

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

**SILAGENS DE MILHO PRODUZIDAS E FERTILIZADAS
COM BIOFERTILIZANTE SUÍNO INFLUENCIA A CINÉTICA
DE PRODUÇÃO DE GASES RUMINAIS?**

Autor: Jean Carlo Tavares de Brito
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Kátia Cylene Guimarães
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Fabiana Ramos dos Santos

Rio Verde - GO
Novembro – 2020

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

**SILAGENS DE MILHO PRODUZIDAS E FERTILIZADAS
COM BIOFERTILIZANTE SUÍNO INFLUENCIA A CINÉTICA
DE PRODUÇÃO DE GASES RUMINAIS?**

Autor: Jean Carlo Tavares de Brito
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Kátia Cylene Guimarães
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Fabiana Ramos dos Santos

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
Novembro – 2020

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

dD288s de Brito, Jean Carlo Tavares
Silagens de Milho Produzidas e Fertilizadas com
Biofertilizante Suíno Influencia a Cinética de
Produção de Gases Ruminais? / Jean Carlo Tavares de
Brito; orientadora Kátia Cylene Guimarães; co-
orientadora Fabiana Ramos dos Santos. -- Rio Verde,
2020.
53 p.

Dissertação (Mestrado em Zootecnia) -- Instituto
Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2020.

1. Adubação Mineral. 2. Degradabilidade. 3.
Dejetos de Suínos. 4. Fermentação Ruminal. I. Cylene
Guimarães, Kátia, orient. II. Ramos dos Santos,
Fabiana, co-orient. III. Título.



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

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Jean Carlo Tavares de Brito

Matrícula: 2018202310240029

Título do Trabalho: SILAGENS DE MILHO PRODUZIDAS E FERTILIZADAS COM BIOFERTILIZANTE SUÍNO INFLUENCIA A CINÉTICA DE PRODUÇÃO DE GASES RUMINAIS?

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 27/01/2021

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:

- 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;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos 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;
- 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, Goiás, _____, 25 /01 /2021.
Local Data

Jean Carlo Tavares de Brito

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Katia Cyrene Guimarães

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 61/2020 - 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:111
Data: 26/11/2020	Hora de início: 13:30h	Hora de encerramento: 17:30h
Matrícula do discente:	2018202310240029	
Nome do discente:	Jean Carlo Tavares de Brito	
Título do trabalho:	Silagens de Milho Produzidas e Fertilizadas com Biofertilizante Suíno Influencia a Cinética de Produção de Gases Ruminais?	
Orientadora:	Kátia Cylene Guimarães	
Área de concentração:	Zootecnia/Recursos Pesqueiros	
Linha de Pesquisa:	Manejo, Nutrição e Alimentação Animal	
Projeto de pesquisa de vinculação	Diferentes Tipos de Avaliações in vitro de Silagem de Milho Associada ao Uso de Adubação Química ou Biológica	
Titulação:	Mestre em Zootecnia	

Nesta data, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora, Prof^ª. Dra. Kátia Cyrene Guimarães (Orientadora), Prof^ª. Dra. Ana Paula Cardoso Gomide (Avaliadora interna) e Prof. Dr. Francisco Ribeiro de Araujo Neto (Avaliador externo) 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 **JEAN CARLO TAVARES DE BRITO**, discente do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pela presidente da Banca Examinadora, Kátia Cyrene Guimarães, 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 Tese 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: Aprovado

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 IFGoiano.

Documento assinado eletronicamente por:

- Ana Paula Cardoso Gomide, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 26/11/2020 15:46:14.
- Francisco Ribeiro de Araujo Neto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 26/11/2020 15:45:49.
- Katia Cyrene Guimaraes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 26/11/2020 15:43:42.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 12/11/2020. 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: 209661
Código de Autenticação: 6c6773c6e8



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

**SILAGENS DE MILHO PRODUZIDAS E FERTILIZADAS
COM BIOFERTILIZANTE SUÍNO INFLUENCIA A CINÉTICA
DE PRODUÇÃO DE GASES RUMINAIS?**

Autor: Jean Carlo Tavares de Brito
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Kátia Cylene Guimarães

TITULAÇÃO: Mestre em Zootecnia – Área de concentração Zootecnia.

APROVADO em 26 de novembro de 2020

Prof.^a Dr.^a Kátia Cylene Guimarães
Presidente da banca
IF Goiano/RV

Prof.^a Dr.^a Ana Paula Cardoso Gomide
Avaliadora
IF Goiano/RV

Prof. Dr. Francisco Ribeiro de Araújo Neto
Avaliador
IF Goiano/RV

AGRADECIMENTOS

Hoje eu quero agradecer primeiramente a Deus, e a cada um de vocês, pois vocês fizeram parte da minha vida durante esses dois anos que fui mestrandando, mas os ensinamentos e experiências serão levados para vida toda. Quero que saibam que é uma honra fazer parte de um grupo de pessoas tão extraordinárias.

Em especial aos meus familiares, Edina (mãe), Edinaldo (pai), Bruna, Lisandra e Nathália (irmãs) e aos meus amigos (as) Ana Paula, Ângela Inez, Arnaldo Avelar, Dheyne Alves, Eduardo Benedetti, Fernando Antônio, Frederico Costa, Giomar Almeida, Igor Caique, Jessé Ferreira, Kátia Cylene, Luiz Gustavo, Rodrigo Rodrigues, Thaynara Neves e Vinícius Brito, que estiveram sempre me ajudando de alguma forma, uns em laboratório, outros apoiando e me dando forças para que eu continuasse na luta.

Quero agradecer em especial novamente, a minha orientadora e amiga Kátia Cylene Guimarães, pelas ajudas: técnica, profissional, psicológica e até financeira, saiba que é motivo de orgulho dizer que fui seu orientado. Obrigado pela oportunidade, paciência, esforço e dedicação, sempre me ajudando em todas as etapas e processos contribuindo exageradamente para minha formação.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, pela oportunidade de realizar esse sonho e contribuir para minha qualificação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de pesquisa concedida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia e a todos os professores, pelos conhecimentos repassados, pois me ajudaram a aprimorar o entendimento técnico e me ajudaram a evoluir como profissional.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Jean Carlo Tavares de Brito, filho de Edina Luiz Tavares e enteado Edinaldo Francisco Barbosa, nasceu na cidade de Formosa - GO, no dia 31 de dezembro de 1988. No segundo semestre de 2013, ingressou no curso de Bacharelado em Zootecnia, na cidade de Brasília – DF, concluindo a graduação com a colação de grau em junho de 2017. No segundo semestre de 2018, submeteu-se ao processo seletivo do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, sendo aprovado, e atuou na área de Produção de ruminantes. Em novembro de 2020, submeteu a banca avaliadora sua dissertação, intitulada: *Silagens de Milho Produzidas e Fertilizadas com Biofertilizante Suíno Influencia a Cinética de Produção de Gases Ruminais?*

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE TABELAS	vi
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	vii
REVISÃO DE LITERATURA	1
INTRODUÇÃO	1
Importância do milho e da silagem de milho para produção de ruminantes	2
Adubação nitrogenada e a produtividade da cultura do milho	2
Biofertilizantes	3
Técnica da produção de gases e sua importância	4
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	7
OBJETIVOS	14
Geral	14
Específicos	14
CAPÍTULO I – Artigo Científico: Revista Brasileira de Zootecnia	15
Silagens de milho produzidas e fertilizadas com biofertilizante suíno influencia a cinética de produção de gases ruminais?	15
RESUMO	16
ABSTRACT	17
INTRODUÇÃO	18
MATERIAL E MÉTODOS	20
Descrição do local de estudo e material vegetal	20
Delineamento experimental e tratamentos	21
Colheita da cultura e ensilagem	22
Cinética de produção de gases ruminais	22
Seleção de funções não lineares	23
Ajuste modelos simples/completos e identidade de modelos	24
Taxa de produção de gases instantânea (IGR) e ponto de inflexão (IP)	25
RESULTADOS	26
DISCUSSÃO	28
Qualidade de ajuste dos modelos à cinética de produção de gases ruminais	28
Efeito de fatores e tratamentos sobre a cinética de produção de gases ruminais	28
CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS	34

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Descrição climática da estação experimental durante a condução do estudo.	38
Tabela 2. Composição do biofertilizante suíno.....	39
Tabela 3. Composição química-bromatológica das silagens produzidas com milho fertilizado com fertilizante químico e biológico suíno no plantio e na cobertura	40
Tabela 4. Funções não lineares, descrição matemática e autores	41
Tabela 5. Parâmetros estimados pelas funções não lineares e qualidade de ajuste das silagens de milho fertilizado com adubo químico e biológico em plantio e cobertura	42
Tabela 6. Identidade de modelos pela função não linear de Bertalanffy para as silagens de milho fertilizado com adubo químico e biológico no plantio e cobertura	43
Tabela 7. Comparação das estimativas dos parâmetros de produção de gases obtidas pelo modelo Bertalanffy para as silagens de milho fertilizado com adubo químico e biológico no plantio e cobertura	44

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E

UNIDADES

A – Fração solúvel da proteína (compostos não proteicos – NNP)

A – Volume assintótico de produção de gases

A+B1 – Fração prontamente degradável do carboidrato total

AGCC – Ácido graxo de cadeia curta

AIC – Critério de Informação de Akaike

B – Constante de integração

B2 – Fração potencialmente degradável do carboidrato total

BIC – Critério Bayesiano de Informação

C – Fração indigestível do carboidrato total

CEL – Celulose

CEUA – Comitê de Ética no Uso de Animais

CF – Carboidratos fibrosos

CH₄ – metano

CNCPS – Cornell Net Carbohydrate and Protein System

CNF – Carboidratos não fibrosos

CO₂ – Dióxido de carbono

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

CT – Carboidratos totais

DIC – Delineamento inteiramente casualizado

DIVMS – Digestibilidade *in vitro* da matéria seca

DL – Modelo Logístico Bicompartimental

EE – Extrato etéreo

FDA – Fibra insolúvel em detergente ácido

FDN – Fibra insolúvel em detergente neutro

FDNcp – Fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína

g – Grama

ha – Hectare

K – Potássio

K – Taxa específica de produção de gases

k1 – Taxa específica de produção de gases da fração A+B1 do Sistema CNCPS

k2 - Taxa específica de produção de gases da fração B2 do Sistema CNCPS

KCl – Cloreto de potássio (KCl)

kg – Quilograma

LIG – Lignina

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

mg - Miligrama

mL - Mililitro

MM – Matéria mineral

MN – Matéria natural

MO – Matéria orgânica

MS – Matéria seca

N – Nitrogênio

NDT – Nutrientes digestíveis totais

NIDA – Nitrogênio insolúvel em detergente ácido

NIDN – Nitrogênio insolúvel em detergente neutro

N-NH₃ – Nitrogênio amoniacal

NNP – Nitrogênio não proteico

NPK – Nitrogênio, fósforo e potássio

P – Fósforo

PB – Proteína bruta

PB1 – Fração rapidamente degradável da proteína bruta

PB2 – Fração de degradação intermediária da proteína bruta

PB3 – Fração de degradação lenta da proteína bruta

PBC -Fração indigestível da proteína bruta

pH – Potencial hidrogeniônico

PI – Ponto de inflexão

PMVt – Produtividade de matéria verde total

t – Tempo

UFC – Unidade formadora de colônia

USDA – Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

V – Volume total de gases produzidos no tempo

V6 – Seis folhas desenvolvidas

V8 – Oito folhas desenvolvidas

λ – Tempo de colonização

REVISÃO DE LITERATURA

INTRODUÇÃO

Avanços significativos nas cadeias produtivas de todos os setores do agronegócio aumentaram o consumo de insumos e a geração de resíduos. Esse aumento na geração de resíduos acende o alerta quanto ao seu descarte de forma inadequada, tornando um potencial poluidor do meio ambiente e ameaçando o equilíbrio do ecossistema (Cabral et al., 2011).

A biodigestão é uma alternativa para mitigar os efeitos do descarte de forma inadequada, transformando um possível agente contaminante em produto com aplicação, sendo passível de monetização (biogás e/ou biofertilizante). Neste sentido, o biofertilizante oriundo do dejetos suíno pode ser uma alternativa promissora para a fertilização de culturas (Pinto et al., 2014). O biofertilizante suíno apresenta elevados teores de matéria orgânica, nitrogênio (40 a 70% na forma amoniacal) e fósforo, sendo um potencial fornecedor de macros e micronutrientes para o desenvolvimento das principais culturas agrônômicas (Scherer et al., 2007).

O emprego do biofertilizante suíno como fonte de nutriente foi relatado em diferentes cultivos, como: *Urochloa decumbens* (Silva et al., 2015), Tifton 85 (Mufatto et al., 2016), feijão (Freire et al., 2017), soja (Antoneli et al., 2019) e milho (Tejada et al., 2016). No entanto, a qualidade nutricional relativa ao perfil de fermentação ruminal de culturas como o milho, fertilizadas com biofertilizante não foi explorada na literatura até o presente momento.

A técnica de produção de gases *in vitro* permite avaliar a cinética de fermentação ruminal, fornecendo informações sobre a taxa e a extensão da degradação dos alimentos no rúmen (Theodorou et al., 1994; Maurício et al., 1999). A técnica se baseia no pressuposto que a produção de gases em meio de crescimento com inóculo ruminal e sob

condições semelhantes ao retículo-rúmen é proporcional à quantidade de substrato fermentado (sua degradabilidade) (López et al., 2007).

Com isso, objetivou-se com o presente estudo avaliar a influência do tipo de fonte de fertilização nitrogenada da cultura do milho sobre as características de fermentação ruminal por meio da técnica *in vitro* de produção de gases.

Importância do milho e da silagem de milho para produção de ruminantes

A silagem de milho é a principal fonte de forragem utilizada nas dietas de vacas leiteiras de alta produção e confinamentos de bovinos de corte no Brasil (Bernades & Do Rêgo, 2014), contribuindo com energia e fibra para os ruminantes (Ferraretto et al., 2015). Sendo então, fundamental para a produção animal, dando suporte para que o país seja o 5º maior produtor de leite com 24,45 milhões de toneladas e o 2º maior produtor mundial de carne bovina com 232 milhões de cabeças (USDA, 2019).

O valor nutricional da silagem de milho depende de vários aspectos como: tipo de híbrido, densidade da cultura, condições de crescimento, grau de maturidade e umidade da colheita, adubação (Menezes et al., 2013) e condições de ensilagem (Satter & Reis, 2012). Fatores físicos como o tamanho médio de partícula e densidade estão diretamente relacionados ao tipo de fermentação e sua extensão na silagem, e por fim, a sua qualidade nutricional do volumoso.

Adubação nitrogenada e a produtividade da cultura do milho

O nitrogênio (N) é o elemento mais exigido e conseqüentemente o mais limitante para o desenvolvimento de culturas no mundo. A fertilização das culturas com N depende da exigência da cultura e do tipo de solo, uma vez que, esses fatores podem influenciar a

eficiência na assimilação e aumentar ou diminuir perdas por lixiviação, volatilização e nitrificação (Teixeira-Filho et al., 2010).

A cultura do milho é altamente exigente em N, sendo que a obtenção de altas produtividades é dependente de elevadas doses do nutriente (Amado & Mielniczuk, 2002; Araújo et al., 2004). Dessa forma, o custo de produção muitas vezes é oneroso pelo baixo aproveitamento de N e pela disponibilidade precoce, levando a perdas por lixiviação e/ou desnitrificação (volatilização). Todavia, quando há disponibilidade tardia do N o desenvolvimento e a produtividade da cultura do milho são prejudicados (Santos et al., 2010; Maciel et al., 2018).

Biofertilizantes

Os biofertilizantes são substâncias que possuem compostos bioativos, resultantes da biodigestão anaeróbia de compostos orgânicos de origem animal e vegetal. Em seu conteúdo são encontradas células vivas e/ou latentes de microrganismos do metabolismo anaeróbico, aeróbico e fermentação, e ainda metabólitos e quelatos organominerais em solutos aquosos (Medeiros & Lopes, 2006). De acordo com o Decreto 8384/2014 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), biofertilizante é um “produto que contém princípio ativo ou agente orgânico, isento de substâncias agrotóxicas, capaz de atuar, direta ou indiretamente, sobre o todo ou partes de plantas cultivadas, elevando a sua produtividade, sem ter em conta o seu valor hormonal ou estimulante”.

O biofertilizante é um produto de um processo que visa mitigar os efeitos deletérios de compostos que são potenciais poluidores do meio ambiente, contaminando solo, ar e água (Kunz et al., 2005; Cabral et al., 2011). Neste sentido, o material orgânico colhido é armazenado em biodigestores anaeróbios, e são bioquimicamente digeridos por

microrganismos anaeróbicos, convertendo compostos orgânicos complexos em substâncias mais simples (Cortez et al., 2008; Lemos et al., 2012). As reações químicas envolvidas no processo de digestão anaeróbia levam a produção de biogás (composto majoritariamente por metano CH₄), água e biofertilizante, sendo o último empregado na fertilização de cultivos agrícolas (Parrado et al., 2008).

O biofertilizante apresenta grande importância na fertilização de cultivos agrícolas, principalmente pela disponibilidade gradativa (médio a longo prazo) de nutrientes para a planta, através da mineralização, reciclagem e melhoria intrínseca da fertilidade, estrutura e porosidade do solo, pela inserção de matéria orgânica (Michigan, 2016). No entanto, os biofertilizantes apresentam algumas limitações que podem ser contornadas, como o desbalanceamento nutricional em sua composição (proporção de macro e micronutrientes). Neste caso, passa a ser necessária a adequação das proporções dos nutrientes com fertilizantes químicos (Sampaio et al., 2010). Outro ponto importante é a necessidade de maior planejamento e cuidado com o cálculo das doses necessárias de nutrientes a partir da concentração de nitrogênio contido no biofertilizante (Meneghetti et al., 2012).

Técnica da produção de gases e sua importância

A técnica *in vitro* de produção de gases foi desenvolvida na década de 1950, com o intuito de prever a fermentação dos alimentos no rúmen (McBee, 1953; Akinfeni et al., 2009). A técnica se baseia em uma amostra do alimento (substrato) incubada em líquido ruminal (inóculo) e solução tampão dentro de um frasco. O gás produzido é acumulado no espaço vazio do frasco e é aferido em intervalos de tempo (Pell & Schofield, 1993). No período inicial da incubação a microbiota contida no inóculo se aderem às partículas do substrato e iniciam o processo de degradação. Com isso, há produção de gases (dióxido

de carbono – CO₂ e metano – CH₄), ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) e biomassa microbiana, também denominada de proteína microbiana (Krishnamoorthy et al., 2005).

A técnica *in vitro* de produção de gases é precisa na obtenção de informações do processo de fermentação ruminal de alimentos, uma vez que, o acúmulo de gases é resultado direto do metabolismo microbiano, sendo monitorado em intervalos curtos de tempo. Dessa forma, a cinética de fermentação do substrato pode ser descrita com precisão, ainda em estágios iniciais ou que não é possível com técnica de degradabilidade (Silva et al., 2015). Todavia, a técnica apresenta algumas desvantagens como: usar amostras reduzidas que dificulta a homogeneização; e a padronização do inóculo entre os diferentes estudos, dificultando a comparação de resultados (Krishnamoorthy et al., 2005).

A fermentação ruminal envolve uma série de reações exoenergéticas catalisadas por microrganismos. Desse modo, a produção de gases é diretamente proporcional à atividade microbiana sobre o alimento, permitindo estimar a qualidade nutricional do mesmo (Pell & Schofield, 1993; Theodorou et al., 1994). Devido à importância e a qualidade das informações obtidas a técnica passou a fazer parte do portfólio de análises de laboratórios de nutrição de ruminantes em todo o mundo. Outros pontos que contribuíram para tal feito são a simplicidade, baixo custo e a possibilidade de processar grande número de amostras em curto espaço de tempo (Schofield, 2000; Barcelos et al., 2001; France et al., 2005; Wang et al., 2013; Wang et al., 2016).

A técnica de produção de gases fornece informações detalhadas do processo de fermentação ruminal por meio de parâmetros matemáticos obtidos por regressão não linear utilizando funções desenvolvidas para a nutrição de ruminantes (Schofield & Pell, 1995). Essas funções matemáticas permitem realizar o resumo de um fenômeno complexo em parâmetros com interpretação biológica (Silva et al., 2010; Emiliano et al., 2014). Os

parâmetros comumente presentes nas funções não lineares para estudo de produção de gases são: volume assintótico de produção de gases (A), taxa de produção de gases (k) e o tempo de colonização microbiano (λ); mas há variações (FRANCE et al., 2005; Ware & Power, 2017; Tjørve & Tjørve, 2017).

A técnica *in vitro* de produção de gases ruminal vêm sendo utilizada recentemente para inúmeros fins como: avaliação do potencial nutritivo de grãos de ervilha e feijão nativo (Bachmann et al., 2020); fermentação ruminal e produção de metano em sistema silvipastoril (Santos et al., 2020); avaliar o perfil de fermentação ruminal de azevém fresco e ensilado, geneticamente modificado de alta energia metabolizável (Winichayakul, 2020), avaliação de coprodutos (Cabral et al., 2020) e de silagens de milho (Elghandour et al., 2017).

A cinética de produção de gases ruminal apresenta geralmente curvas com formato sigmoide, sendo composta por três fases (inicial: com baixa produção; exponencial: com rápida produção; assintótica: fase de lenta ou ausência de produção de gases (Schofield et al., 1994; Farias et al., 2011). O modelo com maior qualidade de ajuste deve ser aquele capaz de modelar as variações das observações. Neste sentido, não se deve utilizar um modelo indiscriminadamente para todos os tipos de substratos. Assim, há a necessidade de avaliar diferentes funções/modelos buscando o mais adequado a cada situação, a fim de evitar erros de predição (France et al., 2005).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKINFEMI, A. et al. Use of an in vitro gas production technique to evaluate some Nigerian feedstuffs. **American-Eurasian Journal of Scientific Research**, v. 4, n. 4, p. 240-245, 2009.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 3, p. 553-560, 2000.
- ANTONELI, V.; MOSELE, A. C.; BEDNARZ, J. A.; PULIDO-FERNÁNDEZ, M.; LOZANO-PARRA, J.; KEESSTRA, S. D.; RODRIGO-COMINO, J. Effects of applying liquid swine manure on soil quality and yield production in tropical soybean crops (Paraná, Brazil). **Sustainability**, 11(14), 3898, 2019.
- ARAÚJO, Luiz Alberto Navarro de; FERREIRA, Manoel Evaristo; CRUZ, Mara Cristina Pessoa da. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 8, p. 771-777, 2004.
- BACHMANN, M.; KUHNITZSCH, C.; MARTENS, S. D.; STEINHÖFEL, O.; ZEYNER, A. Estimation of gas production and post-ruminal crude protein from native or ensiled *Pisum sativum* and *Vicia faba* grains. **Journal of Applied Animal Research**, 48(1), 78-85.685+-88, 2020.
- BARCELOS A. F., PAIVA P. C. A., PERÉZ J. R. O., TEIXEIRA J. C., CARDOSO R. M. Avaliação da Casca e da Polpa Desidratada de Café (*Coffea arabica* L.) pela Técnica de Degradabilidade In vitro de Produção de Gás. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 30(6):1829-1836, 2001.
- BERNARDES, T. F.; DO RÊGO, A. C. Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 3, p. 1852-1861, 2014.

- CABRAL, Í. D. S.; OLIVEIRA, S. S.; AZEVÊDO, J. A. G.; SOUZA, L. L.; LIMA, R. F. D.; LOPES, C. D. C.; ... SOUSA, C. A. F. D. Ruminant fermentation kinetics of by-products using the semi-automatic technique of in-vitro gas production. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, 21, 2020.
- CABRAL, J. R. et al. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 823-831, 2011.
- CABRAL, J. R.; FREITAS, P. S.; REZENDE, R.; MUNIZ, A. S.; BERTONHA, A. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 15(8), 823-831, 2011.
- CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. Biodigestão de Efluentes. In: **Biomassa para Energia**. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2008.
- ELGHANDOUR, M. M. Y. et al. Effects of organic acid salts on ruminal biogas production and fermentation kinetics of total mixed rations with different maize silage to concentrate ratios. **Journal of cleaner production**, v. 147, p. 523-530, 2017.
- EMILIANO, Paulo C.; VIVANCO, Mário JF; DE MENEZES, Fortunato S. Information criteria: How do they behave in different models?. **Computational Statistics & Data Analysis**, v. 69, p. 141-153, 2014.
- FARIAS, L. N. et al. Avaliação dos modelos logístico bicompartimental e de Gompertz na estimativa da dinâmica de fermentação ruminal in vitro do farelo e da torta de babaçu (*Orbignya martiana*). **Arq. bras. med. vet. zootec**, p. 136-142, 2011.

FERRARETTO, L. F. et al. Corn Shredlage: Equipment, storage and animal perspectives.

In: **Proceedings of 17th International Silage Conference. ESALQ, Piracicaba.**

2015. p. 150-157.

FRANCE, Jim et al. A general compartmental model for interpreting gas production profiles. **Animal Feed Science and Technology**, v. 123, p. 473-485, 2005.

FREIRE, J. L. O.; MORAIS, M. S.; CARVALHO, D. M.; ARRUDA, J. A. (2017)

Comportamento fenotípico do feijão macassar inoculado com rizóbio sob biofertilização suína e estresse salino. **Revista Principia**, 1(35), 50-59.

KRISHNAMOORTHY, U.; RYMER, C.; ROBINSON, P. H. The in vitro gas production technique: Limitations and opportunities. 2005.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 22, n. 3, p. 651-665, 2005.

LEMOS, C. F. et al. Manejo de dejetos sólidos de poedeiras pelo processo de biodigestão anaeróbica. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, 2012.

LÓPEZ, S.; DHANOA, M. S.; DIJKSTRA, J.; BANNINK, A.; KEBREAB, E.; FRANCE, J. Algumas considerações metodológicas e analíticas a respeito da aplicação da técnica de produção de gás. **Animal Feed Science and Technology**, v.135, n.1, p.139-156, 2007.

MACIEL, S. O.; ALMEIDA, R. E. M. D.; CIAMPITTI, I. A.; PIEROZAN JUNIOR, C.; LAGO, B. C.; TRIVELIN, P. C. O.; FAVARIN, J. L. Understanding N timing in corn yield and fertilizer N recovery: An insight from an isotopic labeled-N determination. **PloSone**,13(2), e0192776, 2018.

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. **Animal Feed Science and Technology**, v. 79, n. 4, p. 321-330, 1999
- MCBEE, R. H. A Manometric Method for the Evaluation of the Microbial Activity of the Rumen with an Application to the Utilization of Cellulose and Hemicelluloses. **Applied microbiology**, v. 1, n. 2, p. 106, 1953.
- MEDEIROS, M. B.; LOPES, J. S.. Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola. **Bahia Agrícola. Salvador**, v. 7, 2006.
- MENEGHETTI, Adriana M. et al. Mineral composition and growth of babycorn under swine wastewater combined with chemical fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 11, p. 1198-1205, 2012.
- MENEZES, L. F. G. et al. Produção, valor nutricional e eficiências de recuperação e utilização do nitrogênio de silagens de milho sob diferentes doses de adubação nitrogenada. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 3, p. 1353-1361, 2013.
- MICHIGAN AGRICULTURE COMMISSION et al. Generally Accepted Agricultural and Management Practices for Manure Management and Utilization. **Michigan Department of Agriculture, Lansing**, 2016.
- MUFATTO, L. M.; NERES, M. A.; NATH, C. D.; STANGARLIN, J. R; CARINE SCHEIDT, K.; CASAROTTO, L.; SUNAHARA, S. M. M. Caracterização e quantificação da população de fungos em área de produção de feno de capim Tifton 85, adubado com biofertilizante suíno. **Ciência Rural**, 2016.
- PARRADO, J. et al. Production of a carob enzymatic extract: potential use as a biofertilizer. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 7, p. 2312-2318, 2008.
- PELL, A. N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion in vitro. **Journal of dairy science**, v. 76, n. 4, p. 1063-1073, 1993.

- PINTO, L. P.; CABRAL, A. C.; SCHNEIDER, L. T.; AZEVEDO, K.; FRIGO, J. P.; FRIGO, E. P. Levantamento de dados sobre os dejetos suínos e suas características. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, 3(3), 179-187, 2014.
- SAMPAIO, Silvio C. et al. Comportamento das formas de nitrogênio em solo cultivado com milho irrigado com água residuária da suinocultura. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 1, p. 138-149, 2010.
- SANTOS, A. R. M. D.; BARROS, L. V. D.; ABREU, M. L. C.; PEDREIRA, B. C. In vitro ruminal fermentation parameters and methane production of Marandu palisadegrass (*Urochloa brizantha*) in a silvopastoral system associated with levels of protein supplementation. **Grass and Forage Science**, 2020.
- SANTOS, P. A. et al. Adubos verdes e adubação nitrogenada em cobertura no cultivo do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 9, n. 2, p. 123-134, 2010.
- SATTER, L. D.; REIS, R. B. Milk production under confinement conditions. **US. Dairy Forage Research Center, USDA-ARS and Dairy Science Department. University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, USA**, 2012.
- SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; NESI, C. N. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31(1), 123-131, 2007.
- SCHOFIELD, P. **Gas production methods**. In: D`MELLO, J.P.F. (Ed.) Farm animal metabolism and nutrition. Wallingford: CAB Publishing, 2000. Cap.10, p.209- 232.
- SCHOFIELD, Peter; PELL, Alice N. Measurement and kinetic analysis of the neutral detergent-soluble carbohydrate fraction of legumes and grasses. **Journal of Animal Science**, v. 73, n. 11, p. 3455-3463, 1995.
- SCHOFIELD, Peter; PITT, R. E.; PELL, A. N. Kinetics of fiber digestion from in vitro gas production. **Journal of Animal Science**, v. 72, n. 11, p. 2980-2991, 1994.

- SILVA, A. D. A.; LANA, Â. M.; LANA, R. M.; COSTA, A. M. Fertilização com dejetos suínos: influência nas características bromatológicas da *Brachiaria decumbens* e alterações no solo. **Engenharia Agrícola**, 35(2), 254-265, 2015.
- SILVA, L. H. X. et al. Produção total de gases e degradabilidade in vitro de dietas com torta de girassol. **Archivos de zootecnia**, v. 64, n. 248, p. 365-371, 2015.
- SILVA, V. P. et al. Degradação cecal in situ de alimentos volumosos em equinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 2, p. 349-355, 2010.
- TEIXEIRA FILHO, M. C. M. et al. Análise econômica da adubação nitrogenada em trigo irrigado sob plantio direto no cerrado. **Revista Ceres**, v. 57, n. 4, p. 446-453, 2010.
- TEJADA, M. et al. Use of biofertilizers obtained from sewage sludges on maize yield. **European Journal of Agronomy**, v. 78, p. 13-19, 2016.
- THEODOROU, MICHAEL K. et al. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. **Animal feed science and technology**, v. 48, n. 3-4, p. 185-197, 1994.
- TJØRVE, Kathleen MC; TJØRVE, Even. The use of Gompertz models in growth analyses, and new Gompertz-model approach: An addition to the Unified-Richards family. **PloSone**, v. 12, n. 6, p. e0178691, 2017.
- USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Dairy Production and Trade Developments. Acesso em: 10 novembro de 2020. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/dairy.pdf>.
- WANG, M. et al. Comparisons of manual and automated incubation systems: effects of venting procedures on in vitro ruminal fermentation. **Livestock Science**, v. 184, p. 41-45, 2016.
- WANG, M. et al. Deriving fractional rate of degradation of logistic-exponential (LE) model to evaluate early in vitro fermentation. **Animal**, v. 7, n. 6, p. 920-929, 2013.

WARE, A.; POWER, N. Modelling methane production kinetics of complex poultry slaughterhouse wastes using sigmoidal growth functions. **Renewable Energy**, v. 104, p. 50-59, 2017.

WINICHAYAKUL, S.; BEECHEY-GRADWELL, Z.; MUETZEL, S.; MOLANO, G.; CROWTHER, T.; LEWIS, S.; ... ROBERTS, N. J. In vitro gas production and rumen fermentation profile of fresh and ensiled genetically modified high-metabolizable energy ryegrass. **Journal of Dairy Science**, 103(3), 2405-2418, 2020.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Avaliar a degradabilidade ruminal de silagens de milho produzidas com milho fertilizado com biofertilizante suíno em combinação e/ou substituição à adubação mineral por meio da técnica de cinética de produção de gases *in vitro*.

Objetivos específicos

Selecionar a função não linear com maior qualidade de ajuste aos dados de produção de gases de silagens de milho produzidas e fertilizadas com biofertilizante em combinação e/ou substituição à fertilização química.

Verificar se há efeito do tipo de adubação química e/ou biofertilizante no plantio e cobertura sobre os parâmetros de cinética de produção de gases ruminais de silagens de milho adubadas com biofertilizante suíno.

Identificar a melhor combinação entre adubação química no plantio ou na cobertura e biofertilizante no plantio ou na cobertura.

Capítulo I

Artigo redigido de acordo com as normas da revista científica:

Revista Brasileira de Zootecnia

SILAGENS DE MILHO PRODUZIDAS E FERTILIZADAS COM BIOFERTILIZANTE SUÍNO INFLUENCIA A CINÉTICA DE PRODUÇÃO DE GASES RUMINAIS?

RESUMO

Objetivou-se com o presente estudo avaliar a degradabilidade ruminal de silagens de milho produzidas com milho fertilizado com biofertilizante suíno em combinação e/ou substituição à adubação mineral por meio da técnica de cinética de produção de gases *in vitro*. O estudo foi conduzido em delineamento inteiramente ao acaso (DIC) em esquema fatorial 2², em que os fatores são: o tipo de fertilização no plantio (química e biofertilizante suíno) e o tipo na cobertura (química e biofertilizante suíno), com quatro repetições. As plantas de milho foram colhidas, picadas, ensiladas em silos experimentais e armazenados por 21 dias, quando foram abertos. Foram retiradas amostras para secagem em estufa de ventilação forçada. Após a secagem e moagem das amostras, uma alíquota de 0,5 g foi incubada em líquido ruminal tamponado por 48 horas, com leitura da pressão interna dos frascos medidas a cada 15 minutos. Posteriormente, foram ajustadas as funções não lineares (Brody, Bertalanffy, France, Gompertz, Logístico Modificado e Logístico Bicompartimentado). Foram utilizados os critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC) para seleção da função com melhor qualidade de ajuste aos dados de produção de gases das silagens. Após a seleção, foi realizado um teste de identidade de modelos com intuito de selecionar o modelo que detém a maior variação dos dados (modelo simples: sem efeito de tratamentos; modelos reduzidos: considera apenas os efeitos do tipo de fertilização no plantio ou na cobertura; e modelo completo: considera a combinação dos níveis dos fatores plantio e cobertura). Após a definição do modelo adequado, foi realizado o ajuste individual, seguido de uma reamostragem BootStrap e os dados obtidos foram comparados com um teste BootStrap ($P < 0,01$). A função não linear de Bertalanffy apresentou a melhor qualidade de ajuste para cinética de produção de gases ruminais, com menores valores de AIC e BIC. O modelo completo apresentou diferenças significativas quando comparado com os modelos reduzidos (plantio e cobertura) e simples ($P < 0,01$). A silagem fertilizada com biofertilizante suíno no plantio e na cobertura (BIOBIO) apresentou os melhores parâmetros de cinética de produção de gases.

Palavras-chave: adubação mineral; degradabilidade; dejetos de suínos; fermentação ruminal

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the ruminal degradability of corn silages produced with corn fertilized with swine biofertilizer in combination and / or substitution to mineral fertilization using the *in vitro* gas production kinetics technique. The study was carried out in completely randomized design in factorial scheme 2², in which the factors are: the type of fertilization in the moment of planting (chemical and porcine biofertilizer) and the type of coverage (chemical and porcine biofertilizer), with four replications. The corn plants were harvest, chop, ensile in experimental silos and stored for 21 days, when they are open. Then samples were collected and dried in forced ventilation stove. After the drying and milling of samples, an aliquot of 0.5 g was incubated in buffered ruminal fluid for 48 hours, with internal pressure bottles measured every 15 minutes. Subsequently, they were adjusted to non-linear functions (Brody, Bertalanffy, France, Gompertz, Modified Logistics and Bicompartamental Logistics). There were used the Akaike (AIC) and Bayesian (BIC) information criterion for selecting the function with the best quality of adjustment of silages gas production data. After the selection, a model identity test was carried out with the aim of selecting the model that has a greater variation of data (simple model: without treatment effects; reduced models: only considers the effects of the type of fertilization, at planting or coverage moment; and complete model: consider a combination of two levels (planting and coverage moment). After defining the appropriate model, it was carried out the individually adjustment, followed by a BootStrap resampling and the data obtained was compared with a BootStrap test (P <0.01). A non-linear function Bertalanffy appears to have a better adjustment quality for the kinetics of ruminal gas production, with lower AIC and BIC values. The complete model shows significant differences compared with the reduced models (planting and coverage) and simple (P <0.01). The silage fertilized with porcine biofertilizer in planting and covering (BIOBIO) presented the best parameters of gas production kinetics.

Key-Words: degradability; mineral fertilization; ruminal fermentation; swine manure

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L) é um dos cereais mais cultivados no mundo. É importante tanto para a nutrição humana quanto animal, uma vez que é o principal macronutriente para produção de rações. Dada a relevância na competitividade do mercado brasileiro de carnes, a produção do grão tem aumentado gradativamente (Pereira Filho, 2015).

Na safra brasileira de 2018/19 foram produzidas 94,5 milhões de toneladas de milho (USDA, 2019). Destes, aproximadamente 30 e 70% correspondentes à primeira e segunda safra, respectivamente. Com representativa produção, o Brasil ocupa posição destacável no ranking de produção desta *commoditie*, ficando atrás dos Estados Unidos e China (CONAB, 2019). Associado com a relevância nutricional, o milho possui grande valor socioeconômico e consiste em matéria-prima de vários complexos agroindustriais (Fancelli e Dourado Neto, 2000).

A utilização de resíduo orgânico em substituição ao adubo químico em cultivos de plantas forrageiras tem demonstrado eficiência em suprir as exigências nutricionais das culturas adotadas, principalmente pelo resíduo orgânico da suinocultura (biofertilizante) ser constituído de urina, fezes, restos de alimento, saliva e água proveniente dos desperdícios de bebedouro e limpeza; sendo rico em macronutrientes, como: nitrogênio, fosforo e potássio (Peruzatto, 2009).

Quando coletados e armazenados em biodigestores, os dejetos brutos sofrem conversão bioquímica pela atividade de microrganismos que atuam em anaerobiose (Cortez et al., 2008). Há transformação dos compostos orgânicos complexos em substâncias com estruturas mais simples, como água, dióxido de carbono, metano e biofertilizante com reduzida concentração de microrganismos patogênicos,

comumente encontrados nos dejetos não tratados (Caron et al., 2009; Lemos et al., 2012).

O dejetos suíno pode melhorar as propriedades físicas do solo e, conseqüentemente, as propriedades químico-bromatológicas das plantas. Isto por ser um resíduo que é composto por elevados teores de matéria orgânica e de nutrientes, principalmente o N (nitrogênio) e P (fósforo) que são benéficos para a produção dos vegetais (Scherer et al., 2007).

A produção de massa verde é um dos primeiros parâmetros a avaliar quando se busca informação sobre determinado cultivar para silagem; além de ser um parâmetro para o dimensionamento do silo (Ferrari Jr. et al., 2005). A maioria das cultivares de milho melhorado geneticamente para a produção de silagem apresenta produtividade de massa verde total a cerca de 50 toneladas por hectare e, produtividade de massa seca total que varia de 15,0 a 17,5 toneladas por hectare, considerando 30,0 % a 35,0 % de matéria seca (Paziani, 2009).

Na bovinocultura, o milho normalmente é ofertado misturado a outros tipos de grãos, ou em forma de silagem, que pode ser da parte aérea da planta ou silagem de grão úmido, que otimiza o valor nutritivo por favorecer a exposição do amido que compõe o grão. O processo de ensilagem é um dos métodos mais importantes de conservação de forragens produzidas em época de abundância, com o objetivo de suplementar os animais de produção em período de escassez de alimentos (Daniel et al., 2019).

Contudo, objetivou-se com o presente estudo avaliar a degradabilidade ruminal das silagens de milho produzidas com milho fertilizado com biofertilizante suíno em combinação e/ou substituição à adubação mineral por meio da técnica de cinética de produção de gases *in vitro*. Neste sentido, considera-se a hipótese

(hipotetizamos) que não haverá alteração nos parâmetros nutricionais estimados pela técnica de produção de gases mediante a modelagem da curva.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi submetido e aprovado pelo comitê do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, Rio Verde, Goiás, Brasil, sob o código 032/2019 no dia 26/03/2019. A coleta do biofertilizante foi aprovada pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA), sendo o projeto protocolado e aceito pela CEUA do Instituto Federal Goiano, sob o número 7413151117.

Descrição do local de estudo e material vegetal

O estudo foi conduzido no campo experimental e no laboratório de Nutrição Animal do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde (17°48'S 50°55'W) no município de Rio Verde, estado de Goiás, Brasil. Nesta região, a temperatura média anual é de 23,3°C, a média anual de precipitação é 1663 mm e altitude igual a 737 m (Climate-Data, 2020). O solo é classificado como Latossolo vermelho escuro, com textura argilosa. Antes da semeadura foi realizada amostragem do solo (0 – 20; 20 - 40 cm) para correção do teor de acidez e fertilização; e ainda dessecação da forrageira *Urochloa brizantha* cv. Marandu. Os dados climáticos médios mensais estão apresentados na tabela 1. Sementes milho (*Zea mays* L., híbrido precoce convencional 22S18) foram semeadas em parcelas de 3 x 3 m, com densidade 70 mil plantas por ha⁻¹, profundidade de 3,0 - 5,0 cm sob palhada (*Urochloa brizantha* cv. Marandu). As parcelas eram espaçadas entre si por um corredor de 1,0 m de largura. A densidade de plantio da cultura do milho foi de 70.000 sementes por hectare.

A fertilização química de base (semeadura) e cobertura foi realizada com o formulado NPK 8-20-18 (40,0 kg N ha⁻¹) e ureia a 130 kg N ha⁻¹, respectivamente. E a fertilização biológica foi realizada via biofertilizante suíno com níveis de NPK equivalentes a fertilização química de base e cobertura, sendo corrigido para P e K quando necessário. A correção quando necessária foi realizada com Super Simplex e cloreto de potássio (KCl). Os valores médios e a variação da composição do biofertilizante utilizado estão apresentados na tabela 2. A fertilização de base ocorreu no mês de março e as fertilizações de cobertura ocorreram entre os estádios fenológicos de desenvolvimento V6 (seis folhas completamente expandidas) e V8 (oito folhas completamente expandidas). As fertilizações foram realizadas manualmente com auxílio de regadores.

Delineamento experimental e tratamentos

O presente estudo foi conduzido em delineamento inteiramente ao acaso (DIC) em esquema fatorial 2², sendo o fator A (tipo de adubação no plantio) e o segundo B (tipo de adubação na cobertura). Os níveis de ambos os fatores foram: fertilização química/mineral (AQ) e fertilização biológica – biofertilizante suíno (BIO). Portanto, as combinações dos níveis dos fatores culminam nos seguintes tratamentos: fertilização mineral no plantio e cobertura (AQAQ), fertilização biológica/biofertilizante suíno no plantio e cobertura (BIOBIO), fertilização química no plantio e biológica na cobertura (AQBIO) e fertilização biológica no plantio e química na cobertura (BIOAQ). Na tabela 3 está descrito a composição bromatológica média das silagens.

Colheita da cultura e ensilagem

A colheita do milho ocorreu no mês de junho de 2018, com teor de matéria seca (MS) dentro da faixa preconizada (30 – 35 %) (McDonald et al., 1991). Plantas inteiras (corte a 15 cm acima do solo) da área útil (1 m²) de cada parcela foram picadas em partículas de 2,0 cm com ensiladeira estacionária, homogeneizadas e ensiladas. Os silos experimentais foram compostos por tubos de PVC com 100 mm de diâmetro e 50 cm de comprimento, os mesmos possuíam válvula de Bünsen para permitir o escape dos gases de fermentação. Para coleta do efluente produzido durante ensilagem, adicionou-se no fundo de cada silo 500 g de areia fina e seca, separada da massa vegetal por um tecido de algodão e tela. Com auxílio de um soquete de madeira a massa vegetal foi compactada até atingir a densidade de 600 kg m⁻³. Os silos foram vedados com tampa e fita adesiva armazenados em área coberta em temperatura ambiente, por 21 dias, quando foram abertos.

Cinética de produção de gases ruminais

A produção de gases ruminal *in vitro* foi determinada conforme metodologia descrita por Theodorou et al. (1994) modificada por Maurício et al (1999). Foram colhidos líquidos ruminais de 2 bovinos fistulados no rúmen, mantidos a pasto de *Urochloa sp.*, recebendo silagem de milho *ad libitum* durante o dia. O líquido ruminal foi mantido 39,5°C em garrafa térmica e homogeneizado em liquidificador por 1 min, sempre saturando com CO₂. Foram inoculados 30 mL do líquido ruminal, 10 mL da solução tampão B Kansas State (15 g L⁻¹ Na₂CO₃ e 1,0 g L⁻¹ Na₂S·9H₂O) e 120 mL da solução tampão A Kansas State (10 g L⁻¹ KH₂PO₄, 0,5 g L⁻¹ MgSO₄·7H₂O, 0,5 g L⁻¹ NaCl e 0,5 g L⁻¹ ureia) em um frasco com volume igual a 310 mL (Tilley & Terry, 1993). Posteriormente, foram adicionados 500 mg de amostra em cada frasco, com

módulos automáticos (Ankon, 2014) que fizeram a leitura de pressão (psi) e temperatura (°C) a cada 15 min até o período de 48 h. A pressão máxima admitida dentro do espaço vazio dos frascos de incubação foi de 7 psi (Theodorou et al., 1994). Então, a pressão final foi convertida em produção de gases ruminais (PG) em mL mg⁻¹ MS, pelas seguintes equações:

$$n = p \left(\frac{V}{RT} \right)$$

$$PG = n * 22,4 * 1000$$

em que, n produção de gases em moles (mol); p pressão em quilopascal (kPa), sendo 1 psi igual a 6,894757293 kPa; V volume de espaço vazio no frasco de incubação em litro (no presente estudo esse volume é igual a 0,06 = 60 mL, uma vez que 150 mL do frasco de 310 mL foi preenchido com a solução de incubação); T temperatura em Kelvin (°K), sendo 1° C igual a 273,15 °K; R constante dos gases igual a 8,314472 L kPa⁻¹ K⁻¹ mol⁻¹; 22,4 volume em L para a pressão de gases igual a 1 psi a temperatura de 273,15 °K; 1000 constante de conversão de L em mL.

Seleção de funções não lineares

Após a obtenção dos dados de produção de gases, os mesmos foram submetidos à regressão não linear com intuito de selecionar a função com melhor ajuste. As funções não lineares avaliadas foram: Bertalanffy, Brody, Gompertz, Logístico Modificado, Logístico Bicompartimental e France (Tabela 4). A função não linear de France não atingiu a convergência para todas as silagens estudadas. Posteriormente, a função com melhor ajuste foi selecionada de acordo com os

critérios de informação de Akaike (AIC) (Akaike, 1974) e Bayesiano (BIC) (Schwarz, 1978):

$$AIC = -2 \log(L) + 2p$$

$$BIC = -2 \log(L) + p \log(n)$$

em que, L : função de verossimilhança; n : número de observações; e p : número de parâmetros ajustados.

Ajuste modelos simples/completos e identidade de modelos

Após a seleção da função não linear, realizou-se um teste de identidade de modelos, sendo realizado o ajuste de um modelo completo em que a cinética de produção de gases é influenciada pela interação dos fatores Plantio e Cobertura; um modelo simples com ausência de efeito dos fatores; e modelo reduzido que consideram a influência dos fatores de forma isolada. Exemplo para um modelo com três parâmetros:

$$y_{ij} = A[L_j]; b[L_j]; k[L_j] + \epsilon_{ij}$$

em que, y_{ij} é a volume de produção de gases (mL) da parcela i no tempo t para j fator; A é o volume de gases assintótico; b é a constante de integração; k é a taxa de produção de gases; L_j é o fator qualitativo binário de presença [1] ou ausência [0] de efeito de fatores (ausência, Plantio, Cobertura ou interação); ϵ_{ij} é o erro experimental na i parcela no tempo t e no j fator/interação. Por fim, os modelos foram submetidos a um teste de razão de verossimilhança com aproximação por meio de uma análise de variância (ANOVA) com teste F (Regazzi, 2003). Após a seleção do modelo com melhor ajuste, foi realizado o ajuste individual seguido de

uma reamostragem de BootStrap utilizando a nlsBoot da biblioteca nlstools (Baty, 2015). Para esta análise foi considerada a configuração padrão da função, em que, 999 conjuntos de dados reamostrados são criados a partir dos quais estimativas de parâmetros são obtidas ajustando o modelo em cada um desses conjuntos de dados. Foi criado um banco de dados com os valores estimados pela função nlsBoot e, esses foram comparados com um teste de comparação múltipla BootStrap ($P < 0,01$) (Ramos e Ferreira, 2009), utilizando a biblioteca ExpDes (Ferreira et al., 2014).

Taxa de produção de gases instantânea (IGR) e ponto de inflexão (IP)

Após o ajuste individual de cada tratamento, procedeu-se a determinação da taxa instantânea de produção de gases obtida pela derivação dos modelos de funções não lineares (dy/dt), sendo:

Bertalanffy,

$$IGR(t) = 3Vfbk \exp\{-kt\} [(1-b \exp\{-kt\})^2];$$

Brody,

$$IGR(t) = Vfbk \exp\{-kt\};$$

France,

$$IGR(t) = \{[(b+c/2\sqrt{t}) \exp\{-b(t-\lambda)\} - c(\sqrt{t}-\sqrt{\lambda})] / [1 - \exp\{-b(t-\lambda) - c(\sqrt{t}-\sqrt{\lambda})\}]\};$$

Gompertz,

$$IGR(t) = bky \exp\{-kt\};$$

Logístico,

$$IGR(t) = \{Vf[\exp(2-4k(t-\lambda))(4*k)]/y2\};$$

Logístico Bicompartimental,

$$IGR(t) = Vf1(\exp(2-4k1(t-\lambda))(4k1))/(1+\exp(2-4k1(t-\lambda)))^2 + Vf2(\exp(2-4k2(t-\lambda))(4k2))/(1+\exp(2-4k2(t-\lambda)))^2;$$

em que, $IGR(t)$: taxa de produção de gases no tempo (t); y : função do modelo respectivo. Posteriormente, foi determinado o ponto de inflexão (PI) em que, x_i : é o intervalo de tempo em que a taxa de produção de gases passa de crescente para decrescente; e y_i : é a taxa máxima de produção de gases. Os dados obtidos foram comparados com um teste de comparação múltipla BootStrap ($P < 0,01$) (Ramos e Ferreira, 2009), utilizando a biblioteca ExpDes (Ferreira et al., 2014). Todos os procedimentos foram realizados com o software R Core Team versão 3.6.3 (2020) (<https://www.r-project.org/>).

RESULTADOS

A função Bertalanffy apresentou os menores valores das estatísticas, Critério Bayesiano de Informação (BIC), Critério de Informação de Akaike (AIC) e reduzido número de iterações para atingir a convergência. Em segundo modo ficaram às funções de Gompertz, Logístico Bicompartimentado e Logístico Modificado (Tabela 5).

De modo geral para todas as funções de cinética de produção de gases o modelo completo (Plantio x Cobertura) apresentou os menores valores de AIC e BIC, sugerindo o melhor ajuste aos dados observados (Tabela 5). No entanto, os critérios de informação não apresentam um teste estatístico que permite afirmar que o modelo completo é o que detém a maior quantidade de informação dos efeitos dos fatores envolvidos. Portanto, considerando a função de Bertalanffy como a mais adequada para descrever a cinética de produção de gases ruminais de silagens de milho produzidas com biofertilizante em substituição à fertilização química, procedeu-se a análise de identidade de modelos com um teste de verossimilhança (Tabela 6).

Nota-se que o modelo simples (ausência de efeito de tratamento) apresenta diferença significativa com o modelo reduzido de plantio ($P < 0,01$) (Tabela 6). O mesmo comportamento foi observado quando comparando o modelo reduzido de cobertura com o modelo completo, e estes com o modelo simples ($P < 0,01$). Então, comparando os modelos reduzidos de plantio e cobertura com o modelo completo observou-se que são diferentes ($P < 0,01$) (Tabela 6). Neste sentido, o modelo completo é o que explica a maior parte da variação dos dados observados no presente estudo. Portanto, procedeu-se a estimação da curva individual de cada tratamento, parâmetros da curva, taxa de produção de gases instantânea (IRG) e do ponto de inflexão (IP).

Em relação aos parâmetros da curva de produção de gases de cada tratamento (Tabela 7). A produção de gases assintótica (A) variou de 22,03 a 23,11 mL, sendo a maior produção estimada para a silagem de milho fertilizado com adubo biológico no plantio e cobertura (BIOBIO) ($P < 0,01$). A taxa de produção de gases (k) variou de 0,0033 a 0,0035 mL min⁻¹, sendo a maior taxa para as silagens fertilizadas com adubo químico no plantio e cobertura (AQAQ), e a menor taxa para silagens fertilizadas com adubo químico no plantio e biológico na cobertura (AQBIO) ($P < 0,01$). Em relação às taxas instantâneas de produção de gases, as mesmas variaram de 6,52 a 6,84 (Tabela 7). As maiores taxas foram obtidas para as silagens tratadas com biofertilizante no plantio e na cobertura em relação às demais ($P < 0,01$). Os pontos de inflexão das silagens variaram de 239,77 a 248,22 min. As silagens BIOAQ apresentaram o ponto de inflexão mais tardio que as demais silagens ($P < 0,01$), seguida por AQBIO e BIOBIO, e por fim AQAQ ($P < 0,01$) (Tabela 7).

DISCUSSÃO

Em extensa pesquisa não foi identificado um estudo que apresente a cinética de produção de gases de silagens em que sua matéria-prima foi fertilizada com biofertilizantes, como o presente estudo, tornando-o inédito. Os trabalhos presentes na literatura até o momento abordaram a produção de componentes vegetativos e reprodutivos, assim como a composição bromatológica.

Qualidade de ajuste dos modelos à cinética de produção de gases ruminais

Os menores valores de AIC e BIC são indicativos de maior parcimônia, ou seja, maior capacidade de informação com o menor número possível de parâmetros, indicando a seleção em favor da função Bertalanffy.

A seleção da função de Bertalanffy está ligada a característica da curva das silagens empregadas, uma vez que, são substratos com fase inicial de produção de gases discreta (baixa). A função de Bertalanffy apresenta a premissa de cinética de primeira ordem, com um ponto de inflexão fixo a aproximadamente 30% do volume assintótico de produção de gases (Teleken et al., 2017).

Efeito de fatores e tratamentos sobre a cinética de produção de gases ruminais

O maior volume de produção de gases assintótica (A) estimado para a silagem fertilizada com biofertilizante suíno no plantio e na cobertura (BIOBIO) está relacionado com a maior qualidade da silagem. Isso se deve a combinação de disponibilidade alta de fração potencialmente degradável (B_2), mediana disponibilidade proteica (PB) e baixa fração indegradável dos carboidratos (C) em relação as demais silagens (Tabela 3). Esses fatores contribuem para maior extensão da degradação da matéria seca no rúmen e, conseqüentemente, maior produção de gases total.

A maior qualidade da silagem BIOIO é pela disponibilidade gradual dos nutrientes e biofertilizante para as plantas de milho. A disponibilidade gradual aumenta a eficiência da planta na utilização do nitrogênio. Scherer et al. (2007) relataram que, uma fração de 40 a 70% do nitrogênio presente nos biofertilizantes está na forma inorgânica/amoniacoal (amônio - NH_3 e amônio - NH_4^+) prontamente disponível para as plantas. Todavia, há uma parcela significativa na forma orgânica, que possui liberação gradativa no solo e disponibilidade a médio e longo prazo para as plantas (Aita et al., 2006).

A maior taxa média de produção de gases (k) estimada para a silagem fertilizada exclusivamente com fertilizante químico (AQAQ) está relacionada com sua baixa produção de gases assintótica (A), uma vez que, esses dois parâmetros geralmente são antagônicos. A baixa produção de gases dessa silagem está relacionada exclusivamente a menor qualidade da silagem produzida. Essa menor qualidade pode estar relacionada à fertilização química que está prontamente disponível para as plantas, mas com eficiência de assimilação baixa, devido a inúmeros fatores (ex.: volatilização) (Silva et al., 2011; Aita et al., 2006). A ureia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] quando aplicada no solo é transformada em amônia (NH_3) pela ação da enzima urease, produzida pelas plantas e microrganismos, e quando não incorporada pode apresentar altas taxas de perdas por volatilização (Vitti et al., 2007).

O menor k estimado para a silagem AQBIO, juntamente com os valores medianos para A , IGR e IP em relação às silagens AQAQ e BIOAQ, está relacionado ao maior conteúdo da fração $A + B1$ dos carboidratos (carboidratos solúveis, prontamente disponíveis) e menor fração C (fração indegradável dos carboidratos) presentes nesta (Tabela 3). Uma vez que, possivelmente houve maior

disponibilidade e eficiência do uso do nitrogênio no período de cobertura próximo à produção de grãos pelo biofertilizante (Aita, et al., 2006; Scherer et al. (2007). Deste modo, proporcionou à silagem maior qualidade.

O maior tempo para atingir o ponto de inflexão (*IP*) estimado para a silagem BIOAQ está relacionado com menor qualidade da silagem, por apresentar menores conteúdos de carboidratos potencialmente degradável (fração B2) e proteína bruta (Tabela 3). Corroborando assim, com o menor valor de *A* e *IGR* estimados para essa silagem, ou seja, apresenta baixa degradabilidade total da matéria seca e baixa degradabilidade instantânea da matéria seca. Esse resultado reflete a menor disponibilidade de nitrogênio pelo fertilizante químico no período final do ciclo da cultura, devido a perdas por volatilização (Vitti et al., 2007).

Contudo, a dinâmica de produção de gases das silagens de milho do presente estudo demonstra que o tipo de fertilização nitrogenada modula a cinética de produção de gases, conseqüentemente a degradabilidade do substrato no rúmen. Neste sentido, foram identificados quatro padrões distintos de cinética de produção de gases: i – silagem com alta produção de gases (*A*), média velocidade de produção de gases (*k*), alta degradabilidade instantânea (*IGR*), mas que não esgotam a fração potencialmente degradável em curto prazo (*IP* médio) (silagem BIOBIO); ii – *A* médio, *k* baixa, *IGR* média e médio *IP* (silagem AQAQ); iii – silagem com média a baixo *A*, alta *k*, média a baixa *IGR* e *IP* precoce (silagem AQBIO); e, iv – baixa *A*, média *k*, baixa *IGR* e *IP* tardio (silagem BIOAQ).

A silagem BIOBIO apresenta maior potencial para desempenho animal, uma vez que a taxa de produção de gases instantânea denota a atividade microbiana ruminal. Noek e Russel (1988) reportaram que a taxa de fermentação é proporcional à taxa de crescimento microbiano e que os substratos rapidamente fermentados

produzem mais massa microbiana. Desse modo, a maior produção de massa microbiana pode apresentar efeito maior sobre o desempenho animal. Uma vez que, uma *IGR* alta associada a um *IP* mediano, garante um aporte de proteína microbiana e energia por um período maior. Hall et al. (2010) relatam que a fermentação ruminal até o *IP* representa a degradação da maior parte dos carboidratos não fibrosos de uma dieta, que são a principal fonte de energia para produção animal. Contudo, as silagens BIOBIO e AQBIO demonstram os melhores padrões de fermentação ruminal para a produção animal. Portanto, no âmbito nutricional do milho para silagem a cultura é responsiva à adubação após o estágio fenológico V8, sendo fundamental o seu emprego.

Diante disto, nota-se que a fertilização com biofertilizante apresenta melhores resultados para a cinética de produção de gases ruminais. Ocorrendo efeito sinérgico quando a biofertilização é realizada em ambos os períodos, e quando é empregada na cobertura do que no plantio. Neste sentido, o emprego de biofertilizantes é uma alternativa real e atual para o uso eficiente do nitrogênio na agricultura/pecuária atual. Uma vez que, a cerca de 48 – 53% do nitrogênio adicionado no solo para o cultivo agrícola globalmente é perdido para o meio ambiente. Assim, há necessidade urgente em aumentar a eficiência do nitrogênio aplicado a fim de preservar o ecossistema em escala local e global, mas garantindo o avanço da economia e segurança alimentar (Zhang et al., 2015; Zhang et al., 2017).

CONCLUSÃO

A fertilização com biofertilizante suíno no plantio e na cobertura em detrimento da química altera a cinética de produção de gases no plantio e na cobertura. A combinação de biofertilizante suíno em ambos os períodos de fertilização (BIOBIO) apresentam os melhores resultados.

REFERÊNCIAS

- Aita, C., Port, O., & Giacomini, S. J. (2006). Dinâmica do nitrogênio no solo e produção de fitomassa por plantas de cobertura no outono/inverno com o uso de dejetos de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30(5), 901-910.
- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE transactions on automatic control*, 19(6), 716-723.
- Baty, F., Ritz, C., Charles, S., Brutsche, M., Flandrois, J. P., & Delignette-Muller, M. L. (2015). A toolbox for nonlinear regression in R: the package nlstools. *Journal of Statistical Software*, 66(5), 1-21.
- Brody, S. (1945) Bioenergetics and Growth, Reinhold Publ. Co., New York, p. 265-266.
- Caron, C. F., Messias, J. N., Coutinho Filho, J. S., Russi, J. C. V., & Weber, M. I. (2009). Geração de energia no campus a partir da biodigestão anaeróbica. *Tuiuti: Ciência e Cultura*, 4(42).
- Climate-Data (2020). Resumo da variação climática de 1982 a 2012. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/goias/rio-verde-4473/>>. Acesso em: 15/05/2020.
- CONAB (2019) Companhia Nacional de Abastecimento. Indicadores da Agropecuária. Brasília, ano XXVIII, n.1, Jan/2019, p.01-118.
- Cortez, L. A. B.; Silva, A. da; Lucas Júnior, J. de. et al. Biodigestão de Efluentes. In: Biomassa para Energia. Campinas. *Anais...Campinas*, SP: Editora da UNICAMP, 2008.
- Daniel, J. L. P., Bernardes, T. F., Jobim, C. C., Schmidt, P., & Nussio, L. G. (2019). Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. *Grass and Forage Science*, 74(2), 188-200.

- Fancelli, A. L.; Dourado Neto, D. (2000). Produção de milho para silagem. In: *Produção de milho*. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária p.336-337.
- Ferrari Júnior, E. F., Possenti, R. A., Lima, M. L. P., Nogueira, J. R., & de Andrade, J. B. (2005). Características agrônômicas, composição química e qualidade de silagem de oito cultivares de milho. *Boletim de Indústria Animal*, 62(1), 19-27.
- Ferreira, E. B., Cavalcanti, P. P., & Nogueira, D. A. (2014). ExpDes: an R package for ANOVA and experimental designs. *Applied Mathematics*, 5(19), 2952.
- France, J., Dhanoa, M. S., Theodorou, M. K., Lister, S. J., Davies, D. R., & Isac, D. (1993). A model to interpret gas accumulation profiles associated with in vitro degradation of ruminant feeds. *Journal of theoretical biology*, 163(1), 99-111.
- Hall, M. B., Larson, C. C., & Wilcox, C. J. (2010). Carbohydrate source and protein degradability alter lactation, ruminal, and blood measures. *Journal of dairy science*, 93(1), 311-322.
- Laird, A. K. (1965). Dynamics of relative growth. *Growth*, 29, 249-263.
- Lemos, C. F., Justino, F. B., Costa, L. C., & Maddock, J. E. L. (2012). MANEJO DE DEJETOS SÓLIDOS DE POEDEIRAS PELO PROCESSO DE BIODIGESTÃO ANAERÓBICA. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*
- Mauricio, R. M., Mould, F. L., Dhanoa, M. S., Owen, E., Channa, K. S., & Theodorou, M. K. (1999). A semi-automated in vitro gas production technique for ruminant feedstuff evaluation. *Animal Feed Science and Technology*, 79(4), 321-330.
- McDonald, P., Henderson, A. R., & Heron, S. J. E. (1991). *The biochemistry of silage*. Chalcombe publications.
- Nocek, J. E., & Russell, J. (1988). Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. *Journal of Dairy Science*, 71(8), 2070-2107.

- Paziani, S. D. F., Duarte, A. P., Nussio, L. G., Gallo, P. B., Bittar, C. M. M., Zopollatto, M., & Reco, P. C. (2009). Características agronômicas e bromatológicas de híbridos de milho para produção de silagem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(3), 411-417.
- Pereira Filho, I. A., Alvarenga, R. C., Gontijo Neto, M. M., Viana, J. H. T. M., & Oliveira, M. F. (2010). *Cultivo do milho*. J. C. C. Cruz (Ed.). Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo.
- Peruzatto, M. (2009). Avaliação de desempenho de granjas suinícolas pelo emprego de indicadores de sustentabilidade.
- Ramos, P. S., & Ferreira, D. F. (2009). Agrupamento de médias via bootstrap de populações normais e não-normais. *Revista Ceres*, 56(2), 140-149.
- Regazzi, A. J. (2003) Teste para verificar igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não linear. *Revista CERES*, v.50, n.287, p.9-26
- Scherer, E. E., Baldissera, I. T., & Nesi, C. N. (2007). Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31(1), 123-131.
- Schofield, P., Pitt, R. E., & Pell, A. N. (1994). Kinetics of fiber digestion from in vitro gas production. *Journal of animal science*, 72(11), 2980-2991.
- Schwarz, G. (1978). Estimating the dimension of a model. *The annals of statistics*, 6(2), 461-464.
- Silva, D. R. G., Pereira, A. F., Dourado, R. L., Silva, F. P. D., Ávila, F. W., & Faquin, V. (2011). Productivity and efficiency of nitrogen fertilization in maize under different levels of urea and NBPT-treated urea. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(3), 516-523.
- Teleken, J. T., Galvão, A. C., & Robazza, W. D. S. (2017). Comparing non-linear

- mathematical models to describe growth of different animals. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 39(1), 73-81.
- Theodorou, M. K., Williams, B. A., Dhanoa, M. S., McAllan, A. B., & France, J. (1994). A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal feed science and technology*, 48(3-4), 185-197.
- Tilley, J. M. A., & Terry, D. R. (1963). A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Grass and forage science*, 18(2), 104-111.
- USDA - United States Department of Agriculture (2019). Foreign Agricultural Service. Grain: World Markets and Trade. Ithaca, NY.
- Vitti, A. C., Trivelin, P. C. O., Gava, G. J. D. C., Franco, H. C. J., Bologna, I. R., & Faroni, C. E. (2007). Produtividade da cana-de-açúcar relacionada à localização de adubos nitrogenados aplicados sobre os resíduos culturais em canavial sem queima. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31(3), 491-498.
- Von Bertalanffy, L. (1957). Quantitative laws in metabolism and growth. *The quarterly review of biology*, 32(3), 217-231.
- Zhang, X. (2017). A plan for efficient use of nitrogen fertilizers. *Nature*, 543(7645), 322-323.
- Zhang, X., Davidson, E. A., Mauzerall, D. L., Searchinger, T. D., Dumas, P., & Shen, Y. (2015). Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, 528(7580), 51-59.

Tabela 1. Descrição climática da estação experimental durante a condução do estudo.

Meses/2018	Temperaturas (°C)			Umidade Relativa (%)	Precipitação (mm)
	Máxima	Média	Mínima	Média	Total
Março	33,30	22,40	18,60	76	133,10
Abril	29,90	22,51	14,00	77	123,10
Maio	30,40	20,80	7,10	68	13,40
Junho	31,70	21,07	11,80	64	0,05

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia, Estação Meteorológica de Rio Verde, Goiás, Brasil, 2018.

Tabela 2. Composição do biofertilizante suíno.

Item	Concentração ¹
pH	5,495 ± 0,233
Matéria orgânica (g L ⁻¹)	5,70 ± 0,141
Densidade (g L ⁻¹)	1.030 ± 4,242
<i>Macronutrientes (g L⁻¹)</i>	
N	9,0 ± 0,282
P	1,80 ± 0,282
K	0,80 ± 0,001
Ca	3,40 ± 0,565
Mg	0,60 ± 0,529
SO ₄ ²⁻	0,70 ± 0,141
<i>Micronutrientes (mg L⁻¹)</i>	
Fe	322,90 ± 91,782
Mn	45,20 ± 7,353
Cu	104,20 ± 15,839
Zn	51,60 ± 3,394

¹média ± desvio padrão

Tabela 3. Composição química-bromatológica das silagens produzidas com milho fertilizado com fertilizante químico e biológico suíno no plantio e na cobertura.

Item	AQAQ	AQBIO	BIOAQ	BIOBIO
MS	39,8	36,73	41,80	43,47
MO	93,88	92,83	93,64	93,62
MM	6,12	7,17	6,36	6,38
PB	6,38	6,22	5,92	6,09
EE	0,02	0,03	0,03	0,03
FDN	58,86	57,39	55,34	58,36
FDNcp	55,12	54,00	52,22	54,75
FDA	24,92	26,66	23,82	26,57
LIG	0,05	0,04	0,04	0,04
CT	87,47	86,57	87,69	87,50
A + B	32,35	32,57	35,46	32,74
B2	55,00	53,90	52,12	54,65
C	0,12	0,10	0,10	0,10

AQAQ: adubação química (ureia) no plantio e na cobertura; AQBIO: adubação química no plantio e biofertilizante suíno na cobertura; BIOAQ: adubação com biofertilizante suíno no plantio e química na cobertura; BIOBIO: adubação com biofertilizante suíno no plantio e cobertura; MS: matéria seca (% da matéria natural); MO: matéria orgânica (% MS); MM: matéria mineral (% MS); PB: proteína bruta (% MS); EE: extrato etéreo (% MS); FDN: fibra insolúvel em detergente neutro (% MS); FDNcp: FDN corrigida para cinzas e proteínas (% MS); FDA: fibra insolúvel em detergente ácido (% MS); LIG: lignina em ácido sulfúrico (% MS); CT: carboidratos totais (% MS); A + B1: fração de carboidratos não fibrosos (% CT); B2: fração de carboidratos com degradação lenta (% CT); C: fração de carboidratos indigestíveis (% CT)

Tabela 4. Funções não lineares, descrição matemática e autores.

Funções não lineares	Descrição matemática	Autor
Bertalanffy	$V(t) = A [(1 - b \exp(-kt))^3 + \epsilon]$	Bertalanffy (1957)
Brody	$V(t) = A [1 - b \exp(-kt)] + \epsilon$	Brody (1945)
France	$V(t) = A \{ -\exp[-b(t - \lambda - c(\sqrt{t} - \sqrt{\lambda}))] + \epsilon$	France et al. (1993)
Gompertz	$V(t) = A \exp[-b \exp(-kt)] + \epsilon$	Laird (1965)
Logístico Modificado	$V(t) = A / 1 + \exp[2 - 4k(t - \lambda)] + \epsilon$	Schofield et al., (1994)
Logístico	$V(t) = \{A1 / 1 + \exp[2 - 4k1(t - \lambda)]\} +$	Schofield et al.
Bicompartmental	$\{A2 / 1 + \exp[2 - 4k2(t - \lambda)]\} + \epsilon,$	(1994)

A : volume de gases assintótico (mL); $A1$: volume de gases produzido pela degradação da fração A+B1 do Sistema de CNCPS; $A2$: volume de gases produzido pela degradação da fração B2 do Sistema de CNCPS; k : taxa específica de produção de gases; $k1$: taxa específica de produção de gases pela degradação da fração A+B1; $k2$: taxa específica de produção de gases pela degradação da fração B2; λ : fase de latência; b : parâmetro de forma sem interpretação biológica.

Tabela 5. Parâmetros estimados pelas funções não lineares e qualidade de ajuste das silagens de milho fertilizado com adubo químico e biológico em plantio e cobertura.

Índices de ajuste	Fatores			
	Sem efeito	Plantio	Cobertura	Interação
Bertalanffy				
NI	1	4	4	2
AIC	3621	2735	2674	1957
BIC	3644	2774	2705	2031
Brody				
NI	3	3	5	6
AIC	5459	5106	5426	4871
BIC	5482	5146	5466	4946
Gompertz				
NI	2	2	2	2
AIC	3673	2811	3591	2061
BIC	3696	2851	3631	2136
Logístico Modificado				
NI	6	6	6	6
AIC	4768	4277	4720	3916
BIC	4791	4317	470	3990
Logístico Bicompartimentado				
NI	15	20	15	15
AIC	3796	2986	3722	2307
BIC	3830	3049	3785	2427

NI: número de interações para a convergência; AIC: critério de informação de Akaike; BIC: critério de informação Bayesiano.

Tabela 6. Identidade de modelos pela função não linear de Bertalanffy para as silagens de milho fertilizado com adubo químico e biológico no plantio e cobertura

Modelo	Representação	Df	P - valor
Simple	$V(t) = A[(1 - b \exp(-kt))]^3$	3	0,001
Plantio	$V(t) = A[p] [(1 - b[p] \exp(-k[p]t))]^3$		
Simple	$V(t) = A [(1 - b \exp(-kt))]^3$	3	0,001
Cobertura	$V(t) = A[c] [(1 - b[c] \exp(-k[c]t))]^3$		
Simple	$V(t) = A [(1 - b \exp(-kt))]^3$	9	0,001
Interação	$V(t) = A[pc] [(1 - b[pc] \exp(-k[pc]t))]^3$		
Plantio	$V(t) = A [p][(1 - b[p] \exp(-k[p]t))]^3$	6	0,001
Completo	$V(t) = A [pc] [(1 - b[pc] \exp(-k[pc]t))]^3$		
Cobertura	$V(t) = A [c][(1 - b[c] \exp(-k[c]t))]^3$	6	0,001
Completo	$V(t) = A[pc] [(1 - b[pc] \exp(-k[pc]t))]^3$		

$V(t) = A [(1 - b \exp(-kt))]^3$ função Bertalanffy com ausência da influência dos fatores; $V(t) = A[p] [(1 - b[p] \exp(-k[p]t))]^3$: função Bertalanffy com influência do fator plantio; $V(t) = A[c] [(1 - b[c] \exp(-k[c]t))]^3$: função Bertalanffy com influência do fator cobertura; $V(t) = A[pc] [(1 - b[pc] \exp(-k[pc]t))]^3$: função Bertalanffy com influência da interação dos fatores plantio e cobertura; df: graus de liberdade; Considerado significativo quando a probabilidade foi menor que 5% pelo teste de verossimilhança F.

Tabela 7. Comparação das estimativas dos parâmetros de produção de gases obtidas pelo modelo Bertalanffy para as silagens de milho fertilizado com adubo químico e biológico no plantio e cobertura.

Parâmetros	Tratamentos				P - Valor
	AQAQ	BIOBIO	AQBIO	BIOAQ	
<i>A</i>	22,59102 c	23,11669 a	22,93484 b	22,03048 d	0,01
<i>k</i>	0,003542 a	0,003448 b	0,003353 d	0,003391 c	0,01
<i>IGR</i>	6,63463 c	6,849017 a	6,795194 b	6,527874 d	0,01
<i>PI</i>	239,77 c	242,8150 b	242,7908 b	248,2251 a	0,01

A: volume de gases assintótico (mL); *k*: taxa específica de produção de gases; *IGR*: taxa instantânea de produção de gases em que o ponto de inflexão é atingido (mL); *PI*: tempo para atingir o ponto de inflexão (min); *Médias com a mesma letra na linha são iguais pelo teste de Bootstrap a 5% de probabilidade.