

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

**PRODUÇÃO AGRÍCOLA E ANIMAL EM CONSÓRCIO
TRIPLO COM MILHO, BRAQUIÁRIA E FEIJÃO-
GUANDU**

Discente: Beatriz Ligoski Cabral

Orientador: Prof. Dr. Tiago do Prado Paim

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Katia Aparecida de Pinho Costa

Rio Verde - GO

Junho – 2021

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

**PRODUÇÃO AGRÍCOLA E ANIMAL EM CONSÓRCIO
TRIPLO COM MILHO, BRAQUIÁRIA E FEIJÃO-
GUANDU**

Discente: Beatriz Ligoski Cabral

Orientador: Prof. Dr. Tiago do Prado Paim

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Katia Aparecida de Pinho Costa

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de concentração Zootecnia.

Rio Verde – GO

Junho – 2021



**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES
TÉCNICO- CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- Tese Artigo Científico
 Dissertação Capítulo de Livro
 Monografia – Especialização Livro
 TCC - Graduação Trabalho Apresentado em Evento
 Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____

Nome Completo do Autor: Beatriz Ligoski Cabral

Matrícula: 2019102310240036

Título do Trabalho: Produção agrícola e animal em consórcio triplo com milho, braquiária e feijão-guandu

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano 01/ 10/ 2021
O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não
O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

1. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
2. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
3. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde – GO, 27/ 09/2021.

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 56/2021 - NREPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Unidade do IF Goiano:	Campus Rio Verde	
Programa de Pós-Graduação :	Zootecnia	
Defesa de:	Dissertação	Defesa de número:119
Data: 28/06/2021	Hora de início: 08:00h	Hora de encerramento: 13:00h
Matrícula do discente:	2019102310240036	
Nome do discente:	Beatriz Ligoski Cabral	
Título do trabalho:	Produção agrícola e animal em consórcio triplo com milho, braquiária e feijão guandu	
Orientador:	Tiago do Prado Paim	
Área de concentração:	Zootecnia/Recursos Pesqueiros	
Linha de Pesquisa:	Sustentabilidade na produção animal	
Projeto de pesquisa de vinculação	Produtividade agrícola e animal em consórcio de milho, braquiária e guandu	
Titulação:	Mestre em Zootecnia	

Nesta data, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora, Dr. Tiago do Prado Paim (Orientador), Dr. Eduardo Rodrigues de Carvalho (Avaliador externo), Dr^a. Darliane de Castro Santos (Avaliadora externa) e Dr. Tiago Pereira Guimarães (Avaliador interno) sob a presidência da primeira, em sessão pública realizada por vídeo conferência via Google Meet à distância, para procederem a avaliação da defesa de dissertação, em nível de Mestrado, de autoria de **BEATRIZ LIGOSKI CABRAL**, discente do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Tiago do Prado Paim, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida o(a) autor (a) da dissertação para, em 40 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o(a) examinado(a), tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, e procedidas às correções recomendadas, a dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM ZOOTECNIA**. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGZ da versão definitiva da dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, esta ata perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60** (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa dissertação em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de dissertação de mestrado, e foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Decisão da banca: Aprovada

Esta defesa é parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna do IF Goiano.

Documento assinado eletronicamente por:

- Eduardo Rodrigues de Carvalho, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/06/2021 15:46:11.
- Tiago Pereira Guimaraes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/06/2021 13:43:13.
- Darliane de Castro Santos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/06/2021 13:25:30.
- Tiago do Prado Paim, MEDICO VETERINARIO, em 28/06/2021 13:19:27.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 23/06/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 283641
Código de Autenticação: 9a53157794



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3620-5600



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**PRODUÇÃO AGRÍCOLA E ANIMAL EM CONSÓRCIO TRIPLO COM MILHO,
BRAQUIÁRIA E FEIJÃO GUANDU**

Autora: Beatriz Ligoski Cabral
Orientador: Tiago do Prado Paim

TITULAÇÃO: Mestre em Zootecnia - Área de Concentração em Zootecnia/Recursos Pesqueiros.

APROVADO em 28 de junho de 2021.

Dr^ª. Darliane de Castro Santos
Avaliadora externa
IF Goiano/Rio Verde

Dr. Eduardo Rodrigues de
Carvalho
Avaliador externo
IF Goiano/Iporá

Dr. Tiago Pereira Guimarães
Avaliador interno
IF Goiano/Rio Verde

Dr. Tiago do Prado Paim
Presidente da banca
IF Goiano/Rio Verde

Documento assinado eletronicamente por:

- **Tiago Pereira Guimaraes**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/06/2021 16:53:22.
- **Eduardo Rodrigues de Carvalho**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/06/2021 15:52:25.
- **Darliane de Castro Santos**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/06/2021 13:37:57.
- **Tiago do Prado Paim**, MEDICO VETERINARIO, em 28/06/2021 13:25:15.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 23/06/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 283698
Código de Autenticação: fb0ceb86d3



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3620-5600

“Faça o teu melhor, na condição que você tem, enquanto você não tem condições melhores, para fazer melhor ainda!”.

Mario Sergio Cortella

*À minha mãe, Ida Ivete Ligoski e à minha irmã Jéssica Ligoski,
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, meu maior mestre, que permitiu tudo isso acontecer ao longo da minha trajetória me deu forças nos momentos de angústia, sabedoria nos momentos difíceis e me permitiu superar os desafios.

Agradeço à minha mãe Ida Ivete Ligoski e a minha irmã Jéssica Ligoski, por me permitirem chegar até aqui e me apoiar em todos os momentos e decisões, sempre acreditando na minha capacidade.

Ao meu Orientador, Professor Doutor Tiago do Prado Paim, pela dedicação, ensinamentos e compreensão durante o período de orientação.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia do IF Goiano, pelo conhecimento transmitido, não apenas racional, mas de caráter que contribuíram para meu crescimento.

Aos meus tios Antônio, Rosimeire e Cinara e aos meus primos Bárbara e Gustavo que me deram todo o apoio físico e emocional durante o período do mestrado.

Aos amigos que estiveram presente durante o período, compartilhando dos momentos de alegria, dificuldades e dando forças nos momentos de luta, em especial ao Frederico, Marcus e Isabel.

Aos familiares que, mesmo com a distância me apoiaram e sempre confiaram em mim para concluir essa jornada.

A todos a minha eterna gratidão!

BIOGRAFIA DO AUTOR

Beatriz Ligoski, filha de Ida Ivete Ligoski, nascida na cidade de Matão – SP, no dia 21 de outubro de 1994. No início do ano de 2013 ingressou no curso de Bacharelado em Zootecnia pela Universidade Federal de Mato Grosso, campus Cuiabá – MT, onde permaneceu até outubro/2018, concluindo a graduação. Em 2019 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia do Instituto Federal Goiano, campus Rio Verde – GO, desenvolvendo a pesquisa na área de Integração Lavoura Pecuária.

ÍNDICE GERAL

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
REVISÃO DE LITERATURA	12
Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA)	12
Leguminosas forrageiras em sistema de integração: Feijão-Guandu	15
Formas de utilização e colheita do milho: silagem, grão úmido e grão seco	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
OBJETIVOS	32
Capítulo I – INFLUÊNCIA DO HISTÓRICO DA ÁREA SOBRE A PRODUTIVIDADE DO CONSÓRCIO TRIPLO ENTRE MILHO, BRAQUIÁRIA E FEIJÃO-GUANDU	33
Introdução	35
Material E Métodos	36
Resultados	40
Discussão	47
Conclusão	49
Referências Bibliográficas	50
Capítulo II – PRODUÇÃO ANIMAL EM DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE COLHEITA DO MILHO EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA	55
Introdução	57
Material E Métodos	58
Resultados	64
Discussão	73
Conclusão	76
Referências Bibliográficas	76

Capítulo III – SILAGE OF INTERCROPPING CORN, PALISADE GRASS, AND PIGEON PEA INCREASES PROTEIN CONTENT AND REDUCES IN VITRO METHANE PRODUCTION	80
Introdução	81
Material E Métodos	82
Resultados	86
Discussão	94
Conclusão	97
Referências Bibliográficas	98
CONCLUSÃO GERAL	107

ÍNDICE DE TABELAS

Capítulo I – INFLUÊNCIA DO HISTÓRICO DA ÁREA SOBRE A PRODUTIVIDADE DO CONSÓRCIO TRIPLO ENTRE MILHO, BRAQUIÁRIA E FEIJÃO-GUANDU

Tabela 1. Média de produtividade de grãos secos (kg.ha-1) (\pm erro padrão da média) em função do histórico de primeiro e terceiro ano de agricultura previamente na área, com presença (CG) ou não (SG) de Feijão-Guandu.....	40
Tabela 2. Médias de componentes de produtividade do milho (\pm erro padrão da média) em função do histórico de primeiro e terceiro ano de cultivo de cultura anual, com presença (CG) ou não (SG) de Feijão-Guandu.....	41
Tabela 3. Componentes de produção da silagem de área total em função do histórico do ano agrícola.....	43
Tabela 4. Composição nutricional do capim, milho e Feijão-Guandu em primeiro e terceiro ano de lavoura, com ou sem Feijão-Guandu prévio na área e da forragem total.....	44
Tabela 5. Composição nutricional da silagem de área total e da silagem de milho em função do histórico do ano agrícola e da presença de Feijão-Guandu previamente na área	45

CAPÍTULO II – PRODUÇÃO ANIMAL EM DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE COLHEITA DO MILHO EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

Tabela 1. Proporção (%) dos ingredientes das dietas experimentais no confinamento com base na matéria seca e composição química média das dietas	62
Tabela 2. Disponibilidade média de forragem e composição química média durante o pastejo de abril a junho de 2017	65
Tabela 3. Peso e desempenho animal em pastejo de abril a junho de 2017	66
Tabela 4. Resultado de produtividade no confinamento.....	67
Tabela 5. Composição química média da forragem no período de setembro de 2017 a abril de 2018.....	69

Tabela 6. Composição química média da forragem de Feijão-Guandu no período de setembro de 2017 a abril de 2018	69
Tabela 7. Peso e desempenho animal em pastejo de outubro de 2017 a abril de 2018..	72

CAPÍTULO III – SILAGE OF INTERCROPPING CORN, PALISADE GRASS, AND PIGEON PEA INCREASES PROTEIN CONTENT AND REDUCES IN VITRO METHANE PRODUCTION

Table 1. Nutritional composition of silages with only corn and intercropping of corn, pigeon pea (PP) and palisade grass (<i>Brachiaria brizantha</i> —Bb).....	87
Table 2. In vitro gas production of exclusive corn silage and silage from intercropping of corn, pigeon pea (PP) and palisade grass (<i>Brachiaria brizantha</i> —Bb).....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo I – INFLUÊNCIA DO HISTÓRICO DA ÁREA SOBRE A PRODUTIVIDADE DO CONSÓRCIO TRIPLO ENTRE MILHO, BRAQUIÁRIA E FEIJÃO-GUANDU

- Figura 1. Representação gráfica dos resultados individuais das observações de acordo com os dois primeiros componentes principais utilizando os dados de produção de grãos ... 41
- Figura 2. Coordenadas das variáveis analisadas conforme os dois primeiros componentes da análise de componentes principais (PCA) com os dados de produção de grãos..... 42
- Figura 3. Representação gráfica da disposição das observações de acordo com os três primeiros componentes da análise de componentes principais utilizando os dados de produção de silagem. 46

CAPÍTULO II – PRODUÇÃO ANIMAL EM DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE COLHEITA DO MILHO EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

- Figura 1. Composição botânica da forragem disponível na área de acordo com as três estratégias de uso do consórcio triplo de milho, braquiária e Feijão-Guandu..... 64
- Figura 2. Taxa de lotação do pastejo de acordo com as três estratégias de uso do consórcio triplo de milho, braquiária e Feijão-Guandu..... 66
- Figura 3. Resultado de produtividade por área com a produção animal em confinamento 68
- Figura 4. Disponibilidade de forragem de braquiária e de Feijão-Guandu no período de setembro de 2017 a abril de 2018. 71
- Figura 5. Produtividade animal (ganho em peso em kg.PesoVivo.ha-1.dia-1) e lotação animal (kg.PesoVivo.ha-1) em pastejo de setembro de 2017 a abril de 2018..... 72
- Figura 6. Produção animal em equivalente de carcaça por área durante o período de um ano devido a diferentes estratégias de colheita do milho. 73

**CAPÍTULO III – SILAGE OF INTERCROPPING CORN, PALISADE GRASS,
AND PIGEON PEA INCREASES PROTEIN CONTENT AND REDUCES IN
VITRO METHANE PRODUCTION**

Figure 1. Scheme showing the disposition of the three species in the intercropping system	83
Figure 2. Scheme showing the sampling process and the composition of the two micro-silos.....	84
Figure 3. Correlation coefficients between each variable and the first four dimensions of principal component analysis using the “dimdesc” function of “FactoMineR” package.....	89
Figure 4. Correlation between variables of dry matter production, chemical composition of each species of intercropping system, chemical composition of silage produced by intercropping and in vitro gas production.....	90
Figure 5. Path Diagram of the confirmatory factor analysis (CFA) evaluating the effect of the population of each component on dry matter production of each component and its contribution on the total forage yield of the intercropping system.	91
Figure 6. Path Diagram of the confirmatory factor analyses (CFA) results evaluating the effect of the population and dry matter production of each component of the intercropping system on the nutritional composition of silage.	92
Figure 7. Path Diagram of the confirmatory factor analysis (CFA) evaluating the effect of the population and dry matter production of each component of the intercropping system on in vitro gas production of silage.	93
Figure 8. Path Diagram of the confirmatory factor analysis (CFA) evaluating the effect of nutritional content of each component of the intercropping system into the nutritional composition of silage and its effect into the in vitro gas production.....	94

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

@ – arroba	K – Potássio	USP – Universidade de São Paulo
AGCC – Ácidos graxos de cadeia curta	Kg – Quilogramas	ADF – Acid detergent fiber
AI – Pastagem com alto investimento	LIG – Lignina	AIC – Akaike information criterion
BI – Pastagem com baixo investimento	M ² – Metros quadrados	ANOVA – Analyses of variance
C – Carbono	MM – Matéria mineral	Bb – Palisade grass <i>Brachiaria brizantha</i>
CENA – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da CEUA – Comissão de Ética no Uso de Animais	MS – Matéria Seca	BIC – Schwarz Bayesian criterion
CO ₂ – Dióxido de Carbono	N – Nitrogênio	CFA – Confirmatory factor analysis
DAP – Dias após o plantio	N ₂ O – Óxido nitroso	CH ₄ – Methane
EA – Eficiência alimentar	NDT – Nutrientes digestíveis totais	CLIS – Crop–livestock integrated systems
EE – Extrato etéreo	PB – Proteína bruta	CP – Crude protein
FDA – Fibra em detergente ácido	Pbmic – Proteína microbiana	DM – Dry matter
FDN – Fibra em detergente neutro	PC – Peso corporal	DOM – Degradability of organic matter
GEE – Gases do efeito estufa	PCI – Peso de carcaça inicial	GHG – Greenhouse gas
GPD – Ganho de peso diário	PCQ – Peso de carcaça quente	ml – Gas volume
GU – Colheita de grão úmido	Pop – População	NDF – Neutral detergent fiber
GU – Grão úmido	PV – Peso vivo	PCA – Principal component analyses
ha – Hectare	PVC – Tubos de plástico rígido	PF – Partition factor
IC – Índice de colheita	SC – Área sem colheita	PP – Pigeon pea
ILP – Integração Lavoura Pecuária	SIF – Sistema de Inspeção Federal	psi – Measured pressure
	SIL – Colheita de área total	TDOM – Degraded organic matter
	SIPA – Sistemas integrados de produção agropecuária	
	TL – Taxa de lotação	
	UA – Unidade animal	

INTRODUÇÃO

Os sistemas agrícolas integrados se caracterizam pela exploração sinérgica nos compartimentos solo-planta-animal em áreas que abrangem atividades agrícola e pecuária. Esses sistemas são comumente denominados de Integração Lavoura Pecuária (ILP), sendo planejados no espaço e tempo, pois podem ocorrer na mesma área de forma simultânea ou sequencial (Moraes et al., 2014).

Na região do Cerrado é comum a utilização de práticas com semeadura de culturas anuais em safra e safrinha durante o período chuvoso com pastagem em consórcio, contribuindo para o fornecimento de alimento aos animais no período seco (Vilela et al., 2011). Esse sistema proporciona diversas vantagens pois a introdução de plantas forrageiras, que produzem elevada quantidade de biomassa, tem a capacidade de melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Kahlon & Chawla, 2017), através da cobertura de solo, aumento na diversidade de raízes, ciclagem de nutrientes (Costa et al., 2012). Esses consórcios de culturas graníferas com plantas forrageiras proporcionam ainda quebra de ciclo de doenças e redução dos custos de recuperação e renovação de pastagens (Anghinoni et al., 2013; Vilela et al., 2011).

As gramíneas forrageiras são consideradas fundamentais na produção de bovinos no Brasil, entretanto, devido às características de sazonalidade de produção, estas podem não suprir os requerimentos nutricionais dos animais ao longo do ano (Silva et al., 2007; Zervoudakis et al., 2008). Tal fato pode ser amenizado com a introdução de consórcios com leguminosas forrageiras, que em geral apresentam maiores teores de proteína bruta, sendo considerada como alternativa potencial o feijão-guandu (*Cajanus cajan* (L.) Mill sp.), leguminosa palatável aos bovinos no período seco e persistente em consórcios com braquiária (Lisbôa & Pause, 2010). Além disso, as leguminosas proporcionam fixação de nitrogênio no solo e acúmulo de matéria seca no sistema, tornando-se alternativa eficiente e que beneficia a área produtiva e as culturas que serão implantadas em sucessão (Ribeiro et al., 2011). Assim, o consórcio milho + braquiária + Feijão-Guandu se apresenta como alternativa promissora para a realização da ILP, uma vez que não afeta, de forma significativa, o acúmulo de massa da cultura de grãos (Da Silva et al., 2018).

Atualmente, o milho (como cultura principal) pode ser colhido de diferentes maneiras, como silagem (com colheita da forragem em área total) (da Silva Guimarães et al., 2017), grãos úmidos (Pereira et al., 2019) e grãos secos (método tradicional de armazenamento e uso do cereal para nutrição animal) (Klein et al., 2018). Ainda se tem

pouca informação de como o método de colheita do milho pode afetar a produtividade animal subsequente na área, uma vez que, no caso da colheita de forragem em área total, o corte de todo o material disponível pode prejudicar a população do feijão-guandu, necessitando de maior tempo de rebrote para a entrada dos animais. Já em relação à colheita de grãos úmidos, esta pode beneficiar tanto a produção animal em pastejo subsequente na área como também a produção de animais em sistemas de confinamento, visto que, estes grãos permitem a antecipação da colheita em 20 a 30 dias (Costa et al., 1999) quando comparados com grãos secos e geram um produto de maior digestibilidade ao ser ensilado em meio anaeróbico (Owens & Basalan, 2013).

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar, o impacto da forma de colheita do milho em consórcio com braquiária e Feijão-Guandu para a produtividade agrícola e animal.

REVISÃO DE LITERATURA

Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA)

A expansão da agricultura para o Cerrado brasileiro juntamente com a proliferação de máquinas agrícolas, melhorias na genética de plantas e animais e o uso de fertilizantes sintéticos nos últimos anos, visando remover as limitações ao crescimento das plantas, consolidou o Brasil como um importante player em commodities agrícolas (Foley et al., 2011; Rada, 2013). Aliado a esse fato, nas duas últimas décadas, houve intensa conversão de pastagens em monoculturas de larga escala em áreas planas, principalmente soja, milho e algodão (Lapola et al., 2014). Entretanto, se de um lado essa coleção de tecnologias permitiu aumento intensivo nos rendimentos da colheita, contribuindo para o aumento global da produção de alimentos, por outro lado os sistemas de pecuária e a diversidade agrícola tem sofrido intenso desacoplamento das funções biológicas fornecidas por diversos agroecossistemas, como a ciclagem de nutrientes e o controle biológico de pragas (Garrett et al., 2017; Bowman e Zilberman, 2013).

Essa intensificação agrícola também tem provocado diversos danos ao meio ambiente, como o esgotamento dos recursos hídricos, a poluição de águas superficiais, costeiras e subterrâneas, a eliminação indesejada de organismos pelo uso intenso de pesticidas, as alterações nos ciclos de carbono e nitrogênio (Robertson et al., 2014), emissões diretas de gases do efeito estufa (GEE) advindo de fertilizantes químicos,

mineralização de nitrogênio no solo e o constante uso do maquinário agrícola (Buller et al., 2015). Ainda, essa expansão agrícola tem enfrentado pressões governamentais para reduzir o desmatamento e as emissões de GEE (Lapola et al., 2014).

Com o aumento da produção agrícola, as áreas de pastagem para gado foram reduzidas em áreas marginais, com sistemas extensivos predominante e margem lucrativa relativamente baixa (Esteves et al., 2018). A perda das áreas de pastagem não foi acompanhada de redução no rebanho bovino (Esteves et al., 2017), levando produtores a manter o rebanho com taxas de lotação acima do recomendado, na intenção de compensar as baixas margens de lucro, causando sobrepastoreio e por vezes, provocando degradação de pastagens (Gil et al., 2015; Figueiredo et al., 2017). Em geral, essas áreas além de degradadas pelo intenso pisoteio do gado, também têm perdido carbono do solo (Wantzen et al., 2012) pelo manejo incorreto das pastagens e a falta de reposição dos nutrientes exportados (Buller et al., 2015).

Assim, esses fatores surgem como restrições à expansão agropecuária brasileira, pois têm levantado questões acerca da sustentabilidade dos sistemas atuais (Poffenbarger et al., 2017), forçando ao desenvolvimento de sistemas sustentáveis que permitem uma produção integrada, otimizando o uso do solo, com a obtenção de diferentes produtos em uma mesma área (Silva et al., 2015).

Nesse cenário, surge como alternativa promissora de manejo a utilização de sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) (Paolotti et al., 2016), que permitem a restauração das pastagens degradadas (Figueiredo et al., 2017), a produção de carne bovina e ao mesmo tempo a produção de grãos em condições melhores de práticas agrícolas (Esteves et al., 2018). Também permitem aumentar a renda de pequenos agricultores e melhorar as condições sociais nas áreas rurais (Pariz et al., 2017).

Considerando essas premissas, a integração dos sistemas de lavoura e pecuária vêm se tornando um modelo agroecológico chave para remodelar a agricultura (Moraine et al. 2017), visto que, esses sistemas desenvolvem fortes interações entre os componentes solo-planta-animal (Moraine et al. 2014), uma vez que envolvem o cultivo simultâneo, sequencial ou rotativo das culturas, em uma mesma área, otimizando o uso de insumos e maquinários agrícolas (Esteves et al., 2018).

A adoção de sistemas integrados agropastoris é benéfica pois melhora a ciclagem de nutrientes (Hendrickson et al. 2008; Carvalho et al., 2014) reacoplando os ciclos de carbono (C) e nitrogênio (N) (Soussana & Lemaire 2014), melhoram a fertilidade do solo pelo acúmulo de matéria orgânica (Salton et al., 2010) e melhor agregação do solo (Salton

et al., 2008), favorecem ambiente edáfico biologicamente mais ativo, promovendo a diversidade biológica (Silva et al., 2011), melhoram a produtividade da pastagem e o desempenho animal através da fertilização da cultura de grãos (de Faccio Carvalho et al., 2010), além de contribuir para a quebra dos ciclos de pragas, doenças e ervas daninhas, melhorando os resultados econômicos, produtivos e ambientais (Lazzarotto et al., 2009; Martha Junior et al., 2011) e contribui para a mitigação das emissões de gases do efeito estufa (Franchini et al., 2011; Carvalho et al., 2014).

No Brasil, principalmente na região do Cerrado, o SIPA, geralmente combina a cultura tradicional da soja, como cultura safra de verão, semeada em meados de outubro, seguida pelo milho em consórcio com capim, sendo o milho caracterizado como cultura safrinha e posteriormente, o pastoreio do gado na forragem juntamente com os resíduos do milho (Gil et al., 2015).

Essa rotação da soja e milho, aliado ao consórcio com o capim promove diversos benefícios ao sistema produtivo, entre os quais a fertilização residual da soja. Também, a forragem pós-colheita do milho serve como alternativa alimentar, além de cumprir a função de cobertura do solo, suprimindo o crescimento de ervas daninhas e mantendo a umidade do solo (Esteves et al., 2018). Salton et al. (2014) descreve a presença do pasto como potencial contribuidor para o acúmulo de biomassa vegetal tanto na parte aérea como nas raízes, promovendo a recuperação, melhoria e manutenção da qualidade do solo. Já no que diz respeito à pecuária em sistemas integrados, a incorporação de gramíneas em áreas agrícolas tem apresentado aumento nos rendimentos de soja, milho e arroz consecutivos bem como na produtividade do gado (Finn et al., 2013; Bell et al., 2014).

Em áreas de baixa fertilidade do solo com sobrepastejo e não corrigidas, ocorre rápida degradação da pastagem, resultando em baixa produtividade animal, abandono de terra e conseqüentemente novos desmatamentos visando gerar solos mais férteis (Balbino et al., 2011). Nessas regiões, o SIPA pode desempenhar papel importante como contribuinte para o aumento da fertilidade e produtividade das pastagens ao melhorar a quantidade e qualidade do material ofertado, aumentar a produção animal e reduzir os custos com recuperação da área (Domiciano et al., 2018). Estudos demonstram que, em pastagens consorciadas, a produção de carne é maior do que em sistemas de pastagens pura (Ribeiro et al., 2011; Pinheiro et al., 2014 ; Dove et al., 2015; Sulc & Franzluebbbers, 2014).

O SIPA também tem potencial em aumentar as taxas de lotação e reduzir o tempo de abate dos animais, resultando em maior eficiência na utilização da terra (Garrett et al., 2017). Bonaudo et al. (2014) relata aumento na taxa de lotação de 1 cabeça/hectare em pastagens extensivas para 2 cabeças/hectare em SIPA. Há também redução no ciclo de vida dos animais em pastejo (Millen et al., 2011; Wesp et al., 2016).

Diversos estudos têm surgido avaliando diferentes usos dos sistemas integrados. Franzluebbbers & Stuedemann (2014) avaliaram a produção quanto ao preparo do solo e o manejo com cobertura vegetal, Gil et al. (2015) avaliaram a atual situação dos SIPA's e o potencial de disseminação entre produtores, Schuster et al. (2016) avaliaram efeitos de diferentes intensidades de pastejo na emergência de ervas daninhas em SIPA, Figueiredo et al. (2017) avaliaram as emissões de GEE de bovinos de corte em diferentes sistemas de manejo. Entretanto, são escassas as pesquisas referentes à forma de colheita do milho em SIPA na área e o impacto em longo prazo da consorciação para a produção forrageira e para a produção animal.

Leguminosas forrageiras em sistema de integração: Feijão-Guandu

O aumento da produtividade agrícola é altamente dependente do suprimento de N, nutriente considerado como limitante em solos tropicais e subtropicais, sendo o maior fornecimento realizado via fertilizantes sintéticos, pois, embora a atmosfera seja rica em N reativo, poucos microrganismos têm capacidade de convertê-lo via fixação biológica (Austin et al., 2013).

O cultivo de leguminosas forrageiras consorciadas com gramíneas desempenha papel significativo na produção animal sustentável, de modo que, as leguminosas contribuem na adaptação às mudanças climáticas, reduzindo a degradação do solo (química e física), melhora a fertilidade através da fixação de nitrogênio, reduzindo a prevalência de ervas daninhas, pragas e doenças (Hassen et al., 2017) e reduz as emissões de gases de efeito estufa – uma vez que reduz a necessidade do uso de fertilizantes nitrogenados, resultando em menor emissão de óxido nitroso (N₂O) e reduz as emissões de metano por ruminantes pelo melhor desempenho animal (Macedo et al., 2014). Além disso, apresenta vantagens no aumento do rendimento e valor nutritivo da forragem e da eficiência de conversão desta em proteína animal (Luscher et. al, 2014).

A adoção de leguminosas para a formação de sistemas consorciados é norteadada pela escolha de cultivares mais adequadas frente às diferentes condições ambientais, natureza

da exploração e disponibilidade de recursos, de modo que, leguminosas bem adaptadas, tardias e resistentes à seca podem mitigar os efeitos da estacionalidade de gramíneas forrageiras (Barcellos et al., 2008).

Dessa forma, a introdução de espécies leguminosas consorciadas com a cultura do milho também tem apresentado resultados positivos (Garcia et al., 2016), principalmente no que diz respeito à ciclagem de nutrientes, por causa do maior volume de solo explorado por essa leguminosa (Calonego et al., 2017), e a melhoria da atividade biológica do solo, contribuindo para a elevação de matéria orgânica (Castro et al., 2015). Devido aos resultados promissores deste consórcio, a Embrapa lançou o Sistema Santa Brígida em 2010, que consiste no consórcio de culturas anuais com adubos verdes como o feijão-guandu (*Cajanus cajan*) e a crotalária (*Crotalaria spectabilis*). Esse sistema preconiza a utilização das leguminosas em consórcio com culturas graníferas e pastagens, visando a maior disponibilidade de N, uma vez que as leguminosas têm a capacidade de se associar com bactérias fixadoras de N atmosférico (Oliveira et al., 2011).

O feijão-Guandu (*Cajanus cajan*) é uma leguminosa arbustiva de grãos subtropicais e tropicais (Varshney et al., 2007; Khoury et al., 2015), que surge como alternativa para uso em consórcio com cereais de curta duração, devido à presença de raízes profundas, taxa de crescimento inicial lenta (Sekhon et al., 2018) e tolerância à seca e solos com baixa fertilidade (Lopez-Hidalgo et al., 2018). Além disso, apresenta características importantes como: (i) excelente fonte de nitrogênio orgânico; (ii) propicia aumento da matéria orgânica; (iii) melhora a estrutura e qualidade do solo; (iv) favorece a reciclagem de nutrientes; (v) tolera solos de baixa fertilidade; (vi) apresenta-se como opção forrageira para sistemas de produção animal (Singh et al., 2017). No que diz respeito à alimentação animal, o feijão-Guandu pode ser utilizado como forragem verde, feno, pastagens consorciadas e componente adicional na produção de silagem (Araujo et al., 2004).

Diversos trabalhos demonstram a aptidão da leguminosa com cultivo consorciado. Abbado Neres et al. (2012), ao avaliar a produção de forragem e as características estruturais e bromatológicas dos capins Tifton 85 e Piatã, consorciados com feijão-Guandu ou adubados com N, relatam que não houve contribuição do Feijão-Guandu para elevação da produção de Matéria Seca (MS) total, entretanto, a presença deste foi fundamental para elevação do valor nutritivo, contribuindo com o aumento dos teores de Proteína Bruta (PB) e redução dos teores de Fibra em Detergente Neutro (FDN) das forrageiras. Também Silva et al. (2018) ao avaliar a viabilidade de recuperação de pastagem degradada utilizando o consórcio milho+braquiária+Feijão-Guandu,

demonstrou viabilidade tanto para produtores de grãos, uma vez que não houve perdas na produtividade do cereal, quanto para pecuaristas que visam a produção de silagem ou de pastagem remanescente, visto que a leguminosa presente aumentou a produtividade da forrageira, disponibilizando quantidade maior de alimento aos animais pós-colheita.

Formas de utilização e colheita do milho: silagem, grão úmido e grão seco

Silagem de milho

A silagem de milho (*Zea mays L.*) é largamente utilizada como alimento para ruminantes, por sua qualidade nutricional, alto valor energético (Khan et al., 2015; Lim et al., 2015), produtividade de matéria seca, palatabilidade e facilidade de mecanização e armazenamento (Oshita et al., 2007; Komleh et al., 2011). Considerada como principal estratégia de conservação de forragem em países de clima quente e úmido, o processo de ensilagem representa mais de 80% da produção de silagem no Brasil, sendo considerada uma prática para mitigar os efeitos das condições climáticas adversas e permitir a manutenção dos animais durante o período de seca (Bernardes & Rêgo, 2014).

Tradicionalmente, o milho é o material mais utilizado para produção de silagem (Nussio et al., 2001), entretanto, o corte das plantas dessa cultura para ensilagem provoca maior extração dos nutrientes das áreas de cultivo, em quantidades superiores aos exportados quando a colheita é apenas dos grãos (Resende et al., 2016). Assim, devido à falta de restos culturais da lavoura na área, há menor ciclagem dos nutrientes da parte aérea da planta, prejudicando a manutenção da fertilidade e atividade biológica do solo, acarretando em déficit nutricional, principalmente potássio (K) e nitrogênio (Coelho, 2006; Ueno et al., 2013).

Nesse sentido, o fornecimento de N às culturas pode ser disponibilizado via inoculação microbiana ou mediante o cultivo consorciado com leguminosas, uma vez que estas são hospedeiras de microrganismos fixadores de N, os quais disponibilizam esse N aos vegetais nas raízes. Além disso, a inclusão da leguminosa permite a produção de forragem mais rica em proteína e reduz a necessidade de utilização de fertilizantes nitrogenados para a cultura em sucessão (Oliveira et al., 2010).

Diversos trabalhos na literatura demonstram resultados positivos para o milho quando consorciado com espécies forrageiras e leguminosas simultaneamente (Heinrichs et al., 2005; Nunes et al., 2006; Oliveira et al., 2011; Garcia et al., 2016). Entre as vantagens, podendo destacar os sistemas radiculares das espécies introduzidas, que

exploram camadas mais profundas do solo e reciclam os nutrientes de maneira mais eficiente (Rosolem et al., 2011; Costa et al., 2014; Calonego et al., 2017) e aumentam a atividade biológica, favorecendo a elevação do teor de matéria orgânica e da qualidade do solo (Franzluebbers, 2002; Castro et al., 2015; Costa et al., 2015).

Assim, a utilização de leguminosas em consórcio com o milho tem mostrado resultados positivos, com aumento da produtividade e maior número de grãos na espiga (Carvalho et al., 2004; Heinrichs et al., 2005). Também Barreto e Fernandes (2010) concluíram que o cultivo simultâneo com Feijão-Guandu não reduziu a produtividade do milho, além de incrementar a quantidade de fitomassa produzida durante a estiagem. Ferreira et al. (2015) ao avaliar a produtividade de silagem em plantio consorciado de milho, Feijão-Guandu e braquiária, em área de recuperação de pasto degradado, concluiu que o consórcio não causou redução na produtividade do milho.

Silagem de grão úmido

O aumento da energia disponível da dieta pode ser obtido através do processamento do grão de milho, o qual aumenta a disponibilidade do amido para digestão (Silva et al., 2007a). Nesse sentido, a silagem de grãos úmidos surge como alternativa desse processamento, visando a utilização em substituição ao milho seco moído, componente energético principal de rações concentradas no Brasil (Almeida Jr. et al., 2004).

Assim, a silagem de grãos úmidos pode ser definida como o produto da conservação, em meio anaeróbico, dos grãos de milho logo após a maturação fisiológica, ocasião em que não há mais translocação de nutrientes da planta para os grãos e os teores máximos de amido, proteínas e óleos são encontrados. Além disso, a umidade se encontra elevada, a cerca de 28% (Costa et al., 1999).

Grãos colhidos com alto teor de umidade e armazenados em condições de anaerobiose apresentam maiores digestibilidades em comparação a grãos secos (Hibberd et al., 1985; Streeter et al., 1989), por causa da maior solubilização dos nutrientes e aumento do valor nutricional do grão (Simas, 1997).

A ensilagem de grãos úmidos apresenta algumas vantagens, como a minimização das perdas quantitativas e qualitativas pelo menor tombamento de plantas e ataques de pássaros, insetos e doenças; a maximização do uso da terra, através da liberação antecipada para outras culturas e economia de tempo e custos com a eliminação da pré-limpeza e secagem – etapas necessárias quando se faz uso de grãos secos (Jobim & Reis, 2001; Costa et al., 1999; Kramer & Voorsluys, 1991)

Nesse contexto, visto que a ensilagem de grãos úmidos aumenta a digestibilidade do amido e de outros nutrientes, espera-se que haja elevação no ganho em peso e/ou na eficiência alimentar dos animais (Henrique et al., 2007). De acordo com Passini et al. (2002), a silagem de grão úmido de milho apresenta resultados satisfatórios em dietas de bovinos jovens confinados, em fase de terminação, uma vez que não interfere no desempenho animal e melhora as características de rendimento de carcaça e qualidade de carne. Além disso, níveis de proteína bruta podem ser reduzidos de 14% para 11%, sem prejudicar a performance animal. Reafirmando os resultados encontrados, Igarasi et al. (2008) em experimento com bezerros machos inteiros F1 Red Angus × Nelore, em confinamento recebendo dieta total com silagem de grão úmido como ingrediente energético principal, ressalta que as características físico-químicas de carcaças e maciez da carne não sofreram alterações.

Em trabalhos avaliando a eficiência alimentar (EA), autores relatam melhoria quando utilizaram a silagem de grãos úmidos. Silva et al. (2007a), ao avaliar bovinos nelores confinados, verificou que os animais recebendo silagem de grãos úmidos de milho apresentaram eficiência alimentar de 0,160, enquanto animais alimentados com milho moído apresentaram EA de 0,133. Henrique et al. (2007) ao avaliar bovinos jovens submetidos a confinamento com silagem de grão úmido, relatou melhoria de 9,7% na eficiência alimentar, sem alteração das características de composição da carcaça. Em trabalho avaliando a digestibilidade do amido na alimentação de ruminantes, Owens & Basalan (2013) encontraram o valor próximo a 98,1% na silagem de grão úmido de milho quando comparado ao milho inteiro, que é próximo de 90,8%.

Grão seco

Considerado um alimento energético pela presença predominantemente de carboidratos e lipídeos na composição, o milho é produzido em quase todos os continentes, tendo sua importância econômica caracterizada pelas diversas formas de utilização, sendo que, de toda a produção mundial, 70% são destinadas à alimentação animal (Paes, 2006).

No Brasil, a principal indústria moageira de milho é a do tipo “moagem seca”, processo mais amplamente utilizado pelos agricultores, a fim de aumentar a área superficial do grão para facilitar os processos digestivos dos ruminantes (Millen et al. 2009), possibilitando mais energia disponível para o desenvolvimento da população

microbiana, e acarreta maior produção de ácidos graxos de cadeia curta – AGCC (Passini et al., 2003).

Principal constituinte em dietas de confinamento, o milho é o que mais impacta no custo alimentar (Millen et al., 2009). Assim, melhorar a sua eficiência de utilização é de extrema importância para o sucesso do sistema de produção, uma vez que o milho dominante no Brasil é o de textura dura, que apresenta baixa digestibilidade (Correa et al., 2002). Assim, quando processado, ocorre a diminuição do tamanho das partículas, ocorrendo a eliminação da película externa do grão, mais conhecida como pericarpo – que constitui a barreira física (Reis et al., 2013).

Entretanto, o que determina a melhora na degradabilidade ruminal do milho é o grau de redução das partículas, e quanto mais fina a moagem, maior será a área de superfície disponível para ataque dos microrganismos (Corona et al., 2005). Ferraretto et al. (2013) ao realizar meta análise com trabalhos publicados entre 2000 a 2011, encontraram digestibilidade total do amido para milho seco moído de 93,3% quando utilizou a granulometria de 0,5 a 1,0 mm, enquanto no tamanho de 3,5 a 4,0 mm, foi de 77,7%.

O aumento da digestibilidade total do amido está relacionada à melhoria no desempenho de bovinos, visto que há elevação do aporte energético para o animal, aumento da produção de proteína microbiana (PBmic) e aumento do fluxo dessa PBmic para o intestino delgado (Marques, 2011). Ademais, com o aumento da energia metabolizável da dieta, há redução no consumo, porém sem alteração no ganho de peso, melhorando com isso a eficiência alimentar (Owes et al., 1997).

De acordo com Schoonmaker et al. (2002), o maior consumo de energia acarreta melhores características de carne e de carcaça. Vaz et al. (2005), ao avaliar níveis crescentes de concentrado na dieta (25, 35 e 45%), observaram que, à medida que aumentou o nível, as características de conformação de carcaça e maciez de carne foram melhoradas. Também Missio et al. (2010) encontraram melhores resultados para traseiro, coloração e textura da carne com o aumento do nível de concentrado na dieta.

Também Paziani et al. (1999), ao avaliar o desempenho de bovinos terminado a pasto e recebendo concentrado com 75% de milho moído ou inteiro, observaram desempenho superior em 16% para os animais alimentados com a dieta que possuía milho moído. Santana et al. (2015) também encontraram melhor desempenho para animais recebendo dietas com 93% de concentrado, com desempenho médio de 1,71 kg/dia para animais recebendo grão moído em relação ao grão inteiro, 1,40 kd/dia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbado Neres, M., Castagnara, D. D., Silva, F. B., de Oliveira, P. S. R., Mesquita, E. E., Bernardi, T. C., ... & Vogt, A. S. L. Características produtivas, estruturais e bromatológicas dos capins Tifton 85 e Piatã e do feijão-guandu cv. Super N, em cultivo singular ou em associação. **Ciência Rural**, v. 42, n. 5, p. 862-869, 2012.
- Almeida Júnior, G. A., Costa, C., Monteiro, A. L. G., Garcia, C. A., Munari, D. P., & Neres, M. A. Desempenho, Características de Carcaça e Resultado Econômico de Cordeiros Criados em Creep Feeding com Silagem de Grãos Úmidos de Milho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 4, p. 1048-1059, 2004.
- Anghinoni, I., Carvalho, P. D. F., & Costa, S. D. A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 8, n. 2, p. 325-380, 2013.
- Araújo, F. P., Menezes, E. A., & Santos, C. A. F. Recomendação de variedade de guandu forrageiro. **Embrapa Semiárido-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2004.
- Austin, A. T., Bustamante, M. M. C., Nardoto, G. B., Mitre, S. K., Pérez, T., Ometto, J. P. H. B., ... & Martinelli, L. A. Latin America's nitrogen challenge. **Science**, v. 340, n. 6129, p. 149-149, 2013.
- Balbino, L. C., Cordeiro, L. A. M., Porfírio-da-Silva, V., Moraes, A. D., Martínez, G. B., Alvarenga, R. C., ... & Galerani, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 0-0, 2011.
- Barcellos, A. D. O., Ramos, A. K. B., Vilela, L., & Martha Junior, G. B. Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. SPE, p. 51-67, 2008.
- Barreto, A. C., & Fernandes, M. F. Cultivo de milho consorciado com guandu em sistema de plantio direto em solos dos tabuleiros costeiros. **Embrapa Tabuleiros Costeiros-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2010.
- Bell, L. W., Moore, A. D., & Kirkegaard, J. A. Evolution in crop–livestock integration systems that improve farm productivity and environmental performance in Australia. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 10-20, 2014.
- Bernardes, T.F., Rêgo, A. C. Estudo sobre as práticas de produção e aproveitamento de silagem em fazendas leiteiras brasileiras. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 3, pág. 1852-1861, 2014.
- Bonaudo, T., Bendahan, A. B., Sabatier, R., Ryschawy, J., Bellon, S., Leger, F., ... & Tichit, M. Agroecological principles for the redesign of integrated crop–livestock systems. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 43-51, 2014.

- Bowman, M. S., & Zilberman, D. Economic factors affecting diversified farming systems. **Ecology and society**, v. 18, n. 1, 2013.
- Buller, L. S., Bergier, I., Ortega, E., Moraes, A., Bayma-Silva, G., & Zanetti, M. R. Soil improvement and mitigation of greenhouse gas emissions for integrated crop–livestock systems: Case study assessment in the Pantanal savanna highland, Brazil. **Agricultural Systems**, v. 137, p. 206-219, 2015.
- Calonego, J. C., Raphael, J. P., Rigon, J. P., de Oliveira Neto, L., & Rosolem, C. A. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling. **European Journal of Agronomy**, v. 85, p. 31-37, 2017.
- Carvalho, M. A. C. D., Soratto, R. P., Athayde, M. L. F., Arf, O., & Sá, M. E. D. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 39, n. 1, p. 47-53, 2004.
- Carvalho, J. L. N., Raucci, G. S., Frazão, L. A., Cerri, C. E. P., Bernoux, M., & Cerri, C. C. Crop-pasture rotation: a strategy to reduce soil greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 183, p. 167-175, 2014.
- Castro, G. S., Crusciol, C. A., Calonego, J. C., & Rosolem, C. A. Management impacts on soil organic matter of tropical soils. **Vadose Zone Journal**, v. 14, n. 1, 2015.
- Coelho, A. M. Nutrição e adubação do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 10 p. (**Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 78**). 2006.
- Corona, L., Rodriguez, S., Ware, R. A., & Zinn, R. A. Comparative effects of whole, ground, dry-rolled, and steam-flaked corn on digestion and growth performance in feedlot cattle. **The Professional Animal Scientist**, v. 21, n. 3, p. 200-206, 2005.
- Correa, C. E. S., Shaver, R. D., Pereira, M. N., Lauer, J. G., & Kohn, K. Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability. **Journal of dairy science**, v. 85, n. 11, p. 3008-3012, 2002.
- Costa, C., Arrigoni, M. D. B., Silveira, A. C., & Chardulo, L. A. L. Silagem de grãos úmidos. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 7., Piracicaba. Anais... Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, p.69-87, 1999.
- Costa, H. J., Januskiewicz, E. R., Oliveira, D. C., Melo, E. S., & Ruggieri, A. C. Massa de forragem e características morfológicas do milho e da *Brachiaria brizantha* cv. piatã cultivados em sistema de consórcio. **Ars Vet.**, p. 134-143, 2012.
- Costa, N. R.; Andreotti, M.; Buzetti, S.; Lopes, K. S. M.; Santos, F. G.; Pariz, C. M. Acúmulo de macronutrientes e decomposição da palhada de braquiárias em razão da adubação nitrogenada durante e após o consórcio com a cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 1223-1233, 2014.
- Costa, N. R.; Andreotti M.; Lopes, K. S. M.; Yokobatake, K. L.; Ferreira, J. P.; Pariz, C. M.; Bonini, C. S. B.; Longhini, V. Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na

Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 852-863, 2015.

da Silva, A., de Sousa Santos, F. L., de Mattos Barretto, V. C., de Freitas, R. J., & Kluthcouski, J. Recuperação de pastagem degradada pelo consórcio de milho, *Urochloa brizantha* cv. Marandu e guandu. **JOURNAL OF NEOTROPICAL AGRICULTURE**, v. 5, n. 2, p. 39-47, 2018.

da Silva Guimarães, F., Ciappina, A. L., dos Anjos, R. A. R., da Silva, A., & Pelá, A. Consórcio guandu-milho-braquiária para integração lavoura-pecuária. **JOURNAL OF NEOTROPICAL AGRICULTURE**, v. 4, n. 5, p. 22-27, 2017.

de Faccio Carvalho, P. C., Anghinoni, I., de Moraes, A., de Souza, E. D., Sulc, R. M., Lang, C. R., ... & Bayer, C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 88, n. 2, p. 259-273, 2010.

Domiciano, L. F., Mombach, M. A., Carvalho, P., da Silva, N. M. F., Pereira, D. H., Cabral, L. S., ... & Pedreira, B. C. Performance and behaviour of Nellore steers on integrated systems. **Animal Production Science**, v. 58, n. 5, p. 920-929, 2018.

Dove, H., Kirkegaard, J. A., Kelman, W. M., Sprague, S. J., McDonald, S. E., & Graham, J. M. Integrating dual-purpose wheat and canola into high-rainfall livestock systems in south-eastern Australia. 2. Pasture and livestock production. **Crop and Pasture Science**, v. 66, n. 4, p. 377-389, 2015.

Esteves, V. P. P., Esteves, E. M. M., Bungenstab, D. J., Feijó, G. L. D., Araújo, O. D. Q. F., & Morgado, C. D. R. V. Assessment of greenhouse gases (GHG) emissions from the tallow biodiesel production chain including land use change (LUC). **Journal of cleaner production**, v. 151, p. 578-591, 2017.

Esteves, E. M. M., Esteves, V. P. P., Bungenstab, D. J., Araújo, O. D. Q. F., & Morgado, C. D. R. V. Greenhouse gas emissions related to biodiesel from traditional soybean farming compared to integrated crop-livestock systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 179, p. 81-92, 2018.

Ferraretto, L. F., P. M. Crump, E R, D. Shaver. 2013. Effect of cereal grain type and corn grain harvesting and processing methods on intake, digestion and milk production by dairy cows through a meta-analysis. **Journal of Dairy Science**, v. 96, P. 533-550, 2013.

Ferreira, L.G.; Cláudio, F.L.; Santos, L.C.; Alves, E.M.; Paim, T.P. 2015. Produção de silagem em sistemas consorciados de milho (*Zea mays*), guandu (*Cajanus cajan*) e braquiária (*Urochloa brizantha*). In: **IV Congresso Estadual de Iniciação Científica do IF Goiano**, 4, 2015

Figueiredo, E. B., Jayasundara, S., de Oliveira Bordonal, R., Berchielli, T. T., Reis, R. A., Wagner-Riddle, C., & La Scala Jr, N. Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. **Journal of cleaner production**, v. 142, p. 420-431, 2017.

- Finn, J. A., Kirwan, L., Connolly, J., Sebastià, M. T., Helgadottir, A., Baadshaug, O. H., ... & Lüscher, A. Ecosystem function enhanced by combining four functional types of plant species in intensively managed grassland mixtures: a 3-year continental-scale field experiment. **Journal of Applied Ecology**, v. 50, n. 2, p. 365-375, 2013.
- Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M., Mueller, N.D., O'Connell, C., Ray, D.K., West, P.C., et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature** 478, 337–342, 2011
- Franchini, J. C., da Costa, J. M., Debiassi, H., & Torres, E. Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná. **Embrapa Soja-Documents (INFOTECA-E)**, 2011.
- Franzluebbers, A. J., & Stuedemann, J. A. Crop and cattle production responses to tillage and cover crop management in an integrated crop–livestock system in the southeastern USA. **European journal of agronomy**, v. 57, p. 62-70, 2014.
- Franzluebbers, A. J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil and tillage research**, v. 66, n. 2, p. 95-106, 2002.
- Garcia, C. M. P.; Costa, C.; Andreotti, M.; Meirelles, P. R. L.; Pariz, C. M.; Freitas, L. A.; Teixeira Filho, M. C. M. Wet and dry corn yield under intercrop cultivation with marandu grass and/or dwarf pigeon pea and nutritional value of the marandu grass in succession. **Australian Journal of Soil Research**. Collingwood, v. 10, p. 1564-1571, 2016.
- Garrett, R. D., Niles, M. T., Gil, J. D., Gaudin, A., Chaplin-Kramer, R., Assmann, A., ... & Valentim, J. Social and ecological analysis of commercial integrated crop livestock systems: Current knowledge and remaining uncertainty. **Agricultural Systems**, v. 155, p. 136-146, 2017.
- Gil, J., Siebold, M., & Berger, T. Adoption and development of integrated crop–livestock–forestry systems in Mato Grosso, Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 199, p. 394-406, 2015.
- Hassen, A., Talore, D. G., Tesfamariam, E. H., Friend, M. A., & Mpanza, T. D. E. Potential use of forage-legume intercropping technologies to adapt to climate-change impacts on mixed crop-livestock systems in Africa: a review. **Regional Environmental Change**, v. 17, n. 6, p. 1713-1724, 2017.
- Heinrichs, R., Vitti, G. C., Moreira, A., Figueiredo, P. A. M. D., Fancelli, A. L., & Corazza, E. J. Características químicas de solo e rendimento de fitomassa de adubos verdes e de grãos de milho, decorrente do cultivo consorciado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 1, p. 71-79, 2005.
- Hendrickson, J. R., Hanson, J. D., Tanaka, D. L., & Sassenrath, G. Principles of integrated agricultural systems: Introduction to processes and definition. **Renewable Agriculture and Food Systems**, p. 265-271, 2008.

- Henrique, W., Beltrame Filho, J. A., Leme, P. R., Lanna, D. P. D., Alleoni, G. F., Coutinho Filho, J. L. V., & Sampaio, A. A. M. Avaliação da silagem de grãos de milho úmido com diferentes volumosos para tourinhos em terminação: Desempenho e características de carcaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 1, p. 183-190, 2007.
- Hibberd, C. A., Wagner, D. G., Hintz, R. L., & Griffin, D. D. Effect of sorghum grain variety and reconstitution on site and extent of starch and protein digestion in steers. **Journal of Animal Science**, v. 61, n. 3, 702-712, 1985.
- Igarasi, M. S., Arrigoni, M. D. B., Hadlich, J. C., Silveira, A. C., Martins, C. L., & Oliveira, H. N. D. Características de carcaça e parâmetros de qualidade de carne de bovinos jovens alimentados com grãos úmidos de milho ou sorgo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 3, p. 520-528, 2008.
- Jobim, C.C.; Reis, R.A. Produção e utilização de silagem de grãos úmidos de milho. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., Piracicaba. **Anais...** Piracicaba:Sociedade Brasileira de Zootecnia, p.912-927. 2001.
- Kahlon, M. S.; Chawla, K. Effect of tillage practices on least limiting water range in Northwest India. **International Agrophysics**, v. 31, n. 1, p. 183-194, 2017.
- Khan, N.A.; Yu, P.; Ali, M.; Cone, J.W.; Hendriks, W.H. Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.95, p.238-252. 2015.
- Khoury, C. K., Castañeda-Alvarez, N. P., Achicanoy, H. A., Sosa, C. C., Bernau, V., Kassa, M. T., ... & Jarvis, A. Crop wild relatives of pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]: Distributions, ex situ conservation status, and potential genetic resources for abiotic stress tolerance. **Biological Conservation**, v. 184, p. 259-270, 2015.
- Klein, J. L., Viana, A. F. P., Martini, P. M., Adams, S. M., Guzatto, C., Bona, R. D. A., ... & Brondani, I. L. Desempenho produtivo de híbridos de milho para a produção de silagem da planta inteira. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 1, p. 101-110, 2018.
- Komleh, S.H.P., A. Keyhani, S.H. Rafiee & P. Sefeedpary. Energy use and economic analysis of corn silage production under three cultivated area levels in Tehran province of Iran. **Energy**, v.36, pp. 3335- 3341. 2011.
- Kramer, J.; Voorsluys, J.L. Silagem de milho úmido, uma opção para gado leiteiro. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 4., Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, p.257-262. 1991.
- Lapola, D. M., Martinelli, L. A., Peres, C. A., Ometto, J. P., Ferreira, M. E., Nobre, C. A., ... & Vieira, I. C. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature climate change**, v. 4, n. 1, p. 27-35, 2014.

- Lazzarotto, J. J., dos Santos, M. L., de Lima, J. E., & de Moraes, A. Volatilidade dos retornos econômicos associados à integração lavoura-pecuária no Estado do Paraná. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 7, n. 2, 2009.
- Lim, J.M.; Nestor Jr., K.E.; Kung Jr., L. The effect of hybrid type and dietary proportions of corn silage on the lactation performance of high-producing dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.98, p.1195-1203. 2015.
- Lisbôa, F. M.; Pause, A. G. S. Sobrevivência de Leguminosas Arbustivas em Pastagem Consorciada, Itupiranga, PA. **Revista Agroecossistemas**, Belém – PA, v. 2, n. 1, p. 48-52. 2010.
- López-Hidalgo, H., Martínez-González, J., Balseca-Guzmán, D., Gusqui-Vilema, L., & Cienfuegos-Rivas, E. Initial growth of two varieties of pigeon pea (*Cajanus cajan*) in the tropics of Ecuador. **Abanico Veterinario**, v. 8, n. 2, p. 33-46, 2018.
- Lüscher, A.; Mueller-Harvey, I.; Soussana, J. F.; Rees, R. M.; Peyraud, J. L. Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: a review. **Grass and Forage Science**, v. 69, n. 2, p. 206-228. 2014.
- Macedo, M.C.M.; Zimmer, A.H.; Kichel, A.N.; Almeida, R.G. de & Araujo, A.R. Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de mitigação. In: **Anais de Congresso**, Ribeirão Preto, SP, **Embrapa Gado de Corte**. p. 158–181. 2014.
- Marques, R. S. Efeito da variação dos níveis de forragem em dietas contendo grãos de milho inteiro e os benefícios da floculação na terminação de tourinhos Nelore. 2011. 71p. **Dissertação (Mestrado)**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2011.
- Martha Júnior, G. B., Alves, E., & Contini, E. Dimensão econômica de sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1117-1126, 2011.
- Millen, D.D.; Pacheco, R.D.L.; Arrigoni, M.D.B.; Galyean, M.L.; Vasconcelos, J.T. A snapshot of management practices and nutritional recommendations used by feedlot nutritionists in Brazil. **Journal of Animal Science**, 87, 3427–3439. 2009.
- Millen, D. D., Pacheco, R. D. L., Meyer, P. M., Rodrigues, P. H. M., & De Beni Arrigoni, M. Current outlook and future perspectives of beef production in Brazil. **Animal frontiers**, v. 1, n. 2, p. 46-52, 2011.
- Missio, R. L., Brondani, I. L., Alves Filho, D. C., Restle, J., Arboitte, M. Z., & Segabinazzi, L. R. Características da carcaça e da carne de tourinhos terminados em confinamento, recebendo diferentes níveis de concentrado na dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 7, p. 1610-1617, 2010.
- Moraes, A.; Carvalho, P.C.F.; Lustosa, S.B.C.; Lang, C.R.; Deiss, L. 2014. Research on integrated crop–livestock systems in Brazil. **Revista Ciências Agrônômica**, v.45, p.1024–1031.

- Moraine, M., Duru, M., Nicholas, P., Leterme, P., & Therond, O. Farming system design for innovative crop-livestock integration in Europe. **Animal**, v. 8, n. 8, p. 1204-1217, 2014.
- Moraine, M., Duru, M., & Therond, O. A social-ecological framework for analyzing and designing integrated crop–livestock systems from farm to territory levels. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 32, n. 1, p. 43-56, 2017.
- Nunes, U. R.; Andrade Júnior, V. C.; Silva, E. B.; Santos, N. F.; Costa, H. A. O.; Ferreira, C. A. Covering crops straw production and common bean productivity in no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 943-948. 2006.
- Nussio, L. G.; Campos, F. P.; Dias, F. N. Importância da qualidade da porção vegetativa no valor alimentício da silagem de milho. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, Maringá. **Anais...** Maringá: UEM, 2001. p. 319. 2001.
- Oliveira, P. D., Kluthcouski, J., Favarin, J. L., Santos, D. D. C. Sistema Santa Brígida-Tecnologia Embrapa: consorciação de milho com leguminosas. **Embrapa Arroz e Feijão-Circular Técnica (INFOTECA-E)**. 2010.
- Oliveira, P.; Kluthcouski, J.; Favarin, J. L.; Santos, D. C. 2011. Consórcio de milho com braquiária e guandu-anão em sistema de dessecação parcial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1184-1192.
- Oshita, T., H. Takayama, H. Otsuka, H. Igarashi, K. Nonaka & S. Kume. Effects of Maturing Stage of Corn Hybrids on Silage Yield, Feeding Value for Dairy Cows and Milk Production in a Cold Region of Japan. **Asian-Australasian Journal of Animal Science**, v. 20, pp. 511- 516. 2007.
- Owens, F.; Basalan, M. Grain processing: gain and efficiency responses by feedlot cattle. **In: Plains Nutrition Council Spring Conference**. Proceedings... p.76-100. 2013.
- Owens, F. N., D. S. Secrist, W. J. Hill, And D. R. Gill. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: A review. **Journal of Animal Science**. 75:868–878. 1997.
- Paes, M. C. D. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E)**. 2006.
- Paolotti, L., Boggia, A., Castellini, C., Rocchi, L., & Rosati, A. Combining livestock and tree crops to improve sustainability in agriculture: a case study using the Life Cycle Assessment (LCA) approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 131, p. 351-363, 2016.
- Pariz, C. M., Costa, C., Crusciol, C. A., Castilhos, A. M., Meirelles, P. R., Roça, R. O., ... & Franzluebbbers, A. J. Lamb production responses to grass grazing in a companion crop system with corn silage and oversowing of yellow oat in a tropical region. **Agricultural Systems**, v. 151, p. 1-11, 2017.

- Passini, R.; Silveira, A.C.; Titto, E.A.L.; Rodrigues, P.H.M.; Arrigoni, M.B.; Costa C.; Chardulo, L.A.L. Silagem de grãos úmidos de milho e de sorgo e níveis protéicos sobre desempenho e características da carcaça de novilhos superprecoces. **Acta Scientiarum**. 24(4):1147-1154. 2002.
- Passini, R. et al. Parâmetros de fermentação ruminal em bovinos alimentados com grãos de milho ou sorgo de alta umidade ensilados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.5, p.1266- 1274. 2003
- Paziani, S. F., Alcalde, C. R., & de Andrade, P. Acabamento de bovinos em pastagens no período da seca, utilizando-se milho inteiro e soja integral ou milho moído e farelo de soja. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 21, p. 745-748, 1999.
- Pereira, K. A., Ribeiro, R. V., Rodrigues de Oliveiradas, A., & Amaral, A. D. G. Parámetros en la utilización de silaje de grano húmedo de maíz en la bovinocultura de corte. **Revista colombiana de ciencia animal recia**, v. 11, n. 1, p. 102-113, 2019.
- Pinheiro, A. A., Cecato, U., Lins, T. O. J. D. A., Beloni, T., Piotto, V. C., & Ribeiro, O. L. Produção e valor nutritivo da forragem, e desempenho de bovinos Nelore em pastagem de capim-Tanzânia adubado com nitrogênio ou consorciado com estilosantes Campo Grande. **Semina: Ciências Agrárias**, 2014.
- Poffenbarger, H., Artz, G., Dahlke, G., Edwards, W., Hanna, M., Russell, J., ... & Liebman, M. An economic analysis of integrated crop-livestock systems in Iowa, USA. **Agricultural Systems**, v. 157, p. 51-69, 2017.
- Rada, N. Assessing Brazil's Cerrado agricultural miracle. **Food Policy**, v. 38, p. 146-155, 2013.
- Reis, R. B.; Moura, M. A.; Malacco, V. M. R. Processamento de amido do concentrado para vacas em pastejo In: III Simpósio Internacional em Formulação de Dietas para Gado Leiteiro. **Anais...** Lavras: Universidade Federal de Lavras, p.12-27. 2013.
- Resende, Á. V., Gutiérrez, A. M., Silva, C. G. M., Almeida, G. O., de Oliveira, P. E., Moreira, S. G.; Neto, M. M. G. Requerimentos nutricionais do milho para produção de silagem. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E)**. 2016.
- Ribeiro, P.H.; Santos, J.V.V.M.; Coser, S.M.; Nogueira, N.O.; Martins, C.A.S. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **Revista Verde**, Mossoró, v.6, n.1, p.43-50. 2011.
- Robertson, G.P., Gross, K.L., Hamilton, S.K., Landis, D.A., Thomas, M., Snapp, S.S., Swinton, S.M., Farming for ecosystem services: An ecological approach to production agriculture. **Bioscience**,v. 64, p. 404–415. 2014.
- Rosolem, C. A.; Soratto, R. P.; Crusciol, C. A. C. Análise da situação geral. In: Soratto, R. P.; Rosolem, C. A.; Crusciol, C. A. C. (ed.). **Integração lavoura-pecuária-floresta: alguns exemplos no Brasil Central**. Botucatu: FEPAF, 2011. p.103-104. 2011.

- SALTON, Julio C. et al. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 70-79, 2014.
- Salton, J.C., Mielniczuk, J., Bayer, C., Boeni, M., Conceicao, P.C., Fabrício, A.C., Macedo, M.C.M., Broch, D.L., Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 32, 11–21. 2008.
- Salton, J. C., Costa, A. R., & Zanatta, J. A. Aggregation of an Oxisol under management systems for 14 years in the Midwest of Brazil. In: **Embrapa Agropecuária Oeste- Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 19., 2010, Brisbane. Soil solutions for a changing world: proceedings. Brisbane: International Union of Soil Science: ASSSI, 2010. 1 CD-ROM., 2010.
- Santana, A. E. M.; Neiva, J. N. M.; Restle, J.; Miotto, F.R.C.; Sousa, L.F.; Araújo, V. L.; Parente, R. R. P.; OliveirA, R.A. Productive performance and blood parameters of bulls fed diets containing babassu mesocarp bran and whole or ground corn. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 44, p. 27-36, 2015.
- Schoonmaker, J.P.; Loerch, S.C.; Fluharty, F.L. Effect of an accelerated finish program on performance, carcass characteristics, and circulate insulin-like growth factor-I concentration of early-weaned bulls and steers. **Journal of Animal Science**, v.80, n.4, p.900-910. 2002.
- Schuster, M.Z., Pelissari, A., de Moraes, A., Harrison, S.K., Sulc, R.M., Lustosa, S.B., Anghinoni, I., Carvalho, P.C. Grazing intensities affect weed seedling emergence and the seed bank in an integrated crop–livestock system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 232, 232-239. 2016.
- Sekhon, F. S.; Singh, T.; Singh, S. Growth, phenology and yield of pigeonpea (*Cajanus cajan*) as affected by intercropping systems and application of nutrients level to intercrops. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 88, n. 3, p. 509-514, 2018.
- Silva, A.; De Sousa Santos, F. L.; De Mattos Barretto, V. C.; De Freitas, R. J.; Kluthcouski, J. Recuperação de pastagem degradada pelo consórcio de milho, *Urochloa brizantha* cv. Marandu e guandu. **JOURNAL OF NEOTROPICAL AGRICULTURE**, 5(2), 39-47. 2018.
- Silva, S.C., Nascimento Júnior, D. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**. V. 36, p. 122–138. 2. 2007.
- Silva, S. D. L., Leme, P. R., Putrino, S. M., Valinote, A. C., Nogueira Filho, J. C. M., & Lanna, D. P. D. Milho grão seco ou úmido com sais de cálcio de ácidos graxos para novilhos Nelore em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 5, p. 1426-1434, 2007a.

- Silva, R.F., Guimarães, M.F., Aquino, A.M., Mercante, F.M., Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistemas de integração lavoura pecuária. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, v. 46, 1277–1283. 2011.
- Silva, A. S. D., Colozzi Filho, A., Nakatani, A. S., Alves, S. J., Andrade, D. D. S., & Guimarães, M. D. F. Microbial characteristics of soils under an integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 40-48, 2015.
- Simas, J.M. Processamento de grãos para rações de vacas leiteiras. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL, 9., Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: 1997. 184p. 1997.
- Singh, D.; Abraham, T. Response of pigeonpea based intercropping system and weed management practices on growth, yield attributes and yield of pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]. **Research in Environment and Life Sciences**. 2017.
- Soussana, J. F., & Lemaire, G. Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 9-17, 2014.
- Streeter, M. N., Wagner, D. G., Owens, F. N., & Hibberd, C. A. Combinations of high- moisture harvested sorghum grain and dry-rolled corn: Effects on site and extent of digestion in beef heifers. **Journal of animal science**, v. 67, n.6, 1623-1633. 1989.
- Sulc, R. M., & Franzluebbbers, A. J. Exploring integrated crop–livestock systems in different ecoregions of the United States. **European journal of agronomy**, v. 57, p. 21-30, 2014.
- Ueno, R. K.; Neumann, M.; Marafon, F.; Reinehr, L. L.; Poczynek, M.; Michalovicz, L. Exportação de macronutrientes do solo em área cultivada com milho para alimentação de bovinos confinados. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 3001-3018. 2013.
- Varshney, R. K., Hoisington, D. A., Upadhyaya, H. D., Gaur, P. M., Nigam, S. N., Saxena, K., ... & Gowda, M. C.. Molecular genetics and breeding of grain legume crops for the semi-arid tropics. In: Genomics-assisted crop improvement. **Springer**, Dordrecht, p. 207-241. 2007.
- Vaz, F.N.; Restle, J.; Silva, N.L.Q. et al. Nível de concentrado, variedade da silagem de sorgo e grupo genético sobre a qualidade da carcaça e da carne de novilhos confinados, concentrado, variedade da silagem de sorgo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.1, p.239-248, 2005.
- Vilela, L.; Martha Júnior, G. B.; Macedo, M. C. M.; Marchão, R. L.; Guimarães Júnior, R.; Pulronilk, K.; Maciel, G. A. Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília – DF, v. 46, n. 10, p. 1127-1138. 2011.

- Wantzen, K. M., Couto, E. G., Mund, E. E., Amorim, R. S., Siqueira, A., Tielbörger, K., & Seifan, M. Soil carbon stocks in stream-valley-ecosystems in the Brazilian Cerrado agroscape. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 151, p. 70-79, 2012.
- Wesp, C. D. L., Carvalho, P. C. D. F., Conte, O., Cadenazzi, M., Anghinoni, I., & Bremm, C. Steers production in integrated crop-livestock systems: pasture management under different sward heights. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 1, p. 187-194, 2016.
- Zervoudakis, J. T., Paulino, M. F., Detmann, E., da Silva Cabral, L., de Campos Valadares Filho, S., Moraes, E. H. B. K., ... & de Carvalho, D. M. G. Suplementos múltiplos de autocontrole de consumo para recria de novilhos no período das águas: consumo de nutrientes e parâmetros ingestivos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 9, n. 4, 2008.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Avaliar o sistema de produção em consórcio triplo de milho, braquiária e Feijão-Guandu sobre a produtividade vegetal e animal, durante o período de um ano.

Objetivos específicos

Avaliar a recuperação de áreas degradadas, comparando os resultados das áreas submetidas ao primeiro ou terceiro ano de Integração Lavoura Pecuária, com ou sem a presença prévia do Feijão-Guandu.

Avaliar a produtividade da silagem de área total, silagem de grão úmido e milho grão seco em consórcio triplo de milho, braquiária e Feijão-Guandu e o impacto da colheita de cada tratamento para a produtividade animal durante o ano em sequência.

Identificar o tratamento que permite melhor desempenho animal e melhor aproveitamento da área.

Avaliar a produção de gases *in vitro* de silagens de milho consorciadas com capim-braquiária e Feijão-Guandu.

Capítulo I – INFLUÊNCIA DO HISTÓRICO DA ÁREA SOBRE A PRODUTIVIDADE DO CONSÓRCIO TRIPLO ENTRE MILHO, BRAQUIÁRIA E FEIJÃO-GUANDU

RESUMO

Objetivou-se no presente estudo avaliar o efeito do histórico da área sobre os componentes de produtividade do consórcio triplo entre milho, braquiária e Feijão-Guandu e a produtividade de grãos de milho e da silagem da planta inteira do milho. O histórico da área foi definido como o efeito prévio da semeadura do Feijão-Guandu (com e sem Feijão-Guandu) e, se era o primeiro ou terceiro ano de cultivo de cultura anual na área (1º ou 3º ano de cultivo). O experimento foi conduzido durante os anos de 2016/2017. A área experimental em 2015 era caracterizada por uma pastagem em degradação com predominância de *Urochloa decumbens*. Nos anos posteriores, a área foi dividida em dois grandes módulos de 4,5 hectares cada: um adotando a estratégia de recuperação de pastagem com baixo investimento (BI); e outro adotando a estratégia de recuperação de pastagem com alto investimento (AI), utilizando integração lavoura-pecuária (ILP) e a correção total das deficiências químicas do solo no primeiro ano. Na safra 2016/2017 foi semeado o consórcio triplo entre milho + braquiária + Feijão-Guandu em toda a área. A produtividade do milho foi determinada através da mensuração da produção de grãos. A análise dos dados foi realizada por modelos mistos e análise de componentes principais. Os resultados indicaram que o terceiro ano de integração apresentou menor ($P < 0,05$) produção de MS da braquiária e maior ($P < 0,05$) produção de grãos de milho. A produção de silagem da área total foi maior ($P < 0,05$) nas áreas de terceiro ano. Para o cultivo prévio do guandu, não foram observados ($P > 0,05$) efeitos entre os tratamentos. Esses resultados sugerem que, ao melhorar a fertilidade do solo, o milho possui maior capacidade de desenvolvimento e aumento de produtividade, enquanto a braquiária se mostra mais adaptada a solos menos exigentes em fertilidade. Além disso, os resultados atestam para a viabilidade dos consórcios e a ausência da competitividade prejudicial entre as espécies.

Palavras-chave: forragem; grãos; silagem; sustentabilidade.

ABSTRACT

The present study was carried out with the objective of evaluating the effect of previous land management on corn yield, botanical composition, and silage of triple intercropping of corn, palisadegrass and pigeon pea. The previous land management was defined as the previous pigeon pea cultivation (with and without pigeon pea) and whether it was the first or third year of annual crop cultivation in the area (1st or 3rd year of cultivation). The experiment was conducted during the years 2016 and 2017. The experimental area in 2015 was characterized by a degraded pasture with a predominance of *Urochloa decumbens*. In previous years, the area was divided into two large modules of 4.5 hectares each: one adopting the strategy of recovering pasture with low investment (LI); and another adopting the high investment pasture recovery strategy (HI), using crop-livestock integration (ILP) and total correction of chemical soil deficiencies in the first year. In the 2016/2017 crop season, corn + palisadegrass + pigeon pea intercropping was sown. Data analysis was performed using mixed models and principal component analysis. The results indicated that the third year of integration had lower palisadegrass forage and greater production of corn grains. Silage total dry matter was higher in the third-year area. For the previous cultivation of pigeon pea, no significant effect was observed. These results suggest that, by improving soil fertility, corn has higher growth capacity and increased yield, while Brachiaria is more suited to less demanding soils in terms of fertility. Furthermore, the results attest the viability of intercropping and the absence of harmful competitiveness between species.

Key-Words: forage; grains; silage; sustainability.

INTRODUÇÃO

A inter-relação entre as tendências e desafios da segurança alimentar e os pilares do desenvolvimento sustentável econômico, ambiental e social requerem uma abordagem sistêmica a fim de melhorar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Calicioglu et al., 2019). Os sistemas integrados são formas de agricultura que têm como fundamento articular as premissas da agricultura convencional com a proteção biológica das plantas (Szeląg-Sikora et al., 2019), promover a diversificação e rotação de culturas (Vilela et al., 2011) e a ciclagem de nutrientes (Salton et al., 2014), fatores relacionados à recuperação e melhoria da estrutura dos solos (Vilela et al., 2011; Salton et al., 2014).

Nesse contexto, o consórcio entre milho e forragens do gênero *Brachiaria* têm se destacado como alternativa de promoção dessas benfeitorias ao solo (Longhini et al., 2017), como por exemplo no combate aos riscos de erosão e compactação em função do sistema radicular da braquiária, que possui em média dois metros de profundidade (Abreu et al., 2017). O uso de gramíneas, principalmente do gênero *Brachiaria*, está associado à produção de biomassa e sistema radicular expressivo, tornando-se fonte de matéria orgânica mais persistente nos solos (Chioderoli et al., 2010). O uso do milho se destaca pela importância e representatividade dessa cultura no agronegócio, sendo que, a maior parte da produção está diretamente associada às cadeias produtivas de aves, suínos e bovinos (Oligini et al., 2019).

A rotação de culturas é um método fundamental para o adequado manejo do solo, pois permite aumentar a diversidade de resíduos vegetais na área, aumentar a entrada de carbono no solo, formação de novos nichos ecológicos e síntese de biomassa microbiana (Batista et al., 2018). De acordo com Sharma & Banik (2015), a presença de leguminosas no plantio com milho promove melhoria da fertilidade do solo através de maior disponibilidade de nitrogênio, fósforo e potássio, carbono orgânico e atividade microbiana. Da mesma forma, Wang et al. (2014) relatam aumento de produtividade e fertilidade do solo quando consorciado milho com leguminosas.

Nesse contexto, a presença de leguminosas integrando a produção grãos-carne tem a capacidade de melhorar as condições físicas do solo, pela presença de um sistema radicular mais profundo, permitindo maior aeração e absorção de nutrientes e menor relação C:N, oportunizando maior ciclagem dos nutrientes e da biomassa microbiana (Conte et al., 2011) e capacidade de fixação de nitrogênio, reduzindo a prevalência de ervas daninhas, pragas e doenças (Hassen et al., 2017) e aumento do rendimento e valor

nutritivo da forragem (Luscher et al., 2014). Assim, dentre as opções de leguminosas utilizadas para esses sistemas, destaca-se o feijão-Guandu (*Cajanus cajan*), devido ao potencial de produzir forragem com maior teor de proteína, apresentar sistema radicular pivotante e aptidão para cultivo em consórcio com culturas anuais (Balbino et al., 2011).

O sucesso no consórcio entre plantas, como no caso de milho, braquiária e Feijão-Guandu, pode ser afetado pelo uso de populações adequadas no semeio (Crusciol et al., 2010; Freitas et al., 2013), a forma de semeio (Pariz et al., 2010; Moreira et al., 2013), a pressão de plantas daninhas na área (Duarte et al., 2007), época de semeadura (Seidel et al., 2014), além da fertilidade do solo e histórico de cultivos na área (Oliveira et al., 2007; Cruz et al., 2008). Assim, o presente estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito do histórico da área sobre os componentes de produtividade do consórcio triplo entre milho, braquiária e Feijão-Guandu e a produtividade de grãos de milho e de silagem de área total. O histórico da área foi definido como o efeito da presença de Feijão-Guandu anteriormente ou não (com e sem Feijão-Guandu) e se era o primeiro ou terceiro ano de cultivo de cultura anual na área (1º ou 3º ano de cultivo).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Escola, pertencente ao Instituto Federal Goiano (IF Goiano) no município de Iporá (16°25'29''S e 51°09'04''W, com altitude média de 602 metros), durante os anos de 2016 e 2017. De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Aw (tropical, com inverno seco e verão quente e chuvoso), com temperatura média de 24,4°C e pluviosidade média anual de 1613 mm (Dias cardoso et al., 2014). O solo da área experimental é caracterizado como Cambissolo, de acordo com o Sistema Brasileira de Classificação de Solos (Santos, 2018).

Histórico da área

A área experimental em 2014 era caracterizada por uma pastagem em degradação com predominância de *Brachiaria decumbens* em toda a área. A análise de solo na camada 0-20 cm antes da implantação do experimento indicava as seguintes características: pH (CaCl₂) = 5,2; Ca = 2,7 cmolc/dm³; Mg = 1,5 cmolc/dm³; Al = 0,0 cmolc/dm³; H+Al = 2,5 cmolc/dm³; CTC = 7,1 cmolc/dm³; K = 148 mg/dm³; Matéria Orgânica = 1,6%; Saturação de Base (V%) = 64%; Argila = 27%; Silte = 17%; Areia = 56%.

Na safra 2014/2015 e 2015/2016, a área foi dividida em dois módulos de 4,5 hectares: um adotando a estratégia de recuperação de pastagem com baixo investimento; e outro adotando a estratégia de recuperação de pastagem com alto investimento, utilizando integração lavoura-pecuária (ILP) e a correção total das deficiências químicas do solo no primeiro ano.

O módulo com estratégia de recuperação com baixo investimento foi constituído pela presença de *Brachiaria* pré-existente na área, com ou sem adubação variando entre os tratamentos e posterior pastejo animal. Já o módulo de recuperação com alto investimento foi caracterizado pelo preparo do solo com gradagem, nivelção e aplicação de gesso; consórcio de *Brachiaria* com feijão-Guandu e milho e semeadura da soja, sendo os plantios e colheitas realizados conforme calendário agrônômico da região.

Delimitação experimental e tratamentos

Na safra 2016/2017 foi semeado o consórcio triplo entre milho (*Zea mays*) + *Brachiaria* (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés) + Feijão-Guandu (*Cajanus cajan* cv. Super N) igualmente em toda a área (9 hectares), dando origem aos tratamentos sendo o tratamento de primeiro ano agrícola (que não teve cultivo prévio de lavoura e era somente pastagem nos anos anteriores) e o tratamento de 3º ano agrícola (que já havia sido cultivado com lavoura de milho em 2014/2015 e soja em 2015/2016), com histórico de presença prévia de guandu ou não na área.

Em 23 de novembro de 2016 foi realizada a semeadura do híbrido de milho BM 840 com espaçamento entre linhas de 0,80 m e densidade de 60.000 sementes ha⁻¹, utilizando semeadora múltipla. Na adubação de base, utilizou 310 kg de fertilizante superfosfato simples. Simultaneamente, foram semeados o feijão-Guandu e a *Brachiaria*, sendo o semeio do Feijão-Guandu nas entrelinhas do milho com espaçamento entre linhas de 0,80 m (13,30 kg ha⁻¹) e a *Brachiaria* semeada utilizando o mecanismo de distribuição de sementes miúdas (11,70 kg ha⁻¹), distribuídas superficialmente.

Quando o milho se encontrava em estágio V4 de desenvolvimento, foi realizada a adubação de cobertura em toda a área, aplicando-se 250 kg ha⁻¹ de ureia (45% de N) a lanço. Não houve aplicação de herbicida pós-emergente para a cultura do milho. Também não houve necessidade de controlar o crescimento inicial da forrageira, devido às diferenças no tempo de emergência das plântulas de milho e do capim.

Todos os piquetes foram avaliados quanto à produção de forragem (silagem de área total) e produção de grãos úmidos (silagem de grãos úmidos). A coleta de amostras simulando a colheita de área total da forragem para silagem foi realizada quando o milho se encontrava no momento ótimo para ensilagem (estádio de ¼ de grão leitoso, com 30 a 35% de matéria seca), que ocorreu aos 90 dias após o plantio (DAP) em 22 de fevereiro de 2017. A coleta de amostras simulando a colheita de grão úmido (CGU) foi realizada quando os grãos apresentavam umidade média de 35%, que ocorreu aos 118 DAP, em 20 de março de 2017.

Foi realizada a colheita para a realização da silagem de área total. Coletou-se amostras em 3 pontos em cada piquete, sendo cada ponto constituído de uma área de 4 m² para a colheita, em que 2 m² foram utilizados para análise bromatológica e os outros 2 m² foram ensilados. A altura de corte foi de 0,10 m em relação à superfície do solo. A forragem foi triturada em partículas médias de 1,0 cm e compactadas em tubos de plástico rígido (PVC), de 10 cm de diâmetro e 40 cm de comprimento, acoplados por tampas (cap) de PVC em cada extremidade, e fita adesiva na tampa superior para garantir a vedação adequada. Mensurou-se a tara dos silos experimentais antes do enchimento e o peso dos tubos cheios e fechados.

Silagem e análises bromatológicas

Determinou-se a composição bromatológica da forragem total (milho + capim + guandu) antes e após a ensilagem, bem como somente da forragem de cada componente separado (milho, capim e guandu) no momento da colheita para ensilagem. Os microsilos foram abertos após 100 dias de ensilagem. No momento da abertura dos silos experimentais, o conteúdo superior (10 cm) de cada silo foi descartado. O material central do silo foi homogeneizado e retirada uma amostra para determinação dos teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e matéria mineral (MM), de acordo com as técnicas descritas pelo AOAC (2011); fibra em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA) de acordo com técnicas descritas por Van Soest (1991), adaptado por Mertens (2002). Ainda foi realizado a quantificação do metano através de ensaios de produção de gases *in vitro* (Ligoski et al., 2020). As análises laboratoriais antes e após a ensilagem foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal pertencente ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA/USP), Campus de Piracicaba.

A produtividade do milho grão seco foi determinada através da mensuração da produção de grãos em dez plantas sequenciais de uma linha de plantio escolhida de forma aleatória. O resultado foi então ajustado para o estande de plantas, obtendo-se a estimativa de produtividade por hectare. Realizou-se 4 amostragens por parcela experimental e o peso dos grãos foi corrigido para 13% de umidade. Foram determinados os índices de prolificidade (espigas/planta), número de grãos secos por espiga e o índice de colheita (relação entre a massa seca dos grãos e a massa seca total da planta).

Análises estatísticas

As análises dos dados bromatológicos e da produção de grãos foram realizadas por modelos mistos considerando o efeito fixo de ano (1º ou 3º ano de cultivo de lavoura na área) e da presença ou não do Feijão-Guandu (com ou sem histórico de cultivo de Feijão-Guandu na área), bem como a interação entre estes. Os piquetes foram considerados como efeito aleatório. As análises de modelos mistos foram realizadas com a função lmer do pacote lme4 (Bates et al., 2015) no software R (R CORE TEAM, 2020). As médias foram calculadas por quadrados mínimos utilizando a função emmeans do pacote emmeans (Lenth, 2020), e quando observado efeito estatístico significativo, as médias foram comparadas com ajuste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Com o objetivo de entender a relação entre as variáveis e como estas eram capazes de definir os dois efeitos avaliados (ano de cultivo e histórico de cultivo de Feijão-Guandu), foram realizadas as análises multivariadas discriminantes e de componentes principais. Foram realizadas duas análises sendo uma com os dados de produção de grãos e outra com os dados de produtividade e composição química da silagem. As análises de componentes principais foram realizadas utilizando os pacotes FactoMineR (Le, Josse & Husson, 2008) e factoextra (Kassambara & Mundt, 2020) no software R. Os pacotes ggpubr (Kassambara, 2020) e ggplot2 (Wickham, 2016) foram utilizados para fazer os gráficos. As análises discriminantes foram realizadas no SAS University Edition® com os procedimentos DISCRIM e STEPDISC.

RESULTADOS

Componentes de produtividade do milho

O tratamento referente ao primeiro ano de cultivo agrícola (2014/2015) teve praticamente metade da produtividade (1442 kg ha⁻¹) de grãos secos de milho em relação ao tratamento com terceiro ano de cultivo, que foi de 2963 kg ha⁻¹ (Tabela 1). O cultivo prévio de Feijão-Guandu na área não influenciou (P>0,05) na produtividade de grãos de milho.

Tabela 1. Média de produtividade de grãos secos de milho (kg ha⁻¹) (\pm erro padrão da média) em função do histórico de ano de agricultura previamente na área, com presença (CG) ou não (SG) de Feijão-Guandu.

Feijão Guandu	Histórico de anos de cultivo integrado	
	1º	3º
	Produtividade (kg ha⁻¹)	
CG	1.594 (\pm 335) b	3.075 (\pm 237) a
SG	1.289 (\pm 237) b	2.851 (\pm 335) a
Média	1.442 (\pm 205) b	2.963 (\pm 205) a
p-value (Guandu)	0.3885	
p-value (Anos)	0.0008*	

Médias seguidas por letras minúsculas nas linhas diferem entre si pelo teste F (p<0,05)*.

Quanto aos componentes de produtividade do milho (Tabela 2), as características de número de espigas e prolificidade não foram alteradas (P>0,05) conforme o ano agrícola. Já para as características de grãos secos por espiga e índice de colheita, houve maiores valores (P<0,05) no 3º ano agrícola, tanto nos tratamentos com guandu prévio quanto para o sem guandu. Quanto ao efeito da presença prévia do Feijão-Guandu, não houve diferença (P>0,05) para as variáveis reportadas na Tabela 2.

Tabela 2. Médias de componentes de produtividade do milho (\pm erro padrão da média) em função do histórico de ano de cultivo de cultura anual, com presença (CG) ou não (SG) de Feijão-Guandu.

Feijão Guandu	Anos	Espigas de milho (1.000 espigas ha ⁻¹)	Prolificidade (espigas planta ⁻¹)	Grãos por espiga (g esp ⁻¹)	Índice de Colheita
CG	1°	45,00 (\pm 3,91)	0,90 (\pm 0,081)	337 (\pm 8,68) b	0,55 (\pm 0,095) b
	3°	47,09 (\pm 2,76)	0,96 (\pm 0,057)	388 (\pm 6,14) a	0,79 (\pm 0,067) a
SG	1°	45,21 (\pm 2,76)	0,83 (\pm 0,057)	312 (\pm 6,14) b	0,44 (\pm 0,067) b
	3°	49,17 (\pm 3,91)	0,94 (\pm 0,081)	387 (\pm 8,68) a	0,71 (\pm 0,095) a
p-value (Guandu)		0.7436	0.5731	0.0846	0.2896
p-value (Anos)		0.3981	0.2650	<.0001*	0.0141*
p-value (Guandu*Anos)		0.7817	0.7123	0.09962	0.8288

Médias seguidas por letras minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$)*. Índice de colheita: Matéria seca dos grãos/matéria seca total.

A análise de componentes principais utilizando os dados de produção de grãos demonstra clara separação entre o histórico de 1° e 3° ano de cultivo em sistema integrado decorrente principalmente do primeiro componente que explicou 46,5% da variância dos dados (Figura 1). Para o histórico de cultivo prévio de Feijão-Guandu, não foi possível observar uma separação entre as observações nos dois primeiros componentes.

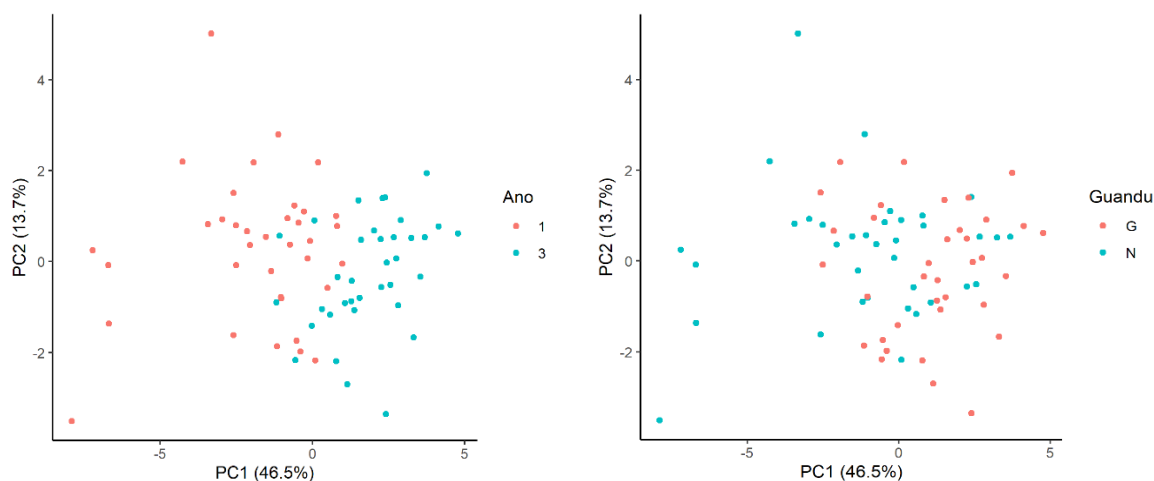


Figura 1. Representação gráfica dos resultados individuais das observações de acordo com os dois primeiros componentes principais utilizando os dados de produção de grãos. A esquerda as observações foram identificadas conforme o ano de cultivo agrícola e a direita conforme o histórico de cultivo prévio de Feijão-Guandu na área. Entre parênteses no título dos eixos indica a proporção da variância total explicada por cada componente.

As variáveis com contribuição significativa para a primeira dimensão da análise de componentes principais foram produtividade de grãos e espigas por hectare, índice de colheita, prolificidade e matéria seca de milho (Figura 2). Todas essas variáveis apresentaram correlação positiva e significativa com a primeira dimensão. Portanto, o 3º ano de cultivo foi relacionado com aumento na produtividade de grãos na área. Observa-se que a população e a proporção de matéria seca de braquiária se posicionaram de maneira oposta no primeiro componente, indicando uma relação inversamente proporcional com as variáveis de produtividade de grãos e aumento dessas variáveis relacionada à braquiária nas observações de primeiro ano de cultivo (Figura 2).

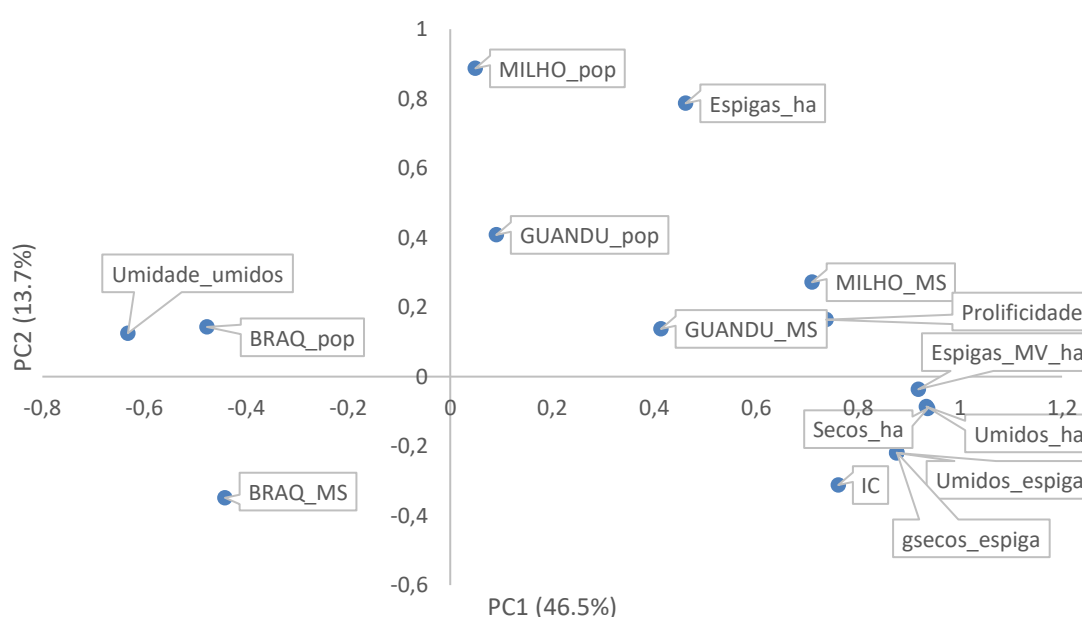


Figura 2. Coordenadas das variáveis analisadas conforme os dois primeiros componentes da análise de componentes principais (PCA) com os dados de produção de grãos.

Produção e composição nutricional da silagem de área total

A produtividade total da silagem apresentou diferença ($P < 0,05$) em função dos anos, sendo que na área de primeiro ano agrícola a produção foi de 3.606 (± 216) kg de MS ha^{-1} e na área de terceiro ano foi de 5.142 (± 216) kg de MS ha^{-1} . Não houve diferença ($P > 0,05$) para nenhum fator analisado quanto à presença prévia do Feijão-Guandu na área.

Os componentes de produção da silagem de área total estão apresentados na Tabela 3. Os resultados demonstram que a produção de forragem (kg de MS ha^{-1}) da braquiária e do milho apresentaram diferenças em função do histórico agrícola. A braquiária

apresentou maior ($P < 0,05$) produção na área de primeiro ano de lavoura, enquanto o milho foi maior ($P < 0,05$) no terceiro ano. Para o Feijão-Guandu, não foram verificados ($P > 0,05$) nenhum efeito.

O mesmo efeito foi observado sobre a proporção da matéria seca total da forragem, em que a área de primeiro ano agrícola a braquiária apresentou maior ($P < 0,05$) participação que no terceiro ano, enquanto o milho apresentou maior ($P < 0,05$) proporção no terceiro ano, quando comparado ao primeiro. Não houve diferença ($P > 0,05$) na população do milho e do feijão-Guandu. Já a braquiária apresentou maior ($P < 0,05$) população na área com histórico de primeiro ano agrícola.

Tabela 3. Componentes de produção da silagem de área total (\pm erro padrão da média) em função do histórico do ano agrícola.

Ano	Matéria Seca (kg MS ha⁻¹)	Proporção na Matéria Seca Total de forragem (%)	População (plantas ha⁻¹)
Braquiária			
1°	627 (± 105) a	18,56 ($\pm 3,29$) a	77.222 (± 8.051) a
3°	284 (± 105) b	5,48 ($\pm 3,29$) b	47.222 (± 8.051) b
p-value (Ano)	0,037*	0,014*	0,019*
Feijão Guandu			
1°	223 ($\pm 62,5$)	6,01 ($\pm 1,43$)	61.778 (± 9.326)
3°	269 ($\pm 62,5$)	4,81 ($\pm 1,43$)	61.556 (± 9.326)
p-value (Ano)	0,613	0,560	0,987
Milho			
1°	2.966 (± 355) b	75,40 ($\pm 3,15$) b	51.389 (± 2.946)
3°	5.185 (± 355) a	89,70 ($\pm 3,15$) a	56.111 (± 2.946)
p-value (Ano)	0,0006*	0,006*	0,276

Médias seguidas por letras minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$)*. Os dados referentes à presença prévia ou não do guandu não aparecem por causa da ausência do efeito significativo.

Quanto à composição nutricional de cada componente forrageiro, o milho foi o único componente que apresentou diferença ($P < 0,05$) sobre a proteína bruta entre os anos na área que não houve presença do Feijão-Guandu (Tabela 4). Já para o FDA, o milho diferiu ($P < 0,05$) tanto para o histórico de ano agrícola quanto para a presença prévia do Feijão-Guandu ou não. Não houve diferença para FDN, lignina e matéria mineral.

Tabela 4. Composição nutricional da forragem de braquiária, milho e feijão-Guandu (\pm erro padrão da média) em função do ano agrícola, com ou sem Feijão-Guandu prévio na área e da forragem total antes da ensilagem.

Feijão Guandu	Ano	Braquiária	Milho	Feijão-Guandu	Milho + Braquiária + Guandu
Proteína bruta (g kg⁻¹)					
CG	1°	80,1 (\pm 5,41)	58,2 (\pm 3,52)	173 (\pm 20,2)	66,0 (\pm 5,34)
	3°	77,2 (\pm 3,95)	64,2 (\pm 2,49)	171 (\pm 14,3)	74,3 (\pm 3,84)
SG	1°	77,5 (\pm 3,83)	55,4 (\pm 2,49) b	185 (\pm 16,9)	68,8 (\pm 3,84)
	3°	76,6 (\pm 5,84)	72,5 (\pm 3,52) a	152 (\pm 21,6)	74,0 (\pm 5,34)
Fibra em detergente ácido (g kg⁻¹)					
CG	1°	412 (\pm 9,98)	281 (\pm 5,50) b	465 (\pm 17,0)	378 (\pm 13,06)
	3°	418 (\pm 7,74)	307 (\pm 3,89) a	499 (\pm 11,7)	348 (\pm 9,40)
SG	1°	417 (\pm 6,93)	320 (\pm 3,89) a	425 (\pm 14,2)	363 (\pm 9,24)
	3°	439 (\pm 11,12)	276 (\pm 5,50) b	449 (\pm 12,1)	332 (\pm 13,06)
Fibra em detergente neutro (g kg⁻¹)					
CG	1°	731 (\pm 7,18)	621 (\pm 26,1)	612 (\pm 20,6)	638 (\pm 16,1)
	3°	719 (\pm 5,76)	627 (\pm 18,5)	655 (\pm 14,2)	608 (\pm 11,6)
SG	1°	735 (\pm 4,94)	636 (\pm 18,5)	570 (\pm 17,3)	633 (\pm 11,4)
	3°	742 (\pm 8,25)	704 (\pm 26,1)	584 (\pm 22,1)	579 (\pm 16,1)
Lignina (g kg⁻¹)					
CG	1°	42,9 (\pm 5,23)	32 (\pm 1,99) b	166 (\pm 14,43)	65,3 (\pm 4,83)
	3°	47,9 (\pm 3,96)	40 (\pm 1,41) a	190 (\pm 9,92)	65,6 (\pm 3,49)
SG	1°	45,9 (\pm 3,65)	37,8 (\pm 1,41)	158 (\pm 12,26)	56,4 (\pm 3,42)
	3°	57,3 (\pm 5,69)	34,6 (\pm 1,99)	161 (\pm 15,55)	61,8 (\pm 4,83)
Matéria mineral (g kg⁻¹)					
CG	1°	73,2 (\pm 4,11)	46,2 (\pm 1,63)	52,8 (\pm 4,19)	56,2 (\pm 2,46)
	3°	78,9 (\pm 2,97)	43,9 (\pm 1,15)	49,4 (\pm 2,92)	53,9 (\pm 1,74)
SG	1°	76,6 (\pm 2,85)	44,8 (\pm 1,15)	54,3 (\pm 3,44)	58,4 (\pm 1,74)
	3°	74 (\pm 4,40)	44,1 (\pm 1,63)	51,4 (\pm 4,44)	56,2 (\pm 2,46)

Médias seguidas por letras minúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$)*, para comparação entre anos. Os dados não foram significativos para a presença prévia ou não do feijão-Guandu.

Quanto à composição nutricional (Tabela 5), a silagem de área total não apresentou diferença ($P > 0,05$) em nenhuma composição, nem em anos e nem quanto à presença de Feijão-Guandu prévio na área. Já a silagem de milho diferiu ($P < 0,05$) na proteína bruta, FDA e FDN. Quanto à PB, houve diferença em relação a presença prévia do Feijão-Guandu na área (A e B na coluna), sendo que, independentemente do ano, as

áreas que não continham Feijão-Guandu apresentaram maior teor. Mas, o melhor resultado obtido em PB foi na área de histórico agrícola de 2016/2017 sem presença do Feijão-Guandu. Em relação ao FDA e FDN, os maiores teores foram observados nas áreas com histórico agrícola de primeiro ano de cultivo de lavoura.

Tabela 5. Composição nutricional da silagem de milho e da silagem de área total (\pm erro padrão da média) em função do histórico do ano agrícola e da presença de Feijão-Guandu previamente na área.

Tratamentos		PB	FDA	FDN	LIG	MM
g kg^{-1}						
Silagem milho						
Guandu prévio – (<i>p</i> -value)		0,0001*	0,8904	0,7894	0,1304	0,7686
Ano agrícola – (<i>p</i> -value)		<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*	0,2013	0,2025
Ano*Guandu – (<i>p</i> -value)						
Médias						
CG	1°	53,4 ($\pm 1,51$) B	302 ($\pm 4,41$) a	534 ($\pm 6,85$) a	34,1 ($\pm 1,37$)	49,1 ($\pm 1,09$)
	3°	58,1 ($\pm 0,95$) B	286 ($\pm 3,12$) b	505 ($\pm 4,84$) b	30,8 ($\pm 0,97$)	51,6 ($\pm 0,77$)
SG	1°	60,3 ($\pm 1,07$) b A	311 ($\pm 3,12$) a	546 ($\pm 4,84$) a	35,6 ($\pm 0,97$)	50,1 ($\pm 0,77$)
	3°	70,1 ($\pm 1,50$) a A	275 ($\pm 4,41$) b	490 ($\pm 6,85$) b	33 ($\pm 1,37$)	50,1 ($\pm 1,09$)
Silagem área total						
Guandu prévio – (<i>p</i> -value)		0,7647	0,7037	0,9238	0,1144	0,9342
Ano agrícola – (<i>p</i> -value)		0,9066	0,3839	0,2364	0,9975	0,1123
Ano*Guandu – (<i>p</i> -value)						
Médias						
CG	1°	67,6 ($\pm 4,32$)	335 ($\pm 11,51$)	551 ($\pm 16,1$)	49 ($\pm 5,17$)	54 ($\pm 1,95$)
	3°	70,5 ($\pm 3,05$)	329 ($\pm 8,14$)	535 ($\pm 11,4$)	50 ($\pm 3,66$)	51,3 ($\pm 1,38$)
SG	1°	69,8 ($\pm 3,12$)	334 ($\pm 8,14$)	551 ($\pm 16,1$)	42,4 ($\pm 3,66$)	54 ($\pm 1,38$)
	3°	66 ($\pm 4,32$)	322 ($\pm 11,51$)	532 ($\pm 11,4$)	41,5 ($\pm 5,17$)	51 ($\pm 1,95$)

Médias seguidas por letras minúsculas e maiúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$)*. Médias seguidas por letras maiúsculas A/B comparam a presença prévia do guandu na área e; médias seguidas por letras minúsculas a/b comparam o efeito do histórico do ano agrícola.

A análise de componentes principais utilizando os dados de produção de silagem constata as diferenças entre o histórico de 1° e 3° ano de cultivo integrado para a composição nutricional e produtividade das silagens (Figura 3). Já em relação ao cultivo prévio de Feijão-Guandu na área, não houve efeito para as variáveis observadas.

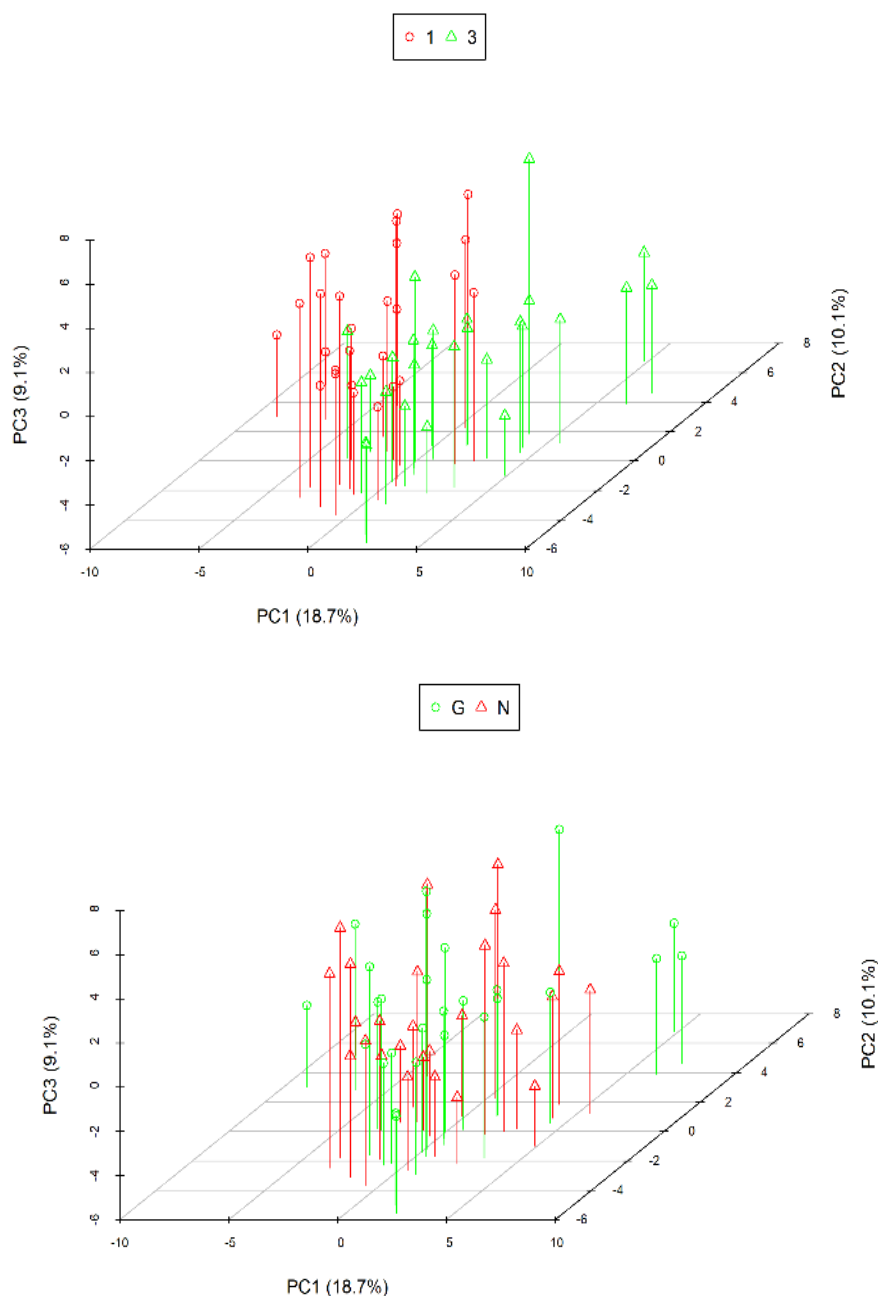


Figura 3. Representação gráfica da disposição das observações de acordo com os três primeiros componentes (PC1; PC2; PC3) da análise de componentes principais utilizando os dados de produção de silagem. Na figura superior, as observações foram identificadas conforme o ano de cultivo agrícola (1 e 3) e a inferior conforme o histórico de cultivo prévio de Feijão-Guandu (G e N) na área. Entre parênteses no título dos eixos indica a proporção da variância total explicada por cada componente. O ano 1 equivale a 2014/2015 e o ano 3 a 2016/2017.

A primeira dimensão contribuiu significativamente para a separação entre 1 e 3º ano, explicando 18,7% da variância. As variáveis contribuintes foram proporção e produção de matéria seca e produtividade total do milho, que resultaram em melhor digestibilidade e qualidade da silagem. Portanto, a melhoria da qualidade nutricional e da produção estão relacionados ao aumento da produtividade do milho na área. Ressalta-se ainda que a população, a proporção e produção de MS se encontram inversamente proporcionais ao milho, assim como também se relacionam com menor teor de FDN e FDA da silagem.

DISCUSSÃO

A qualidade e rendimento do milho são influenciados pela natureza do solo, pela disponibilidade de água e a nutrição da planta (Chauhaun et al., 2013). Quando em cultivos consorciados, a produtividade vai sofrer influência também de fatores como densidade populacional, cultivares utilizadas e das relações ecológicas estabelecidas (Alla et al., 2014), sendo que todas estas variáveis estão intimamente relacionadas entre si.

O histórico da área influenciou a dinâmica de produtividade do milho, com aumento na PB do milho e na produtividade nas áreas de 3º ano (2016/2017). Tal aumento pode ser assimilado à melhoria da fertilidade do solo, decorrentes dos manejos exigentes da cultura agrícola, como por exemplo o manejo de solo com gradagem, nivelção e aplicação de gesso, e, a maior quantidade de adubação realizada nas áreas, fatores estes que não estão presentes nas áreas de 1º ano agrícola. Esse resultado é justificado também por Alvarenga et al. (2016), que relatam o milho não sendo adaptado a áreas com pastagem degradada, acarretando rendimentos inferiores quando comparado com áreas agrícolas já estabelecidas.

Essa adaptação do milho a áreas de maior fertilidade pode ser observado também no resultado do índice de colheita (IC). O IC é uma medida de eficiência da planta de milho, que se caracteriza pela proporção de fotoassimilados direcionados aos grãos (Pinto Junior, 2016). Quanto maior for esse IC, melhor é o aproveitamento para o rendimento de grãos, pois índices baixos indicam que a adaptação ao ambiente não foi boa (Kawano, 1990). Assim, os maiores índices observados nos tratamentos de 2016/2017 demonstram a excelente adaptação do milho quanto à melhoria da fertilidade e quanto ao consórcio com o feijão-Guandu e a braquiária.

À medida que a área vai sendo melhorada, a cultura do milho consegue se desenvolver melhor e alcançar maiores resultados, enquanto a braquiária, adaptada a solos menos exigentes em fertilidade (Rao et al., 1996), concentra seu crescimento em espaços não ocupados por ele. Tal fato pode ser observado na figura 2, em que, o 3º ano de cultivo foi relacionado com aumento na produtividade de grãos na área e foi oposta à população e MS da braquiária na área.

O Feijão-Guandu tem seu potencial associado aos efeitos provocados pela fixação biológica de nitrogênio na área, e ao fornecimento de N para a cultura subsequente (Marcante et al., 2011; Neres et al., 2012). Entretanto, no presente trabalho, a presença prévia do feijão-Guandu na área não diferenciou os resultados, demonstrando ausência do efeito potencial dessa planta. Resultado semelhante foi relatado por Costa et al. (2020) que realizaram um estudo avaliando o efeito residual da adubação mineral parcelada da mandioca aos 60 e 120 dias após o plantio e o efeito residual da adubação verde do feijão-Guandu anão no milho em rotação. Os autores verificaram que a produtividade do milho foi incrementada à medida que a adubação mineral na mandioca foi mais tardia e que, o uso de leguminosas parece ter efeito passageiro nos componentes de produtividade da agricultura familiar em condições de solo arenoso. De acordo ainda com os autores, os resíduos das leguminosas são rapidamente degradados, assim para aproveitar os nutrientes provenientes da mineralização, é necessário conciliar o manejo da planta com a necessidade nutricional em cada fase fenológica do milho, sendo recomendado, para esta prática, o consórcio da leguminosa com o cereal.

Alguns autores relatam resultados semelhantes a respeito da eficiência residual do feijão-Guandu. Chieza et al. (2017) relatam que, em sistemas integrados é importante o manejo de espécies que apresentam liberação de nutrientes em sincronia com a demanda da cultura principal. Santos et al. (2019) descrevem que cultivos consorciados tendem a ser significativos para o acúmulo de matéria orgânica e de nutrientes, após alguns ciclos de produção. Santiani et al. (2020) realizaram o Diagnóstico Rápido de Estrutura do Solo (DRES) e a Resistência mecânica do Solo a Penetração (RSP) após dois anos de cultivo do milho com braquiária e feijão-Guandu e relataram que o feijão-Guandu apresentou os menores índices de alterações no solo, assim como também Farias et al. (2013) relatam o feijão-Guandu como menos eficiente em descompactação.

Para a produtividade da silagem de área total, os resultados foram semelhantes ao do milho, sendo maiores nas áreas com 3º ano agrícola (2016/2017). Essa maior produção está precisamente associada a maior produção de MS do milho e consequente a maior

proporção na MS total da forragem, no qual teve aumento de quase 15% (tabela 3). Considerando que, na MS dos alimentos, estão compreendidos os principais componentes nutricionais como carboidratos, proteínas e minerais (Paziani et al., 2009), um aumento na produtividade dessa MS proporciona aumento no acúmulo de nutrientes da planta (IQBAL et al., 2019), fornecendo maior quantidade de nutriente por unidade de alimento consumido.

Quanto à composição nutricional, somente a silagem de milho apresentou alteração em função dos anos, com melhoria refletida principalmente na elevação da proteína bruta e na diminuição dos teores de FDN e FDA. A FDN é importante para os ruminantes nutricionalmente, alimentos ricos em frações fibrosas podem ocasionar o enchimento ruminal, limitando a ingestão de MS (Ribeiro et al., 2020), a FDA por sua vez está relacionada ao grau de digestibilidade da silagem, apresentando maiores proporções de frações indigestíveis, como por exemplo a lignina (Rosa et al., 2004). Assim, a silagem oriunda de áreas com maior histórico agrícola apresenta melhor valor nutricional, potencializando seu efeito na nutrição animal.

CONCLUSÃO

Verificou-se que os componentes de produtividade, principalmente do milho, alteraram em razão do histórico da área, apresentando menores valores em áreas com primeiro ano de integração comparados a áreas de terceiro ano.

Os componentes de produção da silagem de área total também sofreram modificações, e, nos tratamentos referentes a área de terceiro ano, houve maior participação do componente milho, em razão da maior produtividade do mesmo.

De modo geral, o histórico da área teve maior influência sobre a produção, não alterando a composição nutricional dos componentes em si.

Pode se afirmar que, o sistema de integração lavoura pecuária tem potencial em melhorar a fertilidade do solo quando comparado ao sistema convencional de produção, em virtude, principalmente das práticas agrícolas exercidas como rotação de culturas, exploração de profundidade do solo via raiz e adubações.

A presença do feijão-Guandu não foi significativa na alteração dos resultados. Dessa forma, sugere-se a realização de novos estudos em sistemas de integração lavoura pecuária visando compreender a dinâmica da leguminosa na área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, L. F., da Silva, A. J., & Nascimento, V. A. PRODUÇÃO DE *Brachiaria brizantha* cv. BRS paiaguas SOB DIFERENTES TIPOS DE PLANTIO NO SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA. **Revista Interação Interdisciplinar (ISSN: 2526-9550)**, v. 1, n. 1, p. 38-49, 2017.
- Alla, W. H., Shalaby, E. M., Dawood, R. A., & Zohry, A. A. Effect of cowpea (*Vigna sinensis* L.) with maize (*Zea mays* L.) intercropping on yield and its components. **International Scholarly and Scientific Research & Innovation**, v. 8, n. 11, p. 1258-1264, 2014.
- Alvarenga, R. C.; Cobucci, T.; Kluthcouski, J.; Wruck, F. J.; Cruz, J. C.; Gontijo Neto, M. M. A cultura do Milho na Integração Lavoura-pecuária. Brasília, DF: **Circular Técnica EMBRAPA**, 2016.
- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**, 18th ed.; Horwitz, W., Latimer, G.W., Jr., Eds.; Association of Official Analytical Chemists: Gaithersburg, MD, USA, 2011.
- Balbino, L. C., Cordeiro, L. A. M., Porfírio-da-Silva, V., Moraes, A. D., Martínez, G. B., Alvarenga, R. C., ... & Galerani, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 0-0, 2011.
- Batista, E. R., Zanchi, C. S., Ferreira, D. A., Santiago, F. D. A., Pinto, F. A., Santos, J. D., ... & Carneiro, M. C. Atributos biológicos do solo em sistema integrado de produção agropecuária. **Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil. Tubarão, Copiart**, p. 71-90, 2018.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. **Journal of Statistical Software**, v. 67, p. 1-48, 2015.
- Calicioglu, O., Flammini, A., Bracco, S., Bellù, L., & Sims, R. The future challenges of food and agriculture: An integrated analysis of trends and solutions. **Sustainability**, v. 11, n. 1, p. 222, 2019.
- Chauhan, Y. S., Solomon, K. F., & Rodriguez, D. Characterization of north-eastern Australian environments using APSIM for increasing rainfed maize production. **Field Crops Research**, v. 144, p. 245-255, 2013.
- Chieza, E. D.; Guerra, J. G. M.; Araújo, E. S.; Espíndola, J. A.; Fernandes, R. C. Produção e aspectos econômicos de milho consorciado com *Crotalaria juncea* L. em diferentes intervalos de semeadura, sob manejo orgânico. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, n.2, p. 189-196, 2017.
- Chioderoli, C. A., de Mello, L. M., Grigolli, P. J., Silva, J. O. D. R., & Cesarin, A. L. Consorciação de braquiárias com milho outonal em plantio direto sob pivô central. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 6, p. 1101-1109, 2010.

- Conte, O., Flores, J. P. C., Cassol, L. C., Anghinoni, I., Carvalho, P. C. D. F., Levien, R., & Wesp, C. D. L. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1301-1309, 2011.
- Costa, F. D. S., Tavella, L., Bravin, M., De Souza, J. F., & Lambertucci, D. Adubação mineral para mandioca e efeito residual no milho em rotação em solo arenoso de Mâncio Lima, Juruá, Oeste do Acre, Sudoeste da Amazônia brasileira. **Embrapa Acre-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2020.
- Crusciol, C. A., Soratto, R. P., Borghi, E., & Mateus, G. P. Benefits of integrating crops and tropical pastures as systems of production. **Better Crops**, v. 94, n. 2, p. 14-16, 2010.
- Cruz, S. C. S., Pereira, F. R. D. S., Bicudo, S. J., Albuquerque, A. W. D., Santos, J. R., & Machado, C. G. Nutrição do milho e da Brachiaria decumbens cultivados em consórcio em diferentes preparos do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, p. 733-739, 2008.
- Dias Cardoso, M. R., Noronha Marcuzzo, F. F., & Barros, J. R. Climatic classification of Koppen-Geiger for the state of Goiás and the Federal District. **Revista Acta Geografica**, v. 8, n. 16, p. 40-55, 2014.
- Duarte, A. P., Silva, A. C., & Deuber, R. Plantas infestantes em lavouras de milho safrinha, sob diferentes manejos, no médio Paranapanema. **Planta Daninha**, v. 25, n. 2, p. 285-291, 2007.
- Farias, L. N.; Bonfim-Silva, E. M.; Pietro-Souza, W.; Vilarinho, M. K. C.; Silva T. J. A.; Guimarães, S. L. Características morfológicas e produtivas de feijão guandu anão cultivado em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17,n.5, p.497-503, 2013.
- Freitas, R. J. D., Nascente, A. S., & Santos, F. L. D. S. População de plantas de milho consorciado com Brachiaria ruziziensis. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 1, p. 79-87, 2013.
- Hassen, A., Talore, D. G., Tesfamariam, E. H., Friend, M. A., & Mpanza, T. D. E. Potential use of forage-legume intercropping technologies to adapt to climate-change impacts on mixed crop-livestock systems in Africa: a review. **Regional Environmental Change**, v. 17, n. 6, p. 1713-1724, 2017.
- Iqbal, M. A.; Hamid, A.; Ahmad, T.; Siddiqui, M. H.; Hussain, I.; Sajid Ali, S.; Anser Ali, A.; Zahoor Ahmad, Z. Forage sorghum-legumes intercropping: effect on growth, yields, nutritional quality and economic returns. **Bragantia**, Campinas, v. 78, n. 1, p. 82-95, 2019.
- Kassambara, A. ggpubr: 'ggplot2' Based Publication Ready Plots. **R Package Version 0.4.0**. 2020. Available online: <https://CRAN.R-project.org/package=ggpubr> (accessed on 29 July 2020).

- Kassambara, A.; Mundt, F. factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. **R Package Version 1.0.7**. 2020. Available online: <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra> (accessed on 10 August 2020).
- Kawano, K. Harvest index and evolution of major food crop cultivars in the tropics. **Euphytica**, v. 46, n. 3, p. 195-202, 1990.
- Lê, S.; Josse, J.; Husson, F. FactoMineR: AnRPackage for Multivariate Analysis. **Journal of Statistical Software**. V. 25, p. 1-18, 2008.
- Lenth, R.; Singmann, H.; Love, J.; Buerkner, P.; Herve, M. Emmeans: Estimated Marginal Means, Aka Least-Squares Means. **R Package Version 1.4.8**. 2020. Available online: <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans> (accessed on 1 August 2020).
- Longhini, V. Z., Andreotti, M., de Souza, W. C. R., Costa, N. R., Teixeira Filho, M. C. M., & Montanari, R. Nitrogen fertilization and inoculation with diazotrophic bacteria in corn intercropped with xaraés grass. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 3, p. 340-347, 2017.
- Lüscher, A., Mueller-Harvey, I., Soussana, J. F., Rees, R. M., & Peyraud, J. L. Potential of legume-based grassland–livestock systems in Europe: a review. **Grass and forage science**, v. 69, n. 2, p. 206-228, 2014.
- Marcante, N. C., Camacho, M. A., & Junior, F. P. P. Teores de nutrientes no milho como cobertura de solo. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 2, 2011.
- Mertens, D.R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. **Journal of AOAC international**, v. 85, n. 6, p. 1217-1240, 2002.
- Moreira, J. F. M., Costa, K. A. P., Severiano, E. C., Simon, G. A., Cruvinel, W. S., & Bento, J. C. Nutrientes em cultivares de *Brachiaria brizantha* e estilosantes em cultivo solteiro e consorciado. **Archivos de zootecnia**, v. 62, n. 240, p. 513-523, 2013.
- Neres, M. A., Castagnara, D. D., Silva, F. B., Oliveira, P. S. R. D., Mesquita, E. E., Bernardi, T. C., ... & Vogt, A. S. L. Características produtivas, estruturais e bromatológicas dos capins Tifton 85 e Piatã e do feijão-guandu cv. Super N, em cultivo singular ou em associação. **Ciência Rural**, v. 42, n. 5, p. 862-869, 2012.
- Oligini, K. F., Salomão, E. C., Batista, V. V., Link, L., Adami, P. F., & Sartor, L. R. Produtividade de milho consorciado com espécies forrageiras no sudoeste do Paraná. **Agrarian**, v. 12, n. 46, p. 434-442, 2019.
- Oliveira, P. S. R., Fittipaldi, W. L. S. L., Júnior, P. O., Gualberto, R., & Guimarães, A. M. Efeitos de tipos de preparo do solo e uso de gesso agrícola sobre as características químicas e produtividade de milho e braquiária em cultivo consorciado. **Scientia Agraria Paranaensis**, p. 53-65, 2007.

- Pariz, C. M., Andreotti, M., Azenha, M. V., Bergamaschine, A. F., de Mello, L. M. M., & Lima, R. C. Massa seca e composição bromatológica de quatro espécies de braquiárias semeadas na linha ou a lanço, em consórcio com milho no sistema plantio direto na palha. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 32, n. 2, p. 147-154, 2010.
- Paziani, S. D. F.; Duarte, A. P.; Nussio, L. G.; Boller, P.; Maris, C.; Bittar, M.; Zopollatto, M.; Reco, P. C., Características agronômicas e bromatológicas de híbridos de milho para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, p.411–417, 2009.
- Pinto Junior, R. A. Controle Genético do Índice de Colheita no Feijoeiro. **Dissertação** – Universidade Federal de Lavras, 2016.
- R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. 2020. Available online: <https://www.r-project.org/> (accessed on 13 February 2021).
- Rao, I. M., Kerridge, P. C. & Macedo, M. C. M. Nutritional requirements of brachiaria and adaptation to acid soils. In: Miles, J. W., Maass, B. L., Valle, C. B. & Kumble, V. (eds.). **Brachiaria: biology, agronomy, and improvement**. Campo Grande: CIAT. 1996.
- Ribeiro, P. H. C., de Lima Júnior, V., Urbano, S. A., dos Santos Menezes, M., Neta, M. D. L. T., Costa, M. G., ... & Inácio, J. G. Consumo e desempenho de cordeiros confinados alimentados com diferentes níveis de fibra em detergente neutro. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 16964-16975, 2020.
- Rosa, J.R.P.; Silva, J.H.S.; Restle, J.; Pascoal, L.L.; Brondani, I.L.; Alves Filho, D.C. e Freitas, A.K. Avaliação do comportamento agrônômico da planta e valor nutritivo da silagem de diferentes híbridos de milho (*Zea mays*, L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, 33: 302-312. 2004.
- Salton, J. C., Mercante, F. M., Tomazi, M., Zanatta, J. A., Concenço, G., Silva, W. M., & Retore, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 70-79, 2014.
- Santiani, L., Rossato, O. B., Contini, R. P., Vortmann, I., & Eisenhardt, J. Consórcio de milho com forrageiras: atributos físicos do solo e produtividade de massa seca. In: **Colloquium Agrariae**. p. 36-46. 2020.
- Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Dos Anjos, L. H. C., De Oliveira, V. A., Lumbreras, J. F., Coelho, M. R., ... & Cunha, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018., 2018.
- Santos, H. D. C., Carvalho, F. L. D. C., & Camelo, I. I. Efeito da adubação verde nos atributos físico-químicos do solo no extremo norte Tocantinense. **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. CONTECC**. Palmas/TO, Set. 2019.
- Seidel, E. P., Gerhardt, I. F. S., Castagnara, D. D., & Neres, M. A. Efeito da época e sistema de semeadura da *Brachiaria brizantha* em consórcio com o milho, sobre os

componentes de produção e propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 55-66, 2014.

Sharma, R. C., & Banik, P. Baby corn-legumes intercropping systems: I. Yields, resource utilization efficiency, and soil health. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 39, n. 1, p. 41-61, 2015.

Szeląg-Sikora, A., Sikora, J., Niemiec, M., Gródek-Szostak, Z., Kapusta-Duch, J., Kuboń, M., ... & Karcz, J. Impact of integrated and conventional plant production on selected soil parameters in carrot production. **Sustainability**, v. 11, n. 20, p. 5612, 2019.

Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of dairy science**, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, 1991.

Vilela, L., Martha Junior, G. B., Macedo, M. C. M., Marchão, R. L., Guimarães Júnior, R., Pulrolnik, K., & Maciel, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, 2011.

Wang, Z. G., Jin, X., Bao, X. G., Li, X. F., Zhao, J. H., Sun, J. H., ... & Li, L. Intercropping enhances productivity and maintains the most soil fertility properties relative to sole cropping. **PloS one**, v. 9, n. 12, p. e113984, 2014.

Wickham, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**; Springer: New York, NY, USA, 2016.

CAPÍTULO II – PRODUÇÃO ANIMAL EM DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE COLHEITA DO MILHO EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a produtividade animal durante um ano após o uso de três formas diferentes de colheita do consórcio triplo de milho, braquiária e Feijão-Guandu (silagem de forragem em área total, silagem de grãos úmidos e sem colheita). Este trabalho avalia a produção animal tanto em pastejo após a colheita quanto em confinamento, com a utilização da silagem de área total e silagem de grão úmido. Na safra 2016-2017 foi semeado o consórcio triplo de milho + braquiária + Feijão-Guandu igualmente em toda a área (9 hectares). A combinação dos sistemas de colheita da área determinou os três tratamentos: colheita em área total para produção de silagem; colheita de grão úmido para produção de silagem; e área sem colheita. Para o primeiro pastejo e confinamento foram utilizados 30 bovinos machos não castrados da raça Nelore. Após um período de descanso de 119 dias das áreas do primeiro pastejo, foi possível a realização de um segundo pastejo com bois F1 (Nelore x Angus). A análise dos dados foi realizada utilizando modelos mistos e análise de componentes principais. Os resultados indicaram que a curto prazo a área que apresentou maior produtividade animal foi a área sem colheita, entretanto, a longo prazo, essa área apresentou menor eficiência de uso e que a área colhida para silagem de forragem em área total apresentou maior produtividade animal. Os resultados observados aqui podem servir de orientação para tomada de decisão de acordo com o cenário econômico.

Palavras-chave: forragem; silagem; pastejo; confinamento.

ABSTRACT

The present work aims to evaluate, the system of animal production in triple intercropping of corn, brachiaria and pigeon pea, both in grazing after harvest and in confinement, using total area silage and wet grain silage. In the 2016-2017 harvest, the triple consortium of corn + brachiaria + pigeon pea was equally spread over the entire area (9 hectares). The combination of harvesting systems in the area determined the three treatments: harvesting the total area for silage production; wet grain harvest for silage production; and area without harvest. For the first grazing and feedlot, 30 male Nelore bovines were used. After a rest period of 119 days from the first grazing areas, it was possible to carry out a second grazing with F1 bulls (Nelore x Angus). Data analysis was performed using ANOVA and principal component analysis. The results indicated that in the short term, the area with the highest animal productivity was the area without harvest, however, in the long term, this area showed less efficiency of use while the area harvested for total silage showed the best result, being used both in grazing and in feedlot. The results observed here can serve as a guide for decision making according to the economic scenario.

Key-Words: forage; silage; grazing; feedlot.

INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os principais fornecedores de produtos agropecuários a nível mundial (Lopes et al., 2016). No que diz respeito à atividade de bovinocultura de corte, o país se encontra como segundo maior produtor, atrás apenas dos Estados Unidos, porém segue líder quanto à exportação da carne produzida (Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes Bovinas – Abiec, 2020). Fatores como extensão territorial, condições edafoclimáticas, disponibilidade de água, baixos custos de produção e ações governamentais de controle e erradicação de enfermidades colocam o país nessa posição de destaque, possibilitando a oferta contínua de carne de qualidade a preços competitivos (Braga et al., 2015).

Devido às crescentes pressões para redução do desmatamento e aumento da produtividade em pastagens, a pecuária extensiva tem sofrido diversas transformações (Dias-Filho, 2011), com o desafio de melhorar a produção de alimentos estabelecendo sistemas de baixo impacto ambiental e resistente às mudanças climáticas (Godfray et al. al., 2010).

Nesse contexto, os sistemas integrados surgem como oportunidade para recuperar as interações ecológicas no uso da terra (Lemaire et al., 2014). Esses sistemas são planejados para explorar sinergismos e propriedades emergentes, frutos de interações nos compartimentos solo-planta-animal. No Brasil, esses sistemas são mais conhecidos pela denominação de integração lavoura-pecuária, que são interações planejadas em diferentes escalas espaço-temporais, abrangendo a exploração de cultivos agrícolas (grãos, floresta etc.) e produção animal (ruminantes e não ruminantes) na mesma área, de forma concomitante ou sequencial (Moraes et al., 2014).

No sistema ILP na região do Cerrado é comum o consórcio de culturas graníferas anuais com forrageiras tropicais, principalmente as do gênero *Brachiaria* (Garcia et al., 2012). Esse sistema expõe diversas vantagens no que diz respeito a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, a quebra de ciclo de doenças, diminuição da infestação de insetos-praga e plantas daninhas, bem como na redução dos custos de recuperação e renovação de pastagens (Anghinoni et al., 2013; Vilela et al., 2011), além de fornecer alimento aos animais durante o período seco.

Além das gramíneas, as leguminosas também podem ser inseridas em sistemas de consórcio, como por exemplo a crotalária (*Crotalaria juncea*) e o feijão-Guandu (*Cajanus cajan*) (Bonetti et al., 2015). As leguminosas atuam sendo responsáveis pela fixação de

nitrogênio no solo e acúmulo de matéria seca no sistema, tornando alternativa eficiente e que beneficia a área produtiva e as culturas que serão implantadas em sucessão (Ribeiro et al., 2011). Da Silva et al. (2018) ao avaliar a recuperação de pastagem degradada pelo consórcio de milho, *Braquiária brizantha* cv. Marandu e Feijão-Guandu, concluíram que o uso deste consórcio não causa prejuízos à cultura do milho em relação aos seus componentes de produção, e a utilização do Feijão-Guandu elevou a produção do capim. Assim, o consórcio milho + braquiária + Feijão-Guandu se apresenta como alternativa promissora para a realização da ILP, uma vez que não afeta, de forma significativa, o acúmulo de massa da cultura principal (Da Silva Guimarães et al., 2017), e grande parte da produção de biomassa pode ser utilizada como fonte alimentar para ruminantes (Franzluebbers e Stuedemann, 2007).

Ainda se tem pouca informação de como o método de colheita do milho pode afetar a produtividade animal subsequente na área, uma vez que, no caso da colheita de área total, o corte de todo o material disponível pode prejudicar a população do Feijão-Guandu, necessitando de maior tempo de rebrote para a entrada dos animais. Já em relação à colheita de grãos úmidos, esta pode beneficiar tanto a produção animal em pastejo subsequente na área como também a produção de animais em sistemas de confinamento, visto que, estes grãos permitem a antecipação da colheita em 20 a 30 dias (Costa et al., 1999) quando comparados com grãos secos e geram um produto de maior digestibilidade ao ser ensilado em meio anaeróbico (Owens & Basalan, 2013).

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a produtividade animal decorrente de três estratégias de colheita do milho em consórcio com braquiária e Feijão-Guandu. O presente trabalho avaliou a produtividade animal tanto em pastejo após a colheita quanto em confinamento considerando a eficiência de conversão dos produtos (silagem e grãos úmidos).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Escola, pertencente ao Instituto Federal Goiano (IF Goiano) no município de Iporá (16°25'29''S e 51°09'04''W, com altitude média de 602 metros), durante os anos de 2016 e 2017. De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Aw (tropical, com inverno seco e verão quente e chuvoso), com temperatura média de 24,4°C e pluviosidade média anual de 1613 mm (Dias Cardoso et al., 2014). O solo da área experimental é caracterizado como Cambissolo, de acordo com o Sistema Brasileira de Classificação de Solos (Santos, 2018).

Os procedimentos adotados com os animais nesta pesquisa estiveram de acordo com os princípios éticos da experimentação animal e aforam provados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA), do Instituto Federal Goiano sob protocolo de número 4263020316.

Delimitação experimental e tratamentos

Em 23 de novembro de 2016 foi realizada a semeadura do híbrido de milho BM 840 com espaçamento entrelinhas de 0,80 m e densidade de 60.000 sementes ha⁻¹, utilizando semeadora múltipla. Na adubação de base, utilizou-se 310 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Simultaneamente, foram semeados o feijão-Guandu e a Braquiária, sendo o semeio do Feijão-Guandu (cv. Super N) nas entrelinhas do milho com espaçamento de 0,80 m (13,30 kg.ha⁻¹) e a *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés semeada utilizando o mecanismo de distribuição de sementes miúdas (11,70 kg ha⁻¹), distribuídas superficialmente.

Quando o milho se encontrava em estágio V4 de desenvolvimento, foi realizada a adubação de cobertura, em toda a área, aplicando 250 kg ha⁻¹ de N a lanço. Não houve aplicação de herbicida pós-emergente para a cultura do milho. Também não houve necessidade de controlar o crescimento inicial da forrageira, pelas diferenças no tempo de emergência das plântulas de milho e do capim.

A área foi então dividida em 6 piquetes de 1,5 hectares cada, totalizando 6 parcelas experimentais, com 3 tratamentos e 2 repetições, sendo os tratamentos formados pela combinação dos sistemas de colheita: colheita de área total (SIL); colheita de grão úmido (GU) e área sem colheita (SC). Como se tratava de área de recuperação de pastagem degradada com baixa fertilidade com climatologia bastante desafiadora, optou-se pela não colheita no tratamento SC.

Em 22 de fevereiro de 2017, aos 90 dias após o plantio (DAP), realizou-se a primeira colheita, nos piquetes que representavam o tratamento da silagem de área total. O material foi colhido quando o milho se encontrava no momento ótimo para ensilagem (no estágio de ¼ de grão leitoso, com 30 a 35% de matéria seca).

Em 20 de março de 2017, realizou-se a segunda colheita, nos piquetes que representavam o tratamento da silagem de grão úmido. O material foi colhido aos 118 DAP, quando os grãos apresentavam entre 25 e 35% de umidade, momento ótimo de ensilagem de acordo com a literatura (Jobim et al., 2003).

Fase 1 – 1º pastejo

Após a colheita das áreas para produção de silagem de área total e grão úmido, todos os piquetes foram disponibilizados para pastejo animal. Foram utilizados 30 bovinos machos não castrados da raça Nelore com peso corporal (PC) inicial médio de 345 kg e idade média de 18 meses, distribuídos entre os 6 piquetes. Os animais foram pesados no início do período experimental com jejum prévio de sólidos e de líquidos de aproximadamente 12 horas.

A entrada dos animais no experimento ocorreu em função da disponibilidade de forragem, sendo que, nas áreas com tratamento SC e GU, a entrada foi simultânea, no dia 23 de março de 2017, enquanto no tratamento de SIL, houve um período de descanso para permitir a rebrota da Braquiária e do Feijão-Guandu, sendo a entrada determinada no dia 12 de abril de 2017.

O método de pastejo utilizado foi o contínuo com lotação variável, segundo a técnica “*put-and-take*”, descrita por Mott & Lucas (1952), utilizando 3 animais “testes” por piquete e os demais animais utilizados como “volantes” para ajuste de carga. Os ajustes foram realizados a cada 21 dias, com base nas pesagens dos animais (com jejum prévio de 4 horas) e nas avaliações das forragens.

A análise de composição química da forragem foi realizada utilizando um “pool” de amostras coletadas ao primeiro pastejo e de amostras coletadas ao segundo pastejo. O material foi utilizado para determinação dos teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e matéria mineral (MM), de acordo com as técnicas descritas pelo AOAC (2011); fibra em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA) de acordo com técnicas descritas por Van Soest (1991), adaptado por Mertens (2002).

Os animais receberam diariamente 2 g kg⁻¹ de peso vivo (PV) de suplemento durante todo o período de pastejo igualmente entre os tratamentos. O suplemento era composto por 62,7% de milho, 22% de farelo de soja (46% de PB), 1,5% de ureia, 6,7% de sal comum, 3,2% de calcário, 1,9% de fosfato bicálcico e 2% de núcleo de microminerais. Esse núcleo continha: Cálcio (máx) 150 g kg⁻¹, Cálcio (mín) 130 g kg⁻¹, Cobalto 30 mg kg⁻¹, Cobre 500 mg kg⁻¹, Cromo Orgânico 10 mg kg⁻¹, Enxofre 8.000 mg kg⁻¹, Flúor 330 mg kg⁻¹, Fósforo 30 g kg⁻¹, Iodo 30 mg kg⁻¹, Magnésio 2.500 mg kg⁻¹, Manganês 1.000 mg kg⁻¹, Selênio 8,5 mg kg⁻¹, Sódio 115 g kg⁻¹, Zinco 1.700 mg kg⁻¹, Narasina 500 mg kg⁻¹. O suplemento, portanto, continha 20% de Proteína Bruta (PB), 72,6% de nutrientes digestíveis totais (NDT), 2,93% de Extrato Etereo (EE), 1,74% de Cálcio (Ca) e 0,64% de Fósforo (P).

Os bois permaneceram em pastejo até 14/06/2017, quando foram encaminhados para o confinamento. O final do período de pastejo foi determinado pelo resíduo mínimo de forragem almejado de 1000 kg de MS ha⁻¹.

Fase 2 – Confinamento

Os animais permaneceram em confinamento durante 91 dias, sendo 7 de adaptação e 84 dias de período experimental. Os tratamentos foram a silagem de área total (SIL) e a silagem de grão úmido (GU). Os animais foram classificados quanto ao peso corporal (PC) e distribuídos nos dois grupos experimentais. Os tratamentos no confinamento foram independentes dos tratamentos que os animais pertenceram na fase de pastejo. Os animais foram mantidos em baias individuais durante o período de confinamento.

A descrição dos ingredientes e composição nutricional das dietas do confinamento se encontram na Tabela 1. As dietas foram formuladas e balanceadas para atender as exigências nutricionais diárias de bovinos de corte da raça Nelore em confinamento com ganho de peso esperado de 1,5 kg/dia (NRC, 2000).

Os animais foram pesados a cada 14 dias, após jejum de sólidos de 12 horas, visando a avaliação do desempenho, de acordo com o tratamento utilizado.

Os 30 animais foram abatidos em um frigorífico localizado no município de Mineiros/GO, dotado de Sistema de Inspeção Federal (SIF), após jejum de sólidos de doze horas. Após o abate, obteve-se o peso de cada carcaça para determinação do rendimento de carcaça quente.

Tabela 1. Proporção (%) dos ingredientes das dietas experimentais no confinamento com base na matéria seca e composição química média das dietas.

Ingredientes	Silagem de Area total (%)	Silagem de grão úmido (%)
Silagem de milho + Feijão-Guandu + braquiária	48.2	-
Silagem de cana	-	39.7
Silagem de grão úmido de milho	-	50.0
Sorgo grão moído	42.7	-
Milho grão moído	-	-
Farelo de soja	6.6	7.8
Ureia	0.8	0.8
Núcleo mineral comercial*	1.0	1.0
Bicarbonato de sódio	0.7	0.7
Composição química		
Proteína Bruta	12.1 ± 0.40	11.2 ± 0.40
Extrato etéreo	2.6 ± 0.29	3.1 ± 0.29
FDN	40.3 ± 4.10	36.5 ± 4.10
FDA	23.4 ± 2.67	23.1 ± 2.67
CNF	39.6 ± 3.55	45.1 ± 3.55
ELL	1.61 ± 0.078	1.64 ± 0.078
NDT	70.7 ± 2.59	71.8 ± 2.59
Cinzas	5.4 ± 0.19	4.1 ± 0.17
Cálcio	0.34 ± 0.029	0.22 ± 0.029
Fósforo	0.26 ± 0.011	0.17 ± 0.011

*Composição química: Cálcio (máx) 260 g kg⁻¹ Cálcio (mín) 240 g kg⁻¹ Cobalto 61 mg kg⁻¹ Cobre 1.010 mg kg⁻¹ Enxofre 26 g kg⁻¹ Flúor 660 mg kg⁻¹ Fósforo 60 g kg⁻¹ Iodo 61 mg kg⁻¹ Magnésio 5.000 mg kg⁻¹ Manganês 2.020 mg kg⁻¹ Selênio 17 mg kg⁻¹ Zinco 3.400 mg kg⁻¹ Flavomicina 200 mg kg⁻¹.

As variáveis analisadas para determinar o melhor tratamento no confinamento foram: ganho de peso diário ((peso corporal final – peso corporal inicial)/84); ganho em peso durante todo o período (peso corporal final – peso corporal inicial); ganho em carcaça (kg animal⁻¹) calculado pela diferença entre o peso de carcaça quente (PCQ) e o peso de carcaça inicial (PCI), que foi estimado considerando rendimento médio de 50% (PCI = Peso vivo inicial x 0,50); rendimento do ganho ((ganho em carcaça / ganho em peso corporal⁻¹) x 100), rendimento de carcaça ((peso da carcaça / peso corporal⁻¹) x 100); Consumo de Matéria Seca (kg de MS animal⁻¹) mensurado pela diferença entre a quantidade de alimento fornecido no dia e a quantidade das sobras de alimento do dia anterior; e Conversão Alimentar (kg de MS / kg de carcaça⁻¹ e Consumo médio de MS / ganho médio de peso).

Fase 3 – 2º pastejo

Após um período de descanso de 119 dias das áreas do primeiro pastejo, foi possível a realização de um segundo pastejo com 24 bois F1 (Nelore x Angus) com aproximadamente 12 meses de idade e peso corporal médio de 240,6 kg. Os animais adentraram na área na data de 11/10/2017.

Os animais também foram suplementados com o mesmo suplemento citado anteriormente, na quantia média de 2 g kg de PV diariamente, durante todo o período de pastejo, sendo fornecidos igualmente entre os tratamentos. O método de pastejo utilizado foi o contínuo com lotação variável, segundo a técnica “*put-and-take*”, descrita por Mott & Lucas (1952). Os ajustes foram realizados a cada 21 dias, com base nas pesagens dos animais (com jejum prévio de 4 horas) e nas avaliações das forragens.

A última pesagem dos animais na data de 14/04/2018 encerrou a presente avaliação, totalizando um ano completo de pastejo após a entrada dos animais na área de colheita de silagem de área total no ano anterior. Esse segundo pastejo avaliou a disponibilidade e composição média da forragem na área (braquiária e Feijão-Guandu) e o desempenho animal, sendo considerados o ganho em peso individual ($\text{kg animal}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), a lotação média (kg ha^{-1}) e o ganho em peso por hectare (kg ha^{-1}).

Análises estatísticas

Os dados de produção animal em pastejo e confinamento, bem como a quantidade e qualidade de forragem foram analisados utilizando o software R. Quando identificado a significância do efeito dos três tratamentos, as médias foram comparadas com o teste Tukey. Para avaliação do peso dos animais e da quantidade/qualidade da forragem, foi utilizado o seguinte modelo misto:

$$Y_{ij} = X\beta + Z\alpha + e$$

Em que:

$X\beta$ = matriz de efeitos fixos (tratamentos e dias);

$Z\alpha$ = matriz de efeitos aleatórios (piquete);

e = vetor de erros.

Para análise da produtividade em sistema de confinamento foi utilizado o seguinte modelo misto:

$$Y_{ij} = X\beta + Z\alpha + e$$

Em que:

$X\beta$ = matriz de efeitos fixos (tratamentos e dias);

$Z\alpha$ = matriz de efeitos aleatórios (animal);

e = vetor de erros.

Para avaliação dos dados de carcaça foi utilizado o seguinte modelo linear:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

Em que:

Y = rendimento de carcaça;

T = tratamento;

e = erro.

RESULTADOS

Produtividade animal em pastejo – fase I

A forragem disponível na área apresentou composição diferente entre as diferentes estratégias de colheita (Figura 1). No momento da colheita da silagem de área total, a quantidade de matéria seca era semelhante entre os tratamentos para os três componentes. Dezoito dias depois (15/03/2017), no momento da colheita de grãos úmidos de milho, percebe-se considerável aumento na quantidade de matéria seca de braquiária e Feijão-Guandu.

Após a colheita da silagem de área total, observa-se a participação quase exclusiva da braquiária na forragem disponível na rebrota. A colheita de grãos úmidos ainda deixa maior quantidade de resíduo de milho na área. Na área sem colheita, observa-se a predominância da presença de milho sobre as outras culturas.

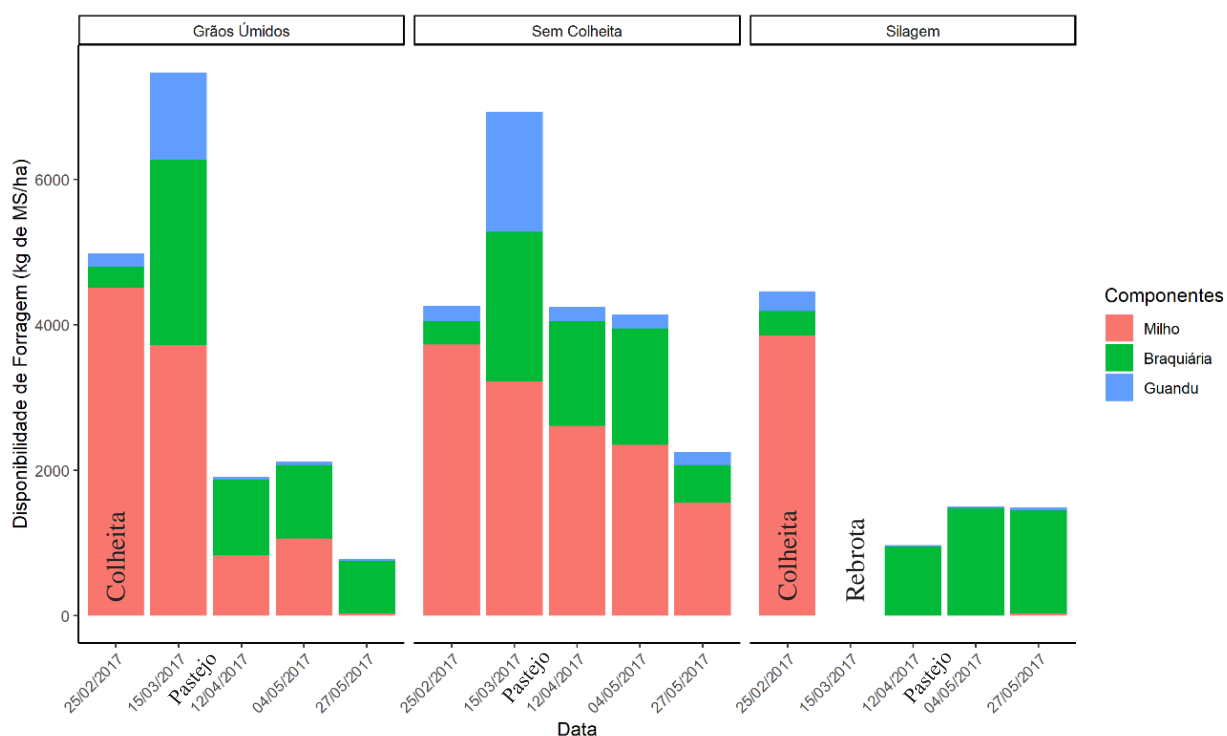


Figura 1. Composição da forragem disponível na área de acordo com as três estratégias de uso do consórcio triplo de milho, braquiária e Feijão-Guandu.

Avaliando a disponibilidade dos componentes em cada tratamento, o milho, a braquiária e Feijão-Guandu apresentaram diferenças ($p < 0,05$) (Tabela 2), de modo que, a área sem colheita apresentou, de forma expressiva, maior disponibilidade de MS. Já as áreas de SIL e GU não diferiram estatisticamente, pois nas duas houve a colheita do milho, diminuindo assim a disponibilidade total de MS.

Para a composição química, o milho, Feijão-Guandu e a forragem total não apresentaram diferenças em nenhum dos tratamentos. Já os valores de PB, FDN e NDT da braquiária foram influenciados pelos tratamentos de colheita.

O teor de PB diminuiu em quase a metade do tratamento SIL para o tratamento SC, como também ocorreu redução no teor de NDT. Já o FDN foi inversamente proporcional, tendo aumento do tratamento SIL para o SC.

Tabela 2. Disponibilidade média de forragem (kg MS ha^{-1}) e composição química média durante o pastejo de abril a junho de 2017.

Componentes	Milho			Feijão-Guandu			Braquiária			Forragem Total		
	SIL	GU	SC	SIL	GU	SC	SIL	GU	SC	SIL	GU	SC
MS (kg ha^{-1})	0 b	639.8 b	2171.9 a	19.7 b	40.6 b	189.8 a	1286 b	926 b	1688 a	1322 b	1604 b	3571 a
PB (%)	-	5.95	6.17	25	25.5	24.8	7.25 a	5.67 b	4.0 c	6.72	6.17	6.54
EE (%)	-	2	1.87	3.4	1.4	3.1	1.88	1.73	1.75	1.92	1.8	1.64
FDA (%)	-	26.1	27	48.8	46.4	51.5	44.9	45.5	46.8	44.3	44.2	38
FDN (%)	-	45.2	49.9	60.2	69	62.2	68.7 b	70.8 ab	76.7 a	70.8	70.5	61.4
LIG (%)	-	0.9	2.3	26	17.2	24.5	4.38	4.83	4.45	4.7	5.33	5.1
NDT (%)	-	64	60.9	62.3	56.6	60.8	48.8 a	46.7 a	42 b	47.2	47.1	53.4

Letras minúsculas nas linhas indicam diferença significativa entre os tratamentos com $p < 0.05$.

Quanto à produção animal nessa primeira fase de pastejo, os animais entraram com peso inicial médio de 348 kg e saíram com peso médio final a cerca de 410 kg. O ganho em peso individual não apresentou diferença entre os tratamentos, entretanto, a área sem colheita apresentou maior ganho em peso por hectare, em virtude da maior taxa de lotação média na área (Tabela 3).

Tabela 3. Peso e desempenho animal em pastejo de abril a junho de 2017.

	Peso Vivo médio de Entrada (kg)	Peso Vivo médio de Saída (kg)	Consumo médio de suplemento (kg animal ⁻¹ dia ⁻¹)	Ganho em peso individual (kg animal ⁻¹ dia ⁻¹)	Lotação média (kg ha ⁻¹)	Ganho em peso por ha (kg ha ⁻¹)
SIL	360	413	0.228	0.836	610 c	105 x
GU	344	410	0.305	0.805	887 b	154 xy
SC	342	408	0.327	0.789	1361 a	210 y
p	0.48	0.946	0.138	0.95	< 0.001	0.082
EPM	11.7	12	0.034	0.105	17.5	20.6

A,b,c: indicam diferença significativa com $p < 0.05$. x,y: indicam diferença com $p = 0.074$. EPM: Erro padrão da média conforme o modelo estatístico analisado pela função emmeans do pacote emmeans do software R.

Para a taxa de lotação, os resultados apresentam relação com a forma de colheita da área, havendo superioridade de lotação para a área que não foi colhida (Figura 2). A área que foi colhido todo o material iniciou com menor taxa de lotação, visto o tempo necessário de rebrota para a braquiária e Feijão-Guandu, e permaneceu com menor taxa durante todo o período experimental (SIL= 1,35 UA ha⁻¹). Já a área de GU apresentou lotação (1,97 UA ha⁻¹), sendo mais elevada que o tratamento SIL, porém abaixo do tratamento sem colheita (SC= 3,02 UA ha⁻¹), e isso era esperado pois, não houve necessidade de rebrota das forrageiras na área, de modo a permitir seu crescimento constante e maior acúmulo de MS. Já o tratamento SC apresentou maior taxa de lotação pois não houve colheita de nenhum material, e o acúmulo de massa (Tabela 2) na área foi maior que nos outros tratamentos.

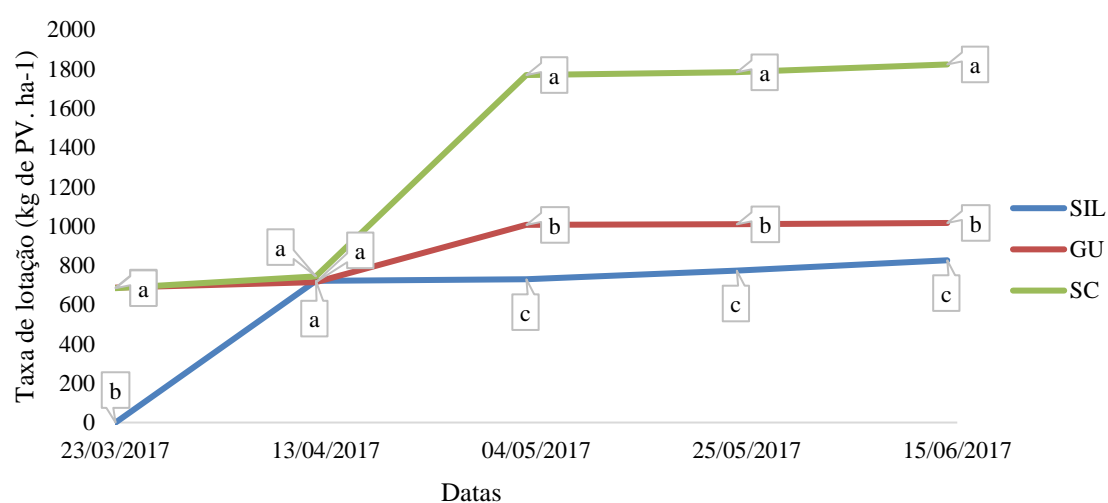


Figura 2. Taxa de lotação do pastejo de acordo com as três estratégias de uso do consórcio triplo de milho, braquiária e Feijão-Guandu. a,b,c: indicam diferença significativa entre os tratamentos com $p < 0.05$.

Produtividade animal em confinamento – fase 2

Após o período de pastejo, os animais foram encaminhados para o confinamento e o resultado de produtividade pode ser observado na Tabela 4. O ganho em peso total no confinamento se diferenciou de acordo com o tratamento utilizado ($p < 0,05$). Os animais do tratamento recebendo silagem de área total apresentaram peso vivo médio inicial de 404 kg e peso final ao abate de 561 kg, totalizando ganho de peso total de 158 kg, enquanto os animais do tratamento recebendo silagem de grão úmido iniciaram com peso vivo de 412 kg e peso final ao abate de 541 kg, totalizando ganho total de 129 kg durante o período. O Ganho médio diário apresentou o mesmo padrão, sendo maior (1,88 kg) para os animais recebendo SIL comparado aos animais recebendo GU (1,54), sendo a diferença de 0,340 kg animal⁻¹.dia⁻¹.

Para os resultados de carcaça, também houve diferença entre os tratamentos, sendo que o tratamento SIL proporcionou maior ganho em carcaça (108,6 kg) e maior rendimento de carcaça (55,2%) comparado ao tratamento GU (84,6 kg e 53,7%, respectivamente). O efeito do tipo de silagem ofertada foi significativo para essas variáveis.

Tabela 4. Resultado de produtividade no confinamento.

Variáveis	Tratamentos				
	SIL	GU	p conf	P pasto	P conf*pasto
Peso Inicial (kg animal ⁻¹)	404	412	0.27	0.80	0.43
Peso Final (kg animal ⁻¹)	561	541	0.96	0.78	0.79
Ganho em peso vivo diário (kg animal ⁻¹ dia ⁻¹)	1.88 a	1.54 b	0.03	0.67	0.60
Ganho em peso no confinamento (kg animal ⁻¹)	158 a	129 b	0.02	0.68	0.82
Ganho em carcaça no confinamento (kg animal ⁻¹)	108.6 a	84.6 b	< 0.001	0.64	0.34
Rendimento do ganho (%)	68.8	65.5	0.29	0.51	0.11
Peso de carcaça quente (kg animal ⁻¹)	310	291	0.99	0.41	0.34
Rendimento de carcaça (%)	55.2 a	53.7 b	0.02	0.59	0.09
Consumo de Matéria Seca (kg de MS animal ⁻¹)	862	733	0.42	0.40	0.47
Conversão Alimentar (kg de MS Kg Carc. Prod. ⁻¹)	7,93	8,66	0.28	0.39	0.10
Conversão Alimentar (kg de MS Kg de PV ⁻¹)	5,45	5,68	0.83	0.69	0.78

a,b: indicam diferença significativa com $p < 0,05$. SIL: silagem de área total. GU: silagem de grão úmido.

Pconf/Ppasto: p-value com diferença significativa com $p < 0,05$. Pconf*pasto: interação entre confinamento e pasto.

Os animais alimentados com o tratamento de SIL apresentaram melhor desempenho, com maior ganho de peso e rendimento de carcaça durante o período, sendo, portanto, mais eficientes.

Quando se analisa, de maneira isolada, o impacto de cada tratamento sobre a produtividade na área (Figura 3), tem que, o tratamento SIL apresentou maior produção de MS, sendo quase o dobro do valor produzido pelo GU. Esse resultado já era esperado pela presença dos componentes planta integral do milho, braquiária e Feijão-Guandu na área.

Outro resultado superior para o tratamento SIL é observado na produção em kg de carcaça, que foi de 221 kg comparado ao GU, de 168 kg. Vale ressaltar que, o tratamento SIL apresentou melhor conversão alimentar, visto que, mesmo produzindo maior quantidade em carcaça, utilizou de menor quantidade de kg de MS (8,95 kg versus 9,13 kg do GU).

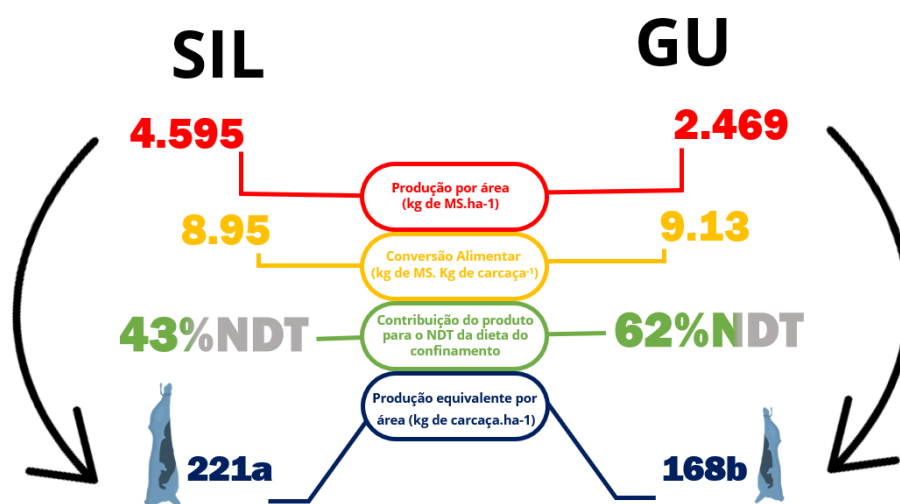


Figura 3. Resultado de produtividade por área com a produção animal em confinamento.

Produtividade animal em pastejo – fase 3

Após a saída dos animais em junho de 2017 a área permaneceu em descanso para rebrota das forrageiras. Durante esse período foi realizado acompanhamento da composição química da braquiária e do Feijão-Guandu na área, e, é possível observar as médias nas Tabelas 5 e 6. Os tratamentos de formas de colheita do milho não influenciaram na composição química dos materiais rebrotados.

Tabela 5. Produção e composição química média da forragem de braquiaria no período de setembro de 2017 a abril de 2018.

	GU	SC	SIL	EPM	p-value (tratamento)	p-value (tratamento*dia)
Pop (plantas m ⁻²)	6.6	5.77	5.78	0.32	ns	ns
MS (kg de MS ha ⁻¹)	3428	3051	3265	260	ns	ns
PB (%)	8.7	8.81	6.92	1.23	ns	ns
EE (%)	1.96	1.99	1.88	0.17	ns	ns
FDA (%)	42.2	42.6	42.3	0.82	ns	ns
FDN (%)	65.3b	67.4ab	68.4a	1.23	<0.001	0.011
LIG (%)	7.49	7.39	6.2	1.38	ns	ns
NDT (%)	51.7	50.4	50.1	1.52	0.095	ns

Não houve efeito significativo (p<0.05) para os tratamentos de formas de colheita do milho.

GU: grão úmido; SC: sem colheita; SIL: silagem de área total. EPM: Erro padrão da média conforme o modelo estatístico analisado pela função emmean do pacote emmeans do software R.

Na Tabela 6 é possível observar também que, mesmo com ausência de diferenças estatísticas, a área de SIL em que foi colhido todo o material, o Feijão-Guandu apresentou menor produção de MS comparado às áreas que sofreram apenas pastejo animal, evidenciando mais uma vez a baixa capacidade de rebrota dessa leguminosa.

Tabela 6. Produção e composição química média da forragem de Feijão-Guandu no período de setembro de 2017 a abril de 2018.

	GU	SC	SIL	EPM	p-value (tratamento)	p-value (tratamento*dia)
Pop (plantas m ⁻²)	0.68	0.91	0.65	0.33	ns	ns
MS (kg de MS ha ⁻¹)	82.5	189.4	28.8	64.6	ns	ns
PB (%)	16.8	16.0	13.9	1.04	ns	ns
EE (%)	2.99	3.02	2.85	0.16	ns	ns
FDA (%)	40.4	41.0	39.9	1.59	ns	ns
FDN (%)	57	57.8	57.2	1.45	ns	ns
LIG (%)	13.2	14.1	11	1.28	ns	ns
NDT (%)	60.8	59.8	59.4	1.25	ns	ns

Não houve efeito significativo (p<0.05) para os tratamentos de formas de colheita do milho.

GU: grão úmido; SC: sem colheita; SIL: silagem de área total. EPM: Erro padrão da média conforme o modelo estatístico analisado pela função emmean do pacote emmeans do software R.

Na Figura 4 é possível observar a disponibilidade de forragem de braquiária e Feijão-Guandu durante todo o período de avaliação do segundo pastejo. A disponibilidade de MS da braquiária até o mês de dezembro/2017 não diferiu entre os tratamentos. A partir de janeiro/2018, o tratamento GU obteve maior disponibilidade de MS (6352 kg MS⁻¹ ha⁻¹) em relação ao tratamento SIL (4198 kg MS⁻¹ ha⁻¹). Isto indica que os tratamentos que não foram realizados a colheita da braquiária permitiram maior

estabelecimento do forrageira e conseqüentemente maior potencial de rebrota após o primeiro pastejo dos animais. A produção de MS não se diferenciou entre os tratamentos a partir de fevereiro até o final do experimento, além de diminuir a disponibilidade de acordo com o decorrer dos dias avaliados, pelo baixo crescimento das plantas próximo ao início do período seco e ao consumo dos animais em pastejo.

Para o Feijão-Guandu os resultados são similares, e, também não foi verificado diferenças na produção de MS durante o período de setembro a novembro/2017, sendo a diferença observada no mês de dezembro/2017, em que o tratamento GU apresentou produção expressiva ($319 \text{ kg MS}^{-1} \text{ ha}^{-1}$) quando comparado ao tratamento SIL, que foi praticamente inexpressivo na disponibilidade de MS durante este período avaliativo. A partir de dezembro, a disponibilidade de MS do Feijão-Guandu tende a diminuir nos tratamentos até o período de abril/2018, e o tratamento SC apresenta aumento na disponibilidade da MS. Esse fato evidencia a capacidade que a leguminosa tem de manter sua produção preferencialmente no período seco do ano, além de reforçar o potencial de rebrota da planta, a qual foi mais intensa no tratamento com cortes menos frequentes. Costa et al. (2013) relatam resultado semelhante do desenvolvimento do Feijão-Guandu quando submetido a menores periodicidades de cortes.

Na Figura 4 é possível observar também que nos tratamentos SC e GU, os picos de produção do Feijão-Guandu antecederam os picos de produção da braquiária. Possivelmente, a maior presença do Feijão-Guandu nessa fase tenha sido favorável à maior produção de MS de braquiária no mês seguinte, disponibilizando principalmente N para seu crescimento. Ademais, a disponibilidade de braquiária se manteve acima dos $1000 \text{ kg MS ha}^{-1}$, enquanto o Feijão-Guandu ficou abaixo dos $500 \text{ kg MS ha}^{-1}$, demonstrando que em situações de competição interespecífica, a braquiária consegue se sobressair, visto que as leguminosas são menos eficientes no processo de fotossíntese e tendem a apresentar estabelecimento mais lento (Aguirre et al., 2014).

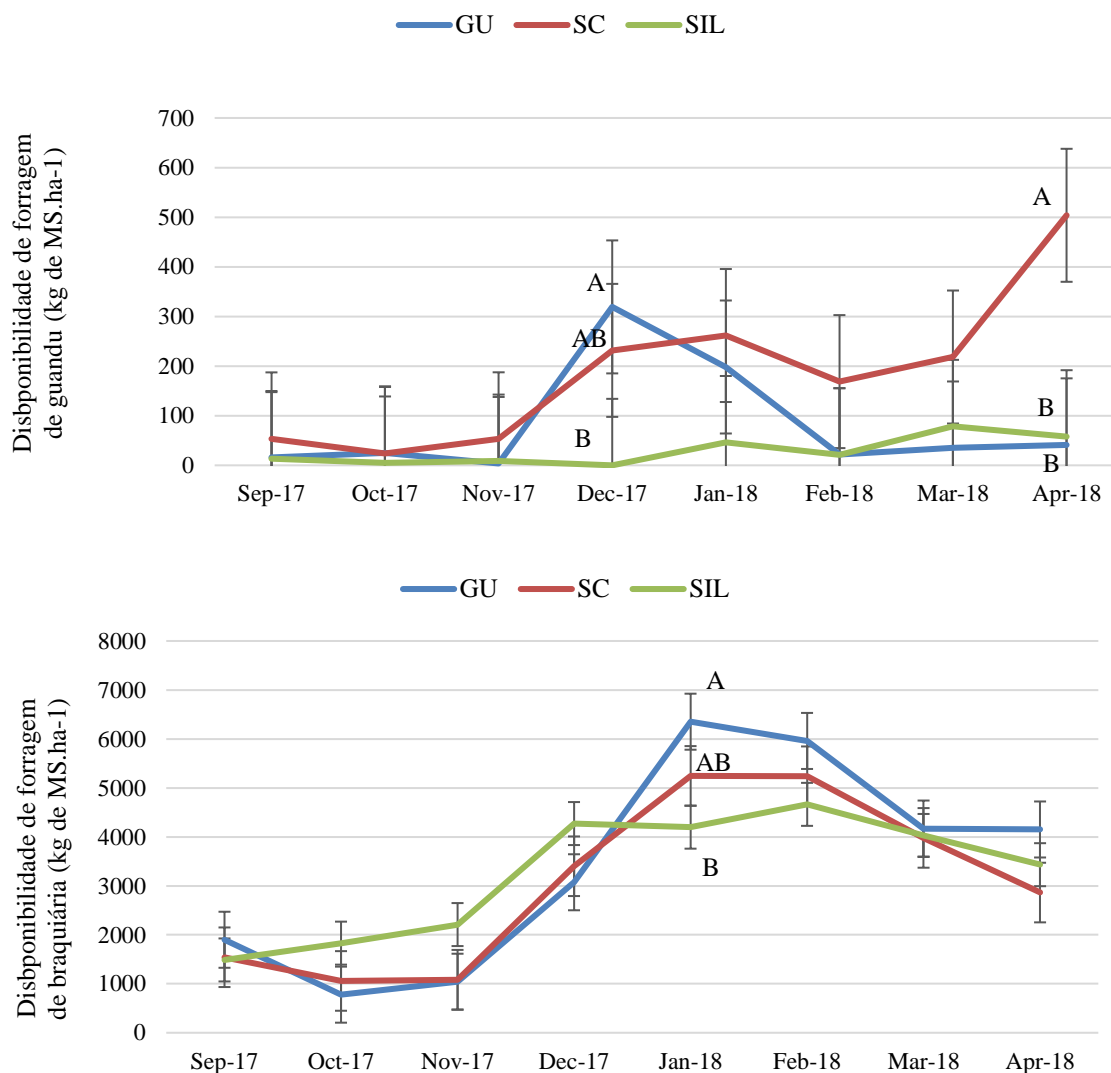


Figura 4. Disponibilidade de forragem de Feijão-Guandu (acima) e de braquiária (abaixo) no período de setembro de 2017 a abril de 2018.

A,B: indicam diferença significativa entre os tratamentos com $p < 0.05$.

Os dados de desempenho animal nessa segunda fase de pastejo apresentaram diferenças entre os tratamentos (Tabela 7). Os animais apresentaram peso vivo (PV) médio inicial de 243 kg e diferiram quanto ao PV de saída, sendo que, os animais pastejando na área com tratamento de SIL apresentaram maior ganho de peso (406 kg) comparado ao tratamento SC (376 kg), sendo a diferença equivalente a 1@/animal. Os animais apresentaram desempenho de 0,975 kg de PV dia⁻¹ para o tratamento correspondente a silagem de área total em contraste com 0,850 kg de PV dia⁻¹ do tratamento sem colheita, durante os 185 dias de pastejo.

Tabela 7. Peso e desempenho animal em pastejo de outubro de 2017 a abril de 2018.

	Peso Vivo médio de Entrada (kg)	Peso Vivo médio de Saída (kg)	Consumo médio de suplemento (kg animal ⁻¹ dia ⁻¹)	Ganho em peso individual (kg animal ⁻¹ dia ⁻¹)	Lotação média (kg ha ⁻¹)	Ganho em peso por ha (kg ha ⁻¹)
SIL	243	406 a	0.222	0.975 a	1177	605 a
GU	243	388 ab	0.188	0.863 b	1139	422 b
SC	233	376 b	0.188	0.850 b	1004	426 b

a,b: indicam diferença significativa com $p < 0,05$. PVentrada: peso vivo médio de entrada. PVsaída: peso vivo médio de saída. GPI: ganho em peso individual. TL: taxa de lotação média. TL UA: taxa de lotação. GP: ganho em peso por hectare

Possivelmente, esse maior ganho por hectare possa ser explicado pela maior produção inicial de MS na área, que permitiu maior taxa de lotação no início do período de pastejo e ao fato de que, a braquiária nos estádios iniciais de crescimento apresenta melhor valor nutritivo. Essa taxa de lotação e desempenho animal variando de acordo com a disponibilidade de forragem pode ser bem observada na Figura 5, que demonstra mês a mês, durante o período de avaliação.

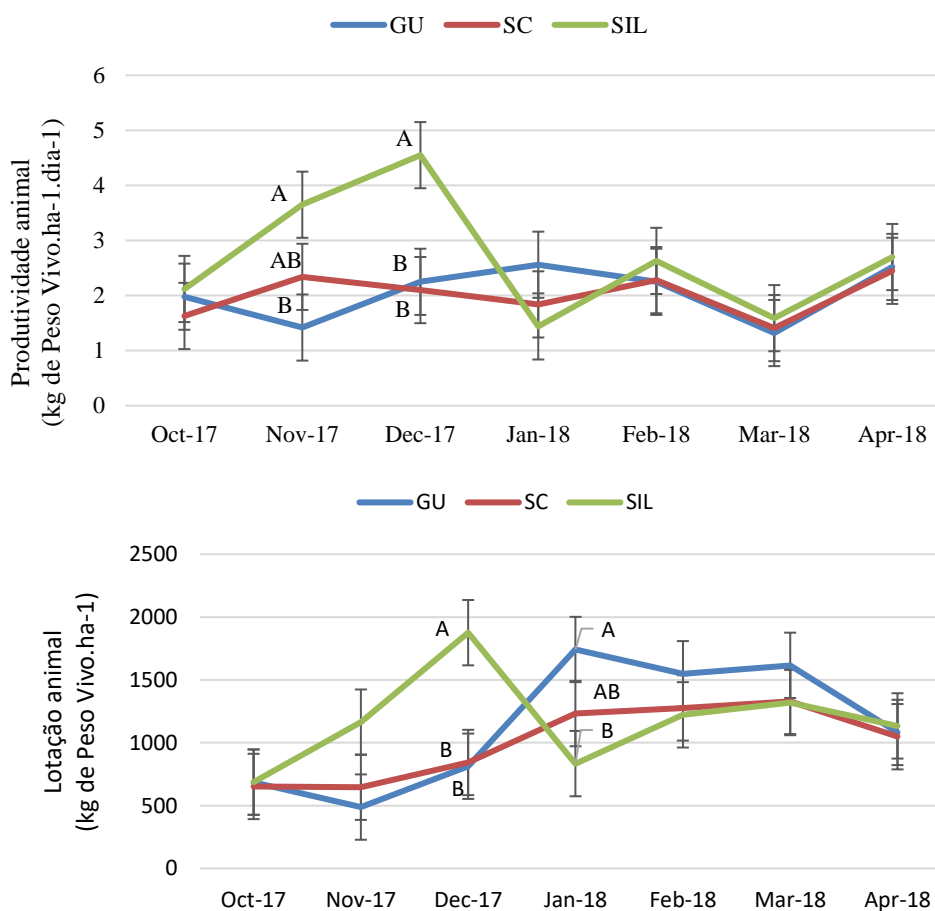


Figura 5. Produtividade animal (ganho em peso em kg de PesoVivo ha⁻¹ dia⁻¹) e lotação animal (kg de PesoVivo ha⁻¹) em pastejo de setembro de 2017 a abril de 2018. A,B: indicam diferença significativa com $p < 0,05$.

No primeiro gráfico, a lotação animal acompanhou o gráfico de disponibilidade de forragem (Figura 5), e para GU e SC o início foi menor e ao longo do tempo aumentou, e para SIL começou alto e foi diminuindo. Já no gráfico de produtividade, observa-se que para o tratamento SIL, a curva de resposta foi bem semelhante à taxa de lotação e produção forrageira, enquanto nos tratamentos GU e SC a produtividade se manteve abaixo, similar a produtividade de SIL.

Por fim, para avaliar a produtividade final do sistema integrado, a Figura 6 expõe os dados de produção animal durante todo o período de avaliação, com o primeiro pastejo, o confinamento e o segundo pastejo dos animais nas áreas, em diferentes estratégias de colheita do milho.

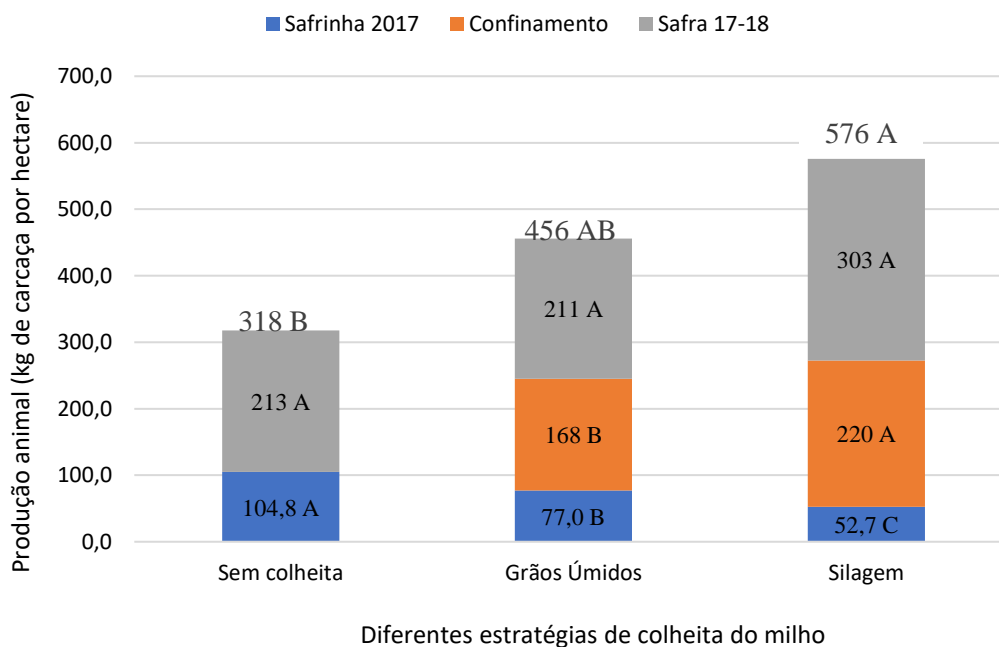


Figura 6. Produção animal em equivalente de carcaça por área durante o período de um ano devido a diferentes estratégias de colheita do milho. A,B,C: indicam diferença significativa entre os tratamentos com $p < 0.05$.

DISCUSSÃO

Os três tratamentos apresentaram produção de MS inicial semelhantes, entretanto, de acordo com a forma de colheita do milho, essa composição foi alterada. Para o tratamento SIL, toda a área foi submetida a colheita, e depois a rebrota para então ser pastejada, assim, nessa área, os animais tiveram a braquiária como principal forragem. Para o tratamento de GU, houve a colheita somente do milho, permanecendo o Feijão-Guandu e a braquiária na área. Já no tratamento SC, a presença dos três componentes na

área permitiu a maior produção total de MS para o pastejo, em relação aos outros tratamentos. Dessa maneira, considerando a oferta de forragem como um dos principais fatores determinantes para o desempenho animal individual e o desempenho por área (Mezzalana et al. 2012), a produção de MS do milho em consórcio foi eficiente, permitindo maior acúmulo e conseqüentemente maior taxa de lotação no tratamento SC no primeiro pastejo, sendo essa TL responsável pelo maior ganho em peso por hectare.

Assim, pensando em produção a curto prazo, o tratamento sem a colheita do milho permitiu maior produtividade animal, pela maior produção de MS e TL. Vale ressaltar que os 3 sistemas proporcionaram excelente ganho de peso dos animais, com média de 0,810 kg dia⁻¹ animal⁻¹. Considerando o período de pastejo coincidindo com o período de sazonalidade característico da região central do Brasil, esses desempenhos individuais estiveram bem acima da média nacional, demonstrando que, independentemente do tipo de colheita, sistemas integrados são ótima opção para mitigar os efeitos negativos da sazonalidade forrageira. Da Silva Evangelista et al. (2021) ao avaliarem o efeito da suplementação com sal mineral ou proteinado durante o período seco, sem uso da integração, encontraram valores de 0,299 kg e 0,316 kg, respectivamente, bem abaixo do relatado neste trabalho, evidenciando a importância de sistemas integrados no manejo de peso dos animais.

A redução no teor de PB da braquiária em razão dos tratamentos pode ser explicada pela permanência das plantas na área em maior período, sendo que, o capim em estágio de maturidade avançado apresenta teores baixos de PB, enquanto, nos estágios iniciais de maturidade, esse teor é mais elevado (Paciullo et al., 2001). Já o aumento observado nos teores de FDN é um processo natural em pastagens, descrito por Moraes et al. (2012), que relatam relação inversamente proporcional entre PB e FDN, de modo que, quando o teor de proteína diminui, o teor de FDN aumenta. Já o NDT apresentou relação inversa com o FDN. Resultados semelhantes são encontrados na literatura, em que Cappelle et al. (2001) e Olivo et al. (2009) relatam que, à medida que o teor de FDN foi aumentado, o teor de NDT da planta foi reduzido.

O resultado das formas de colheita do milho pode ser observado na avaliação da produtividade animal em confinamento. Ao se comparar as duas silagens produzidas, o tratamento SIL apresentou resultado superior para GPD e para ganho de peso no período, além de melhor rendimento de carcaça. Assim, pode-se definir esse tratamento como mais eficiente, pois aumentou o ganho de peso sem a necessidade de aumentar o consumo de MS.

Ainda, apesar do tratamento GU contribuir com quase 20% a mais dos nutrientes digestíveis para o NDT da dieta total, o tratamento SIL foi superior ao produzir quase o dobro de MS hectare⁻¹, pela presença dos 3 componentes. Assim, pode-se destacar a silagem de área total com potencial igual e/ou maior à silagem de grão úmido, uma vez que proporcionou melhor desempenho animal e o dobro de produção de MS.

A produção de biomassa após a colheita ou estabelecimento do milho na área é uma das variáveis de maior importância nos sistemas integrados, pois permite definir o ciclo de pastejo no período de entressafra e desempenha papel crucial na redução da erosão do solo (Franzluebbbers et al., 2012) e controle de plantas daninhas (Schuster et al., 2016). Além disso, permite a produção animal no período de ociosidade da área, proporcionando fonte de renda extra aos produtores (Oliveira et al., 2014).

Dessa forma, após a realização do primeiro pastejo e da terminação dos animais em confinamento, as áreas dos respectivos tratamentos permitiram a produção de mais um ciclo animal em pastejo de braquiária e feijão-Guandu.

Nessa segunda fase, os tratamentos apresentaram o mesmo padrão de crescimento de forragem, com início em setembro, pico de produção após 4 meses e a queda em seguida, devido ao pastejo. O Feijão-Guandu apresentou menor disponibilidade de MS e maior variação de disponibilidade de acordo com o tratamento, e no tratamento SIL a presença foi praticamente inexistente. Nesse tratamento, a baixa disponibilidade de Feijão-Guandu foi causada pelo efeito da colheita total e do primeiro pastejo dos animais no primeiro ciclo de avaliação, demonstrando a baixa capacidade de rebrota do Feijão-Guandu. Assim, a longo prazo, a área colhida para SIL não possibilita a presença do Feijão-Guandu para pastoreio.

Apesar da pouca presença do Feijão-Guandu no tratamento SIL, este não impediu o maior resultado em produtividade animal. Tal fato pode ser explicado em virtude de que, no início das chuvas, o tratamento SIL tendeu a apresentar maior produção de braquiária, com material de melhor qualidade, assim, à medida que as partes de melhor palatabilidade das plantas são capturadas pelos animais, sendo geralmente as folhas verdes, a pastagem tende a apresentar maior proporção de colmo e material morto, diminuindo a seleção e ingestão de forragem (Brâncio et al., 2003).

De forma geral, os tratamentos que permitiram o melhor aproveitamento da área neste trabalho foi o SIL, seguido pelo GU e por fim o SC, pois os tratamentos SIL e GU contribuíram para a realização de dois pastejos na área com excelentes ganhos em peso, além de permitir o uso do produto colhido em sistema de confinamento. Já a área sem

colheita, apesar de também realizar dois pastejos, a produtividade animal foi menor, pois não houve o uso de material para confinamento e/ou para comercialização.

Portanto, é de extrema importância considerar e planejar o período de pastejo dos animais na área, visando determinar qual será o método de colheita empregado. Além disso, deve-se considerar as adversidades possíveis no momento da colheita, como por exemplo os preços de mercado ou as intempéries climáticas, de modo que a colheita ou manutenção do milho para pastejo sejam mais bem aproveitados.

CONCLUSÃO

Para o primeiro pastejo, a área que permitiu maior aproveitamento e melhor produção animal foi o tratamento SC (sem colheita), pela maior produção de MS e maior taxa de lotação, pensando em um período a curto prazo.

Entretanto, ao se analisar o ciclo de produção por um período maior, o melhor tratamento foi o de Silagem de Área Total, que apesar de propiciar ganhos menores no primeiro pastejo, permitiu a produção animal em três fases distintas com bons índices produtivos, além de permitir maior aproveitamento de uso da área como um todo.

Diante disso, os resultados observados podem servir de orientação para tomada de decisão de acordo com o cenário econômico e/ou climático da região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, P. F., Olivo, C. J., Simonetti, G. D., Nunes, J. S., Silva, J. O., Santos, M. D. S., ... & Anjos, A. N. A. D. Produtividade de pastagens de Coastcross-1 em consórcio com diferentes leguminosas de ciclo hibernal. **Ciência Rural**, v. 44, n. 12, p. 2265-2272, 2014.
- Anghinoni, I., Carvalho, P. D. F., & Costa, S. D. A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 8, n. 2, p. 325-380, 2013.
- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**, 18th ed.; Horwitz, W., Latimer, G.W., Jr., Eds.; Association of Official Analytical Chemists: Gaithersburg, MD, USA, 2011.
- Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne [ABIEC]. **Perfil da pecuária no Brasil**. 2020. Disponível em: <http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2020/>

- Bonetti, J. D. A., Paulino, H. B., Souza, E. D. D., Carneiro, M. A. C., & Silva, G. N. D. Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 1, p. 104-112, 2015.
- Braga, G. B., Neto, J. S. F., Ferreira, F., Amaku, M., & Dias, R. A. Caracterização dos sistemas de criação de bovinos com atividade reprodutiva na região Centro-Sul do Brasil. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 52, n. 3, p. 217-227, 2015.
- Brâncio, P. A., Euclides, V. P. B., Nascimento Júnior, D. D., Fonseca, D. M. D., Almeida, R. G. D., Macedo, M. C. M., & Barbosa, R. A. Avaliação de três cultivares de *Panicum maximum* Jacq. sob pastejo: disponibilidade de forragem, altura do resíduo pós-pastejo e participação de folhas, colmos e material morto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 1, p. 55-63, 2003.
- Cappelle, E. R., Valadares Filho, S. D. C., Silva, J. F. C. D., & Cecon, P. R. Estimativas do valor energético a partir de características químicas e bromatológicas dos alimentos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 6, p. 1837-1856, 2001.
- Costa, C., Arrigoni, M. D. B., Silveira, A. C., & Chardulo, L. A. L. Silagem de grãos úmidos. **Simpósio sobre nutrição de bovinos**, v. 7, p. 69-87, 1999.
- Costa, N. D. L., Soares, J. P. G., Townsend, C. R., Pereira, R. D. A., Magalhães, J. A., & Rodrigues, B. H. N. Efeito de regimes de cortes sobre a produtividade e composição química do guandu (*Cajanus cajan*) em Porto Velho, Rondônia. **Embrapa Roraima-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2013.
- Da Silva, A., de Sousa Santos, F. L., de Mattos Barretto, V. C., de Freitas, R. J., & Kluthcouski, J. Recuperação de pastagem degradada pelo consórcio de milho, *Urochloa brizantha* cv. Marandu e guandu. **Journal Of Neotropical Agriculture**, v. 5, n. 2, p. 39-47, 2018.
- Da Silva Evangelista, M., Azevedo, M. M. R., Sarturi, C., Araújo, J. A. S., Neves, K. A. L., Minervino, A. H. H., ... & da Silva Costa, J. Suplementação com sal mineral proteinado para bovinos de corte, na fase de recria, no período seco, na região do baixo amazonas paraense. **Revista Agroecossistemas**, v. 12, n. 2, p. 175-193, 2021.
- Da Silva Guimarães, F., Ciappina, A. L., dos Anjos, R. A. R., da Silva, A., & Pelá, A. Consórcio guandu-milho-braquiária para integração lavoura-pecuária. **Journal Of Neotropical Agriculture**, v. 4, n. 5, p. 22-27, 2017.
- Dias Cardoso, M. R., Noronha Marcuzzo, F. F., & Barros, J. R. Climatic classification of Koppen-Geiger for the state of Goiás and the Federal District. **Revista Acta Geografica**, v. 8, n. 16, p. 40-55, 2014.
- Dias-Filho, M.B. Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, vol.40, p. 243-252, 2011.

- Franzluebbbers, A. J., & Stuedemann, J. A. Crop and cattle responses to tillage systems for integrated crop-livestock production in the Southern Piedmont, USA. **Renewable Agriculture and Food Systems**, p. 168-180, 2007.
- Franzluebbbers, A. J., Paine, L. K., Winsten, J. R., Krome, M., Sanderson, M. A., Ogles, K., & Thompson, D. Well-managed grazing systems: A forgotten hero of conservation. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 67, n. 4, p. 100A-104A, 2012.
- Garcia, C. M. D. P., Andreotti, M., Tarsitano, M. A. A., Teixeira Filho, M. C. M., Lima, A. E. D. S., & Buzetti, S. Análise econômica da produtividade de grãos de milho consorciado com forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum* em sistema plantio direto. **Revista Ceres**, v. 59, n. 2, p. 157-163, 2012.
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., ... & Toulmin, C. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 812-818, 2010.
- Jobim, C. C., Branco, A. B., & Santos, G. T. Silagem de grãos úmidos na alimentação de bovinos leiteiros. **Simpósio Goiano sobre Manejo e Nutrição de Bovinos de Corte e Leite**, v. 5, p. 357-376, 2003.
- Lemaire, G., Franzluebbbers, A., de Faccio Carvalho, P. C., & Dedieu, B. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 4-8, 2014.
- Lopes, D., Lowery, S., & Peroba, T. L. C. Crédito rural no Brasil: desafios e oportunidades para a promoção da agropecuária sustentável. 2016.
- Mertens, D.R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. **Journal of AOAC international**, v. 85, n. 6, p. 1217-1240, 2002.
- Mezzalira, J. C., Carvalho, P. C. D. F., Trindade, J. K. D., Bremm, C., Fonseca, L., Amaral, M. F. D., & Reffatti, M. V. Produção animal e vegetal em pastagem nativa manejada sob diferentes ofertas de forragem por bovinos. **Ciência Rural**, v. 42, n. 7, p. 1264-1270, 2012.
- Moraes, E.H.B.K.; Paulino, M.F.; Zervoudaskis, J.T.; Detmann, E.; Valadares Filho, S.C.; Moraes, K.A.K. Aspectos produtivos e econômicos de novilhos mestiços alimentados com suplementos proteico-energéticos contendo ureia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41, n.5, p.1278-1284, 2012.
- Moraes, A. D., Carvalho, P. C. D. F., Lustosa, S. B. C., Lang, C. R., & Deiss, L. Research on integrated crop-livestock systems in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5SPE, p. 1024-1031, 2014.
- Mott, G. O., & Lucas, H. L. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: **International grassland congress**. 1952. p. 1380-1395.

- National Research Council - NRC. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7th revised edition. Washington, DC: National Academy Press, 242 p. 2000.
- Oliveira, C. A. O., Bremm, C., Anghinoni, I., de Moraes, A., Kunrath, T. R., & de Faccio Carvalho, P. C. Comparison of an integrated crop–livestock system with soybean only: Economic and production responses in southern Brazil. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 29, n. 3, p. 230-238, 2014.
- Olivo, C. J., Meinerz, G. R., Nörnberg, J. L., Agnolin, C. A., Steinwandter, E., Peripolli, V., ... & Martins, D. I. Valor nutricional de forragem de pastagens manejadas durante o período hibernar. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 825-831, 2009.
- Owens, F.; Basalan, M. Grain processing: gain and efficiency responses by feedlot cattle. **In: Plains Nutrition Council Spring Conference**. Proceedings... p.76-100, 2013.
- Paciullo, D. S. C., Gomide, J. A., Queiroz, D. S., & Silva, E. A. M. D. Composição química e digestibilidade in vitro de lâminas foliares e colmos de gramíneas forrageiras, em função do nível de inserção no perfilho, da idade e da estação de crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 3, p. 964-974, 2001.
- Ribeiro, P. H., dos Santos, J. V. V. M., Coser, S. M., Nogueira, N. O., & da Silva Martins, C. A. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 1, p. 43-50, 2011.
- Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Dos Anjos, L. H. C., De Oliveira, V. A., Lumbreras, J. F., Coelho, M. R., ... & Cunha, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018., 2018.
- Schuster, M. Z., Pelissari, A., de Moraes, A., Harrison, S. K., Sulc, R. M., Lustosa, S. B., ... & Carvalho, P. C. Grazing intensities affect weed seedling emergence and the seed bank in an integrated crop–livestock system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 232, p. 232-239, 2016.
- Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of dairy science**, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, 1991.
- Vilela, L., Martha Junior, G. B., Macedo, M. C. M., Marchão, R. L., Guimarães Júnior, R., Pulrolnik, K., & Maciel, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, 2011.

CAPÍTULO III – SILAGE OF INTERCROPPING CORN, PALISADE GRASS, AND PIGEON PEA INCREASES PROTEIN CONTENT AND REDUCES IN VITRO METHANE PRODUCTION

Capítulo redigido de acordo com as normas da revista científica *Agronomy*

Artigo publicado na revista: ***Agronomy***, v. 10, n. 11, p. 1784, 2020.

DOI:10.3390/agronomy10111784.

RESUMO

Os sistemas consorciados de leguminosas e gramíneas são opção sustentável para melhorar a qualidade nutricional da alimentação animal e diminuir as emissões de gases de efeito estufa do gado. Assim, o presente estudo avaliou o rendimento, a composição química e a produção de gases *in vitro* de silagens produzidas com capim-braquiária consorciado (*Brachiaria brizantha*. (A.Rich.) RDWebster), feijão-bóer (*Cajanus cajan* cv. Super N) e milho (*Zea mays*. L.). A forragem foi colhida e colocada em microssilos, os quais foram abertos após 100 dias e amostras foram coletadas para análises de composição química e produção de gases *in vitro*. A silagem consorciada apresentou maiores teores de proteína bruta, fibra em detergente ácido e lignina do que a silagem de milho. Além disso, a silagem consorciada diminuiu a produção total de gás e metano. Portanto, a silagem consorciada mostrou potencial para aumentar a qualidade nutricional da ração conservada e reduzir as emissões de metano em sistemas de produção pecuária.

Palavras-chave: *Cajanus cajan*; CH₄; leguminosa; *Brachiaria brizantha*

Silage of Intercropping Corn, Palisade Grass, and Pigeon Pea Increases Protein Content and Reduces In Vitro Methane Production

Abstract: Legume–grass intercropping systems are a sustainable option to improve nutritional quality of animal feed and decrease livestock greenhouse gas emissions. Thus, the present study evaluated yield, chemical composition and in vitro gas production of silages produced with intercropped palisade grass (*Brachiaria brizantha*. (A.Rich.) R.D.Webster), pigeon pea (*Cajanus cajan* cv. Super N) and corn (*Zea mays*. L.). Forage was harvested and placed inside micro-silos, which were opened after 100 days, and samples were collected for chemical composition and in vitro gas production analyses. Intercropped silage had higher crude protein, acid detergent fiber, and lignin content than corn silage. Moreover, intercropped silage decreased total gas and methane production. Therefore, intercropped silage showed potential to increase conserved feed nutritional quality and reduce methane emissions in livestock production systems.

Keywords: *Cajanus cajan*; CH₄; legume; *Urochloa brizantha*

1. Introduction

Crop–livestock integrated systems (CLIS) involve the time–space planning of crops cultivation and livestock grazing at the same area [1,2]. These systems explore the synergism and emergent properties coming from the interplays between soil–plant–animal–atmosphere [3]. Well-managed integrated systems increase the organic matter content in soils with intensification of nutrient cycling, coupling carbon, nitrogen, and phosphorus cycles [4–6]. Therefore, CLIS are a sustainable option to produce legumes (peas and beans) and grains (corn, rice, sorghum, etc.) and animal products (meat, milk, and wool).

The intercropping of corn with tropical grasses, mainly *Urochloa*, is already widely used in commercial Brazilian mid-west farms, due to increased biomass covering the soil and also root biomass, which promotes soil fertility improvement in the long term [7,8] and soil carbon stock [9]. Therefore, many studies have been done with corn, sorghum, and millet intercropped with tropical forage grasses, aiming to grain production, silage and/or grazing forage during the dry season [10–15].

Recently, the introduction of legumes into these systems has been evaluated, mostly looking for higher biomass production and improvement of soil biological activity [16]. Moreover, the deep roots of some legumes can increase the nutrient cycling [17,18], improve the structure and permeability of the soil, enhancing

water infiltration [19], and intensifying the biological activity, leading to organic matter increase [20,21].

Pigeon pea (*Cajanus cajan*) is one of the main species able to increase the nutritional quality of forage and biological diversity in the production system [22,23]. Several studies highlight positive results to corn when intercropped with grass and legumes simultaneously [24–26]. Ferreira et al. [27], evaluating the intercropping of corn with palisade grass (*Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás) and pigeon pea, demonstrated that the legume did not affect corn yield and increased crude protein amount of silage. In addition, Melesse et al. [28] reported *C. cajan* as a potential species in mitigating methane (CH₄) production.

Livestock production is pointed out as an important contributing factor for climatic changes due methane emission from enteric fermentation. Improving animal performance in tropical countries is a key strategy to meet the demand for animal protein, while reducing greenhouse gas (GHG) emissions and improving resource use efficiency [9]. There are opportunities to improve and sustain animal performance through animal genetics, animal health, quantity, and quality of feed and animal nutrition [9]. Legumes and grasses intercropping systems stand out as one opportunity to reduce environmental impact of animal production, due reduction in ruminal methanogenesis and increased protein supply for the animals [28].

Based on the hypothesis that corn, palisade grass and pigeon pea intercropping can produce a high-quality silage with decreased enteric CH₄ production while improving soil fertility and contributing towards the sustainability of the system, the present study was carried out with the objective of evaluating the yield and nutritional composition of forage, as well as in vitro gas production of corn silages intercropped with palisade grass and pigeon pea.

2. Materials and Methods

2.1. Field Trial Characterization

The field trial was conducted at Instituto Federal Goiano—Campus Iporá (16°25'29" S and 51°09'10" W, 602 msl of altitude), during 2016 and 2017. The main climate in the region is Aw type (tropical, with mild dry winter and hot and rainy summer), with average temperature of 24.4 °C and mean annual precipitation of 1613 mm [29]. The soil at the experimental area is classified as Cambisol (World Reference Base for Soil Resources) [30], and Inceptisols (US soil taxonomy) USDA [31]. Soil chemical composition (0–20 cm depth) before 2016/2017 crop season was pH 5.2, Al 0.0 cmol_c dm⁻³, Ca 2.7 cmol_c dm⁻³, Mg 1.5 cmol_c dm⁻³, H + Al 2.5 cmol_c dm⁻³, P 2.0 mg dm⁻³, K 148 mg dm⁻³, Base saturation 64%, and aluminum saturation 0%. The soil texture was 56% Sand, 17% Silt, 27% Clay, classifying as Sandy clay loam according to USDA [31].

The intercropping of corn (*Zea mays*) with palisade grass (*Brachiaria* syn.

Urochloa brizantha cv. BRS Xaraés) and pigeon pea (*Cajanus cajan* cv. Super N) was sowed equally in the experimental area on 23 November 2016 using a multi-seed drill. Corn (Biomatrix hybrid—BM 840[®]) was sown in 0.8 m spaced rows at 60,000 seeds.ha⁻¹. Simultaneously, pigeon pea was sown in 0.8 m spaced rows intercalated with corn rows at 180,000 seeds.ha⁻¹. Palisade grass was sown in soil surface with the small seeds distribution system at the rate of 360,000 seeds.ha⁻¹ (4 kg of viable seeds.ha⁻¹) (Figure 1).

The fertilization was performed with 310 kg of simple superphosphate (18% of P₂O₅) in seedlingrows with the seed drill. At V4 corn stage, 250 kg of urea.ha⁻¹ (112.5 kg of N.ha⁻¹) were applied superficially. It was not necessary to use herbicide or insecticides after sowing.

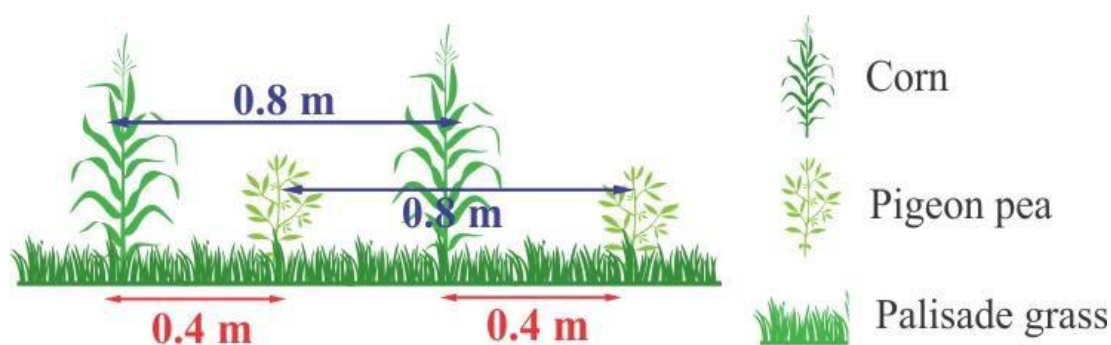


Figure 1. Scheme showing the disposition of the three species in the intercropping system.

2.2. Forage Harvest

At 94 days after sowing (25 February 2017), forage was sampled in fifty-four random points in experimental area. Harvesting point was determined by the optimum point for corn ensilage, 30 to 35% of dry matter content [32]. Forage was cut at 0.1 m from soil surface.

At each sampling point, we collected 1 m² of corn-exclusive sample and other 1 m² of total forage sample with the three species intercropped. Both samples were ground into 1 cm particles size and compacted in micro-silos (PVC tubes with 10 cm of diameter and 40 cm of length with PVC caps in both sides). At the same site, we collected two samples for estimation of dry matter content and chemical composition analyses. One sample of 1 m² was evaluated for total forage availability (three species intercropped) and the other sample was stratified on each forage species (Figure 2).

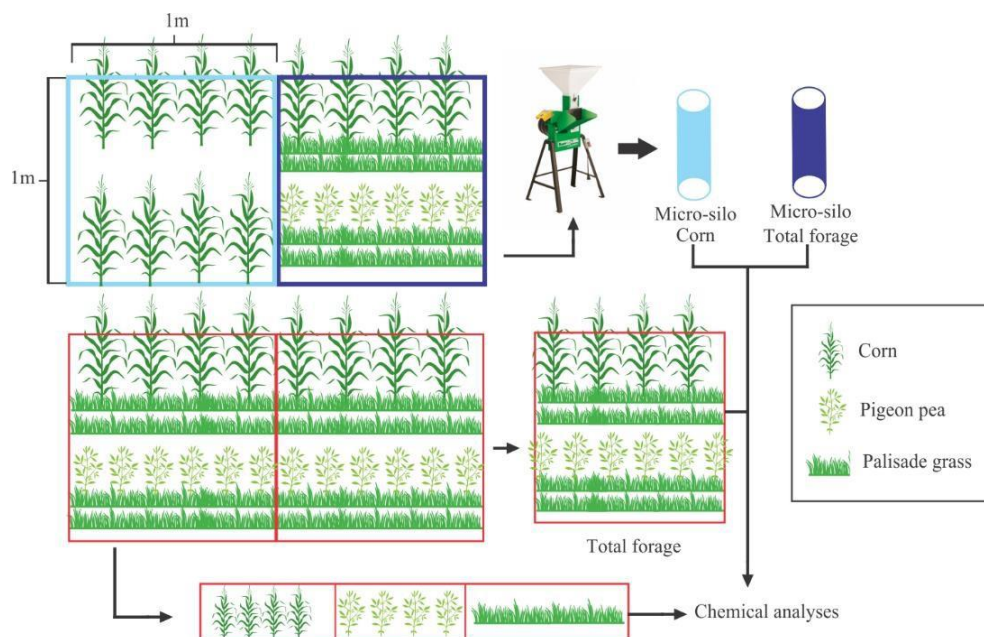


Figure 2. Scheme showing the sampling process and the composition of the two micro-silos.

After 100 days of ensilage, the 108 micro-silos (54 of corn-exclusive silage and 54 of total intercropped silage) were opened, and one sample from each micro-silo was collected for chemical composition analyses and in vitro gas production trial. The top 10 cm of the micro-silo was discarded.

Central material was homogenized and sampled. Samples were dried at 65 °C for 48 h and ground at 1 mm. Chemical composition analyses determined: dry matter (DM; ID n. 934.01), crude protein (CP; ID n. 2001.11), and ashes (ID no. 942.05), according to AOAC [33] methods; neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), and lignin content were determined according to Van Soest [34], adapted by Mertens [35]. Filter bags (F57, Ankom Macedon, NY, USA) were used in a fiber analyzer (Tecnal, Piracicaba, Brazil). All analyses were carried out at the Animal Nutrition Laboratory (LANA) of Centro de Energia Nuclear na Agricultura from Universidade de São Paulo (CENA/USP).

2.3. In Vitro Gas Production Assay

Samples from exclusive corn silage and total forage (three species intercropped) were used for in vitro gas production assay. Inocula preparation was carried out using ruminal content from four adult rumen-cannulated Santa Inês male sheep (CENA ethical Commission on use of animals in experimentation protocol number 011/2016) (averaging 60 ± 2.7 kg of body weight) collected before the morning feed. The animals were fed ad libitum tropical grass hay (Tifton 85—*Cynodon* spp.) and ruminal content samples of each animal were collected into individual thermal containers on a 50:50 liquid and solid fraction ratio (volume basis) [36] and were combined between themselves to form two different inocula solutions, each one made of rumen fluid

from two different animals. The incubation was performed in duplicates (each sample incubated with each one of the inocula) according to procedures described by Theodorou et al. [37] and Mauricio et al. [38], with adaptations from Bueno et al. [36] and Longo et al. [39].

Half gram (0.5 g) of ground (1 mm) silage sample was weighed into Ankom filter bags (Ankom F-57, Macedon, NY, USA), transferred into 160 mL glass bottles together with 50 mL of incubation medium (Menke's buffered medium) and 25 mL of inoculum, allowing 85 mL of headspace in each flask. Blank flasks (without substrate) to calculate net gas production and laboratorial standard samples were also included in the assay. Afterwards, bottles were sealed, agitated and incubated in a forced ventilation oven at 39 °C for 24 h. Pressure inside of each bottle was measured at 0, 2, 4, 8, 12, and 24 h after starting the incubation using a pressure transducer and data logger (Pressure Press Data 800, LANA, CENA/USP, Piracicaba, Brazil) to calculate total gas production based on the equation $V = (5.96 \times p) - 0.89$, where: V = gas volume (mL); p = measured pressure (psi).

During each pressure measurement procedure (except at 0 h), 2 mL gas samples were collected from each bottle into 10 mL evacuated tubes by using 5 mL syringes (Becton-Dickson Indústria Cirúrgica Ltda, Curitiba, Brazil) for determination of CH₄ concentration in a gas chromatograph (Shimadzu GC-2010, Tokyo, Japan) equipped with flame ionization detector (FID) and a capillary HP-Molesieve column (GC 30 m × 0.53 mm × 25 μm), employing chromatographic conditions as described by Lima et al. [40].

At the end of incubation, bags were removed from the bottles and put into cold water (4 °C) to cease the microbial fermentation process. Bags were treated with neutral detergent solution for 1 h at 39 °C, washed with water, then dried in a forced ventilation oven for 16 h at 105 °C and then taken to a muffle furnace at 550 °C for 4 h to determine truly degraded organic matter (TDOM), which was calculated as the difference between incubated organic matter (OM) and remaining undegraded OM. The partition factor (PF) was used to estimate microbial efficiency through the relationship between TDOM (mg) and total gas production (mL) according to Blümmel et al. [41].

2.4. Statistical Analyses

In vitro gas production data was corrected for inoculum effect using a linear model within lme4 package [42] in software R [43]. Bromatological and gas production corrected data was submitted to analyses of variance (ANOVA) using the "lm" and "Anova" function of "car" package [44] in software R (<https://www.r-project.org/>) [43] and the least square means were calculated with "emmeans" function of the "emmeans" package [45]. Regression analyses were performed to obtain the best predictive model for forage yield, using the plant densities as independent variables. The regressions used the "lm" function with "anova" to verify the significance of the effects and we used the Akaike information criterion

(AIC) and Schwarz Bayesian criterion (BIC) as selection criteria to define the best model.

Principal component analyses (PCA) were done to better comprehend the relation between the variables. “FactoMineR” [46] and “factoextra” [47] packages were used in software R for PCA analyses. We used the “dimdesc” function to point out the variables that better describe the dimension using a significance threshold of 0.05. The Pearson correlation analyses used the “Hmisc” package [48].

To provide a more accurate overview about the relationship between the plant population, forage yield, bromatological composition and in vitro gas production, we performed four path models with confirmatory factor analyses (“cfa” function in “lavaan” package) [49]. We used the “semPaths” function of “semPlot” package [50] for plotting path models. We plotted all results showed here using “ggpubr” [51] and “ggplot2” [52] packages in software R [43].

A confirmatory factor analysis (CFA) is a type of structural equation modeling that deals specifically with the relationships between observed measures or indicators and latent variables or factors. It is used to test whether the data fit a hypothesized measurement model. The goal of latent variable measurement models (i.e., factor analysis) is to establish the number and nature of factors that account for the variation and covariation among a set of indicators. The observed measures are intercorrelated because they share a common cause (i.e., they are influenced by the same underlying construct); if the latent construct was partialled out, the intercorrelations among the observed measures would be zero. Thus, a measurement model such as CFA provides a more parsimonious understanding of the covariation among a set of indicators because the number of factors is less than the number of measured variables. More information about structural equation modeling and confirmatory factor analysis can be obtained in Schreiber et al. [53].

3. Results

Intercropped silage (corn, pigeon pea, and palisade grass) had higher CP, ADF, and lignin (Table 1) than exclusive corn silage. Corn, palisade grass, and pigeon pea forage presented $6.2 \pm 1.63\%$, $7.8 \pm 0.21\%$, and $17.3 \pm 0.73\%$ of CP, respectively. Therefore, both intercropped species can contribute to increase CP of total forage, especially the pigeon pea. Descriptive statistics of all data used are shown in supplementary material (Table S1).

Table 1. Nutritional composition ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ of dry matter) of silages with only corn and intercropping of corn, pigeon pea (PP) and palisade grass (*Brachiaria brizantha*—Bb) (mean \pm standard error).

	Corn	Corn + PP + Bb	<i>p</i> -Value
Ash	50.4 \pm 1.05	52.6 \pm 0.61	0.078
Crude Protein	59.9 \pm 2.88	69.1 \pm 1.43	0.006
Neutral detergent fiber	521 \pm 9.97	543 \pm 5.76	0.069
Acid detergent fiber	295 \pm 6.66	330 \pm 3.85	<0.001
Lignin	33.3 \pm 2.39	45.9 \pm 1.38	<0.001

Significant *p*-value (<0.05) highlighted in bold.

Intercropped silage produced 24.3% less CH_4 per unit of incubated dry matter and 29.0% less CH_4 per degradable organic matter compared to exclusive corn silage (Table 2). Total gas production per degradable organic matter was reduced by 14.2% in intercropped silage when compared to corn silage. Moreover, degradability of organic matter (DOM) decreased by 5.5% when palisade grass and pigeon pea were included in the silage. At the same time, CH_4 proportion in total produced gases was 7.4% in corn silage and 6.3% in intercropped silage (Table 2). Therefore, intercropped silage decreased CH_4 production in greater proportion than reduced total gas production and DOM when compared with corn-exclusive silage.

Table 2. In vitro gas production (mean \pm standard error) of exclusive corn silage and silage from intercropping of corn, pigeon pea (PP) and palisade grass (*Brachiaria brizantha*—Bb).

	Corn	Corn + PP + Bb	<i>p</i> -Value
GP-DM	76.4 \pm 1.44	69.4 \pm 0.83	<0.001
CH_4 -DM	5.73 \pm 0.22	4.34 \pm 0.13	<0.001
DOM	422 \pm 5.95	399 \pm 3.44	0.001
GP-DOM	32.3 \pm 0.97	27.7 \pm 0.56	<0.001
CH_4 -DOM	2.45 \pm 0.10	1.74 \pm 0.06	<0.001
PF	4.87 \pm 0.10	4.99 \pm 0.06	0.301

Significant *p*-value (<0.05) highlighted in bold. GP-DM: Total gas production per dry matter ($\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$); CH_4 -DM: Methane production per dry matter ($\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$); DOM: Organic matter degradability ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$); GP-DOM: Total gas production per degraded organic matter ($\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$); CH_4 -DOM: Methane production per degraded organic matter ($\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$); PF: Partition factor (g of degraded organic matter/mL of produced gas).

Further, we performed a PCA analyses to evaluate the relationship between measurements in three intercropped species. Based on the proportion of the variance explained by each dimension (Figure S1), we evaluated the first four dimensions (Figure 3). The first dimension showed negative relationship between the palisade grass population and DM production with the corn DM production, gas production per organic matter, and DOM (Figure 3 and Figure S2). The

second dimension highlighted the negative relationship between NDF and ADF in pigeon pea forage with pigeon pea DM production and crude protein content. Therefore, higher pigeon pea DM production with higher protein content decreased the NDF and ADF content in pigeon pea.

The *in vitro* gas production variables showed significant contribution (Figure S3) and correlation (Figure 3) with the first and third dimension. The first dimension showed that corn dry matter proportion increased the gas and CH₄ production per degradable organic matter with simultaneous increase on DOM. The third dimension showed that total gas production (per dry matter and per organic matter) increase together with DOM and palisade grass proportion in DM of total forage. These variables were opposed mainly to Lignin level in total silage, pigeon pea population, DM production and proportion in DM (Figure 3). The quality of representation for variables on the 10 dimensions are showed in supplementary material Figure S4.

The results of correlation analyses (Figure 4) showed similar pattern observed previously in PCA results. The pigeon pea population and proportion in dry matter showed positive and significant correlation with the crude protein and lignin of the silage. The palisade grass population and proportion in dry matter showed positive and significant correlation with NDF in total silage.

The Path analysis evaluating the components of intercropping effects on total forage yield (Figure 5) showed that corn dry matter production was the main determinant of the total forage yield. Moreover, the palisade grass dry matter production had no effect on total forage yield. Covariances between the population of the species in the intercropping was close to zero, demonstrating no effect between them.

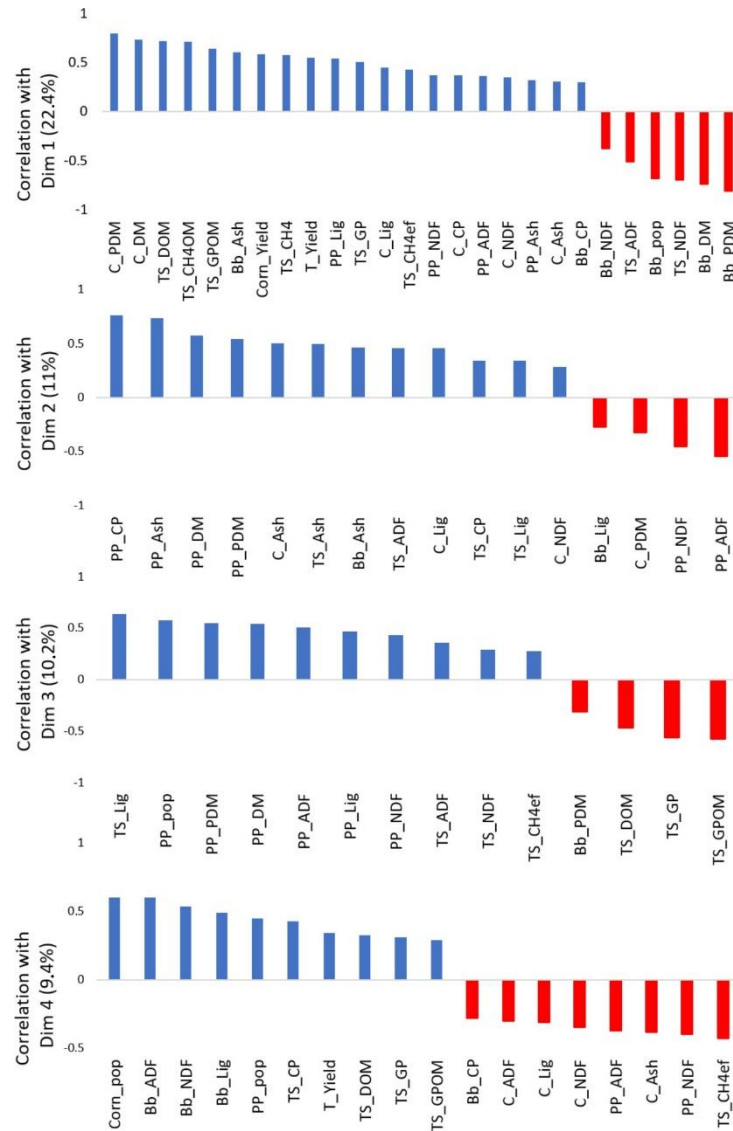


Figure 3. Correlation coefficients between each variable and the first four dimensions of principal component analysis using the “dimdesc” function of “FactoMineR” package (significance threshold = 0.05). The proportions of variance explained by each dimension are shown between parenthesis in *y* axis label. Bb_ADF: Acid detergent fiber of palisade grass; Bb_Ash: Ash of palisade grass; Bb_CP: Crude protein of palisade grass; Bb_DM: Dry matter of palisade grass; Bb_Lig:Lignin of palisade grass; Bb_NDF: Neutral Detergent Fiber of palisade grass; Bb_PDM: Proportion of dry matter of palisade grass; Bb_pop: Population of palisade grass; C_ADF: Acid Detergent Fiber of corn; C_Ash: Ash of corn; C_CP: Crude protein of corn; C_DM: Dry matter of corn; C_Lig: Lignin of corn; C_NDF: Neutral Detergent Fiber of corn; C_PDM: Proportion of dry matter of corn; Corn_pop: Population of corn; Corn_Yield: Yield of corn; PP_ADF: Acid detergent fiber of pigeon pea; PP_Ash: Ash of pigeon pea; PP_CP: Crude protein of pigeon pea; PP_DM: Dry matter of pigeon pea; PP_Lig: Lignin of pigeon pea; PP_NDF: Neutral Detergent Fiber of pigeon pea; PP_PDM:Proportion of dry matter of pigeon pea; PP_pop: Population of pigeon pea; T_Yield: Total forage yield; TS_ADF: Acid detergent fiber in total forage silage; TS_Ash: Ash in total forage silage; TS_CH4:Methane production in total forage silage; TS_ ; TS_CH4OM: Methane production per organic matter in total forage silage; TS_CP: Total gas production in total forage silage; TS_DOM: Organic matter in total forage silage; TS_GP: Total gas production in total forage silage; TS_GPOM: Total gas production per organic matter in total forage silage; TS_Lig: Lignin in total forage silage; TS_NDF: Neutral DetergentFiber in total forage silage.

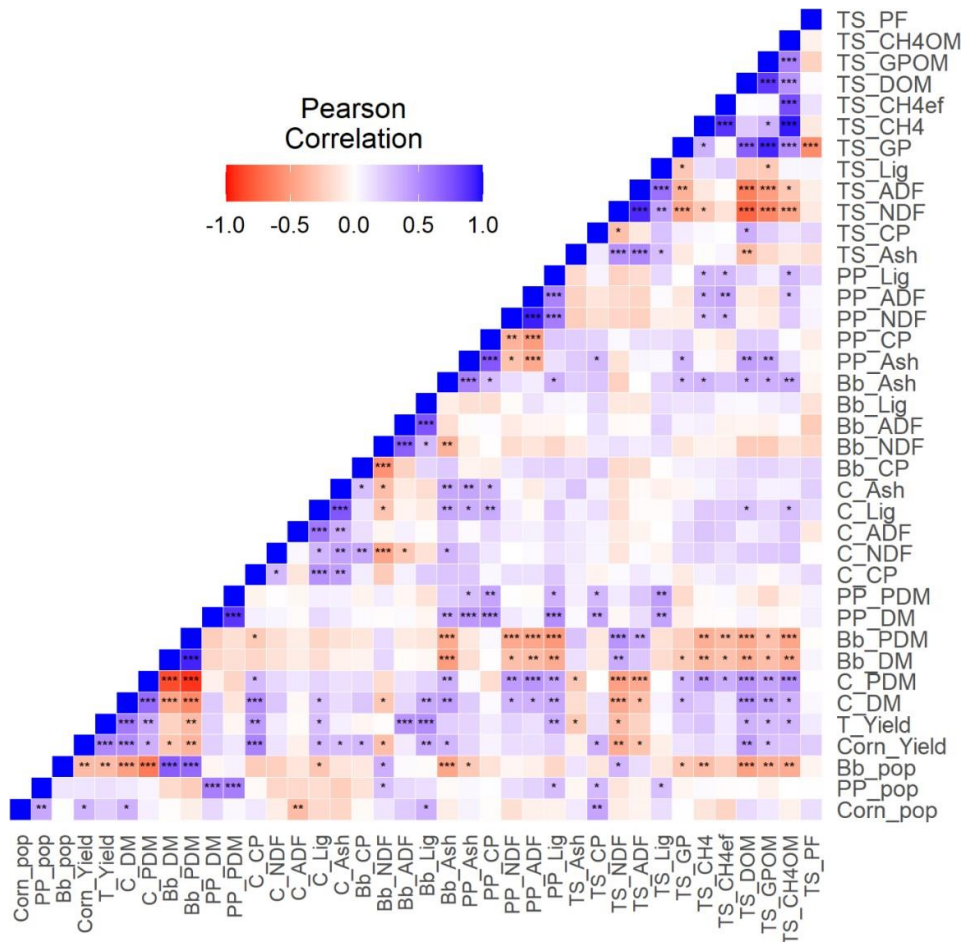


Figure 4. Correlation between variables of dry matter production, chemical composition of each species of intercropping system, chemical composition of silage produced by intercropping and in vitro gas production (*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$). Bb_ADF: Acid detergent fiber of palisade grass; Bb_Ash: Ash of palisade grass; Bb_CP: Crude protein of palisade grass; Bb_DM: Dry matter of palisade grass; Bb_Lig: Lignin of palisade grass; Bb_NDF: Neutral Detergent Fiber of palisade grass; Bb_PDM: Proportion of dry matter of palisade grass; Bb_pop: Population of palisade grass; C_ADF: Acid Detergent Fiber of corn; C_Ash: Ash of corn; C_CP: Crude protein of corn; C_DM: Dry matter of corn; C_Lig: Lignin of corn; C_NDF: Neutral Detergent Fiber of corn; C_PDM: Proportion of dry matter of corn; Corn_pop: Population of corn; Corn_Yield: Yield of corn; PP_ADF: Acid detergent fiber of pigeon pea; PP_Ash: Ash of pigeon pea; PP_CP: Crude protein of pigeon pea; PP_DM: Dry matter of pigeon pea; PP_Lig: Lignin of pigeon pea; PP_NDF: Neutral Detergent Fiber of pigeon pea; PP_PDM: Proportion of dry matter of pigeon pea; T_Yield: Total forage yield; TS_ADF: Acid detergent fiber in total forage silage; TS_Ash: Ash in total forage silage; TS_CH4: Methane production in total forage silage; TS_CH4OM: Methane production per organic matter in total forage silage; TS_CP: Total gas production in total forage silage; TS_DOM: Organic matter in total forage silage; TS_GP: Total gas production in total forage silage; TS_GPOM: Total gas production per organic matter in total forage silage; TS_Lig: Lignin in total forage silage; TS_NDF: Neutral Detergent Fiber in total forage silage; TS_PF: Partition factor (g of degraded organic matter/mL of produced gas) in total forage silage.

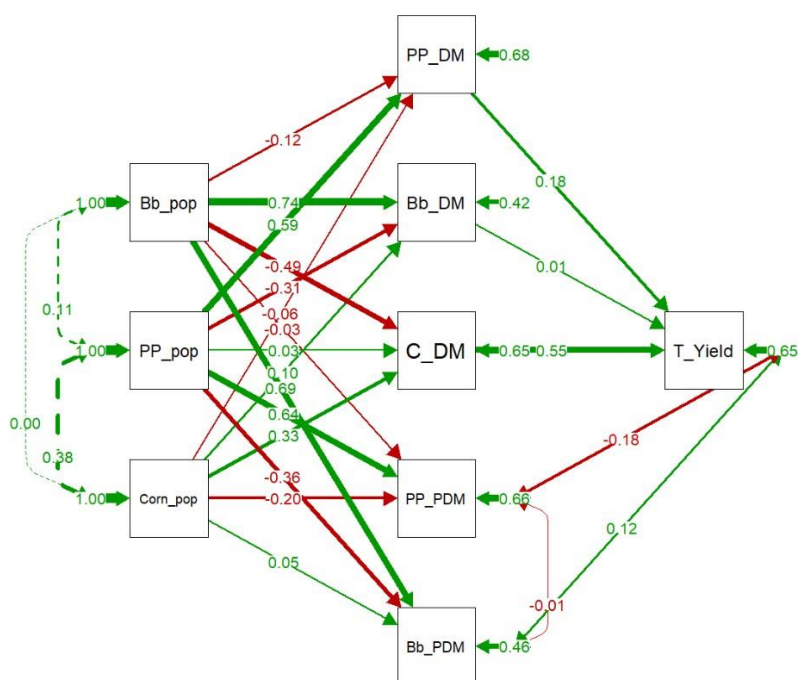


Figure 5. Path Diagram of the confirmatory factor analysis (CFA) evaluating the effect of the population of each component on dry matter production of each component and its contribution on the total forage yield of intercropping system. Green and red arrows indicate positive and negative regression/covariance coefficients, respectively. Arrows thickness are proportional to the value of the regression/covariance coefficients. Bb_DM: Dry matter of palisade grass; Bb_PDM: Proportion of dry matter of palisade grass; Bb_pop: Population of palisade grass; C_DM: Dry matter of corn; Corn_pop: Population of corn; PP_DM: Dry matter of pigeon pea; PP_PDM: Proportion of dry matter of pigeon pea; PP_pop: Population of pigeon pea; T_Yield: Total forage yield.

The main effect of the proportion of pigeon pea in silage DM was the increase in CP, ADF, and lignin content (Figure 6). The increase in palisade grass proportion in silage DM led to higher ashes, NDF, and ADF contents in the silage (Figure 6). Increased proportion of palisade grass in silage DM had a negative effect on all *in vitro* gas production variables, except partition factor (Figure 7). Pigeon pea proportion in dry matter had a weak negative effect on *in vitro* gas production and degradability of organic matter.

Other path models evaluated the effect of nutritional composition of each intercropped species on chemical composition of silage and its relationship with gas production variables (Figure 8). Palisade grass CP had a positive relationship with CP of the silage. The NDF of the silage had a significant negative effect on gas production and degradability of organic matter (Figure 8).

Regression analyses yielded few significant results. Pigeon pea had a positive linear regression with total silage CP and a quadratic relationship with total silage lignin (Figure S5). Palisade grass population had a positive linear regression with total silage NDF and ADF (Figure S6).

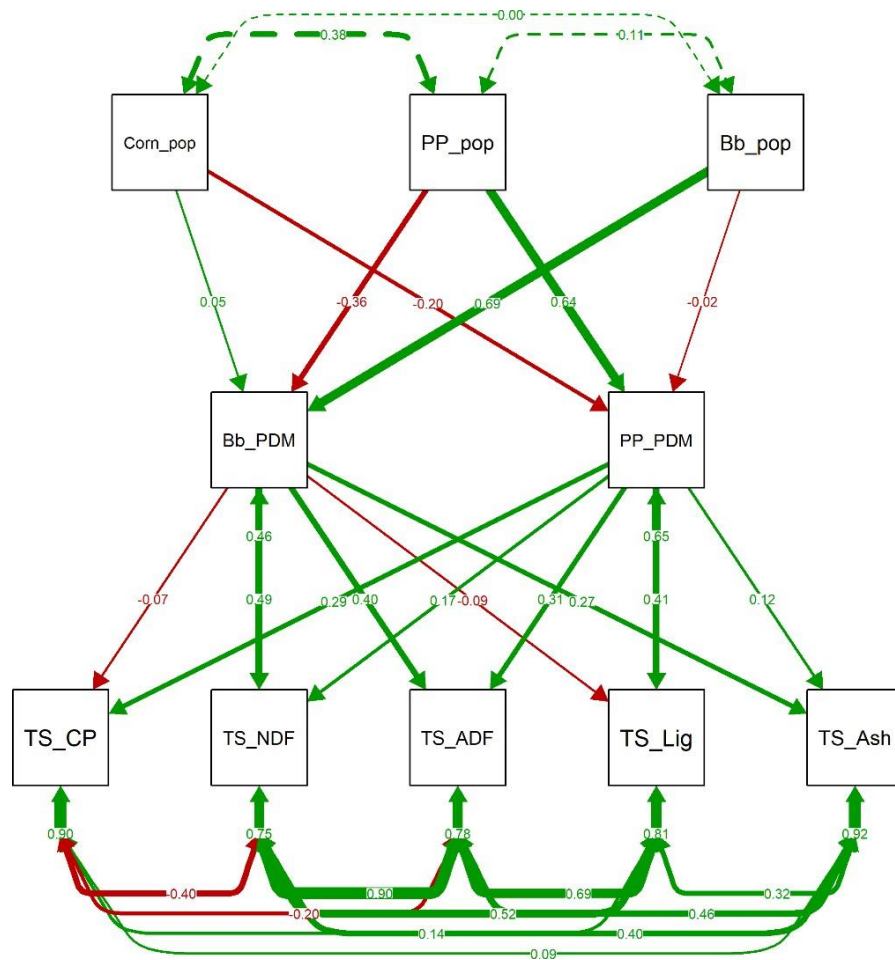


Figure 6. Path Diagram of the confirmatory factor analyses (CFA) results evaluating the effect of the population and dry matter production of each component of the intercropping system on the nutritional composition of silage. Green and red arrows indicate positive and negative regression/covariance coefficients, respectively. Arrows thickness are proportional to the value of the regression/covariance coefficients. Bb_PDM: Proportion of dry matter of palisade grass; Bb_pop: Population of palisade grass; Corn_pop: Population of corn; PP_PDM: Proportion of dry matter of pigeon pea; PP_pop: Population of pigeon pea; TS_ADF: Acid detergent fiber in total forage silage; TS_Ash: Ash in total forage silage; TS_CP: Total gas production in total forage silage; TS_Lig: Lignin in total forage silage; TS_NDF: Neutral Detergent Fiber in total forage silage.

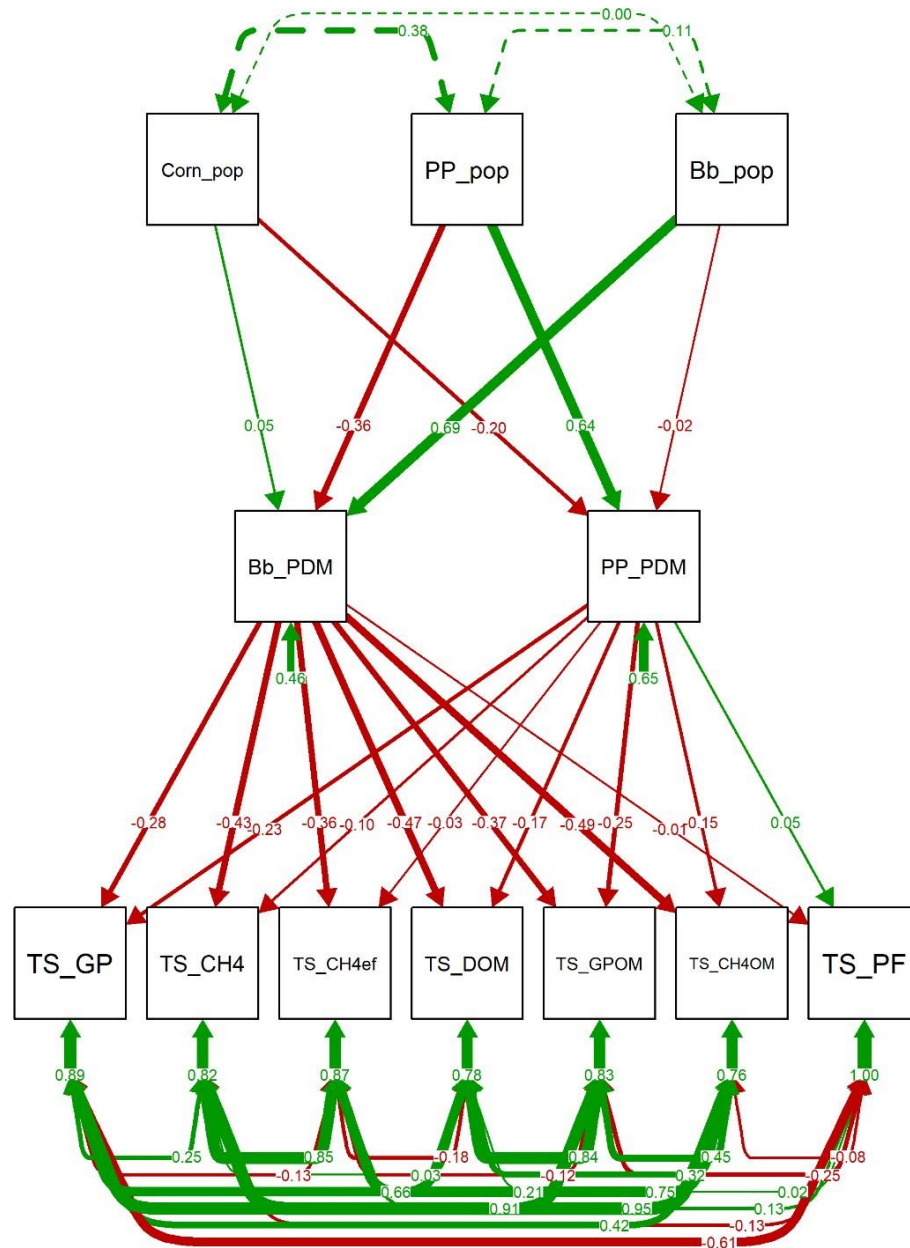


Figure 7. Path Diagram of the confirmatory factor analysis (CFA) evaluating the effect of the population and dry matter production of each component of the intercropping system on in vitro gas production of silage. Green and red arrows indicate positive and negative regression/covariance coefficients, respectively. Arrows thickness are proportional to the value of the regression/covariance coefficients. Bb_PDM: Proportion of dry matter of palisade grass; Bb_pop: Population of palisade grass; Corn_pop: Population of corn; PP_PDM: Proportion of dry matter of pigeon pea; PP_pop: Population of pigeon pea; TS_CH4: Methane production in total forage silage; TS_; TS_CH4OM: Methane production per organicmatter in total forage silage; TS_DOM: Organic matter in total forage silage; TS_GP: Total gas production in total forage silage; TS_GPOM: Total gas production per organic matter in total forage silage.

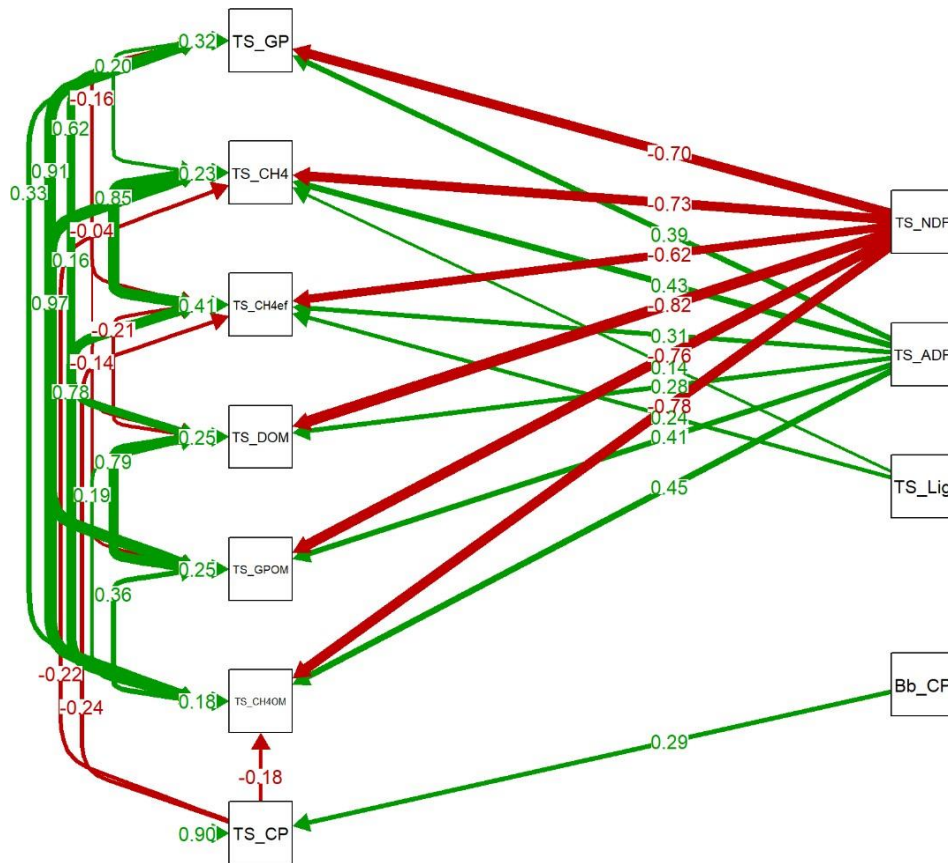


Figure 8. Path Diagram of the confirmatory factor analysis (CFA) evaluating the effect of nutritional content of each component of the intercropping system into the nutritional composition of silage and its effect into the in vitro gas production. Only significant ($p < 0.05$) regressions/covariances (arrows) are shown. Bb_CP: Crude protein of palisade grass; TS_ADF: Acid detergent fiber in total forage silage; TS_Ash: Ash in total forage silage; TS_CH₄: Methane production in total forage silage; TS_g: TS_CH₄OM: Methane production per organic matter in total forage silage; TS_CP: Total gas production in total forage silage; TS_DOM: Organic matter in total forage silage; TS_GP: Total gas production in total forage silage; TS_GPOM: Total gas production per organic matter in total forage silage; TS_Lig: Lignin in total forage silage; TS_NDF: Neutral Detergent Fiber in total forage silage; TS_PF: Partition factor (g of degraded organic matter/mL of produced gas) in total forage silage.

4. Discussion

4.1. Total Dry Matter Production

Seeding method of corn and intercropped forage species can determine the competition degree between species [54]. Efficiency of solar radiation utilization is one of the main factors affecting plant growth [55], especially in intercropped systems, where there is a high resource competition. Thus, agricultural system parameters such as seeding density and row spacing can affect forage yield [56].

In PCA first dimension (Figure 3), palisade grass DM is in opposition to corn DM. However, in path analyses (Figure 5), the correlation between the populations was zero. Therefore, the negative relationship in DM production is not associated with competition between the species, which would lead to

population reduction for one of the components. Probably, this inverse relationship in DM production is related to spatial variability, where corn did not grow, the palisade grass filled the gap and increased their growth, which guaranteed the forage production of the system. It is well known that the corn and palisade grass intercropping, properly managed, did not impair corn growth [57–59].

Makino et al. [60] evaluated light interception and corn yield in two rows spacing (0.45 and 0.90 m) of corn intercropped with palisade grass and concluded that the seeding arranges had higher impact on yield than the palisade grass. Reduced row spacing promotes better solar radiation utilization and increased corn yield. Therefore, in the present study, palisade grass population in intercropping did not decrease corn population (Figure 5) and contributed to maintenance of forage production where corn was not able to grow properly, sustaining the final silage yield of the field. Similar results were reported by Souza et al. [61].

4.2. *Bromatological Quality of Intercropped Silage*

One of the goals in legume–grass intercropping is to increase silage crude protein [62,63]. Our intercropped silage had higher crude protein amount (Table 1) and this parameter had positive correlation with pigeon pea forage proportion in DM (Figure 4). The increase in silage CP can be explained by the CP content in pigeon pea forage, which was 17.3% in this study (Table S1) and can reach up to 27% of CP [64,65]. Stella et al. [66] reported a linear increase in CP with soybean enrichment in corn and sorghum ensilage. Therefore, the legume intercropping allows to change the concentrate/roughage in the diet, reducing feeding cost because of lower addition of external protein inputs [67].

Pigeon pea proportion in total forage DM increased mainly CP, ADF, and lignin in total silage (Figure 6). Pereira et al. [68], evaluating the addition of pigeon pea in sugar cane silage, reported similar results: increased CP, ADF, and lignin in final silage. Acid detergent fiber is closely-related to digestibility, as it represents lignin and cellulose content [69].

The PCA and path analyses indicated that NDF and ADF increase was related to palisade grass proportion in total forage DM (Figures 3 and 6). Fiber measures (NDF and ADF) and palisade grass proportion in total DM had a negative correlation with CP in total silage (Figure 6). The intercropped grass modifies its physiology in a reduced light environment, which promotes leaf and stem elongation in the search for light [70]. This process leads to lignin deposition, and consequently higher ADF, to maintain plant hardness with an elongated stem [71,72].

In addition, the intercropped silage can promote several agronomic benefits in the area, such as diversification of straw for no till system [73], reduced pest infestation [74], improved soil nutrient cycling [75] and consequently decreased

production costs [76]. Moreover, the deep root system together with symbiosis with N fixing bacteria, allows the intercropped legume to supply significant amounts of nitrogen to soil–plant system [77–79].

4.3. *In Vitro Gas Production*

High-quality forages can decrease the CH₄ production changing the fermentation route due to increased contents of easy fermentable carbohydrates which have higher degradability and passage rate [80]. In general, forages have higher structural carbohydrates, and their ruminal fermentation favors the development of methanogenic microorganisms, leading into higher activity of cellulolytic and saccharolytic bacteria [81,82]. Thus, fermentation of tropical grasses usually promotes the increase in CH₄ production [83]. However, high-starch and protein diets promote development of amylolytic and proteolytic bacteria [84] and they also have potential to lead to pH reduction, given the higher production of volatile fatty acids and lactic acid in rumen [85]. Thus, the development of methanogenic microbes is decreased in acid environment [86]. Therefore, the triple intercropping (palisade grass, pigeon pea, and corn) had higher crude protein level and possibly lowered the development of methanogenic microorganisms, decreasing the CH₄ production.

Feed management that allows constant animal growth and diversification of forage species can mitigate the greenhouse gas (GHG) emissions in two ways: direct, reducing ruminal CH₄ production during ruminal fermentation [87]; or indirect, caused by decrease in emission intensity (low GHG emission per unit of product) [88]. Several studies evaluated CH₄ mitigation with different strategies: concentrate supplementation [89,90], fat supplementation [91,92], and ionophores [93–95]. However, all these options increase the production costs since they generally require more external inputs, or they may present other limitations such as rumen microbes adaptation.

Intercropping forage species can affect CH₄ emissions in both ways [90]. In the present study, the intercropped silage produced 24.3% less CH₄ per incubated dry matter unit and 29.0% less CH₄ per DOM. The palisade grass and pigeon pea proportion in dry matter decreased the *in vitro* gas production (Figure 7). The intercropped silage had higher ADF and lignin levels comparing to exclusive corn silage, which probably was related to the lower digestibility and total gas production of the intercropped silage. However, the reduction of CH₄ production was greater than that of total gas production, which indicated that the lower degradability was not the only explanation for CH₄ reduction.

Addition of legume forages in fermentation substrates (as the pigeon pea) normally reduces CH₄ production due to the presence of secondary metabolites, as tannins for example, which can modify ruminal fermentation parameters and may even present a toxic effect against methanogenic archaea, a group of microorganisms responsible for methanogenesis in the ruminal environment [96,97].

Melesse et al. [28] identified *Acacia nilotica*, *Prosopis juliflora* and *Cajanus cajan* as potential CH₄ mitigators. These authors pointed out that intercropping these plants with grass as one option to increase protein input to ruminants and reduce CH₄ emissions, which we observed in the present study.

5. Conclusions

Silage from corn, palisade grass, and pigeon pea intercropping had higher crude protein content compared to corn silage. The intercropped silage led to lower methane production compared to corn silage. The palisade grass and pigeon pea intercropped did not impact the corn growth and yield. Therefore, this intercropped system showed potential to produce a high-quality feed, decrease livestock methane emissions, and benefit the crop–livestock integrated system.

References

1. Kremen, C.; Iles, A.; Bacon, C. Diversified Farming Systems: An Agroecological, Systems-based Alternative to Modern Industrial Agriculture. *Ecol. Soc.* **2012**, *17*, 17. [[CrossRef](#)]
2. Anghinoni, I.; Carvalho, P.D.F.; Costa, S.D.A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. *Tópicos Ci Solo* **2013**, *8*, 325–380.
3. De Moraes, A.; Carvalho, P.C.D.F.; Lustosa, S.B.C.; Lang, C.R.; Deiss, L. Research on Integrated Crop-Livestock Systems in Brazil. *Rev. Ciênc. Agron.* **2014**, *45*, 1024–1031. [[CrossRef](#)]
4. Hendrickson, J.R.; Hanson, J.D.; Tanaka, D.L.; Sassenrath, G. Principles of integrated agricultural systems: Introduction to processes and definition. *Renew. Agric. Food Syst.* **2008**, *23*, 265–271. [[CrossRef](#)]
5. Soussana, J.-F.; Lemaire, G. Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2014**, *190*, 9–17. [[CrossRef](#)]
6. Martin, G.; Moraine, M.; Ryschawy, J.; Magne, M.A.; Asai, M.; Sarthou, J.P.; Duru, M.; Therond, O. Crop-livestock integration beyond the farm level: A review of prospects and issues. *Agron. Sustain. Dev.* **2016**, *36*, 53. [[CrossRef](#)]
7. Pariz, C.M.; Andreotti, M.; Tarsitano, M.A.A.; Bergamaschine, A.F.; Buzetti, S.; Chioderoli, C.A. Desempenhos técnicos e econômicos da consorciação de milho com forrageiras dos gêneros *Panicum* e *Brachiaria* em sistema de integração lavoura-pecuária. *Pesq. Agropec. Trop.* **2009**, *39*, 360–370.
8. Longhini, V.Z.; Andreotti, M.; De Souza, W.C.R.; Costa, N.R.; Filho, M.C.M.T.; Montanari, R. Nitrogen fertilization and inoculation with diazotrophic bacteria in corn intercropped with xaraés grass. *Rev. Bras. Cienc. Agrar.* **2017**, *12*, 340–347. [[CrossRef](#)]
9. Ramírez-Restrepo, C.A.; Vera-Infanzón, R.R.; Rao, I.M. Predicting methane emissions, animal-environmental metrics and carbon footprint from Brahman (*Bos indicus*) breeding herd systems based on long-term research on grazing of neotropical savanna and *Brachiaria decumbens* pastures. *Agric. Syst.* **2020**, *184*, 102892. [[CrossRef](#)]
10. Crusciol, C.A.C.; Mateus, G.P.; Nascente, A.S.; Martins, P.O.; Borghi, E.; Pariz, C.M. An Innovative Crop-Forage Intercrop System: Early Cycle Soybean Cultivars and Palisade grass. *Agron. J.* **2012**, *104*, 1085–1095. [[CrossRef](#)]
11. Crusciol, C.A.C.; Nascente, A.S.; Mateus, G.P.; Borghi, E.; Leles, E.P.; Santos, N.D. Effect of intercropping on yields of corn with different relative maturities and palisade grass. *Agron. J.* **2013**, *105*, 599–606. [[CrossRef](#)]
12. Crusciol, C.; Nascente, A.S.; Mateus, G.; Pariz, C.; Martins, P.; Borghi, E. Intercropping soybean and palisade grass for enhanced land use efficiency and

- revenue in a no till system. *Eur. J. Agron.* **2014**, *58*, 53–62. [[CrossRef](#)]
13. Pariz, C.M.; Costa, C.; Crusciol, C.A.C.; Meirelles, P.R.L.; Castilhos, A.M.; Andreotti, M.; Costa, N.R.; Martello, J.M.; Souza, D.M.; Sarto, J.R.W.; et al. Production and Soil Responses to Intercropping of Forage Grasses with Corn and Soybean Silage. *Agron. J.* **2016**, *108*, 2541–2553. [[CrossRef](#)]
 14. Pariz, C.M.; Costa, C.; Crusciol, C.A.C.; Castilhos, A.M.; Meirelles, P.; Roça, R.D.O.; Pinheiro, R.S.B.; Kuwahara, F.A.; Martello, J.M.; Cavasano, F.A.; et al. Lamb production responses to grass grazing in a companion crop system with corn silage and oversowing of yellow oat in a tropical region. *Agric. Syst.* **2017**, *151*, 1–11. [[CrossRef](#)]
 15. Pariz, C.M.; Costa, C.; Crusciol, C.A.C.; Meirelles, P.R.L.; Castilhos, A.M.; Andreotti, M.; Costa, N.R.; Martello, J.M.; Souza, D.M.; Protes, V.M.; et al. Production, nutrient cycling and soil compaction to grazing of grass companion cropping with corn and soybean. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* **2017**, *108*, 35–54. [[CrossRef](#)]
 16. Pascoaloto, I.M.; Andreotti, M.; Da Cruz, S.S.; Sabbag, O.J.; Borghi, E.; De Lima, G.C.; Modesto, V.C. Análise econômica de consórcios de sorgo com forrageiras ou guandu-anão sucedidos por soja ou milho. *Pesqui. Agropecu. Bras.* **2017**, *52*, 833–840. [[CrossRef](#)]
 17. Costa, N.R.; Andreotti, M.; Buzetti, S.; Lopes, K.S.M.; Dos Santos, F.G.; Pariz, C.M. Acúmulo de macronutrientes e decomposição da palhada de braquiárias em razão da adubação nitrogenada durante e após o consórcio com a cultura do milho. *Rev. Bras. Cienc.* **2014**, *38*, 1223–1233. [[CrossRef](#)]
 18. Calonego, J.C.; Raphael, J.P.; Rigon, J.P.; Neto, L.D.O.; Rosolem, C.A. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling. *Eur. J. Agron.* **2017**, *85*, 31–37. [[CrossRef](#)]
 19. Snapp, S.S.; Swinton, S.M.; Labarta, R.; Mutch, D.; Black, J.R.; Leep, R.; Nyiraneza, J.; O'Neil, K. Evaluating cover crops for benefits, costs and performance within cropping system niches. *Agron. J.* **2005**, *97*, 322–332.
 20. Castro, G.S.; Crusciol, C.; Calonego, J.C.; Rosolem, C.A. Management Impacts on Soil Organic Matter of Tropical Soils. *Vadose Zone J.* **2015**, *14*, 1–8. [[CrossRef](#)]
 21. Costa, N.R.; Andreotti, M.; Lopes, K.S.M.; Yokobatake, K.L.; Ferreira, J.P.; Pariz, C.M.; Bonini, C.D.S.B.; Longhini, V.Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. *Rev. Bras. Cienc.* **2015**, *39*, 852–863. [[CrossRef](#)]
 22. Bonetti, J.D.A.; Paulino, H.B.; De Souza, E.D.; Carneiro, M.A.C.; Da Silva, G.N. Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. *Pesqui. Agropecuária Trop.* **2015**, *45*, 104–112. [[CrossRef](#)]
 23. De Oliveira, P.; Kluthcouski, J.; Favarin, J.L.; Santos, D.D.C. Consórcio de milho com

- braquiária e guandu-anão em sistema de dessecação parcial. *Pesqui. Agropecuária Bras.* **2011**, *46*, 1184–1192. [[CrossRef](#)]
24. Heinrichs, R.; Vitti, G.C.; Moreira, A.; De Figueiredo, P.A.M.; Fancelli, A.L.; Corazza, E.J. Características químicas de solo e rendimento de fitomassa de adubos verdes e de grãos de milho, decorrente do cultivo consorciado. *Rev. Bras. Cienc.* **2005**, *29*, 71–79. [[CrossRef](#)]
 25. Nunes, U.R.; Andrade Júnior, V.C.; Silva, E.B.; Santos, N.F.; Costa, H.A.O.; Ferreira, C.A. Covering crops straw production and common bean productivity in no-tillage system. *Pesqui. Agropecu. Bras.* **2006**, *41*, 943–948. [[CrossRef](#)]
 26. Garcia, C.M.D.P.; Costa, C.; Meirelles, P.R.D.L.; Andreotti, M.; Pariz, C.M.; Freitas, L.A.; Filho, M.C.M.T. Wet and dry corn yield under intercrop cultivation with marandu grass and/or dwarf pigeon pea and nutritional value of the marandu grass in succession. *Aust. J. Crop. Sci.* **2016**, *10*, 1564–1571. [[CrossRef](#)]
 27. Ferreira, L.G.; Cláudio, F.L.; Santos, L.C.; Alves, E.M.; Paim, T.P. Produção de silagem em sistemas consorciados de milho (*Zea mays*), guandu (*Cajanus cajan*) e braquiária (*Urochloa brizantha*). In Proceedings of the IV Congresso Estadual de Iniciação Científica do IF Goiano, Goiania, Brasil, 21–24 September 2015.
 28. Melesse, A.; Steingass, H.; Schollenberger, M.; Holstein, J.; Rodehutschord, M. Nutrient compositions and in vitro methane production profiles of leaves and whole pods of twelve tropical multipurpose tree species cultivated in Ethiopia. *Agrofor. Syst.* **2017**, *93*, 135–147. [[CrossRef](#)]
 29. Dias Cardoso, M.R.; Noronha Marcuzzo, F.F.; Barros, J.R. Climatic classification of Koppen-Geiger for the state of Goiás and the Federal District. *Acta Geogr.* **2014**, *8*, 40–55.
 30. Spaargaren, O.C.; Deckers, J. The World Reference Base for Soil Resources. In *Soils of Tropical Forest Ecosystems*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 1998; pp. 21–28.
 31. Staff, S. *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*, 2nd ed.; US Department of Agriculture Handbook; US Government Printing Office: Washington, DC, USA, 1999; p. 489.
 32. Krüger, A.M.; Lima, P.D.M.T.; Filho, A.L.A.; Moro, J.D.G.; De Carvalho, I.Q.; Abdalla, A.L.; Jobim, C.C. Dry matter concentration and corn silage density: Effects on forage quality. *Trop. Grassl.-Forrajes Trop.* **2020**, *8*, 20–27. [[CrossRef](#)]
 33. AOAC. *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 18th ed.; Horwitz, W., Latimer, G.W., Jr., Eds.; Association of Official Analytical Chemists: Gaithersburg, MD, USA, 2011.
 34. Van Soest, P.; Robertson, J.; Lewis, B. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *J. Dairy Sci.* **1991**, *74*, 3583–3597. [[CrossRef](#)]
 35. Mertens, D.R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: Collaborative study. *J. AOAC*

- Int.* **2002**, *85*, 1217–1240. [PubMed]
36. Bueno, I.C.S.; Filho, S.L.C.; Gobbo, S.P.; Louvandini, H.; Vitti, D.M.; Abdalla, A.L. Influence of inoculum source in a gas production method. *Anim. Feed. Sci. Technol.* **2005**, *123*, 95–105. [CrossRef]
 37. Theodorou, M.K.; Williams, B.A.; Dhanoa, M.S.; McAllan, A.B.; France, J. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Anim. Feed. Sci. Technol.* **1994**, *48*, 185–197. [CrossRef]
 38. Mauricio, R.M.; Mould, F.L.; Dhanoa, M.S.; Owen, E.; Channa, K.S.; Theodorou, M.K. A semi-automated in vitro gas production technique for ruminant feedstuff evaluation. *Anim. Feed. Sci. Technol.* **1999**, *79*, 321–330. [CrossRef]
 39. Longo, C.; Bueno, I.C.S.; Nozella, E.; Goddoy, P.; Filho, S.C.; Abdalla, A.L. The influence of head-space and inoculum dilution on in vitro ruminal methane measurements. *Int. Congr. Ser.* **2006**, *1293*, 62–65. [CrossRef]
 40. Lima, P.D.M.T.; Moreira, G.D.; Sakita, G.; Natel, A.S.; De Mattos, W.T.; Gimenes, F.M.A.; Gerdes, L.; McManus, C.; Abdalla, A.L.; Louvandini, H. Nutritional evaluation of the legume *Macrotyloma axillare* using in vitro and in vivo bioassays in sheep. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **2017**, *102*, e669–e676. [CrossRef]
 41. Blümmel, M.; Makkar, H.P.S.; Becker, K. In vitro gas production: A technique revisited. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **1997**, *77*, 24–34. [CrossRef]
 42. Bates, D.; Mächler, M.; Bolker, B.; Walker, S. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *J. Stat. Softw.* **2015**, *67*, 1–48. [CrossRef]
 43. R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. 2018. Available online: <https://www.r-project.org/> (accessed on 13 February 2012).
 44. Fox, J.; Weisberg, S. *An {R} Companion to Applied Regression*, 3rd ed.; Sage: Thousand Oaks, CA, USA, 2019; Available online: <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/> (accessed on 1 August 2020).
 45. Lenth, R.; Singmann, H.; Love, J.; Buerkner, P.; Herve, M. Emmeans: Estimated Marginal Means, Aka Least-Squares Means. R Package Version 1.4.8. 2020. Available online: <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans> (accessed on 1 August 2020).
 46. Lê, S.; Josse, J.; Husson, F. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *J. Stat. Softw.* **2008**, *25*, 1–18. [CrossRef]
 47. Kassambara, A.; Mundt, F. factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R Package Version 1.0.7. 2020. Available online: <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra> (accessed on 10 August 2020).
 48. Harrell, F.E.; Dupont, C. “Hmisc: Harrell Miscellaneous”. R Package Version 4.0-0. 2020. Available online: <https://CRAN.R-project.org/package=Hmisc> (accessed

- on 10 August 2020).
49. Rosseel, Y. Lavaan: An R package for structural equation modeling and more. *J. Stat. Softw.* 2012, 48, 1–36. [CrossRef]
 50. Epskamp, S.; Epskamp, M.S.; MplusAutomation, S. Package ‘semPlot’. R Package Version 1.1.2. 2019. Available online: <https://cran.r-project.org/package=semPlot> (accessed on 10 August 2020).
 51. Kassambara, A. ggpubr: ‘ggplot2’ Based Publication Ready Plots. R Package Version 0.4.0. 2020. Available online: <https://CRAN.R-project.org/package=ggpubr> (accessed on 29 July 2020).
 52. Wickham, H. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*; Springer: New York, NY, USA, 2016.
 53. Schreiber, J.B.; Nora, A.; Stage, F.K.; Barlow, E.A.; King, J. Reporting Structural Equation Modeling and Confirmatory Factor Analysis Results: A Review. *J. Educ. Res.* 2006, 99, 323–338. [CrossRef]
 54. Geng, Q.; Aizizi, A.; Lai, N.; Li, Q.; Chen, S. Impact of Climatic Factors and Nitrogen Levels Drivers on Crop Yield in the Arid Region of China. *Int. J. Plant Prod.* 2020, 1–11. [CrossRef]
 55. Strieder, M.L.; Da Silva, P.R.F.; Rambo, L.; Bergamaschi, H.; Dalmago, G.A.; Endrigo, P.C.; Jandrey, D.B. Características de dossel e rendimento de milho em diferentes espaçamentos e sistemas de manejo. *Pesqui. Agropecuária Bras.* 2008, 43, 309–317. [CrossRef]
 56. Bayu, W.; Rethman, N.F.; Hammes, P.S. Growth and yield compensation in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) as a function of planting density and nitrogen fertilizer in semi-arid areas of northeastern Ethiopia. *S. Afr. J. Plant Soil* 2005, 22, 76–83. [CrossRef]
 57. Coser, T.R.; Ramos, M.L.G.; De Figueiredo, C.C.; Urquiaga, S.; De Carvalho, A.M.; Barros, F.V.; Mendonça, M.T. Nitrogen uptake efficiency of maize in monoculture and intercropped with *Brachiaria humidicola* and *Panicum maximum* in a dystrophic Red-Yellow Latosol of the Brazilian Cerrado. *Crop. Pasture Sci.* 2016, 67, 47–54. [CrossRef]
 58. De Oliveira, S.M.; De Almeida, R.E.M.; Junior, C.P.; Reis, A.F.D.B.; Souza, L.F.N.; Favarin, J.L. Contribution of corn intercropped with *Brachiaria* species to nutrient cycling1. *Pesqui. Agropecuária Trop.* 2019, 49, 1–9. [CrossRef]
 59. Sanches, I.R.; Lazarini, E.; Pechoto, E.A.P.; Dos Santos, F.L.; Bossolani, J.W.; Parra, L.F.; Meneghette, H.H.A. Maize second-crop intercropped with forages and soil correction depths: Grain yield and forages root distribution. *Res. Soc. Dev.* 2020, 9, e798974778. [CrossRef]
 60. Makino, P.A.; Ceccon, G.; Ribeiro, L.M.; Ceccon, F. Agronomic performance and photosynthetically active radiation intercepted by maize intercropped with *brachiaria*. *J. Neotrop. Agric.* 2019, 6, 42–48. [CrossRef]

61. Souza, W.F.; Costa, K.A.P.; Guarneri, A.; Severiano, E.C.; Silva, J.T.; Teixeira, D.A.A.; Oliveira, S.S.; Dias, M.B.C. Production and quality of the silage of corn intercropped with Paiaguas palisade grass in different forage systems and maturity stages. *R. Bras. Zootec.* 2019, 48, 1–16. [CrossRef]
62. Neres, M.A.; Castagnara, D.D.; Silva, F.B.; De Oliveira, P.S.R.; Mesquita, E.E.; Bernardi, T.C.; Guarianti, A.J.; Vogt, A.S.L. Características produtivas, estruturais e bromatológicas dos capins Tifton 85 e Piatã e do feijão-guandu cv. Super N, em cultivo singular ou em associação. *Cienc. Rural* 2012, 42, 862–869. [CrossRef]
63. De Moraes, A.; Carvalho, P.C.D.F.; Crusciol, C.A.C.; Lang, C.R.; Pariz, C.M.; Deiss, L.; Sulc, R.M. Integrated Crop-Livestock Systems as a Solution Facing the Destruction of Pampa and Cerrado Biomes in South America by Intensive Monoculture Systems. In *Agroecosystem Diversity*; Elsevier BV: Amsterdam, The Netherlands, 2019; pp. 257–273.
64. Onu, P.; Okongwu, S. Performance Characteristics and Nutrient Utilization of Starter Broilers Fed Raw and Processed Pigeon Pea (*Cajanus cajan*) Seed Meal. *Int. J. Poult. Sci.* 2006, 5, 693–697. [CrossRef]
65. Amaefule, K.; Ukpanah, U.; Ibok, A. Performance of Starter Broilers Fed Raw Pigeon Pea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] Seed Meal Diets Supplemented with Lysine and or Methionine. *Int. J. Poult. Sci.* 2011, 10, 205–211. [CrossRef]
66. Stella, L.A.; Peripolli, V.; Prates, Ê.R.; Barcellos, J.O.J. Composição química das silagens de milho e sorgo com inclusão de planta inteira de soja. *Bol. Indústria Anim.* 2016, 73, 73–79. [CrossRef]
67. Ribeiro, M.G.; Costa, K.A.D.P.; De Souza, W.F.; Cruvinel, W.S.; Da Silva, J.T.; Júnior, D.R.D.S. Silage quality of sorghum and *Urochloa brizantha* cultivars monocropped or intercropped in different planting systems. *Acta Sci. Anim. Sci.* 2017, 39, 243–250. [CrossRef]
68. Pereira, D.; Lana, R.; Carmo, D.L.D.; Da Costa, Y.K.S. Chemical composition and fermentative losses of mixed sugarcane and pigeon pea silage. *Acta Sci. Anim. Sci.* 2019, 41, 43709. [CrossRef]
69. Rosa, J.R.P.; Da Silva, J.H.S.; Restle, J.; Pascoal, L.L.; Brondani, I.L.; Filho, D.C.A.; De Freitas, A.K. Avaliação do comportamento agronômico da planta e valor nutritivo da silagem de diferentes híbridos de milho (*Zea mays*, L.). *Rev. Bras. Zootec.* 2004, 33, 302–312. [CrossRef]
70. Borghi, E.; Mobricci, C.; Pulz, A.L.; Ono, E.O.; Crusciol, C.A.C. Crescimento de *Brachiaria brizantha* em cultivo consorciado com milho em sistema de plantio direto. *Acta Sci. Agron.* 2007, 29, 91–98. [CrossRef]
71. Costa, N.D.L.; Monteiro, A.L.; Silva, A.L.; De Moraes, A.; Giostri, A.F.; Stivari, T.S.; Gilaverte, S.; Baldissera, T.C.; Pin, E.A. Considerações sobre a degradação da fibra em forragens tropicais associada com suplementos energéticos ou nitrogenados. *Arch. Zootec.* 2015, 64, 31–41. [CrossRef]

72. Shafi, A.; Dogra, V.; Gill, T.; Ahuja, P.S.; Sreenivasulu, Y. Simultaneous Over-Expression of PaSOD and RaAPX in Transgenic *Arabidopsis thaliana* Confers Cold Stress Tolerance through Increase in Vascular Lignifications. *PLoS ONE* 2014, 9, e110302. [CrossRef]
73. Arf, O.; Meirelles, F.C.; Portugal, J.R.; Buzetti, S.; De Sá, M.E.; Rodrigues, R.A.F. Benefícios do milho consorciado com gramínea e leguminosas e seus efeitos na produtividade em sistema plantio direto. *Rev. Bras. Milho Sorgo* 2018, 17, 431–444. [CrossRef]
74. Patel, S.; Dhillon, N.K. Evaluation of sunnhemp (*Crotalaria juncea*) as green manure/amendment and its biomass content on root knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in successive crop brinjal. *J. Entomol. Zool Stud.* 2017, 5, 716–720.
75. Salton, J.C.; Mercante, F.M.; Tomazi, M.; Zanatta, J.A.; Concenço, G.; Silva, W.M.; Retore, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2014, 190, 70–79. [CrossRef]
76. Ryschawy, J.; Choisis, N.; Choisis, J.P.; Joannon, A.; Gibon, A. Mixed crop-livestock systems: An economic and environmental-friendly way of farming? *Animal* 2012, 6, 1722–1730. [CrossRef] [PubMed]
77. Varshney, R.K.; Penmetsa, R.V.; Dutta, S.; Kulwal, P.L.; Saxena, R.K.; Datta, S.; Dubey, A. Pigeon pea genomics initiative (PGI): An international effort to improve crop productivity of pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). *Mol. Breed* 2010, 26, 393–408. [CrossRef] [PubMed]
78. Ferreira, E.P.D.B.; Stone, L.F.; Partelli, F.L.; Didonet, A.D. Produtividade do feijoeiro comum influenciada por plantas de cobertura e sistemas de manejo do solo. *Rev. Bras. Eng. Agrícola Ambient.* 2011, 15, 695–701. [CrossRef]
79. Sekhon, F.S.; Singh, T.; Singh, S. Growth, phenology and yield of pigeon pea (*Cajanus cajan*) as affected by intercropping systems and application of nutrients level to intercrops. *Indian J. Agric. Sci.* 2018, 88, 509–514.
80. Beever, D.E.; Dhanoa, M.S.; Losada, H.R.; Evans, R.T.; Cammell, S.B.; France, J. The effect of forage species and stage of harvest on the processes of digestion occurring in the rumen of cattle. *Br. J. Nutr.* 1986, 56, 439–454. [CrossRef]
81. Manella, M.D.Q.; Lourenço, A.J.; Leme, P. Recria de bovinos Nelore em pastos de *Brachiaria brizantha* com suplementação protéica ou com acesso a banco de proteína de *Leucaena leucocephala*: Características de fermentação ruminal. *Rev. Bras. Zootec.* 2003, 32, 1002–1012. [CrossRef]
82. Oliveira, V.D.S.; Neto, J.A.S.; Valença, R.D.L.; Da Silva, B.C.D.; Dos Santos, A.C.P. Carboidratos fibrosos e não fibrosos na dieta de ruminantes e seus efeitos sobre a microbiota ruminal. *Veterinária Notícias* 2016, 22, 22. [CrossRef]
83. Berchielli, T.T.; Messana, J.D.; Canesin, R.C. Produção de metano entérico em

- pastagens tropicais. *Rev. Bras. Saúde Produção Anim.* 2012, 13, 954–968. [CrossRef]
84. Church, D.C. *The Ruminant Animal: Digestive Physiology and Nutrition*; Waveland Press: Englewood Cliffs, NJ, USA, 1988; p. 563.
 85. Oliveira, V.S.; Santana Neto, J.A.; Valença, R.L. Características químicas e fisiológicas da fermentação ruminal de bovinos em pastejo—Revisão de literatura. *Rev. Cient. Eletronica. Med. Vet.* 2013, 20.
 86. Moreira, P.C.; de Camargo Wascheck, R.; Dutra, A.R.; Grandsire, C.; de Almeida, O.C.; Moreira, S.D.O.L. Pectina: Um carboidrato complexo e suas aplicações. *Rev. Cienci. Ambient. Saude* 2008, 35, 343–355.
 87. Savian, J.V.; Schons, R.M.T.; Marchi, D.E.; De Freitas, T.S.; Neto, G.F.D.S.; Mezzalira, J.C.; Berndt, A.; Bayer, C.; Carvalho, P.C.D.F. Rotatinuous stocking: A grazing management innovation that has high potential to mitigate methane emissions by sheep. *J. Clean. Prod.* 2018, 186, 602–608. [CrossRef]
 88. Cottle, D.J.; Nolan, J.V.; Wiedemann, S.G. Ruminant enteric methane mitigation: A review. *Anim. Prod. Sci.* 2011, 51, 491–514. [CrossRef]
 89. Lovett, D.; Lovell, S.; Stack, L.; Callan, J.; Finlay, M.; Conolly, J.; O'Mara, F. Effect of forage/concentrate ratio and dietary coconut oil level on methane output and performance of finishing beef heifers. *Livest. Prod. Sci.* 2003, 84, 135–146. [CrossRef]
 90. Martin, C.; Morgavi, D.P.; Doreau, M. Methane mitigation in ruminants: From microbe to the farm scale. *Animal* 2009, 4, 351–365. [CrossRef]
 91. Johnson, K.A.; Johnson, D.E. Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.* 1995, 73, 2483–2492. [CrossRef]
 92. Boadi, D.; Benchaar, C.; Chiquette, J.; Massé, D. Mitigation strategies to reduce enteric methane emissions from dairy cows: Update review. *Can. J. Anim. Sci.* 2004, 84, 319–335. [CrossRef]
 93. Guan, H.; Wittenberg, K.; Ominski, K.H.; Krause, D.O. Efficacy of ionophores in cattle diets for mitigation of enteric methane1. *J. Anim. Sci.* 2006, 84, 1896–1906. [CrossRef]
 94. Odongo, N.; Bagg, R.; Vessie, G.; Dick, P.; Or-Rashid, M.; Hook, S.; Gray, J.; Kebreab, E.; France, J.; McBride, B. Long-Term Effects of Feeding Monensin on Methane Production in Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 2007, 90, 1781–1788. [CrossRef]
 95. Patra, A.K. Enteric methane mitigation technologies for ruminant livestock: A synthesis of current research and future directions. *Environ. Monit. Assess.* 2011, 184, 1929–1952. [CrossRef] [PubMed]
 96. Patra, A.K.; Saxena, J. Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *J. Sci. Food Agric.* 2010, 91, 24–37. [CrossRef] [PubMed]

97. Liu, H.; Vaddella, V.; Zhou, D. Effects of chestnut tannins and coconut oil on growth performance, methane emission, ruminal fermentation, and microbial populations in sheep. *J. Dairy Sci.* 2011, 94, 6069–6077. [CrossRef] [PubMed]

CONCLUSÃO GERAL

O consórcio de milho, braquiária e Feijão-Guandu não afetou a produtividade do milho, sendo assim, opção viável para reforma de pastagens em degradação, tanto do ponto de vista agrônomo, quanto econômico, visto que os grãos podem amortizar parte dos custos de reforma.

Em virtude dos aproveitamentos dos resíduos finais, uma das preocupações na forma de colheita do milho é a remoção dos nutrientes do campo e a complexidade em substituir esses nutrientes para a safra seguinte. Assim, a realização de sistemas consorciados diminui o impacto da colheita do milho, visto que proporcionam forragem para cobertura de solo, maior deposição de carbono no solo e maior ciclagem de nutrientes com a presença animal.

O Feijão-Guandu é uma leguminosa que pode auxiliar para melhoria na qualidade da silagem e da forragem, entretanto sua capacidade de rebrota e participação para a produção total de MS é pequena. Assim, maiores estudos direcionados à densidade de semeadura e população de plantas são necessários.

O consórcio de milho, braquiária e feijão-Guandu oferece diversidade de estratégias para a produção animal bem como índices de produtividade elevados. Além disso, serve como orientação para tomada de decisões em caso de cenários adversos.