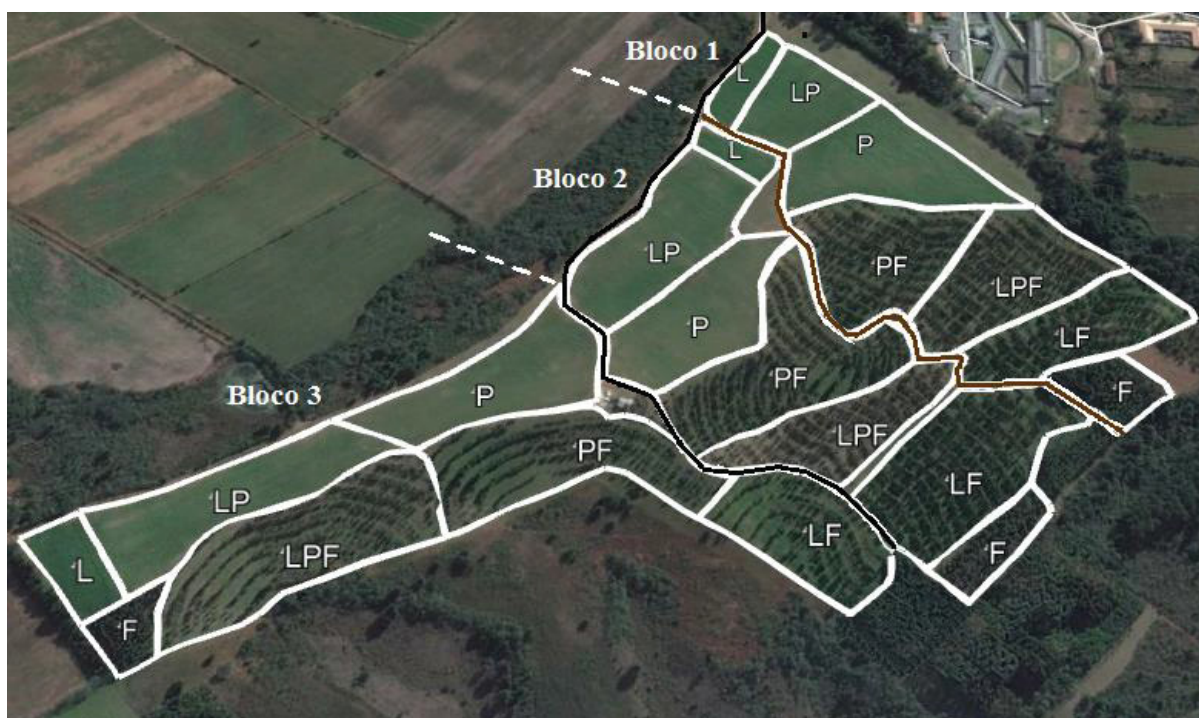


Figura 3.1 - Área experimental do Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária (NITA), com as divisões de tratamentos (vide texto) e de blocos, localizada na Fazenda Experimental do Canguiri da Universidade Federal do Paraná, dentro da Área de Proteção Ambiental do Iraí, Pinhais, PR.

Nos períodos de Outono, os animais eram retirados para melhor estabelecimento das forrageiras de inverno. A Figura 3.2 apresenta o esquema de condução do protocolo experimental e o período de avaliações.

Sistemas de produção	Condução do protocolo experimental		Período de avaliações
PEC e PF	Pastejo 	Pastejo 	Pastejo 
	inverno/primavera 2016	verão 2016/2017	inverno 2017 a verão 2018/2019
LP e LPF	Cobertura verde 	Lavoura 	Pastejo 
	inverno/primavera 2016	verão 2016/2017	inverno 2017 a verão 2018/2019

Figura 3.2 – Esquema de condução do protocolo experimental e do período de avaliações sob diferentes sistemas para bovinos no NITA/UFPR.

O sistema PEC se caracteriza por não ser integrado aos demais componentes (lavoura e floresta), tendo unicamente o pasto em todos os anos. Nos sistemas com lavoura (LP e LPF), antecedendo aos dois anos do

experimento, foi feita uma lavoura de milho (*Zea mays*; verão 2016/2017). Os sistemas PF e LPF se caracterizam pela presença do componente arbóreo. As árvores foram plantadas em 2013, com espaçamento de 14 m entre linhas e 2 m entre plantas, com *Eucalyptus benthamii* conforme descrito por Porfírio-da-Silva et al. (2018). No outono de 2017 foi realizado um desbaste, retirando aproximadamente 50% das árvores do experimento (Porfírio-da-Silva et al., 2018).

3.4.3 Manejo e adubação do pasto

Em abril de 2017 e 2018 foram semeados 80 kg.ha⁻¹ de aveia preta em sistema de plantio direto sem utilização de herbicida para dessecação. Para cada ano, foram realizadas duas adubações nitrogenadas a lanço com 90 kg N ha⁻¹ por aplicação na forma de ureia em cada inverno. A primeira aplicação quando a aveia preta apresentava três a cinco folhas. A segunda aplicação 40 dias após a entrada dos animais nos piquetes. Uma terceira aplicação com 130 kg N ha⁻¹ na forma de ureia, foi realizada no mês de dezembro de 2018 e dezembro de 2019, quando o capim Áries começava a predominar. Juntamente com esta adubação, foi aplicado 110 kg de K₂O na forma de KCl e 200kg de P₂O₅ na forma de fosfato natural. Todos os tratamentos receberam a mesma quantidade de N, P e K.

O método de pastoreio utilizado foi o contínuo, com carga animal variável, segundo a técnica *put-and-take* (Mott e Lucas, 1952).

3.4.4 Animais

Foram utilizados novilhos castrados da raça Angus, com peso vivo inicial de 154.78 kg ± 35.22 kg e 10 meses de idade no ano 1 e 241,15 kg ± 49.18 kg e 14 meses de idade no ano 2. Em cada sistema de produção, foram utilizados três animais testes (unidade amostral) e animais reguladores. Os animais tiveram acesso ao pasto, a água limpa e sal mineral *ad libitum*.

3.4.4.1 Desempenho animal

A cada 28 dias, os animais foram submetidos a jejum de sólidos e líquidos por 12 horas, para posterior pesagem. O ganho médio diário (GMD), expresso em kg de peso vivo (PV) por animal dia^{-1} , foi calculado pela diferença do peso final do peso inicial, dividido pelo número de dias que os animais permaneceram em pastejo. O ganho por área, expresso em kg de PV ha^{-1} , foi calculado pela multiplicação do ganho de peso total dos animais testes pela carga animal média do piquete, dividido pelo peso corporal dos animais testes, dividido pela área do piquete. A carga animal diária foi calculada pela adição do peso corporal dos animais testes com o peso corporal dos animais reguladores. A média das cargas animal diárias resultou na carga animal média por piquete.

3.4.4.2 Controle Parasitário

O manejo sanitário dos animais foi realizado de maneira seletiva para endo e ectoparasitas, medicando apenas os animais que atingiam certo limitante (Molento, 2004). Os ectoparasitos encontrados foram o carrapato (*Rhipicephalus microplus*), a mosca-dos-chifres (*Haematobia irritans*) e o berne (*Dermatobia hominis*). Foram considerados como limite de ectoparasitas no corpo do animal até 20 teleóginas ($>4,5\text{mm}$), 20 bernes em um dos lados do animal e 50 mosca-dos-chifres por lado. À medida que a quantidade de ectoparasitos num animal ultrapassava o limite estabelecido, era realizado um tratamento pontual com aplicação de ectoparasiticida (EP). A cada período entre as pesagens, foram realizadas três contagens de ectoparasitas para determinar o momento ideal do tratamento. Quando necessário, os EP's utilizados em doses terapêuticas foram o fluazuron (Acatark®, Novartis), abamectina (Avotank®, MSD Saúde Animal), fluazuron + fipronil (TickGuard®, MSD Saúde Animal), cipermetrina + clorpirifós + citronelal (Colosso®, Ouro Fino) e ivermectina+abamectina (Solution®, MSD Saúde Animal).

De acordo com o número de aplicações de antiparasitários que os animais receberam durante o ano, estes foram separados em três níveis de aplicações. Os níveis foram: abaixo de três aplicações/ano, nível Baixo; três aplicações/ano, nível Médio; e acima de três aplicações/ano, Nível Alto. O nível Médio foi determinado pelo valor da mediana dos números de tratamentos por animal, realizados nos dois anos de experimento (mediana = 3). A partir disso,

foi determinado o nível Baixo (mediana -1) e o nível Alto (mediana +1). Dentro de cada sistema de produção, foram identificados os animais de cada nível de tratamento para posteriores cálculos de consumo de MS, desempenho animal e emissão de metano.

3.4.4.3 Consumo

O consumo de matéria seca foi estimado nos três animais testes em cada piquete, através da equação: Matéria orgânica ingerida = $1,10 + (101,19 \times N\text{-fecal (g/dia}^{-1}\text{/kg de PV}^{-1}))$ (Kozloski et al., 2018). Para determinação da produção fecal, foi utilizada a técnica do marcador externo dióxido de titânio (TiO_2) nos dez períodos correspondentes às avaliações do monitoramento contínuo de bocados. Em cada avaliação, dosagens de 5 g de TiO_2 foram realizadas duas vezes ao dia (às 09h00 e 15h00) durante 12 dias, sendo os sete primeiros dias para estabilização do marcador e os últimos cinco dias para recuperação fecal (Glindemann et al., 2009). Anteriormente a cada início de avaliação, foram coletadas amostras de fezes de todos os animais para descontar concentrações de TiO_2 já existentes (1,24 e 2,11 $\mu\text{g TiO}_2/\text{ml}$ para ano 1 e 2, respectivamente). O TiO_2 foi envolto por papel seda na forma de papelote, sendo dosado via oral com auxílio de uma mangueira plástica. As amostras de fezes foram coletadas duas vezes ao dia (às 09h00 e 15h00) direto da ampola retal, sendo posteriormente secas em estufa a 55°C até atingir peso constante e moídas para determinação do marcador, segundo técnica descrita por Myers et al. (2004). As concentrações de TiO_2 nas fezes foram corrigidos pelos valores da taxa de recuperação fecal (1,00) sugeridas por Glindemann et al. (2009) para experimentos a pasto. Valores semelhantes foram encontrados por Titgemeyer et al. (2001; 0,95), Sampaio et al. (2011; 0,995) e Peres et al. (2019; 1,00).

3.4.4.4 Emissões de metano

A emissão de metano foi estimada nos três animais testes de cada piquete, a partir da técnica do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF_6) (Johnson et al., 1994), em onze períodos de avaliação (Julho 17, Agosto 17, Setembro 17, Dezembro 17, Janeiro 18, Fevereiro 18, Agosto 18, Setembro 18, Dezembro

18, Janeiro 19 e Março 19). Os animais foram dosados (*per os*) com uma cápsula de permeação, com média de $1845,08 \pm 83,67 \text{ ng.min}^{-1}$ e $1796,06 \pm 166,35 \text{ ng.min}^{-1}$ de taxa de permeação no ano de 2017 e 2018, respectivamente.

A cada avaliação, animais foram equipados com cabresto acoplado de um cilindro de aço inoxidável, com volume de 0,5 L, regulado por um rolamento de esferas de bronze (Gere e Gratton, 2010). Estes foram calibrados para permitir vácuo remanescente de cerca de 500mb no cilindro, representando, ao final de cinco dias consecutivos, metade do seu volume total. Antes de cada coleta, os cilindros foram limpos com nitrogênio gasoso de alta pureza e pré-evacuados. Além disso, para cada avaliação, foram utilizados quatro cilindros “brancos” para coleta do ar atmosférico, para posterior correção nos valores dos gases de interesse existentes no ambiente.

A determinação das concentrações de CH_4 (ppm) e SF_6 (ppt) foi realizada no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, através de um cromatógrafo a gás GC-2014 (Shimadzu, Japão), equipado com detectores de ionização de chama (FID) a 250°C e coluna empacotada 1/800 Shimalite Q (0.7 m, malha 80/100) para leitura de CH_4 e para leitura de SF_6 , um detector de captura de elétrons (ECD) a 325°C e coluna empacotada de 1/8” Porapak N (1.5m , malha 100/800). Para análise de SF_6 , foi utilizado uma mistura de 5% CH_4 + Argônio como gás de compensação. A coluna do cromatógrafo a gás foi mantida a 80°C durante a análise, utilizando N_2 como transportador de gás com fluxo de $25 \text{ cm}^3.\text{min}^{-1}$. Gases padrão certificados (White Martins Development Laboratory) foram utilizados para estabelecer as curvas de calibração, com concentrações de 2.41, 5, 10.42 e 20 ppm's de CH_4 e 11.30 e 98 ppt's de SF_6 . Os limites mínimos de detecção foram de 0.15 ppm para CH_4 e 5.2 ppt para SF_6 .

As emissões de CH_4 foram expressos em g de CH_4 por animal dia^{-1} , g de CH_4 por PM^{-1} , g de CH_4 por kg de GMD^{-1} e g de CH_4 por MO ingerida $^{-1}$.

Esse trabalho foi aprovado pela Comissão de Ética no uso de animais do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná - protocolo número 069/2016.

3.4.5 Análise dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância ao nível de significância de 5%, utilizando o software R, versão 3.6.2 (R Core Team, 2019). Modelos lineares mistos foram testados e o melhor modelo foi selecionado pelo teste de razão de verossimilhança e AIC. Para as análises das variáveis de consumo de MS, emissão de metano e desempenho animal, os níveis de aplicações e os períodos de avaliação foram considerados efeitos fixos, e os anos como efeito aleatório. Já para as análises relacionadas ao número de aplicações utilizadas para cada ano, os sistemas de produção e os períodos de avaliação, foram considerados como efeitos fixos, e os blocos como efeito aleatório. Quando necessário, os dados foram transformados para melhor atender às pressuposições da análise de variância.

3.5 RESULTADOS

A proporção da utilização de fármacos antiparasitários contra berne, mosca-do-chifre e carrapatos são apresentadas na Figura 3.3. Independente do sistema de produção e do ano, a utilização de carrapaticida foi maior em relação aos demais fármacos ($P>0,05$). A utilização de mosquicida só foi realizada no ano 1.

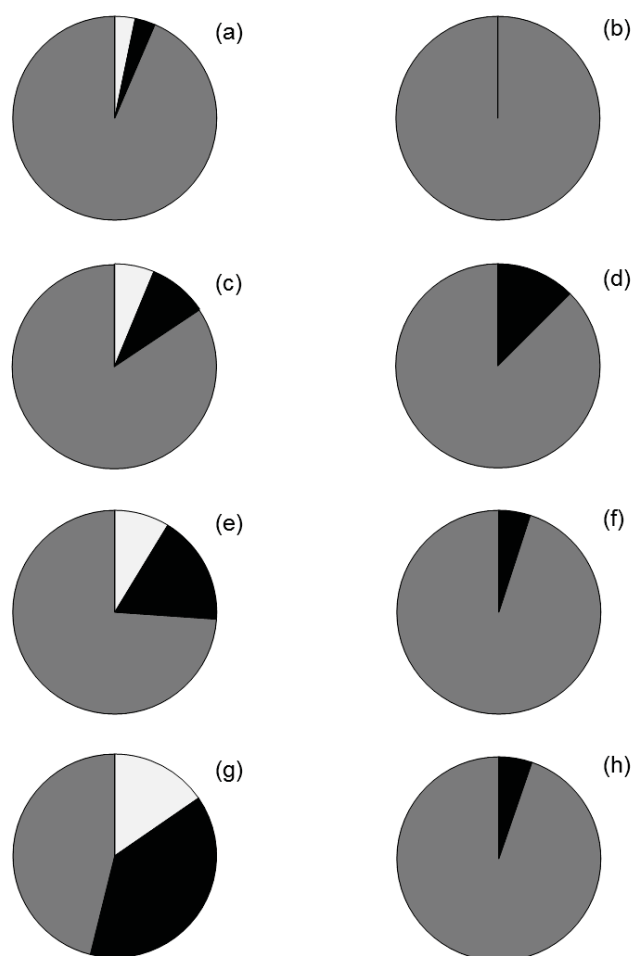


Figura 3.3 - Porcentagem de utilização de carrapaticida ■, mosquicida □ e bernicida ■ nos diferentes sistemas de produção agropecuária. (a) PEC, ano 1; (b) PEC, ano 2; (c) PF, ano 1; (d) PF, ano 2; (e) LP, ano 1; (f) LP, ano 2; (g) LPF, ano 1; (h) LPF, ano 2.

Os resultados referentes a quantidade de aplicações contra ectoparasitos, em relação ao número de animais em cada mês são encontradas na Tabela 3.1. O número de aplicações para ambos os sistemas de produção não diferiu entre junho de 2017 e outubro de 2017 ($P>0,05$). Nos meses de novembro e dezembro de 2017, houve um menor número de aplicações para os sistemas LP e LPF ($P<0,05$), não diferindo entre janeiro de 2018 e abril de 2018 ($P>0,05$). No segundo ano de experimento, apenas no mês de janeiro de 2019 houve diferença na quantidade de aplicações, sendo maior para o sistema PEC ($P<0,05$).

Tabela 3.1 - Número de aplicações mensais contra ectoparasitas em bovinos manejados em diferentes sistemas de produção agropecuária (PEC: Pecuária; PF: Pecuária-Floresta; LP: Lavoura-Pecuária; LPF: Lavoura-Pecuária-Floresta).

Período	PEC		PF		LP		LPF	
	nº animais	nº aplicações	nº animais	nº aplicações	nº animais	nº aplicações	nº animais	nº aplicações
jun/17	9	0 a	9	0 a	9	0 a	9	0 a
jul/17	9	1 a	9	3 a	9	0 a	9	0 a
ago/17	9	0 a	9	0 a	9	0 a	9	0 a
set/17	9	0 a	9	1 a	9	1 a	9	2 a
out/17	9	1 a	9	1 a	9	0 a	9	3 a
nov/17	9	3 ab	9	6 a	9	0 b	9	2 b
dez/17	9	8 a	9	5 ab	9	2 b	9	0 b
jan/18	9	1 a	9	1 a	9	4 a	9	5 a
fev/18	9	11 a	9	6 a	9	7 a	9	6 a
mar/18	9	0 a	9	3 a	9	0 a	9	1 a
abr/18	9	6 a	9	6 a	9	9 a	9	7 a
set/18	7	0 a	9	2 a	9	0 a	9	2 a
out/18	7	0 a	9	0 a	9	0 a	9	0 a
nov/18	7	0 a	8	0 a	5	0 a	4	0 a
dez/18	7	1 a	9	2 a	9	4 a	8	2 a
jan/19	7	5 a	9	2 ab	9	0 b	9	1 ab
fev/19	7	0 a	9	3 a	9	1 a	8	2 a
mar/19	7	13 a	9	13 a	9	15 a	9	12 a
abr/19	7	3 a	9	2 a	9	0 a	8	0 a

Legenda: Letras diferentes na linha representam diferenças significativas de acordo com teste de Tukey a 5% de significância.

O desempenho animal e a porcentagem de aplicações durante os períodos avaliados encontram-se na Figura 3.4. Em cada período de avaliação, para cada sistema de produção, não houve diferença ($p>0,05$) para o GMD dos animais dos diferentes níveis de aplicação de fármacos.

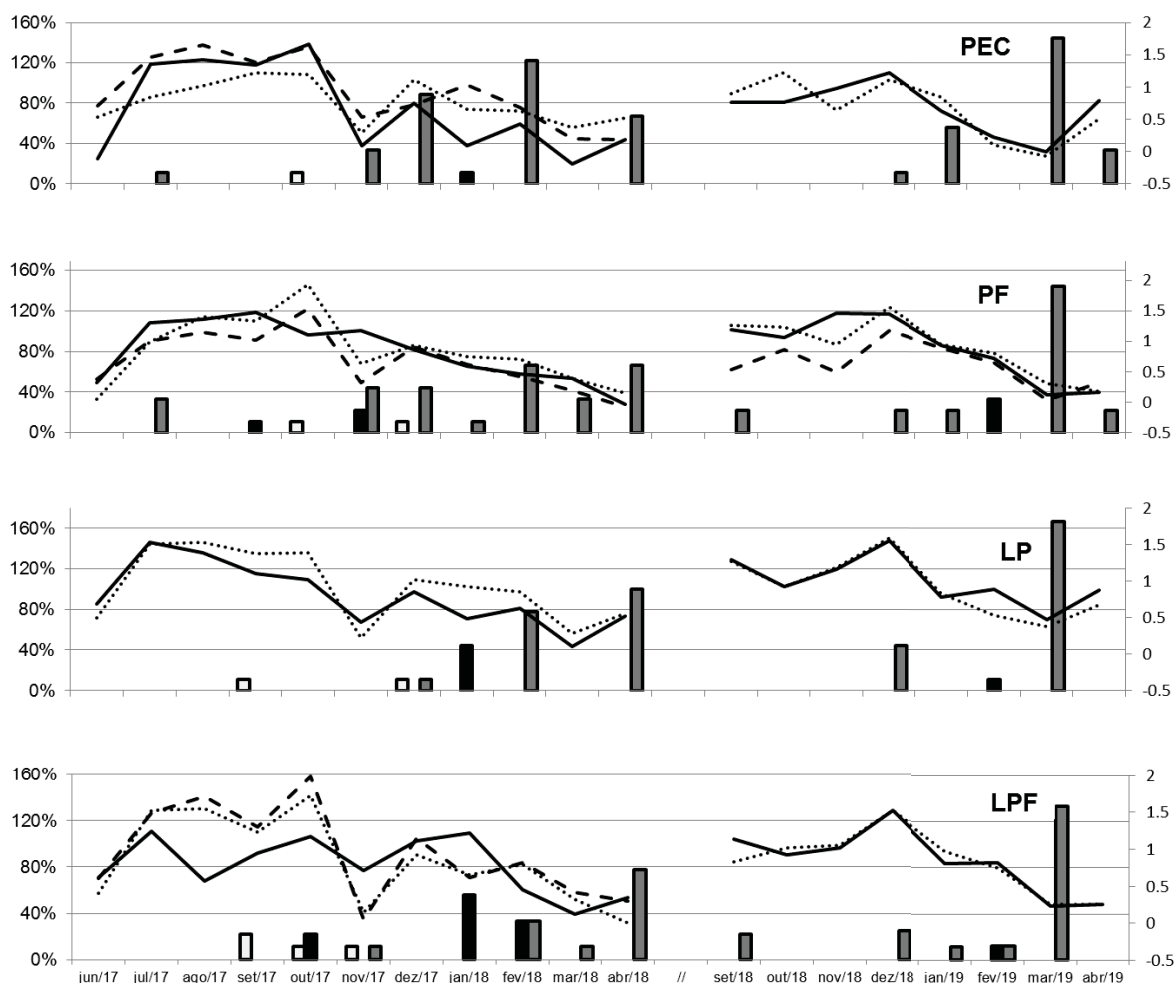


Figura 3.4 – Porcentagem de doses de carrapaticida ■, mosquicida □ e bernicida ■ utilizadas em relação ao número de animais e desempenho animal entre os níveis de tratamento Baixo, Médio e Alto nos diferentes sistemas de produção agropecuária.

Na Tabela 3.2, estão os resultados de desempenho animal, consumo e emissão de metano entérico dos bovinos. Houve diferença no GMD ($p < 0,005$) entre os níveis de aplicação para os sistemas de produção PEC e PF, sendo os maiores ganhos registrados para nível Alto, dentro do sistema PEC e nível baixo, dentro do sistema PF. Todas as variáveis relacionadas ao consumo de MS e emissão de metano não diferiram entre níveis de aplicação e dentro de cada sistema de produção, com exceção da emissão de CH_4 por animal/dia, onde para o sistema PEC, as maiores emissões foram encontradas no nível Alto de aplicação de fármacos antiparasitários.

Tabela 3.2 - Consumo de MS e emissão de metano entérico por bovinos manejados em diferentes sistemas de produção agropecuária (PEC: Pecuária; PF: Pecuária-Floresta; LP: Lavoura-Pecuária; LPF: Lavoura-Pecuária-Floresta) e diferentes níveis de aplicação de fármaco antiparasitário (Baixo, Médio e Alto).

Variáveis	PEC			PF			LP			LPF		
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto
	P-valor	P-valor	P-valor	P-valor	P-valor	P-valor	P-valor	P-valor	P-valor	P-valor	P-valor	P-valor
nº animais	6	5	5	5	8	5	10	8	0	8	7	3
% MSI	2,11	1,96	2,21	2,17	2,25	2,29	2,20	2,36	-	2,36	2,21	2,39
MSI	5,87 ^a	5,24 ^b	6,01 ^a	6,29	6,99	5,60	6,68	6,42	-	6,97 ^a	6,17 ^b	6,42 ^{ab}
GMD	656,8 ^b	706,0 ^b	924,0 ^a	856,00 ^a	876,00 ^a	671,00 ^b	882,00	920,00	-	796,00	804,00	937,00
CH ₄ animal ⁻¹	157,84 ^b	168,29 ^b	193,15 ^a	168,90	208,94	182,00	186,97	169,83	-	193,23	190,41	191,05
CH ₄ PM ⁻¹	2,40	2,43	2,68	2,40	2,79	2,89	2,62	2,53	-	2,72	2,64	2,69
CH ₄ MOI ⁻¹	34,23	34,26	35,82	31,17	34,75	33,77	30,58	31,87	-	32,09	35,39	35,62
CH ₄ GMD ⁻¹	280,69	197,98	202,59	183,28	216,42	209,17	188,68	153,52	-	162,77	185,13	184,28

Legenda: Letras diferentes na linha representam diferenças significativas de acordo com tese de Tukey a 5% de significância.

3.6 DISCUSSÃO

Dentre todos os fármacos antiparasitários, a maior utilização foi para o controle dos carrapatos. A baixa ocorrência de mosca-dos-chifres e bernes na região foi determinante para menor utilização de tratamentos contra estes ectoparasitas. Brito et al. (2015) observaram 15 gerações de mosca-dos-chifres em um ano em condições de temperatura do clima megatérmico tropical chuvoso (Aw) e dez gerações em condições de temperatura do clima mesotérmico temperado úmido (Cw). Provavelmente para condição de temperatura predominante neste experimento, a quantidade de gerações de moscas-dos-chifres e mosca do berne foi baixa. As pesquisas observando gerações de moscas na produção animal tem maior relevância para climas tropicais (Honer et al., 1991), tendo poucos dados sobre esse parasito em clima subtropical e temperado.

A menor quantidade de tratamentos observada nos sistemas de produção LP e LPF, provavelmente estão relacionadas ao efeito da lavoura que antecedeu o plantio da pastagem. Como essas áreas permaneceram por um maior período em descanso devido a permanência da lavoura de milho (~270 dias contra 60 dias para PEC e PF), possivelmente a quantidade de parasitos foi afetada, refletindo na significativa redução de prevalência. Teel et al. (1998), sugeriram que áreas com ao menos 180 dias de descanso, reduzem as chances das larvas de carrapatos sobreviverem. Uma das vantagens associadas à integração entre lavoura e pecuária é a maior autonomia em relação a dependência na utilização de insumos (Magne et al., 2019). Segundo esses autores, modelos de produção pecuária onde há menor necessidade de *inputs*, contribuem para diminuir a pegada ambiental, ou seja, apresentam um menor impacto aos recursos naturais causados pelo consumo humano. Assim, principalmente em áreas muito infestadas por parasitos, a utilização de lavoura nos sistemas pecuários pode ser uma importante alternativa para redução da população parasitária.

Estes modelos de produção pecuária (LP e LPF) são coerentes ao pensamento sistêmico dos SIPA (Moraes, et al., 2014), onde a aplicabilidade do TSB atende conceitualmente o contexto produtivo. O SICOPA tem ações baseadas em diagnósticos multifatoriais do ambiente e necessitam do aprimoramento no conhecimento da sua complexidade, seja do substrato (solo, pasto, árvores, entre outros) e seus efeitos sobre a refugia parasitária, seja sobre os níveis de parasitismo (Molento, 2004), ou em escalas maiores (padrões climáticos e seus efeitos), uma vez que para cada região existem particularidades que devem ser levadas em conta (ex. altitude, umidade, temperatura, precipitação). Neste contexto, exige e instiga o gestor à análise sistêmica, anteriormente ao diagnostico simplista de realizar o tratamento massivo nos rebanhos.

É sabido também que o uso demasiado de defensivos químicos para controle de ectoparasitos em animais de produção trás consigo uma série de adversidades, incluindo a seleção de parasitos mais resistentes aos medicamentos, contaminação ambiental, resíduo de medicamentos em produtos alimentícios e dificuldade de selecionar geneticamente animais mais

tolerantes aos parasitas (Tabor et al., 2017). Naturalmente, os bovinos tem certa tolerância aos ectoparasitas, não tendo seu desempenho comprometido em condição de baixas infestações (Molento et al., 2013). Expor os animais a situações desafiantes tais como uma infestação por ectoparasitos, oferece condição aos animais para se adaptarem ao ambiente e desenvolverem respostas fisiológicas frente ao problema, minimizando ocorrências futuras (Colditz e Hine, 2016). Segundo esses autores, a exposição aos desafios permite ao animal expressar a sua resiliência e robustez, características fundamentais em animais de criação.

O TSB contribui com essa lógica, expondo os animais aos parasitos sem comprometer o desempenho individual, acarretando num menor custo ambiental e financeiro (Molento et al., 2013). Os resultados desse trabalho mostraram que independente do nível de tratamentos, não houve diferenças entre o GMD por período. Ou seja, desde que a população parasitária no corpo do animal não exceda o limitante, os serviços de provisão serão facilitados (não penalizados). Desta forma, além de oportunizar a resiliência dos animais de forma criteriosa e científica, criamos condições de expor os animais com menores quantidades de parasitos e conseqüentemente do uso de medicamentos, diminuindo a pressão para seleção de populações resistentes.

A média anual de aplicações de medicamentos contra ectoparasitos por animal no experimento foi de 2,55 doses. Andreotti (2019) recomenda que, ao menos para acaricidas, sejam utilizados seis tratamentos por ano. Nossos resultados representam uma redução de pelo menos 57% na utilização de defensivos químicos, quando comparado com indicações preventivas. Contudo, o tratamento seletivo não somente possibilita uma economia financeira, como também gera um menor volume de resíduos lançados ao meio ambiente, com uma redução importante da contaminação dos animais e da natureza. É imperativo discutir que, na prática, os produtores utilizam mais de oito, chegando a até 18 tratamentos acaricidas ao ano (M. Molento, informação pessoal). Nesta comparação, o uso do TSB apresentaria uma redução de aproximadamente 86% no dia-a-dia dos produtores.

Uma das estratégias mais eficazes para mitigação de GEE na pecuária é o aumento do desempenho animal, reduzindo assim as emissões por unidade de produto (Thornton e Herrero, 2010). Independente do nível de tratamentos utilizado, para todos os arranjos de SIPA, não foram encontradas diferenças entre o GMD dos animais por período de avaliação. A técnica do tratamento seletivo se mostrou eficiente dentro desses sistemas, pois ao mesmo tempo em que reduziu a utilização de insumos, provendo maior autonomia (menor dependência de *inputs*), o desempenho animal não foi penalizado. A comprovação de tais dados é ainda mais importante devido a ausência de estudos nesta linha de pesquisa, contribuindo para futuros estudos.

O desempenho animal e as emissões de metano entérico estão diretamente relacionados ao consumo de MS, aumentando à medida que o consumo de matéria seca aumenta (Kurihara et al., 1999; Hegarty, 2009). Nos SIPA, em função do consumo de MS e GMD não diferirem entre os diferentes níveis de aplicação de fármacos antiparasitários, as emissões de metano por animal, por peso metabólico, por matéria orgânica ingerida e por GMD também não diferiram. Consequentemente, a utilização desses sistemas de produção animal, associados ao TSB para controle de ectoparasitos, não interferem nas emissões de metano por unidade de produto, podendo contribuir na busca de sistemas mais sustentáveis e de menor impacto ambiental.

No sistema PEC, por se tratar do único sistema de produção sem os demais componentes (lavoura e árvore), os animais com maior quantidade de tratamentos foram os que obtiveram melhor desempenho. Muito embora, esta condição leve a reflexão de que este fator é positivo (tratou, consequentemente ganha mais peso), a utilização de apenas um único componente no cenário produtivo, determina uma maior dependência na utilização de defensivos químicos, contrariando o aspecto da autonomia, eficiência e resiliência do sistema, uma vez que este dependerá de mais mão-de-obra, insumos e manejo com os animais.

O uso de sistemas integrados de produção agropecuária, atrelado ao uso de ferramentas tais como o TSB, é essencial para garantir maior sustentabilidade aos sistemas pecuários, uma vez que o entendimento de como o sistema responde às interferências (ex. uso de insumos agropecuários)

possibilita que se atue de maneira mais holística, promovendo maior resiliência aos sistemas produtivos. Associar modelos de produção mais sustentáveis, onde as premissas de conservação de solo, ciclagem de nutrientes e biodiversidade são pilares, à uma ferramenta que prioriza maior autonomia, resiliência, robustez, bem-estar e sanidade animal ao mesmo tempo em que evita a seleção de populações resistentes de parasitos, se torna um objetivo maior para com a humanidade e com o planeta.

3.7 CONCLUSÃO

O uso de tratamentos antiparasitários foi menor nos sistemas LP e LPF em relação aos demais sistemas. Para os SIPA, a utilização do TSB não interfere no desempenho animal, consumo e emissão de metano.

3.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andreotti, R., Garcia, M.V. e Koller, W.W., 2019. Controle estratégico dos carrapatos nos bovinos. Embrapa Gado de Corte-Capítulo em livro científico (ALICE).

Berndt, A. e Tomkins, N.W., 2013. Measurement and mitigation of methane emissions from beef cattle in tropical grazing systems: a perspective from Australia and Brazil. *Animal*, 7(s2), pp.363-372.

Brito, L., Barbieri, F.D.S., Rocha, R., Oliveira, M.D.S., Guerrero, F. e Foil, L., 2015. Dinâmica populacional da mosca-dos-chifres como ferramenta de predição da fixação da resistência a pesticidas. Embrapa Pecuária Sudeste-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E).

Colditz, I.G. e Hine, B.C., 2016. Resilience in farm animals: biology, management, breeding and implications for animal welfare. *Animal Production Science*, 56(12), pp.1961-1983.

Domingos, A., Antunes, S., Borges, L. e Rosario, V.E.D., 2013. Approaches towards tick and tick-borne diseases control. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 46(3), pp.265-269.

Dumont, B., Groot, J.C.J. e Tichit, M., 2018. Make ruminants green again—how can sustainable intensification and agroecology converge for a better future?. *animal*, 12(s2), pp.s210-s219.

Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011. World livestock 2011—Livestock in food security.

Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO, 2017. The future of food and agriculture Trends and challenges. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf>

Gere, J.I. e Gratton, R., 2010. Simple, low-cost flow controllers for time averaged atmospheric sampling and other applications. *Latin American applied research*, 40(4), pp.377-381

Gill, M., Smith, P. e Wilkinson, J.M., 2009. Mitigating climate change: the role of domestic livestock. *Animal*, 4(3), pp.323-333.

Glindemann, T., Tas, B.M., Wang, C., Alvers, S. e Susenbeth, A., 2009. Evaluation of titanium dioxide as an inert marker for estimating faecal excretion in grazing sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 152(3-4), pp.186-197.

Graf, J.F., Gogolewski, R., Leach-Bing, N., Sabatini, G.A., Molento, M.B., Bordin, E.L. e Arantes, G.J., 2004. Tick control: an industry point of view. *Parasitology*, 129(S1), pp.S427-S442.

Grisi, L., Leite, R.C., Martins, J.R.D.S., Barros, A.T.M.D., Andreotti, R., Cançado, P.H.D., León, A.A.P.D., Pereira, J.B. e Villela, H.S., 2014. Reassessment of the potential economic impact of cattle parasites in Brazil. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, 23(2), pp.150-156.

Hegarty, R.S., 2009. Nutritional management options to reduce enteric methane emissions from NSW beef and dairy herds. In *Proceedings of the 24th Annual Conference of the Grassland Society of NSW* (pp. 40-47).

Honer, M.R., Bianchin, I. e Gomes, A., 1990. Mosca-dos-chifres: histórico, biologia e controle. Embrapa Gado de Corte-Documentos (INFOTECA-E).

IPCC, C.C., 2014. Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Johnson, K., Huyler, M., Westberg, H., Lamb, B. e Zimmerman, P., 1994. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a sulfur hexafluoride tracer technique. *Environmental science & technology*, 28(2), pp.359-362.

Kenyon, F., Dick, J.M., Smith, R.I., Coulter, D.G., McBean, D. e Skuce, P.J., 2013. Reduction in greenhouse gas emissions associated with worm control in lambs. *Agriculture*, 3(2), pp.271-284.

Kozloski, G.V., Zilio, E.M.C., Ongarato, F., Kuinchtner, B.C., Saccol, A.G., Genro, T.C.M., Oliveira, L., Faria, B.M., Cezimbra, I.M. e Quadros, F.L.F., 2018. Faecal N excretion as an approach for estimating organic matter intake by free-ranging sheep and cattle. *The Journal of Agricultural Science*, 156(3), pp.443-449.

Kurihara, M., Magner, T., Hunter, R.A. e McCrabb, G.J., 1999. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *British Journal of nutrition*, 81(3), pp.227-234.

Magne, M.A., Martin, G., Moraine, M., Ryschawy, J., Thenard, V., Triboulet, P. e Choisis, J.P., 2019. An Integrated Approach to Livestock Farming Systems' Autonomy to Design and Manage Agroecological Transition at the Farm and Territorial Levels. In *Agroecological Transitions: From Theory to Practice in Local Participatory Design* (pp. 45-68). Springer, Cham.

Molento, M.B., Fortes, F.S., Buzatti, A., Kloster, F.S., Sprenger, L.K., Coimbra, E. e Soares, L.D., 2013. Partial selective treatment of *Rhipicephalus microplus* and breed resistance variation in beef cows in Rio Grande do Sul, Brazil. *Veterinary parasitology*, 192(1-3), pp.234-239.

Molento, M.B., 2004. Resistência de helmintos em ovinos e caprinos. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, 13(1), pp.82-87.

Moraes, A.D., de Faccio Carvalho, P.C., Anghinoni, I., Lustosa, S.B.C., de Andrade, S.E.V.G. e Kunrath, T.R., 2014. Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. *European Journal of Agronomy*, 57, pp.4-9.

Mott, G.O. e Lucas, H.L., 1952, August. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In *International grassland congress* (Vol. 6, No. 1952, pp. 1380-1395).

Myers, W.D., Ludden, P.A., Nayigihugu, V. e Hess, B.W., 2004. A procedure for the preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide. *Journal of Animal Science*, 82(1), pp.179-183.

Nitsche, P.R., Caramori, P.H., Ricce, W.D.S. e Pinto, L.F.D., 2019. *Atlas Climático do Estado do Paraná*. Londrina, PR: IAPAR.

Peres, M.T.P., Batista, R., Twardowski, T.D.S., Ribeiro Filho, H.M.N. e Monteiro, A.L.G., 2019. Titanium dioxide (TiO₂) as a marker to estimate fecal output in sheep. *Ciência Rural*, 49(12).

Porfírio-da-Silva, V., Triches, G.P., Ultima, A.Y., Franco, C.A.C e Krucheslski, S. Componente arbóreo nos sistemas integrados de produção agropecuária em área de proteção ambiental. *Sistemas integrados de produção agropecuária na promoção da intensificação sustentável: 1º boletim técnico do Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária*. Curitiba, PR. pp.47-58.

R Core Team (2019). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Sampaio, C.B., Detmann, E., Valente, T.N.P., Souza, M.A.D., Valadares Filho, S.D.C. e Paulino, M.F., 2011. Evaluation of fecal recovering and long term bias of internal and external markers in a digestion assay with cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(1), pp.174-182.

Savian, J.V., Genro, T.C., Neto, A.B., Bremm, C., Azevedo, E.B., David, D.B., Gonda, H.L. e Carvalho, P.C., 2018. Comparison of faecal crude protein and n-

alkanes techniques to estimate herbage intake by grazing sheep. *Animal feed science and technology*, 242, pp.144-149.

Tabor, A.E., Ali, A., Rehman, G., Rocha Garcia, G., Zangirolamo, A.F., Malardo, T. e Jonsson, N.N., 2017. Cattle tick *Rhipicephalus microplus*-host interface: a review of resistant and susceptible host responses. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 7, p.506.

Teel, P.D., Grant, W.E., Marín, S.L. e Stuth, J.W., 1998. Simulated cattle fever tick infestations in rotational grazing systems. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 51(5), pp.501-508.

Thornton, P.K. e Herrero, M., 2010. Potential for reduced methane and carbon dioxide emissions from livestock and pasture management in the tropics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(46), pp.19667-19672.

Titgemeyer, E.C., Armendariz, C.K., Bindel, D.J., Greenwood, R.H. e Löest, C.A., 2001. Evaluation of titanium dioxide as a digestibility marker for cattle. *Journal of Animal Science*, 79(4), pp.1059-1063.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Perante a ciência e a humanidade, pesquisar e propor sistemas agropecuários que aliem produção, biodiversidade e sustentabilidade são imprescindíveis. Sistemas de produção baseados em monocultivos estão fadados ao fracasso com o passar do tempo, se tornando algo insustentável do que diz respeito ao meio ambiente, uma vez que tendem a aumentar a incidência de doenças e seus efeitos em longo prazo na evolução dos patógenos (Zhan et al., 2014), além das perdas de produtividade e degradação do solo e recursos naturais (Macedo, 2009).

Diante dessa problemática, os sistemas integrados de produção agropecuária vêm como uma alternativa mais sustentável para compor os sistemas produtivos do mundo. E com isso, cada vez mais há a necessidade de se construir conhecimento e tecnologias que proporcionem a esses sistemas formas de contemplar os três pilares da sustentabilidade (ambiental, econômico e social) de maneira correta.

O presente trabalho faz parte de um protocolo experimental que visa propor modelos de produção mais sustentáveis, com a capacidade de gerar serviços de provisão (alimento e madeira), regulação (sequestro de carbono e controle de pragas e doenças) e suporte (ciclagem de nutrientes). O Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária, NITA, que é formado por grupo de pesquisadores da Universidade Federal do Paraná e que tem área experimental localizada em Pinhais - PR tem grande contribuição para geração destes serviços ao mesmo tempo em que contribui para mitigação dos gases de efeito estufa com o desafio de produzir com restrição no uso de agrotóxicos.

Essa tese vem pra contribuir para o melhor entendimento do potencial que os sistemas de pecuária a pasto e os SIPA têm em mitigar os gases de efeito estufa. Num cenário onde a mídia e pessoas mal-intencionadas, por desconhecimento ou tendência, insistem em culpar a pecuária pelos problemas ambientais que desafiam a sobrevivência da humanidade, cabe às pesquisas mostrarem que a pecuária é um aliado na busca pela sustentabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaral, M.F., Mezzalana, J.C., Bremm, C., Da Trindade, J.K., Gibb, M.J., Suñe, R.W.M. e de F. Carvalho, P.C., 2013. Sward structure management for a maximum short-term intake rate in annual ryegrass. *Grass and Forage Science*, 68(2), pp.271-277.
- Andreotti, R., Garcia, M.V. e Koller, W.W., 2019. Controle estratégico dos carrapatos nos bovinos. Embrapa Gado de Corte-Capítulo em livro científico (ALICE).
- Archimede, H., Eugène, M., Magdeleine, C.M., Boval, M., Martin, C., Morgavi, D.P., Lecomte, P. e Doreau, M., 2011. Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. *Animal Feed Science and Technology*, 166, pp.59-64.
- Assmann, J.M., Anghinoni, I., Martins, A.P., de Andrade, S.E.V.G., Cecagno, D., Carlos, F.S. e de Faccio Carvalho, P.C., 2014. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop–livestock system under no-tillage in southern Brazil. *Agriculture, ecosystems & environment*, 190, pp.52-59.
- Barthram, G.T. e BARTHRAM, G., 1985. Experimental techniques: the HFRO sward stick.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., e Walker, S. (2014). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *arXiv preprint arXiv:1406.5823*.
- Bell, L.W. e Moore, A.D., 2012. Integrated crop–livestock systems in Australian agriculture: Trends, drivers and implications. *Agricultural Systems*, 111, pp.1-12.
- Berndt, A. e Tomkins, N.W., 2013. Measurement and mitigation of methane emissions from beef cattle in tropical grazing systems: a perspective from Australia and Brazil. *Animal*, 7(s2), pp.363-372.
- Boland, T.M., Quinlan, C., Pierce, K.M., Lynch, M.B., Kenny, D.A., Kelly, A.K. e Purcell, P.J., 2013. The effect of pasture pregrazing herbage mass on methane

emissions, ruminal fermentation, and average daily gain of grazing beef heifers. *Journal of Animal Science*, 91(8), pp.3867-3874.

Bonaudo, T., Bendahan, A.B., Sabatier, R., Ryschawy, J., Bellon, S., Leger, F., Magda, D. e Tichit, M., 2014. Agroecological principles for the redesign of integrated crop–livestock systems. *European Journal of Agronomy*, 57, pp.43-51.

Bonnet, O.J., Meuret, M., Tischler, M.R., Cezimbra, I.M., Azambuja, J.C. e Carvalho, P.C., 2015. Continuous bite monitoring: a method to assess the foraging dynamics of herbivores in natural grazing conditions. *Animal Production Science*, 55(3), pp.339-349.

Brasil, 2000. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. *Diário Oficial da União*.

Brito, L., Barbieri, F.D.S., Rocha, R., Oliveira, M.D.S., Guerrero, F. e Foil, L., 2015. Dinâmica populacional da mosca-doschifres como ferramenta de predição da fixação da resistência a pesticidas. *Embrapa Pecuária Sudeste-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)*.

Cardoso, A.S., Berndt, A., Leytem, A., Alves, B.J., de Carvalho, I.D.N., de Barros Soares, L.H., Urquiaga, S. e Boddey, R.M., 2016. Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. *Agricultural Systems*, 143, pp.86-96.

Carvalho, P.C. de F., Anghinoni, I., de Moraes, A., de Souza, E.D., Sulc, R.M., Lang, C.R., Flores, J.P.C., Lopes, M.L.T., da Silva, J.L.S., Conte, O. e de Lima Wesp, C., 2010. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 88(2), pp.259-273.

Carvalho, P.C.F., 2013. Harry Stobbs Memorial Lecture: Can grazing behavior support innovations in grassland management?. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 1(2), pp.137-155

- Chirinda, N., Loaiza, S., Arenas, L., Ruiz, V., Faverín, C., Alvarez, C., Savian, J.V., Belfon, R., Zuniga, K., Morales-Rincon, L.A. e Trujillo, C., 2019. Adequate vegetative cover decreases nitrous oxide emissions from cattle urine deposited in grazed pastures under rainy season conditions. *Scientific reports*, 9(1), pp.1-9.
- Colditz, I.G. e Hine, B.C., 2016. Resilience in farm animals: biology, management, breeding and implications for animal welfare. *Animal Production Science*, 56(12), pp.1961-1983.
- Congio, G.F., Batalha, C.D., Chiavegato, M.B., Berndt, A., Oliveira, P.P., Frighetto, R.T., Maxwell, T.M., Gregorini, P. e Da Silva, S.C., 2018. Strategic grazing management towards sustainable intensification at tropical pasture-based dairy systems. *Science of the Total Environment*, 636, pp.872-880.
- Da Silva, S.C. e Carvalho, P.D.F., 2005. Foraging behaviour and herbage intake in the favourable tropics/sub-tropics. *Grassland: a global resource*, 1, pp.81-95.
- Dall-Orsoletta, A.C., Almeida, J.G.R., Carvalho, P.C., Savian, J.V. e Ribeiro-Filho, H.M., 2016. Ryegrass pasture combined with partial total mixed ration reduces enteric methane emissions and maintains the performance of dairy cows during mid to late lactation. *Journal of dairy science*, 99(6), pp.4374-4383.
- DeRamus, H.A., Clement, T.C., Giampola, D.D. e Dickison, P.C., 2003. Methane emissions of beef cattle on forages. *Journal of environmental quality*, 32(1), pp.269-277.
- Dini, Y., Gere, J.I., Cajarville, C. e Ciganda, V.S., 2018. Using highly nutritious pastures to mitigate enteric methane emissions from cattle grazing systems in South America. *Animal production science*, 58(12), pp.2329-2334.
- Domiciano, L.F., Pedreira, B.C., da Silva, N.M.F., Mombach, M.A., Chizzotti, F.H.M., Batista, E.D., Carvalho, P., Cabral, L.S., Pereira, D.H. e do Nascimento, H.L.B., 2020. Agroforestry systems: an alternative to intensify forage-based livestock in the Brazilian Amazon. *Agroforest Systems*, 94, pp. 1839–1849.

Domingos, A., Antunes, S., Borges, L. e Rosario, V.E.D., 2013. Approaches towards tick and tick-borne diseases control. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 46(3), pp.265-269.

Dumont, B., Groot, J.C.J. e Tichit, M., 2018. Make ruminants green again—how can sustainable intensification and agroecology converge for a better future? *Animal*, 12(s2), pp. 210-219.

Eckard, R.J., Grainger, C. e De Klein, C.A.M., 2010. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: a review. *Livestock science*, 130(1-3), pp.47-56.

Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2010. An international consultation on integrated crop-livestock systems for development: The way forward for sustainable production intensification. *Integrated Crop Management*, 13(1).

Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011. *World livestock 2011—Livestock in food security*.

Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO, 2017. The future of food and agriculture Trends and challenges. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf>

Faria, A.C.F.P.de, 2018. Understanding How Climate Change Impacts Food Security and Human Development in the Fragile States: A Comparative Study of Five of the Most Fragile States in Africa. *Journal for Peace and Justice Studies*, 28(1), pp.3-39.

Fonseca, L., Mezzalana, J.C., Bremm, C., Gonda, H.L. e Carvalho, P.D.F., 2012. Management targets for maximising the short-term herbage intake rate of cattle grazing in *Sorghum bicolor*. *Livestock Science*, 145(1-3), pp.205-211.

Franzluebbers, A.J., Chappell, J.C., Shi, W. e Cubbage, F.W., 2017. Greenhouse gas emissions in an agroforestry system of the southeastern USA. *Nutr. Cycl. Agroecosystems*, 108, pp 85-100.

Frota, M.N.L.D., Carneiro, M.S.D.S., Pereira, E.S., Berndt, A., Frighetto, R.T.S., Sakamoto, L.S., Moreira Filho, M.A., Cutrim Júnior, J.A.A. e Carvalho, G.M.C., 2017. Enteric methane in grazing beef cattle under full sun, and in a silvopastoral system in the Amazon. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52(11), pp.1099-1108.

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

Gere, J.I. e Gratton, R., 2010. Simple, low-cost flow controllers for time averaged atmospheric sampling and other applications. *Latin American applied research*, 40(4), pp.377-381

Gere, J.I., Bualó, R.A., Perini, A.L., Arias, R.D., Ortega, F.M., Wulff, A.E. e Berra, G., 2019. Methane emission factors for beef cows in Argentina: effect of diet quality. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, pp.1-9.

Gill, M., Smith, P. e Wilkinson, J.M., 2009. Mitigating climate change: the role of domestic livestock. *Animal*, 4(3), pp.323-333.

Glindemann, T., Tas, B.M., Wang, C., Alvers, S. e Susenbeth, A., 2009. Evaluation of titanium dioxide as an inert marker for estimating faecal excretion in grazing sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 152(3-4), pp.186-197.

Graf, J.F., Gogolewski, R., Leach-Bing, N., Sabatini, G.A., Molento, M.B., Bordin, E.L. e Arantes, G.J., 2004. Tick control: an industry point of view. *Parasitology*, 129(S1), pp.S427-S442.

Gregorini, P., Gunter, S.A., Masino, C.A. e Beck, P.A., 2007. Effects of ruminal fill on short-term herbage intake rate and grazing dynamics of beef heifers. *Grass and Forage Science*, 62(3), pp.346-354.

Grisi, L., Leite, R.C., Martins, J.R.D.S., Barros, A.T.M.D., Andreotti, R., Cançado, P.H.D., León, A.A.P.D., Pereira, J.B. e Villela, H.S., 2014. Reassessment of the potential economic impact of cattle parasites in Brazil. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, 23(2), pp.150-156.

Havlík, P., Valin, H., Herrero, M., Obersteiner, M., Schmid, E., Rufino, M.C., Mosnier, A., Thornton, P.K., Böttcher, H., Conant, R.T. e Frank, S., 2014. Climate change mitigation through livestock system transitions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(10), pp.3709-3714.

Hegarty, R.S., 2009. Nutritional management options to reduce enteric methane emissions from NSW beef and dairy herds. In *Proceedings of the 24th Annual Conference of the Grassland Society of NSW* (pp. 40-47).

Herrero, M., Thornton, P.K., Notenbaert, A.M., Wood, S., Msangi, S., Freeman, H.A., Bossio, D., Dixon, J., Peters, M., van de Steeg, J. e Lynam, J., 2010. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. *Science*, 327(5967), pp.822-825.

Hoagland, L., Hodges, L., Helmers, G.A., Brandle, J.R. e Francis, C.A., 2010. Labor availability in an integrated agricultural system. *Journal of sustainable agriculture*, 34(5), pp.532-548.

Hodgson, J., 1990. *Grazing management. Science into practice*. Longman Group UK Ltd..

Honer, M.R., Bianchin, I. e Gomes, A., 1990. *Mosca-dos-chifres: histórico, biologia e controle*. Embrapa Gado de Corte-Documents (INFOTECA-E).

Hristov, A.N., Ott, T., Tricarico, J., Rotz, A., Waghorn, G., Adesogan, A., Dijkstra, J., Montes, F., Oh, J., Kebreab, E. e Oosting, S.J., 2013. Special topics—Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options. *Journal of Animal Science*, 91(11), pp.5095-5113.

IPCC, C.C., 2014. *Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jia, G., E. Shevliakova, P. Artaxo, N. De Noblet-Ducoudré, R. Houghton, J. House, K. Kitajima, C. Lennard, A. Popp, A. Sirin, R. Sukumar, L. Verchot, 2019: Land–climate interactions. In: *Climate Change and Land: an IPCC special*

report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)].

Johnson, K.A. e Johnson, D.E., 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of animal science*, 73(8), pp.2483-2492.

Johnson, K., Huyler, M., Westberg, H., Lamb, B. e Zimmerman, P., 1994. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a sulfur hexafluoride tracer technique. *Environmental science & technology*, 28(2), pp.359-362.

Kenyon, F., Dick, J.M., Smith, R.I., Coulter, D.G., McBean, D. e Skuce, P.J., 2013. Reduction in greenhouse gas emissions associated with worm control in lambs. *Agriculture*, 3(2), pp.271-284.

Kozloski, G.V., Zilio, E.M.C., Ongarato, F., Kuinchtner, B.C., Saccol, A.G., Genro, T.C.M., Oliveira, L., Faria, B.M., Cezimbra, I.M. e Quadros, F.L.F., 2018. Faecal N excretion as an approach for estimating organic matter intake by free-ranging sheep and cattle. *The Journal of Agricultural Science*, 156(3), pp.443-449.

Kunrath, T. R., de Albuquerque Nunes, P. A., de Souza Filho, W., Cadenazzi, M., Bremm, C., Martins, A. P., e de Faccio Carvalho, P. C., 2020. Sward height determines pasture production and animal performance in a long-term soybean-beef cattle integrated system. *Agricultural Systems*, 177, 102716.

Kurihara, M., Magner, T., Hunter, R.A. e McCrabb, G.J., 1999. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *British Journal of nutrition*, 81(3), pp.227-234.

Laca, E.A., Ungar, E.D., Seligman, N. e Demment, M.W., 1992. Effects of sward height and bulk density on bite dimensions of cattle grazing homogeneous swards. *Grass and forage science*, 47(1), pp.91-102.

Lemaire, G., Franzluebbers, A., de Faccio Carvalho, P.C. e Dedieu, B., 2014. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190, pp.4-8.

Macedo, M.C.M., 2009. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(SPE), pp.133-146.

Magne, M.A., Martin, G., Moraine, M., Ryschawy, J., Thenard, V., Triboulet, P. e Choisis, J.P., 2019. An Integrated Approach to Livestock Farming Systems' Autonomy to Design and Manage Agroecological Transition at the Farm and Territorial Levels. In *Agroecological Transitions: From Theory to Practice in Local Participatory Design* (pp. 45-68). Springer, Cham.

Martin, D.M., 2018. Seleção Alimentar de Bovinos em Pastejo em Diferentes Arranjos de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2018.

Mertens, D.R., 1987. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. *Journal of animal science*, 64(5), pp.1548-1558.

Mezzalana, J.C., Carvalho, P.C.D.F., Fonseca, L., Bremm, C., Cangiano, C., Gonda, H.L. e Laca, E.A., 2014. Behavioural mechanisms of intake rate by heifers grazing swards of contrasting structures. *Applied Animal Behaviour Science*, 153, pp.1-9.

Mirzabaev, A., J. Wu, J. Evans, F. García-Oliva, I.A.G. Hussein, M.H. Iqbal, J. Kimutai, T. Knowles, F. Meza, D. Nedjraoui, F. Tena, M. Türkeş, R.J. Vázquez, M. Wertz, 2019: Desertification. In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)].

Moe, P.W. e Tyrrell, H.F., 1979. Methane production in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 62(10), pp.1583-1586.

Molento, M.B., Fortes, F.S., Buzatti, A., Kloster, F.S., Sprenger, L.K., Coimbra, E. e Soares, L.D., 2013. Partial selective treatment of *Rhipicephalus microplus* and breed resistance variation in beef cows in Rio Grande do Sul, Brazil. *Veterinary parasitology*, 192(1-3), pp.234-239.

Molento, M.B., 2004. Resistência de helmintos em ovinos e caprinos. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, 13(1), pp.82-87.

Montagnini, F. e Nair, P. K. R., 2004. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agrofor. Syst.* 61–62, pp. 281–295.

Moraes, A.D., Moojen, E.L. e Maraschin, G.E., 1990. Comparação de métodos de estimativa de taxas de crescimento em uma pastagem submetida a diferentes pressões de pastejo. *Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 27, p.332.

Moraes, A.D., de Faccio Carvalho, P.C., Anghinoni, I., Lustosa, S.B.C., de Andrade, S.E.V.G. e Kunrath, T.R., 2014. Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. *European Journal of Agronomy*, 57, pp.4-9.

Mott, G.O. e Lucas, H.L., 1952, August. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In *International grassland congress* (Vol. 6, No. 1952, pp. 1380-1395).

Muñoz, C., Letelier, P.A., Ungerfeld, E.M., Morales, J.M., Hube, S. e Pérez-Prieto, L.A., 2016. Effects of pregrazing herbage mass in late spring on enteric methane emissions, dry matter intake, and milk production of dairy cows. *Journal of Dairy science*, 99(10), pp.7945-7955.

Myers, W.D., Ludden, P.A., Nayigihugu, V. e Hess, B.W., 2004. A procedure for the preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide. *Journal of Animal Science*, 82(1), pp.179-183.

Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M.S. e Bernabucci, U., 2010. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science*, 130(1-3), pp.57-69.

Nitsche, P.R., Caramori, P.H., Ricce, W.D.S. e Pinto, L.F.D., 2019. Atlas Climático do Estado do Paraná. Londrina, PR: IAPAR.

Paraná, 1996. Decreto nº 1753, de 06 de Maio de 1996. Instituída a Área de Proteção Ambiental na área de manancial da bacia hidrográfica do rio Irai, denominada APA Estadual do Iraí. Curitiba, PR.

Peres, M.T.P., Batista, R., Twardowski, T.D.S., Ribeiro Filho, H.M.N. e Monteiro, A.L.G., 2019. Titanium dioxide (TiO₂) as a marker to estimate fecal output in sheep. *Ciência Rural*, 49(12).

Pillar VD (2004) MULTIV: multivariate exploratory analysis, randomization testing and bootstrap resampling. User's Guide v. 2.3.10. Departamento de Ecologia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brazil,

Pinares-Patiño, C.S., Ulyatt, M.J., Lassey, K.R., Barry, T.N. e Holmes, C.W., 2003. Persistence of differences between sheep in methane emission under generous grazing conditions. *The Journal of Agricultural Science*, 140(2), pp.227-233.

Pinares-Patiño, C.S., D'hour, P., Jouany, J.P. e Martin, C., 2007. Effects of stocking rate on methane and carbon dioxide emissions from grazing cattle. *Agriculture, ecosystems & environment*, 121(1-2), pp.30-46.

Pino, F., Mitchell, L.K., Jones, C.M. e Heinrichs, A.J., 2018. Comparison of diet digestibility, rumen fermentation, rumen rate of passage, and feed efficiency in dairy heifers fed ad-libitum versus precision diets with low and high quality forages. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), pp.1296-1306.

Pontes, L.S., Barro, R.S., Savian, J.V., Berndt, A., Moletta, J.L., Porfírio-da-Silva, V., Bayer, C. e de Faccio Carvalho, P.C., 2018. Performance and methane emissions by beef heifer grazing in temperate pastures and in integrated crop-livestock systems: The effect of shade and nitrogen fertilization. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 253, pp.90-97.

Poppi, D.P., Hughes, T.P. e L'huillier, P.J., 1987. Intake of pasture by grazing ruminants. Livestock feeding on pasture. Hamilton: New Zealand Society of Animal Production, 7, pp.55-64.

Porfírio-da-Silva, V., Triches, G.P., Ultima, A.Y., Franco, C.A.C e Krucheslski, S. Componente arbóreo nos sistemas integrados de produção agropecuária em área de proteção ambiental. Sistemas integrados de produção agropecuária na promoção da intensificação sustentável: 1 º boletim técnico do Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária. Curitiba, PR. pp.47-58.

R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Ramankutty, N., Mehrabi, Z., Waha, K., Jarvis, L., Kremen, C., Herrero, M. e Rieseberg, L.H., 2018. Trends in global agricultural land use: implications for environmental health and food security. Annual review of plant biology, 69, pp.789-815.

Rodrigues, O., Fontaneli, R.S., Costenaro, E.R., Marchese, J.A., SCORTGANHA, A., Saccardo, E. e Piasecki, C., 2012. Bases fisiológicas para o manejo de forrageiras. FONTANELI, RS; SANTOS, HP; FONTANELI, RS Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na Região Sul-Brasileira. Brasília: EMBRAPA, pp.59-125.

Salton, J.C., Mercante, F.M., Tomazi, M., Zanatta, J.A., Concenço, G., Silva, W.M. e Retore, M., 2014. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. Agriculture, Ecosystems & Environment, 190, pp.70-79.

Sampaio, C.B., Detmann, E., Valente, T.N.P., Souza, M.A.D., Valadares Filho, S.D.C. e Paulino, M.F., 2011. Evaluation of fecal recovering and long term bias of internal and external markers in a digestion assay with cattle. Revista Brasileira de Zootecnia, 40(1), pp.174-182.

Savian, J.V., Neto, A.B., de David, D.B., Bremm, C., Schons, R.M.T., Genro, T.C.M., do Amaral, G.A., Gere, J., McManus, C.M., Bayer, C. e de Faccio

Carvalho, P.C., 2014. Grazing intensity and stocking methods on animal production and methane emission by grazing sheep: Implications for integrated crop–livestock system. *Agriculture, ecosystems & environment*, 190, pp.112-119.

Savian, J.V., Genro, T.C., Neto, A.B., Bremm, C., Azevedo, E.B., David, D.B., Gonda, H.L. e Carvalho, P.C., 2018. Comparison of faecal crude protein and n-alkanes techniques to estimate herbage intake by grazing sheep. *Animal feed science and technology*, 242, pp.144-149.

Schons R.M.T., Laca, E.A., Savian, J.V., Mezzalana, J.C., Schneider, E.A.N., Caetano, L.A.M., Zubieta, A.S., Benvenutid, M.A., Carvalho, P.C.F., 2021. Rotatinuous stocking: an innovation in grazing management to foster both herbage and animal production. *Livestock Science Production*, 245, 104406.

Shibata, M. e Terada, F., 2010. Factors affecting methane production and mitigation in ruminants. *Animal Science Journal*, 81(1), pp.2-10.

Smith, P., J. Nkem, K. Calvin, D. Campbell, F. Cherubini, G. Grassi, V. Korotkov, A.L. Hoang, S. Lwasa, P. McElwee, E. Nkonya, N. Saigusa, J.-F. Soussana, M.A. Taboada, 2019: Interlinkages Between Desertification, Land Degradation, Food Security and Greenhouse Gas Fluxes: Synergies, Trade-offs and Integrated Response Options. In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Portner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)].

Souza Filho, W., de Albuquerque Nunes, P.A., Barro, R.S., Kunrath, T.R., de Almeida, G.M., Genro, T.C.M., Bayer, C. e de Faccio Carvalho, P.C., 2019. Mitigation of enteric methane emissions through pasture management in integrated crop-livestock systems: Trade-offs between animal performance and environmental impacts. *Journal of cleaner production*, 213, pp.968-975.

Tabor, A.E., Ali, A., Rehman, G., Rocha Garcia, G., Zangirolamo, A.F., Malardo, T. e Jonsson, N.N., 2017. Cattle tick *Rhipicephalus microplus*-host interface: a review of resistant and susceptible host responses. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 7, p.506.

Tedeschi, L.O., Molle, G., Menendez, H.M., Cannas, A. e Fonseca, M.A., 2019. The assessment of supplementation requirements of grazing ruminants using nutrition models. *Translational Animal Science*, 3(2), pp.811-828.

Teel, P.D., Grant, W.E., Marín, S.L. e Stuth, J.W., 1998. Simulated cattle fever tick infestations in rotational grazing systems. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 51(5), pp.501-508.

Thornton, P.K. e Herrero, M., 2010. Potential for reduced methane and carbon dioxide emissions from livestock and pasture management in the tropics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(46), pp.19667-19672.

Titgemeyer, E.C., Armendariz, C.K., Bindel, D.J., Greenwood, R.H. e Löest, C.A., 2001. Evaluation of titanium dioxide as a digestibility marker for cattle. *Journal of Animal Science*, 79(4), pp.1059-1063.

Torres, C.M.M.E., Jacovine, L.A.G., Nolasco de Olivera Neto, S., Fraisse, C.W., Soares, C.P.B., de Castro Neto, F., Ferreira, L.R., Zanuncio, J.C e Lemes, P.G., 2017. Greenhouse gas emissions and carbon sequestration by agroforestry systems in southeastern Brazil. *Sci. Rep.*, 7, 16738.

United Nations, 2015. Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. General Assembly 70 session.

Van Wyngaard, J.D., Meeske, R. e Erasmus, L.J., 2018. Effect of concentrate level on enteric methane emissions, production performance, and rumen fermentation of Jersey cows grazing kikuyu-dominant pasture during summer. *Journal of dairy science*, 101(11), pp.9954-9966.

Wu, X., Lu, Y., Zhou, S., Chen, L. e Xu, B., 2016. Impact of climate change on human infectious diseases: Empirical evidence and human adaptation. *Environment international*, 86, pp.14-23.

Zereu, G., 2016. Factors Affecting Feed Intake and Its Regulation Mechanisms in Ruminants A Review. *International Journal of Livestock Research*, 6(04), pp.19-40.

Zhan, J., Thrall, P.H. e Burdon, J.J., 2014. Achieving sustainable plant disease management through evolutionary principles. *Trends in Plant Science*, 19(9), pp.570-575.

Zubieta, A. S., Savian, J. V., de Souza Filho, W., Wallau, M. O., Gomez, A. M., Bindelle, J., Bonnet, O.J.F. e de Faccio Carvalho, P. C., 2021. Does grazing management provide opportunities to mitigate methane emissions by ruminants in pastoral ecosystems? *Science of the Total Environment*, 754, 142029.

VITA

Thales Baggio Portugal, filho de João Cid Portugal Filho e Jussara Terezinha Baggio Portugal, nascido no dia 25 de Agosto de 1989 em Curitiba – PR. Estudou o ensino fundamental e ensino médio no colégio Bom Jesus em Curitiba – PR. Em 2007, ingressou para o curso de Agronomia na Universidade Federal do Paraná, onde se elegeu Vice-Presidente (2010) e Presidente (2011) do Centro Acadêmico de Agronomia Lycio Vellozo – UFPR. Em 2012, iniciou estágio voluntário junto ao Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária (NITA), sob orientação do Prof. Dr. Anibal de Moraes. Formou-se Engº Agrônomo em 2013, mesmo ano em que foi aprovado para o Mestrado em Agronomia no programa de Pós-Graduação em Agronomia, Produção Vegetal da UFPR, ingressando oficialmente ao curso no primeiro semestre de 2014. No ano de 2013, deu início ao curso de MBA em gestão do agronegócio – UFPR, concluindo com êxito em Agosto de 2015. Concluiu o Mestrado em 2016, mesmo ano de ingresso no Doutorado em Agronomia no programa de Pós-Graduação em Agronomia, Produção Vegetal da UFPR. Por fim, no dia 10 de Julho de 2020, foi submetido à banca de defesa de Tese.