



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO INTEGRADO EM ZOOTECNIA NOS
TRÓPICOS
CAMPUS DE PARAUAPEBAS**

LUCIELY BORDALLO DA CONCEIÇÃO CHAGAS

**PRODUÇÃO E QUALIDADE DE SILAGEM DE SORGO FORRAGEIRO
INOCULADO COM *Azospirillum brasilense* E DOSES DE NITROGÊNIO**

PARAUAPEBAS

2023

LUCIELY BORDALLO DA CONCEIÇÃO CHAGAS

**PRODUÇÃO E QUALIDADE DE SILAGEM DE SORGO FORRAGEIRO
INOCULADO COM *Azospirillum brasilense* E DOSES DE NITROGÊNIO**

Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Integrado em Zootecnia nos Trópicos para obtenção do título de mestre.

Área de Concentração: Interface Solo-Planta-Animal

Orientador: Dr. Raylon Pereira Maciel

Coorientador: Dr. Ricardo Shigueru Okumura

PARAUAPEBAS

2023

LUCIELY BORDALLO DA CONCEIÇÃO CHAGAS

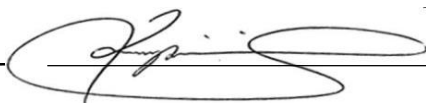
**PRODUÇÃO E QUALIDADE DE SILAGEM DE SORGO FORRAGEIRO
INOCULADO COM *Azospirillum brasilense* E DOSES DE NITROGÊNIO**

Dissertação apresentada à Banca Examinadora, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Produção Animal na Amazônia da Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus de Parauapebas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Produção Animal na Amazônia. Área de concentração: Interface Solo-Planta-Animal.

Orientador: Dr. Raylon Pereira Maciel
Coorientador: Dr. Ricardo Shigueru Okumura

Aprovada em: 31 de Janeiro de 2023.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Raylon Pereira Maciel - Orientador
Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)



Prof.ª Dra. Romilda Rodrigues do Nascimento - 1º Examinador
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)



Prof. Dr. Perlon Maia dos Santos – 2º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)



Prof.ª Dra. Sheila Vilarindo, de Sousa – 3º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C426p Chagas, Luciely Bordallo da Conceição
PRODUÇÃO E QUALIDADE DE SILAGEM DE SORGO FORRAGEIRO INOCULADO COM
Azospirillum brasilense E DOSES DE NITROGÊNIO / Luciely Bordallo da Conceição Chagas. - 2023.
42 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Produção Animal na AMAZÔNIA
(PPGPAA), Campus Universitário de Parauapebas, Universidade Federal Rural Da Amazônia,
Parauapebas, 2023.
Orientador: Prof. Dr. Raylon Pereira Maciel
Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Shigueru Okumura.
1. Bactérias diazotróficas. 2. Parâmetros fermentativos. 3. Sorgo gigante boliviano. I. Maciel, Raylon
Pereira. *orient.* II. Título
-

CDD 633.2

DEDICATÓRIA

“Tudo é do Pai, toda honra e toda glória, é d’Ele a vitória, alcançada em minha vida”

À minha família, que tanto me incentivam e apoiam em todos os meus sonhos.

Aos amigos que participaram dessa trajetória de toda e qualquer forma.

Com muito amor e carinho. 

AGRADECIMENTO

À DEUS, por me sustentar até aqui e pela graça de alcançar tantas vitórias.

À minha família, que sempre acreditou em mim e sempre foi meu alicerce.

À minha amiga Thiely que sempre esteve ao meu lado, aguentando todas as minhas agonias e me acolhendo com incentivo.

Ao meu orientador de mestrado, prof. Raylon Pereira Maciel, que sempre me incentivou e foi muito parceiro e positivo. Sou muito grata ao senhor por tudo.

Aos professores que contribuíram com esse trabalho.

Aos meus amigos da Pós que sempre compartilham das mesmas angustias, mas ao mesmo tempo incentivam, apoiam e dão ânimo para seguir.

Às minhas amigas Ellen e Elineuza que seguraram minha mão em todo o experimento a campo, com uma garra inexplicável. Minha admiração, respeito e gratidão a vocês.

Aos amigos que participaram em algum momento do experimento, na colheita e produção de silagem.

Aos amigos que me ajudaram tanto no laboratório, em especial: Sheila, Mariane, Thaynara. Toda minha gratidão a vocês.

Aos professores que passaram nessa trajetória e contribuíram com essa formação.

Aos funcionários da UFRA que sempre se disponibilizaram a ajudar.

À UFRA, que foi “minha casa” desde a graduação.

Sem vocês nada disso seria possível.

Toda minha gratidão!

*Eu não amava que botassem data na minha
existência.*

A gente usava mais era encher o tempo.

Nossa data maior era o quando.

O quando mandava em nós.

*A gente era o que quisesse ser só usando
esse advérbio.*

*Assim, por exemplo: tem hora que eu sou
quando uma árvore e podia apreciar melhor
os passarinhos.*

*Ou: tem hora que eu sou quando uma pedra.
E sendo uma pedra eu posso conviver com
os lagartos e com os musgos.*

Assim: tem hora que eu sou quando um rio.

...

(O Tempo – Manoel de Barros) †

RESUMO

Objetivou-se avaliar características agronômicas e bromatológicas da silagem de sorgo forrageiro inoculação com bactéria *Azospirillum brasilense* associada a adubação nitrogenada. Foi utilizado um delineamento em blocos casualizados, em arranjo fatorial 5x2, composto por cinco doses nitrogenada (0; 50; 100; 200; 400 kg ha⁻¹), com ou sem *A. brasilense*, com quatro repetições. Determinou-se altura de planta (AltP), diâmetro de colmo (DC), produtividade do primeiro ciclo (ProdC); produtividade da rebrota (ProdR), produtividade total (ProdT) do sorgo forrageiro; os teores de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), nutrientes digestíveis totais (NDT), digestibilidade in vitro (DIVMS), digestibilidade in vitro fibra em detergente neutro (DIVFDN); o nitrogênio amoniacal (N-NH₃), ácidos orgânicos (lactato, ácido acético e ácido butírico) e valores de pH das silagens do sorgo forrageiro com diferentes tratamentos. A adubação nitrogenada influenciou (P<0,05) a AltP e DC, sendo a AltP superior na dose de 200 kg ha⁻¹ de N e a partir da dose de 50 kg ha⁻¹ de N ocorreu maior DC das plantas de sorgo. Foi observada interação entre a inoculação e a adubação nitrogenada para a ProdC, sendo que as doses de nitrogênio de 200 e 400 kg ha⁻¹ de N apresentaram menores valores com a inoculação, sendo 15,66 e 12,44 kg ha⁻¹, respectivamente. A ProdT do sorgo foi menor com a inoculação e maior na dose 200 kg ha⁻¹ de N, sendo aproximadamente 29,42% superior comparado ao tratamento testemunha. O teor da PB apresentou efeito isolado da inoculação e da adubação nitrogenada, elevando os teores de PB, sendo 7,67% com inoculante e 7,01% sem o uso do inoculante (7,01%). Em relação à adubação nitrogenada, as doses de 200 e 400 kg ha⁻¹ de N proporcionaram maiores teores de PB, sendo 8,39% e 9,19%, respectivamente. Observou-se efeito isolado da adubação nitrogenada sobre a DIVMS. Não foram observados efeitos para DIVFDN e NDT. A utilização da inoculação com *A. brasilense* não favorece incrementos nas características agronômicas do sorgo forrageiro e reduz a produtividade em doses nitrogenadas de 200 e 400 kg ha⁻¹. No entanto, a associação não influencia as principais características fermentativas da silagem de sorgo. A inoculação com *A. brasilense* e a adubação nitrogenada eleva os teores de proteína e fibra de silagem sorgo. Não se recomenda o uso do inoculante com *A. brasilense* no tratamento de sementes de sorgo AGRI 002E. A dose de 100 kg ha⁻¹ de N pode ser indicada para o cultivo.

Palavras chave: Bactérias diazotróficas, Parâmetros fermentativos, Sorgo gigante boliviano.

ABSTRACT

The objective was to evaluate agronomic and bromatological characteristics of forage sorghum silage inoculated with *Azospirillum brasilense* bacteria associated with nitrogen fertilization. A randomized block design was used, in a 5x2 factorial arrangement, consisting of five nitrogen doses (0; 50; 100; 200; 400 kg ha⁻¹) with or without *A. brasilense*, with four replicates. Plant height (PL), stem diameter (SD), first cycle productivity (FCD); regrowth yield (RV), total yield (TV) of forage sorghum; the contents of dry matter (DM), ash, crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), total digestible nutrients (TDN), in vitro digestibility (IVDMS), in vitro digestibility neutral detergent fiber (IVDNDF); ammonia nitrogen (N-NH₃), organic acids (lactate, acetic acid and butyric acid) and pH values of forage sorghum silages with different treatments. Nitrogen fertilization influenced ($P<0.05$) PL and SD, PL being higher at the dose of 200 kg ha⁻¹ of N and from the dose of 50 kg ha⁻¹ of N onwards, there was a higher SD of sorghum plants. Interaction between inoculation and nitrogen fertilization was observed for FCD, and nitrogen doses of 200 and 400 kg ha⁻¹ of N showed lower values with inoculation, being 15.66 and 12.44 kg ha⁻¹, respectively. The sorghum TV was lower with the inoculation and higher at the dose of 200 kg ha⁻¹ of N, being approximately 29.42% higher compared to the control treatment. The CP content showed an isolated effect of the inoculation and nitrogen fertilization, increasing the CP contents, being 7.67% with inoculant and 7.01% without the use of inoculant (7.01%). Regarding nitrogen fertilization, doses of 200 and 400 kg ha⁻¹ of N provided higher CP contents, being 8.39% and 9.19%, respectively. There was an isolated effect of nitrogen fertilization on IVDMD. No effects were observed for IVDNDF and TDN. The use of inoculation with *A. brasilense* does not favor increases in the agronomic characteristics of forage sorghum and reduces productivity at nitrogen rates of 200 and 400 kg ha⁻¹. However, the association does not influence the main fermentative characteristics of sorghum silage. Inoculation with *A. brasilense* and nitrogen fertilization increases the protein and fiber contents of sorghum silage. The use of the inoculant with *A. brasilense* in the treatment of AGRI 002E sorghum seeds is not recommended. The dose of 100 kg ha⁻¹ of N can be recommended for cultivation.

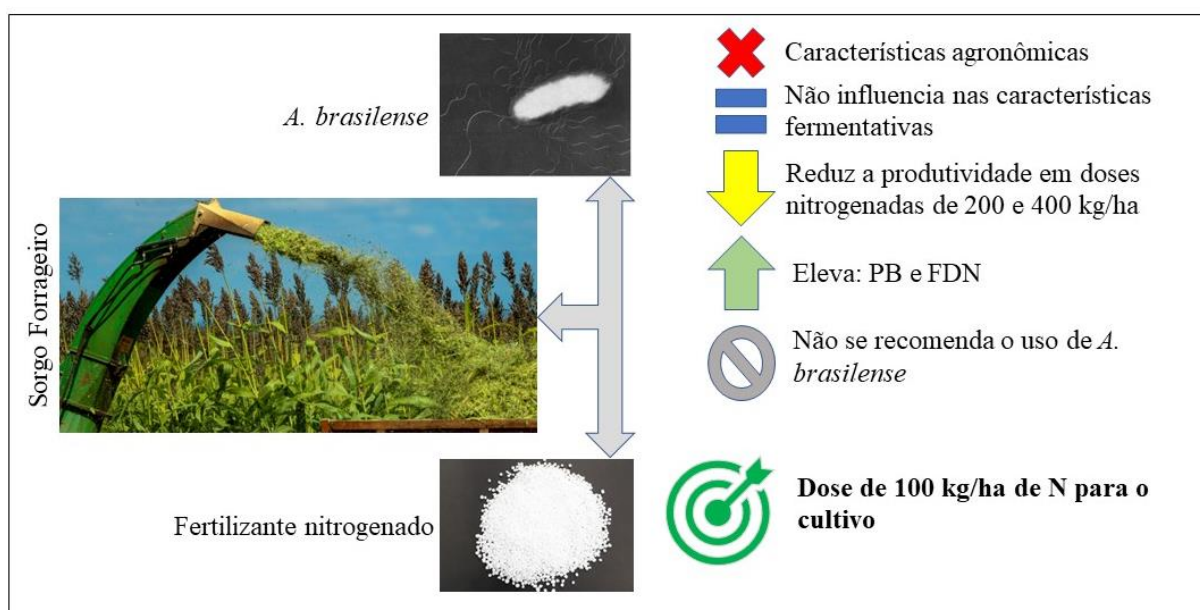
Keyword: Diazotrophic bacteria, Fermentative parameters, Bolivian giant sorghum

RESUMO INTERPRETATIVO E RESUMO GRÁFICO

PRODUÇÃO E QUALIDADE DE SILAGEM DE SORGO FORRAGEIRO INOCULADO COM *Azospirillum brasilense* E DOSES DE NITROGÊNIO

Elaborado por **Luciely Bordallo da Conceição Chagas** e orientado por **Raylon Pereira Maciel** e **Ricardo Shigueru Okumura**.

A silagem é uma estratégia de alimentação utilizada nos períodos de escassez de forragem que, através da fermentação na ausência de ar, permite a conservação das plantas forrageiras no seu estado vegetativo verde com bom valor nutricional. Nesse contexto, diversos materiais genéticos de sorgo estão disponíveis no mercado com essa finalidade, dentre eles, o denominado sorgo gigante. Arelado ao incremento no desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, a adubação nitrogenada se torna essencial, porém, ao mesmo tempo onera os custos de produção e seu uso indiscriminado pode representar um impacto ambiental. Dessa maneira, têm-se utilizado como alternativa o uso de inoculantes que contêm bactérias promotoras de crescimento, principalmente a *Azospirillum brasilense*, que realizam a transformação do nitrogênio atmosférico (N₂) em amônia (NH₃), tornando-o assimilável para as plantas. Foram avaliadas as características agronômicas e bromatológicas da silagem de sorgo forrageiro inoculados ou não com a bactéria *A. brasilense*, associada a adubação nitrogenada em cinco doses (0; 50; 100; 200; 400 kg ha⁻¹). Com base nos resultados obtidos, a utilização da inoculação com *A. brasilense* não favorece incrementos nas características agronômicas do sorgo forrageiro e reduz a produtividade em doses nitrogenadas de 200 e 400 kg ha⁻¹. No entanto, a associação não influencia as principais características fermentativas da silagem de sorgo. A inoculação com *A. brasilense* e a adubação nitrogenada elevam os teores de proteína e fibra da silagem sorgo. Não se recomenda o uso do inoculante com *A. brasilense* no tratamento de sementes de sorgo AGRI 002E. A dose de 100 kg ha⁻¹ de N pode ser indicada para o cultivo.



LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros avaliados na silagem de sorgo forrageiro submetidas ou não a inoculação de <i>Azospirillum brasilense</i>	13
Tabela 2. Proteína bruta (% PB), fibra em detergente neutro (% FDN) e Matéria seca da silagem (% MS) de sorgo forrageiro.	14
Tabela 3. Características fermentativas de silagens de sorgo forrageiro.....	14
Tabela 4. Propriedades químicas do solo na profundidade de 0 a 20 cm.....	19
Tabela 5. Esquematização do parcelamento de doses e quantidade a ser aplicada em área experimental, nas referidas parcelas dos tratamentos.....	21
Tabela 6. Características agronômicas de silagem de sorgo AGRI 002E com e sem <i>A. brasilense</i> em diferentes doses de nitrogênio.	25
Tabela 7. Composição químico-bromatológica do sorgo forrageiro AGRI 002E com ou sem <i>A. brasilense</i> em diferentes doses de nitrogênio.	27
Tabela 8. Composição química de silagem de sorgo forrageiro AGRI 002E com e sem <i>A. brasilense</i> em diferentes doses de nitrogênio.	28
Tabela 9. Parâmetros fermentativos de silagem de sorgo forrageiro AGRI 002E com e sem <i>A. brasilense</i> em diferentes doses de nitrogênio.	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dados meteorológicos coletados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) durante o cultivo do sorgo forrageiro AGRI 002E (fevereiro a junho/2021), em Parauapebas-PA.	20
Figura 2. Médias da produtividade do sorgo forrageiro AGRI 002E (t ha ⁻¹) sem e com <i>A. brasilense</i> e diferentes doses de adubação nitrogenada (kg.ha ⁻¹).	26
Figura 3. Médias de matéria mineral (MM) da silagem de sorgo forrageiro AGRI 002E (%) sem e com inoculação de <i>A. brasilense</i> e diferentes doses de adubação nitrogenada (kg.ha ⁻¹).	29
Figura 4. Médias nitrogênio amoniacal (N-NH ₃) da silagem de sorgo forrageiro AGRI 002E com e sem <i>A. brasilense</i> e diferentes doses de adubação nitrogenada (kg.ha ⁻¹).	31
Figura 5. Médias de ácido láctico da silagem de sorgo forrageiro AGRI 002E com e sem inoculação com <i>A. brasilense</i> e diferentes doses de adubação nitrogenada (kg.ha ⁻¹).	32

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ACE- ácido acético

ALTP- altura de Planta

BUT- ácido butírico

DC – diâmetro do colmo

DIVMS- digestibilidade da matéria seca

DIVFDN- digestibilidade in vitro fibra em detergente neutro

FDA- Fibra em detergente ácido

FDN- Fibra em detergente neutro

LAC- ácido láctico

MS- matéria seca

N- nitrogênio

NDT- nutrientes digestíveis totais

N-NH₃- Nitrogênio amoniacal

PB-Proteína bruta

pH- potencial (ou potência) hidrogeniônico

PRODC- produtividade do primeiro ciclo

PRODR- produtividade da rebrota

PRODT- produtividade total

SUMÁRIO

1. REVISÃO DA LITERATURA	11
1.1. A cultura do sorgo forrageiro	11
1.2. Adubação nitrogenada.....	12
1.3. Bactéria promotora de crescimento: <i>Azospirillum brasilense</i>	12
1.4. Utilização do sorgo para silagem	13
2. INTRODUÇÃO	18
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1. Localização e Caracterização da área.....	19
3.2. Delineamento, área experimental, plantio e adubação	20
3.3. Avaliação das características agronômicas	21
3.4. Colheita e produção de silagem	21
3.5. Avaliação da composição químico-bromatológica	22
3.6. Avaliação dos ácidos orgânicos	23
3.7. Digestibilidade	23
3.8. Análise estatística.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5. CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1. REVISÃO DA LITERATURA

1.1. A cultura do sorgo forrageiro

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma gramínea de domesticação e origem africana, sendo cultivado no mundo com diferentes aptidões e usos (KIMBER et al., 2013). A versatilidade do sorgo varia do consumo do grão in natura ou farináceo a uso como matéria prima para amido, cera, bebidas, ração, óleos e produção de biocombustível. Com isso, as principais cultivares de sorgo se dividem em cinco grupos: granífero, forrageiro, sacarino, vassoura e biomassa. De modo geral, o sorgo granífero é caracterizado por ser uma planta de baixa estatura, com elevada produção de grãos.

O sorgo forrageiro é conhecido por plantas de porte alto, entre 150 e 360 cm de altura, com maior rendimento de matéria seca em relação ao sorgo granífero (BHAT et al., 2019) podendo apresentar ou não panícula e baixa produção de grãos. O sorgo sacarino apresenta caule longo, suculento e com elevados teores de carboidratos solúveis, utilizado na produção de açúcar e álcool (VON PINHO & VASCONCELOS, 2002). O grupo vassoura têm finalidade artesanal, onde as panículas são apropriadas para confecção de vassouras (RIBAS, 2008). O sorgo biomassa apresenta altura elevada e uma maior quantidade de massa verde quando comparada às demais variedades, além do seu grande potencial para produção de energia em pellets (SIMEONE, et al., 2018).

A planta de sorgo é caracterizada por apresentar adaptação ao clima tropical, sendo uma planta autógama, com baixa taxa de fecundação cruzada e possuindo metabolismo C4, o que contribui para boas respostas de crescimento quando submetidas a temperaturas superiores a 21°C (SANTIN et al., 2020). Essa característica também contribui para tolerância ao estresse hídrico e a torna uma cultura apta para as regiões áridas, com escassez de chuvas. A cultura do sorgo também tolera solos de baixa fertilidade e se mostra ser mais econômico do que outras forragens devido a menor necessidade de irrigações e fertilizantes (BHAT, et al., 2019).

Na África, o sorgo tem considerável importância por se caracterizar um grão alimentar viável para população (BORGHI et al., 2013). Já no Brasil, a cultura do sorgo destina-se principalmente para compor a alimentação animal. Nesse contexto, o sorgo forrageiro pode apresentar características variadas em relação ao ciclo e porte da planta, presença ou ausência de grãos, produção de massa de forragem, estrutura da planta, rebrota, entre outros (PAZIANI et al., 2020). Com isso, a importância do sorgo com finalidade de cultura forrageira tem crescido em diversas regiões do mundo (TEIXEIRA et al., 2014) e programas de melhoramento de sorgo forrageiro têm buscado melhorar as características que proporcionam alto rendimento,

qualidade da forragem e características agronômicas que auxiliam na regeneração e colheita, entre outros (BHAT et al., 2019). A produção de sorgo na safra de 2021/2022 foi de 2,85 milhões de toneladas de sorgo na última safra, o que representa 36,9% a mais que no período anterior (CONAB, 2022).

Em 2017, surgiu no mercado brasileiro o sorgo forrageiro denominado popularmente “gigante boliviano” (AGRI 002E), sendo um híbrido estéril, sem nenhuma produção de grãos (PAZIANI et al., 2020). O material desperta interesse pela busca de informações devido ao seu potencial de alto volume de massa produzido e ausência de dados na literatura sobre a sua utilização em regiões de clima tropical e equatorial úmido.

1.2. Adubação nitrogenada

O nitrogênio (N), ao lado do fósforo e do potássio, é um dos nutrientes essenciais que afetam a qualidade e o rendimento da cultura do sorgo (FERNANDES et al., 2020). Nesse contexto, o nitrogênio atua promovendo altas taxas de crescimento, produtividade e qualidade em virtude do seu papel na divisão celular, respiração e atividade fotossintética (NEUMANN et al., 2009; WANG et al., 2017). A resposta do sorgo à adubação nitrogenada pode se relacionar a fatores edafoclimáticos como: genética da cultivar, textura do solo, regime de chuvas, visto que, podem interferir na disponibilidade e absorção de nutrientes. Nirmal et al. (2016) ao avaliarem cultivares de sorgo forrageiro sob doses crescentes de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹), encontraram efeito linear em resposta ao incremento da adubação nitrogenada. A adubação nitrogenada influencia diretamente sobre as características bromatológicas de sorgo, onde os valores de proteína bruta e matéria seca tendem a aumentar com a dose de nitrogênio aplicada (MARTINKOSKI et al., 2013).

O sorgo promove o acúmulo de nitrogênio em tendência linear até o estágio fenológico da maturação (MATEUS et al., 2011), o que demonstra a importância de definir doses adequadas para melhorar o potencial produtivo da cultura. Com isso, a recomendação de nitrogênio para o sorgo deve ser específica e refletir as exigências das variedades em diferentes condições de cultivo (LYONS et al., 2019).

1.3. Bactéria promotora de crescimento: *Azospirillum brasilense*

Para aumentar a eficiência do uso de fertilizantes químicos e buscando reduzir a quantidade aplicada em ambientes de produção agrícola, têm-se utilizado como alternativa o uso de inoculantes que contêm bactérias promotoras de crescimento (SPOLAOR et al., 2016). Aguirre et al. (2019) citam que atualmente existe um mercado consumidor exigente em

alimentos oriundos de práticas sustentáveis e com isso, a inoculação com bactérias associativas tem sido investigada, principalmente a *Azospirillum brasilense*.

O gênero *Azospirillum* é composto por bactérias capazes caracterizadas como: aeróbicas, curvas, móveis, Gram-negativas, microaerofílicas e endofíticas facultativas. De acordo com a espécie, a temperatura ótima de crescimento varia entre 28 a 41°C (ECKERT et al., 2001). O uso de *A. brasilense* se relaciona com o aumento da produtividade, devido ao aumento na taxa de acúmulo de matéria seca, aumento de biomassa e altura, aceleração na taxa de germinação e melhorias no sistema radicular (HUNGRIA et al., 2010).

Nesse contexto, a fixação biológica de nitrogênio consiste na transformação do nitrogênio atmosférico (N₂) em amônia (NH₃) (PINHEIRO et al., 2020), onde essa redução ocorre na presença de microrganismos designados fixadores de nitrogênio. Essas bactérias, além de fixar nitrogênio (Hungria et al., 2011) podem estimular a produção de fitormônios como auxinas, giberelinas e citocininas. Além disso, são capazes de proporcionar maior desenvolvimento das raízes, auxiliando na maior absorção de água e nutrientes (Nakao et al., 2018). Andrade et al. (2019) verificaram que a inoculação com *A. brasilense* resulta em aumento da massa seca do sistema radicular em plantas de sorgo; podendo também incrementar a composição agrônômica do sorgo e bromatológica das silagens (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros avaliados na silagem de sorgo forrageiro submetidas ou não a inoculação de *Azospirillum brasilense*.

Variáveis	Sem inoculante	Com inoculante	P-valor	Referência
MS (%)	32,93	31,67	0,6961	Tonin (2020)
PB (% MS)	9,10	9,37	0,0197	
FDN (% MS)	47,24	49,25	0,0451	
Diâmetro do colmo (cm)	1,9	2,2	0,026	
Altura de planta (m)	1,90	1,88	0,7113	

1.4. Utilização do sorgo para silagem

A cultura do sorgo é uma das mais indicadas para produção de silagem devido ao seu elevado rendimento e características que favorecem o perfil de fermentação desejável, como adequados teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e fibra em detergente neutro (FDN) (Tabela 2) e de substratos fermentativos (Tabela 3), além de baixo poder tampão (FERNANDES et al., 2009). Suas características fenotípicas geram facilidade de plantio, manejo, colheita e armazenamento, favorecendo o processo de ensilagem (NEUMANN et al., 2002).

Tabela 2. Proteína bruta (% PB), fibra em detergente neutro (% FDN) e Matéria seca da silagem (% MS) de sorgo forrageiro.

Tratamento	MS	PB	FDN	Referências
	-----	-----	%	
Silagem de sorgo - corte com 120 dias	29,19	7,34	58,96	Tavares et al., (2020)
Silagem de sorgo	45,75	5,84	64,33	Santin et al., (2020)
Silagem de sorgo	26,39	8,32	60,07	Dos Anjos, (2018)
Silagem de sorgo	27,71	7,78	48,45	Martinkoski et al., (2013)

França et al., (2011) relatam que silagens bem preservadas devem apresentar um pH na faixa de 3,7 a 4,2, enquanto que as de baixa qualidade se situam entre 5,0 e 7,0. Os dados na literatura apresentados neste estudo estão de acordo com esses padrões para uma boa conservação, variando de 3,72 a 3,80. A adequada preservação através da fermentação depende da produção de ácido láctico para estabilização do pH e da quantidade de ácidos orgânicos que fazem reduzir a capacidade tamponante da forragem (VAN SOEST, 1994).

Dentre os principais ácidos orgânicos encontrados na silagem, podem ser citados o láctico, acético, butírico e propiônico, como sendo os mais determinados, onde suas porcentagens e as relações entre ácido láctico/acético são parâmetros de grande validade na avaliação do processo fermentativo das silagens (FRANÇA et al., 2011).

Tabela 3. Características fermentativas de silagens de sorgo forrageiro.

Tratamento	pH	Ácido láctico	Ácido butírico	Ácido acético	Referências
		-----	%	-----	
Silagem de sorgo	3,72	5,10	0,03	1,46	Pinedo et al., 2019
Silagem de sorgo + Dose de N 60 kg ha ⁻¹	3,80	5,60	0,00	0,02	França et al., 2011
Silagem de sorgo - 28 dias de abertura	3,78	5,55	0,00	0,05	Ibrahim, 2007

Conforme a Tabela 3, as silagens de sorgo apresentam padrões fermentativos desejáveis para produção de silagem de qualidade, sendo estes, teor de ácido láctico acima de 5%, teor de ácido butírico abaixo de 0,2% e teor de ácido acético abaixo de 2,0%. Além disso, tempos maiores de estocagem têm demonstrado efeito positivo na digestibilidade do sorgo (FERNANDES et al., 2020).

A utilização da silagem de sorgo forrageiro pode ser uma alternativa alimentar aos animais, principalmente nos períodos de seca, podendo apresentar bons valores nutricionais. O requerimento de nitrogênio da cultura pode ser associado às bactérias fixadoras de nitrogênio (*A. brasilense*) que tendem a reduzir a utilização de fertilizante, tornando a produção sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIRRE, P.F.; GIACOMINI, S. J.; OLIVO, C.J.; BRATZ, V. F.; QUATRIN, M. P. Biological nitrogen fixation and urea-N recovery in 'Coastcross-1' pasture treated with *Azospirillum brasilense*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.55, e01242, 2019.
- ANDRADE, A. F.; ZOZ, T.; ZOZ, A.; OLIVEIRA, C. A. S.; WITT, T. W. *Azospirillum brasilense* inoculation methods in corn and sorghum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 49, e53027, 2019.
- DOS ANJOS, G.V.S.; GONÇALVES, L.C. ; RODRIGUES, J.A.S. ; KELLER, K.M. ; COELHO, M.M. ; MICHEL, P.H.F. ; OTTONI, D. ; JAYME, D.G. . Effect of re-ensiling on the quality of sorghum silage. **Journal of Dairy Science**, v. 101, p. 6047-6054, 2018.
- BHAT, B. V.; ARUNA C.; VISARADA K.B.R.S.; VILAS A. T. **Breeding forage sorghum. Breeding Sorghum for Diverse End Uses**, In: Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition 175–191, Hyderabad, India, 2019.
- BORGHI, E.; CRUSCIOL, C.A.C.; NASCENTE, A.S.; SOUSA, V.V.; MARTINS, P.O.; MATEUS, G.P.; COSTA, C. Sorghum grain yield, forage biomass production and revenue as affected by intercropping time. **European journal of agronomy**. 51:130-139, 2013.
- ECKERT, B.; WEBER, O.B.; KIRCHHOF, G.; HALBRITTER, A.; STOFFELS, M.; HARTMANN, A. *Azospirillum doebereineriae* sp. nov., a nitrogen-fixing bacterium associated with the C4-grass *Miscanthus*. **Int. J. Syst. Evol. Microbiol.** v. 51, p.17-26, 2001.
- FERNANDES, F. E. P.; et al. Ensilagem de sorgo forrageiro com adição de ureia em dois períodos de armazenamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 11, p. 2111–2115, 2009.
- FERNANDES, P.B.; THEODORO, G. F.; GURGEL, L. C.; COSTA, C. M.; COSTA, A. B. C.; SANTANA, J. C. S.; SILVA, M. G. P.; BOMFIM, L. N. Aspectos relacionados ao potencial forrageiro do sorgo: Revisão. **Pubvet**, v.14, n.7, a603, p.1-7, Jul., 2020.
- FRANÇA, A. F. de S.; OLIVEIRA, R. de P.; RODRIGUES, J. A. S. R.; MIYAGI, E. S.; SILVA, A. G. da; PERON, H. J. M. C.; ABREU, J. B. R. de; BASTOS, D. de C. Características fermentativas da silagem de híbridos de sorgo sob doses de nitrogênio. **Ciência Animal Brasileira**, v. 12, n. 3, p. 383-391, 2011.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant Soil**, v. 331, p. 413-425, 2010.
- HUNGRIA, M. Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo. **Embrapa Soja – Documentos** 325, 2011.
- IBRAHIM, Gustavo Henrique Figueiredo. **Perfil fermentativo das silagens de seis genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench)**. 2007. 41 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

KIMBER, C.T.; DAHLBERG, J.A.; KRESOVICH, S. The gene pool of *Sorghum bicolor* and its improvement. In: A. H. Paterson, ed. **Genomics of the Saccharinae**. New York: Springer, 2013. p. 23-41.

LYONS, S.E.; Ketterings, Q.M.; Godwin, G.S.; Cherney, D.J.; Cherney, J.H.; Meisinger, J.J.; Kilcer, T.F. Nitrogen Management of Brachytic Dwarf Brown Midrib Forage Sorghum in New York. **Soil Fertility and Crop Nutrition**, v. 111, n. 3, p. 1468-1477, 2019.

MARTINKOSKI, L.; VOGEL, G. F. Utilização de sorgo como alternativa na produção de silagem. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.8, n.5, p. 177-187, 2013.

MATEUS, G. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; BORGHI, E.; PARIZ, C.M.; COSTA, C.; SILVEIRA, J.P.S. Adubação nitrogenada de sorgo granífero consorciado com capim em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1161-1169, 2011.

NAKAO, A. H., ANDREOTTI, M., SOARES, D. A., MODESTO, V. C. DICKMANN, L. Intercropping *Urochloa brizantha* and sorghum inoculated with *Azospirillum brasilense* for silage. **Revista Ciência Agronômica**, 49, (3), 501-511, 2018.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; FILHO, D.C.A.; et al. Avaliação do valor nutritivo da planta e da silagem de diferentes híbridos de sorgo (*sorghum bicolor*, l. moench). **Revista Brasileira Zootecnia**, v.31, n.1S, p.293-301, 2002.

NEUMANN, M.; OLIVEIRA, M. R. de; SPADA, C. A.; FIGUEIRA, D. N.; POCZYNEK, M. Componentes de rendimentos e produção da planta de cevada em função de níveis de adubação nitrogenada em cobertura. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v2, n.3, 2009.

NIRMAL, S. S.; SOLANKE, A. V.; DUDHADE, D. D.; SHINDE, M. S.; GADAKH, S. R.; DURGUDE, A. G; DAMAME, S. V. Response of forage sorghum [*sorghum bicolor* (l). Moench] cultivars to nitrogen levels. **International Journal of Science, Environment and Technology**, v. 5, n. 4, p. 2605 – 2609, 2016.

PAZIANI, S. F.; FREITAS, R.S.; DUARTE, A.P.; TICELLI, M.; SAWAZAKI, E.; NUSSIO, L. G.; MARTINS, A. L. M.; GALLO, P. B. Sorgos “gigantes” para silagem. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.6, n.12, p. 99936-99946, 2020.

PINEDO, L. A.; SANTOS, B. R. C.; FIRMINO, S. S.; ASSIS, L. C. S. L.; BRAGA, A. P.; LIMA, P. O.; OLIVEIRA, P. V. C.; PINTO, M. M. F. Silagem de sorgo aditivada com coproduto alternativo da torta de semente de cupuaçu. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 5, n. 12, p. 29633-29645, dec. 2019.

PINHEIRO, C. H. N.; LIMA, V. M. M.; STIVAL, M. M.; SILVA, V. L.; ROCHA, K. R. Utilização de *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Scientific Electronic Archives**, Vale do Araguaia, v. 13, 2020.

RIBAS, P.M. Importância Econômica do Sorgo. In: RODRIGUES, J.A.S.; FERREIRA, M.T.R.; COELHO, E.A.; PINHEIRO, L.R. **Cultivo do Sorgo**. 4 ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008.

SANTIN, T. P.; FRIGERI, K. D. M.; AGOSTINI, A.; SILVA, H. R.; FRIGERI, K. D. M.; KALLES, N. Z.; COELHO, E. M.; DIAS, A. M. Características fermentativas e composição química da silagem de sorgo (*Sorghum bicolor*) com uso de aditivos absorventes. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p.54931-54943, 2020.

SIMEONE, M. L. F.; PARRELLA, R. A. C.; MAY, A.; SCHAFFERT, R. E. Production and characterization of high-biomass sorghum pellet. **Brazilian Applied Science Review**, Curitiba, v. 2, n. 5, p. 1682-1695, 2018.

SCHUMACHER, L. L.; VIEGAS, J.; TONIN, T. J.; PEREIRA, S. N.; SKONIESKI, F. R.; CARDOSO, G. S.; VAN CAENEGHEM DA HORA, A. L.; TEIXEIRA, J. V.; TEMP, L. B.; NEMOTO, B. S. Efeito da inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* sobre o fracionamento nitrogenado e glicídico em silagens de sorgo. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, e16710212321, 2021.

SPOLAOR, L.T; GONÇALVES, L. S. A.; DOS SANTOS, O. J. A. P; DE OLIVEIRA, A. L. M; SCAPIM, C. A.; BERTAGNA, F. A. B.; KUKI, M. C. Bactérias promotoras de crescimento associada a adubação nitrogenada de cobertura no desempenho agrônômico de milho pipoca. **Bragantia**, Campinas v.75, n. 1, p.33-40, 2016.

TAVARES, Q. G.; CARVALHO, W. T. V.; PEREIRA, R. G. V.; MINIGHIN, D. C.; SILVA, L. V.; CARVALHO, C. A.; SILVA, A. C. G.; TEIXEIRA, L. E.; RODRIGUES, M. J. L.; MIRANDA, T. B. M.; MELO, N. N. Avaliação nutricional das silagens de milho e sorgo inoculadas com *Lactobacillus plantaru*. **PUBVET** v.14, n.3 a536, p.1-9, Mar., 2020.

TEIXEIRA, A., M.; RIBEIRO JUNIOR, G. O. de.; VELASCO, F. O.; FARIA JUNIOR, W. G.; RODRIGUEZ, N. M.; RODRIGUES, J. A. S.; MCALLISTER, T.; GONÇALVES, L. C. G. Intake and digestibility of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) silages with different tannin contents in sheep. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 43, p. 14-19, 2014.

VAN SOEST, P.J. 1994. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2nd ed. Ithaca: Cornell University Press.

VON PINHO, R. G.; VASCONCELOS, R. C. **Cultura do sorgo**. Lavras: UFLA FAEPE, 2002. 76 p.

WANG, C.; ZHOU, L.; ZHANG, G.; XU, Y.; ZHANG, L.; GAO, X.; GAO, J.; JIANG, N.; SHAO, M. Optimal fertilization for high yield and good quality of waxy sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). **Field Crops Research**, 203, 1–7. 2017.

2. INTRODUÇÃO

A ensilagem é uma tecnologia bastante utilizada na produção animal, para garantir alimento de qualidade para os períodos de escassez. O milho é a principal espécie forrageira utilizada, por reunir as características necessárias para um bom processo de conservação, como o de matéria seca por ocasião da ensilagem 30%, mais de 3% de carboidratos solúveis na matéria original e baixo poder tampão (PASA & PASA, 2015). No entanto, o sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma das alternativas para essa finalidade (STELLA et al., 2016). O sorgo tem sido mais utilizado devido a sua facilidade de plantio, manejo, colheita e armazenamento, com uma gama de grupo de cultivares com alto valor nutritivo e alta concentração de carboidratos solúveis, o que justifica o potencial dessa planta para uso na alimentação animal (MOURA et al., 2016).

Entre as opções de sorgos forrageiros existentes no mercado, grande destaque tem sido dado àqueles de porte e produtividade elevada, conhecidos como sorgo gigante boliviano ou super sorgo, como o híbrido AGRI 002E. No entanto, apesar da produtividade, normalmente apresenta baixa ou nenhuma proporção de grãos, o que compromete seu valor nutritivo (PAZIANI et al., 2020), porém, o uso de fertilizantes no cultivo do sorgo pode melhorar tais características. Ainda, aspectos produtivos, ligados as condições edafoclimáticas de cada região, precisam ser mais bem compreendidos.

O sorgo é uma cultura exigente em nutrientes, principalmente nitrogênio, o qual se comporta como um modulador da produção vegetal, essencial para bom desenvolvimento das gramíneas forrageiras (GALINDO et al., 2018). As doses de nitrogênio recomendadas para o sorgo forrageiro, no estado do Pará, em função da análise de solo e produtividade esperada, variam de 70 a 130 kg ha⁻¹ de N (BRASIL et al., 2020).

O uso de fontes de nitrogenadas em gramíneas como sorgo demandam grandes investimentos, podendo resultar em perdas elevadas de nitrogênio (N) por volatilização e lixiviação (SCHUMACHER et al., 2021). Ainda, a fertilização nitrogenada está entre as práticas agrícolas com maior efeito sobre a emissão de N₂O (METZ et al., 2005). Apesar da amônia (NH₃) não ser um gás de efeito estufa, ela pode ser depositada na atmosfera e retornar ao solo, nutrindo os ciclos de nitrificação e desnitrificação, resultando na emissão indireta de N₂O (CARVALHO et al. 2018). Assim, como alternativa para disponibilizar esse nutriente às plantas e auxiliar produção agrícola de forma sustentável, têm-se utilizado inoculantes que contêm bactérias diazotróficas fixadoras de nitrogênio e promotoras de crescimento (SPOLAOR et al. 2016), dentre elas a *Azospirillum brasilense*.

A inoculação de sementes com *A. brasilense* vem sendo estudada e recomendada para gramíneas forrageiras, especialmente para síntese de fito hormônios (citocininas, ácido indolacético e giberelinas) e aumentar a disponibilidade de nitrogênio e, conseqüentemente, incrementar a produção de matéria seca das forrageiras, de forma menos onerosa e mais viável ecologicamente (BASHAN et al., 2004; SOARES et al., 2022). No sorgo, a inoculação com *A. brasilense* modifica o crescimento das raízes (MORTATE et al., 2020), aumentando a massa seca total para produção de silagem (NAKAO et al. 2018; ANDRADE et al. 2019).

Apesar dos efeitos promissores da inoculação com *Azospirillum*, em sorgo para ensilagem, poucos são os relatos encontrados na literatura quando se refere ao sorgo gigante boliviano ou super sorgo. Com isso, hipotetiza-se que a inoculação com bactéria *A. brasilense* e a adubação nitrogenada proporcionam maior absorção de nutrientes, contribuem para o desenvolvimento vegetal, proporcionam incrementos na produtividade e modificam as características agrônomicas e bromatológicas do sorgo forrageiro para produção de silagem.

Desta forma, objetivou-se avaliar a inoculação da bactéria *Azospirillum brasilense* associada a adubação nitrogenada sobre as características agrônomicas e bromatológicas do sorgo e na qualidade da silagem.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e Caracterização da área

O experimento foi conduzido em condições de campo na área experimental (06° 04' 16,4" S e 49° 08' 8,3" O, 270 m) do setor de Forragicultura da Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Parauapebas/PA, no período de fevereiro a junho de 2021.

A área experimental é caracterizada por encosta de topossequência com relevo suave e o solo é classificado com textura franco-arenosa, (LEMON & SANTOS, 1996). As propriedades químicas do solo da área estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Propriedades químicas do solo na profundidade de 0 a 20 cm.

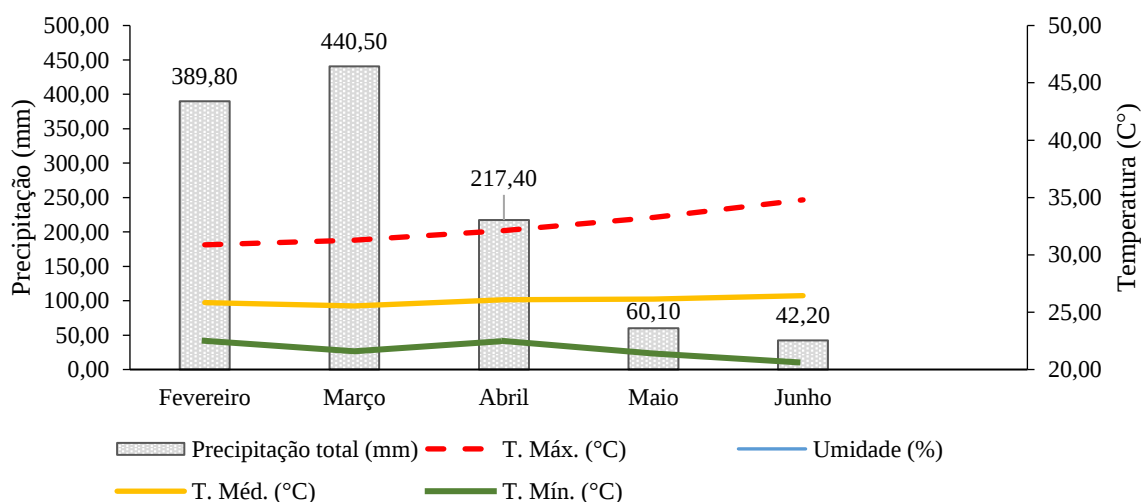
Perfil	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al	H+Al	CTC	MO	Sat. Bases
		---mg.dm ⁻³ ---			-----cmolc.dm ⁻³ -----					
0-20 cm	5,5	0,32	28,24	0,90	0,32	0,50	5,80	7,10	1,40	18,31

M.O: Matéria Orgânica; H+Al: acidez potencial; CTC: Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0;

O clima é classificado como tipo Aw, ou seja, tropical chuvoso, com chuvas concentradas no verão e estação seca no inverno, podendo variar para Aw' apresentando chuvas de verão e outono (KÖPPEN & GEIGER, 1930). O regime pluviométrico, a umidade relativa

do ar média e a temperatura (mínima, média e máxima), decorrentes do ciclo produtivo do sorgo estão apresentadas na Figura 1.

Figura 1. Dados meteorológicos coletados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) durante o cultivo do sorgo forrageiro AGRI 002E (fevereiro a junho/2021), em Parauapebas-PA.



Fonte: INMET (2022)

3.2. Delineamento, área experimental, plantio e adubação

O preparo do solo foi realizado com aração e gradagem, em seguida foi realizada a correção do solo, segundo análise de solo, onde se utilizou 3,28 t ha⁻¹ de calcário. Para a adubação de semeadura, foi realizada, em dose única, a aplicação de 989 kg ha⁻¹ de superfosfato simples (18% de P₂O₅) e 451 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (60% de K₂O), segundo recomendação de Sousa e Lobato (2004).

O sorgo utilizado para a produção de silagem foi o híbrido de sorgo forrageiro AGRI 002E. A semeadura foi realizada no dia 27 de fevereiro 2021, utilizando quatro sementes por cova e, após a germinação, foi realizado o desbaste, deixando apenas uma planta. As sementes foram inoculadas com *A. brasilense*, através do inoculante líquido AZOTotal, na dose de 100 ml/25 kg de sementes, deixando em contato, à sombra, por aproximadamente 15 minutos antes da semeadura, conforme recomendação do fabricante. As estirpes bacterianas presentes no produto foram as AbV5 e AbV6 na concentração garantida pelo fabricante, até a data do vencimento, de 2,0 x 10⁸ UFC/mL.

O controle de plantas daninhas foi realizado após plantio, utilizando herbicida a base de atrazina, na proporção de 200 g para 20 L de água, em jato dirigido entre as fileiras. A aplicação dos produtos foi realizada com pulverizador costal.

O experimento foi conduzido em blocos casualizados, em arranjo fatorial 5x2, composto por cinco níveis de adubação nitrogenada (0; 50; 100; 200; 400 kg ha⁻¹) com ou sem a inoculação de *A. brasilense*, com quatro repetições, totalizando 40 parcelas. As parcelas (4,2 x 5,0 m) foram constituídas de 6 linhas com espaçamento de 0,7 m entre linhas e 0,2 m entre plantas, totalizando uma densidade populacional de 71.428,5714 plantas ha⁻¹. Para as avaliações, foi considerada como área útil da parcela as duas linhas centrais, desprezando as quatro linhas laterais para evitar influências da bordadura e deixar as parcelas sob condições homogêneas.

A primeira adubação de cobertura foi realizada 30 dias após a emergência e as demais ocorreram no intervalo de 25 dias, utilizando ureia (45% de N), totalizando três aplicações, conforme as doses dos tratamentos e apresentadas na tabela 5.

Tabela 5. Esquematização do parcelamento de doses e quantidade a ser aplicada em área experimental, nas referidas parcelas dos tratamentos.

Dose de N (kg ha ⁻¹)	Quantidade de Ureia (kg/área exp)			Total (kg/área exp)
	Parcelamento	1	2	3
50		7,47	7,47	7,47
100		14,80	14,80	14,80
200		29,60	29,60	29,60
400		59,20	59,20	59,20

3.3. Avaliação das características agronômicas

As características agronômicas do sorgo forrageiro foram avaliadas no momento da colheita, aos 97 dias após a semeadura, sendo elas: altura de planta (AltP), distância entre o colo da planta (base da planta rente ao solo) e a inserção da última folha da planta, medida com trena métrica; diâmetro de colmo (DC), realizado a 0,10 m de altura do solo com uso de paquímetro digital. A produtividade do sorgo foi estimada pela colheita das duas linhas centrais, seguida de pesagem em balança digital e determinado em toneladas ha⁻¹. Foi calculada a produtividade do primeiro ciclo (ProdC); produtividade da rebrota (ProdR) e produtividade total (ProdT), soma da ProdC e ProdR.

3.4. Colheita e produção de silagem

A colheita do sorgo foi realizada quando a planta apresentava entre 30 e 35% de matéria seca, quando a forrageira atingiu 97 dias após a semeadura, com altura de corte de 15 cm do solo. O material foi picado com o auxílio de uma ensiladeira acoplada ao trator e posteriormente alocado em silos experimentais do tipo balde de propileno, fechados com tampa, dotados de

válvula do tipo Bunsen e vedados com fitas adesivas. A rebrota foi colhida 153 dias após o primeiro corte, não sendo realizada adubação de cobertura.

3.5. Avaliação da composição químico-bromatológica

Após 139 dias da ensilagem os silos foram abertos e as partes deterioradas descartadas. O material foi homogeneizado e, em seguida, amostrado para posteriores análises químico-bromatológicas. Para a determinação de pH, foram utilizadas 10 gramas de silagem fresca adicionando 90 mL de água destilada e após 60 minutos foram realizadas as leituras com um potenciômetro digital portátil, em triplicata, sendo considerada a média das três medições, de acordo com a metodologia descrita por Bolsen et al. (1992).

O nitrogênio amoniacal (N-NH₃) foi determinado através da colorimetria, utilizando-se a metodologia descrita por Chaney e Marbach (1962), adaptadas para amostras de silagem. Foram utilizados 12,5 gramas de amostra verde de silagem os quais foram acondicionados em potes plásticos com tampas sendo adicionadas em 100 mL de solução de H₂SO₄ a 0,2N. Após repouso de 48 horas, as amostras foram filtradas sendo retiradas alíquotas de 1,5 mL do extrato, que foram acondicionadas em 2 tubos tipo Eppendorf de 2,0 mL. Em seguida, o material foi centrifugado por 10 minutos a 13.000 rpm. Alíquotas foram retiradas e armazenadas em outros tubos tipo Eppendorf, os quais foram mantidos em freezer a -20 °C até a realização das análises. Para a realização da leitura das amostras, foi elaborada uma curva de calibração sendo utilizado cloreto de amônio nas concentrações: 0, 5, 10, 15, 20 e 25 µL. Então, foi realizada a homogeneização e procedeu-se a incubação em banho-maria a 39 °C por 15 minutos. Após esse período, procedeu-se a leitura em espectrofotômetro utilizando comprimento de onda de 630 nm. Os dados de absorbância da curva de calibração foram utilizados para a construção da curva de regressão, permitindo assim a determinação das concentrações de nitrogênio amoniacal das amostras.

As amostras do sorgo antes da ensilagem e das silagens foram pré-secas em estufa com ventilação forçada de ar a 55 °C por 72 horas e posteriormente, moídas em moinho tipo “Willey” com peneira de crivo de 1 mm. Foram realizadas a determinação da matéria seca (MS – método G-0003/1), matéria mineral (MM – método M-001/2) e proteína bruta (PB – método N-001/2), utilizando-se a metodologia descrita por Detmann et al. (2021). A determinação da fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), segundo Van Soest et al. (1991) com as modificações propostas no manual do dispositivo Ankom (Ankom 200, Technology Corporation, Macedon, New York, US), com uso de alfa-amilase termoestável.

Os valores de nutrientes digestíveis totais (NDT) foram mensurados através da equação proposta por Rodrigues (2009), $NDT = 87,84 - (0,7 \times \%FDA)$.

3.6. Avaliação dos ácidos orgânicos

Para a análise de ácidos orgânicos (acético, butírico e láctico) foram utilizados 10 gramas de amostra de silagem úmida que foram diluídas em 90 mL de água Milli-Q. Posteriormente, o material foi submetido à maceração durante 1 minuto, sendo em seguida filtrado. A partir do material obtido foram pipetados 2 mL do filtrado e posteriormente adicionados em 1 mL de solução de ácido metafosfórico (20% p/v) sendo acidificado juntamente com 50 microlitros de ácido sulfúrico H_2SO_4 a 50% (vol/vol). Em seguida, o material foi submetido a homogeneização sendo transferido para tipo Eppendorf de 2 mL e submetidos à centrifugação 13.000 rpm por 10 minutos. Posteriormente, foi realizada a transferência do sobrenadante para outros Eppendorf, que foram identificados e mantidos em freezer a $-20\text{ }^{\circ}C$ (Vargas et al., 2020). Posteriormente as amostras foram analisadas por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC-DAD).

3.7. Digestibilidade

Para a avaliação da digestibilidade in vitro (DIVMS), foi utilizado o método proposto por Tilley e Terry (1963), e adaptada por Silva et al. (2017), com a utilização de frascos de penicilina. O fluido ruminal foi coletado de um bovino fistulado que foi alimentado com uma dieta com 40:60 de relação volumoso/concentrado com 15,3% de proteína bruta. Logo após a retirada, o líquido ruminal foi transferido para o interior de garrafa térmica pré-aquecida à temperatura de $39\text{ }^{\circ}C$. Em seguida, o material homogeneizado foi filtrado em quatro camadas de gaze. Utilizou-se solução tampão proposta por McDougall (1948). Previamente à mistura da solução tampão com o líquido ruminal, foram adicionados 5 mL de solução de ureia (5,5 g /100 mL) para cada 300 mL da solução tampão de McDougall. Logo em seguida, o pH da solução foi reduzido para 6,80 por borbulhamento com CO_2 .

Foram pesados em duplicatas, para cada amostra, aproximadamente 500 mg de amostras secas ao ar, as quais foram acondicionadas em frascos tipo “penicilina” (100mL). Posteriormente, foram adicionados 10 mL de inóculo ruminal e 40 mL de solução tampão de McDougall (relação 1:4 inóculo e solução tampão). O espaço livre dos frascos foi imediatamente saturado com CO_2 , sendo estes fechados com tampas de borracha e lacres de alumínio. Os frascos foram acondicionados em estufa de circulação forçada a $39\text{ }^{\circ}C$. Para cada

bateria, foram avaliados dois frascos “branco”. O gás produzido nos frascos foi retirado com uma agulha, a cada três horas, nas primeiras 12 horas, e a cada seis horas, nas 36 horas restantes. Após as 48 horas de incubação, os frascos foram abertos, e o conteúdo transferido para cadinhos filtrantes (porosidade grossa), com auxílio de água destilada (temperatura superior a 90 °C). Em seguida, os cadinhos foram secos (105 °C /24 horas) e pesados, obtendo-se o resíduo aparentemente não digerido da matéria seca.

Para a avaliação da digestibilidade in vitro fibra em detergente neutro (DIVFDN), os cadinhos contendo o resíduo de incubação foram introduzidos no interior de coletores universais autoclaváveis (120 mL), adicionando-se 80 mL de solução de detergente neutro, produzida segundo Mertens (2002), com a omissão de sulfito de sódio, e 250 µL de α-amilase termoestável (Termamyl 2X). Os coletores com os cadinhos acondicionados no interior foram fechados com as respectivas tampas e autoclavados (105 °C /1h) segundo método descrito por Detmann et al. (2021). Após retirados da autoclave, os cadinhos foram novamente lavados com água destilada quente e, ao fim, com 30mL de acetona, sendo, em seguida, secos (105 °C /24 h) e pesados para obtenção do resíduo de FDN.

3.8. Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise da variância, considerando-se como fontes de variação das doses de adubação nitrogenada, sem ou com *A. brasilense* e a interação entre estes dois fatores, conforme modelo abaixo:

$$Y_{ijk} = \mu + B_k + E_i + D_j + (E.D)_{ij} + E_{ijk}$$

onde: Y_{ijk} = Valor observado da k-ésima unidade experimental que recebeu tratamento i; μ = média geral; b_k = efeito do bloco; E_j = efeito do j-ésimo adubação nitrogenada sobre a variável resposta; D_l = efeito do l-ésimo com ou sem *A. brasilense* sobre a variável resposta; $(B.D)_{ij}$ = efeito da interação entre os fatores; e_{ijk} = efeito do erro aleatório residual. Quando verificados efeitos significativos, empregou-se o teste Tukey e conduziu-se o desdobramento das interações. Foi utilizado o software Agroestat (BARBOSA & MALDONADO JÚNIOR, 2015). As diferenças foram consideradas significativas para um valor de $P < 0,05$.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar as características agronômicas do sorgo, não se verificou interação ($P > 0,05$) entre a inoculação com *A. brasilense* e a adubação nitrogenada para altura da planta (AltP),

diâmetro de colmo (DC), produtividade da rebrota (ProdR) e produtividade total (ProdT) (Tabela 6).

Tabela 6. Características agronômicas de silagem de sorgo AGRI 002E com e sem *A. brasilense* em diferentes doses de nitrogênio.

Variáveis	<i>A. brasilense</i>		Doses de Nitrogênio					EPM	<i>P-Valor</i>		
	sem	com	0	50	100	200	400		A	N	A x N
ALT	3,22	3,12	2,96b	3,26ab	3,24ab	3,30a	3,08ab	0,108	0,161	0,021	0,204
DC	1,39	1,33	1,20b	1,39a	1,41a	1,43a	1,37a	0,045	0,050	0,001	0,408
PRODC	17,99	15,50	14,37	18,53	17,00	17,94	15,88	1,268	0,004	0,021	0,013
PRODR	4,13	3,73	3,12	3,50	4,38	4,71	3,95	0,655	0,346	0,137	0,917
PRODT	22,12a	19,24b	17,50b	22,03ab	21,38ab	22,65a	19,84ab	1,566	0,007	0,020	0,074

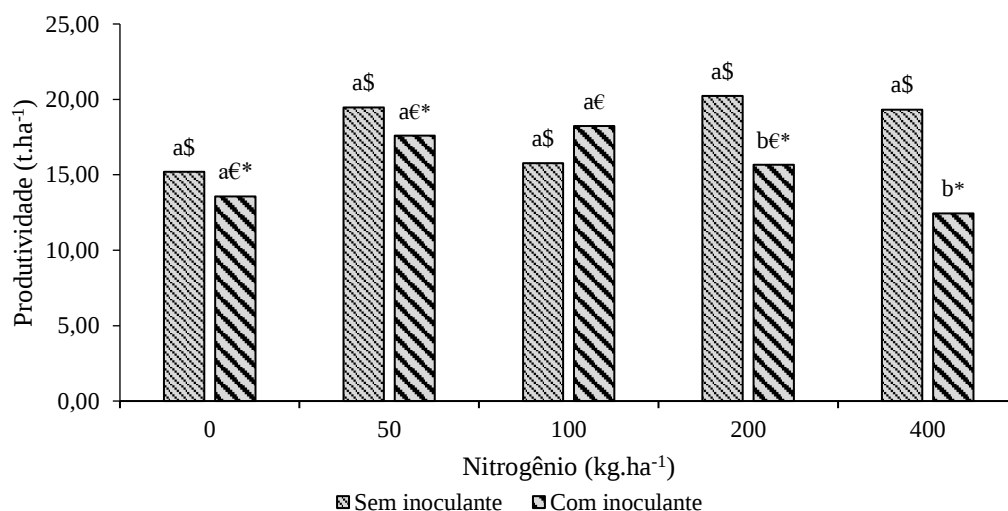
ALT (m): altura da planta; DC (cm): diâmetro da planta; PRODC (t ha⁻¹): produtividade do primeiro ciclo; PRODR (t ha⁻¹): produtividade da rebrota; PRODT (t ha⁻¹): produtividade total. A: efeito do inoculante; N: efeito das doses de nitrogênio; A x N: efeito de interação entre o inoculante e doses de nitrogênio. EPM: Erro padrão da média; Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferença dentro do inoculante ou nas doses de nitrogênio pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A AltP foi superior ($P < 0,05$) na dose de 200 kg ha⁻¹ de N quando comparada a sem adubação, sendo 3,30 m e 2,96 m, respectivamente. A resposta positiva observada para a AltP em função da adubação nitrogenada em cobertura ocorre devido a influência do nutriente diretamente na expansão e divisão celular, bem como processo fotossintético, favorecendo o desenvolvimento vegetativo (PRADO, 2008). O sorgo gigante boliviano foi lançado no mercado com a proposta de ser uma forrageira de alta produtividade. Com resultado observado no presente estudo, fica claro que a adubação nitrogenada incrementa na altura de plantas e, conseqüentemente, maior aporte vegetativo, uma vez que isso influenciará diretamente na elevação da produtividade.

Já a adubação nitrogenada a partir de 50 kg ha⁻¹ de N proporcionou maior DC ($P < 0,05$) das plantas de sorgo, representando um aumento de aproximadamente 19,16%, na dose de 200 kg ha⁻¹ de N, em relação ao tratamento não adubado. O aumento do DC das plantas de sorgo é benéfico para a cultura, podendo proporcionar maior resistência ao acamamento e armazenar maiores quantidades de nutrientes e substâncias orgânicas e inorgânicas (NAKAO et al., 2014), porém, colmos mais espessos tendem a ser mais lignificados e densos, o que reduz a digestibilidade da fibra.

Foi observada interação ($P < 0,05$) entre a inoculação com *A. brasilense* e a adubação nitrogenada para a produtividade no primeiro ciclo (ProdC). Nas doses de nitrogênio de 200 e 400 kg ha⁻¹ de N, a ProdC apresentou menores valores com a inoculação sendo 15,66 e 12,44 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 2).

Figura 2. Médias da produtividade do sorgo forrageiro AGRI 002E (t ha^{-1}) sem e com *A. brasilense* e diferentes doses de adubação nitrogenada (kg ha^{-1}).



Letras minúsculas indicam diferença nos tratamentos sem e com inoculação dentro de cada dose de adubação. \$: indica semelhança entre as doses de nitrogênio sem inoculação; €: indica semelhança entre as doses de nitrogênio com inoculação; €*: indica diferença entre as doses de nitrogênio com inoculação; *: indica semelhança entre as doses de nitrogênio com inoculação.

É possível observar que a interação da inoculação e doses de nitrogênio proporcionou redução da produtividade, exceto na dose de 100 kg ha^{-1} de N, sendo $18,24 \text{ t ha}^{-1}$. Uma possível justificativa está na inativação do complexo enzimático nitrogenase, que regula a atividade das bactérias fixadoras de nitrogênio em converter o N atmosférico em amônia. Apolonio (2018) evidencia em seu trabalho que esse complexo é inibido de forma reversível em resposta a adição de íons de amônio, sendo a atividade restaurada assim que o amônio adicionado é consumido pelo metabolismo bacteriano.

No decorrer do ensaio experimental, parcelas adubadas com as doses de 200 de 400 kg ha^{-1} de N, sendo a maior parte com *A. brasilense*, apresentaram ataque de pulgão (*Melanaphis sacchari*). Após o controle (Imidacloprido – 300 g ha^{-1}), ocorreu o acamamento de plantas, o que pode justificar as menores produtividades com as maiores doses e consequentemente, redução da produtividade total. Quando o nitrogênio é aplicado em excesso, desobedecendo a necessidade nutricional da planta, ocorre um aumento na suscetibilidade das plantas ao ataque de pragas e doenças (MALAVOLTA, 1989; VENTURA et al., 2008; PANNUTI et al., 2015).

Neste estudo, a ProdR apresentou valores entre $3,12$ e $4,71 \text{ t ha}^{-1}$, não sendo influenciada pelos tratamentos. O sorgo é uma cultura com alta capacidade de rebrota, devido a sua aptidão em conservar ativo seu sistema radicular. No entanto, a intensidade da rebrota é proporcional à sanidade do primeiro corte e consequentemente o rendimento depende do

número de plantas (Rezende, 2011). Vale ressaltar que no presente estudo não foi realizada adubação em cobertura para rebrota, o que pode ter influenciado na baixa produtividade.

A ProdT do sorgo foi influenciada pela adubação nitrogenada ($P < 0,05$), onde a dose de 200 kg ha^{-1} de N proporcionou a maior produtividade, sendo aproximadamente 29,42% superior comparado ao tratamento não adubado. O nitrogênio promove modificações morfofisiológicas na planta, estando relacionado com a atividade fotossintética, desenvolvimento das raízes, absorção de nutrientes, crescimento e diferenciação celular (TAIZ & ZEIGER, 2012). O acréscimo das doses de N em cobertura aumenta a produtividade e a qualidade das silagens, no entanto, reduz a eficiência e a recuperação deste nutriente (MENEZES et. al., 2013). Com isso, o N proporciona incremento na massa vegetativa da planta, até determinado limite e, consequentemente, pode proporcionar o aumento da produtividade.

A ProdT do sorgo foi menor ($P < 0,05$) quando se utilizou da inoculação com *A. brasilense* ($19,24 \text{ t ha}^{-1}$), aproximadamente 13,0% menor quando comparado ao tratamento sem a utilização do inoculante ($22,12 \text{ t ha}^{-1}$). Esse resultado está relacionado à baixa produtividade obtida no primeiro corte. As bactérias do gênero *Azospirillum* são nativas do solo (SALA et al., 2007) e é possível que essas se encontrassem em alta população no solo em estudo e, com isso, anulasse efeito da inoculação. Döbereiner (1977) sugeriu que a inoculação deve ser feita apenas na presença de baixas doses de fertilizantes nitrogenados para evitar a inibição/repressão do processo das bactérias fixadoras de nitrogênio e para diminuir os riscos ambientais causados pelo excesso de fertilizantes nitrogenados.

Ao analisar a composição química da planta de sorgo (Tabela 7), a matéria mineral (MM) apresentou efeito de interação ($P < 0,05$) entre a inoculação com *A. brasilense* e a adubação nitrogenada.

Tabela 7. Composição químico-bromatológica do sorgo forrageiro AGRI 002E com ou sem *A. brasilense* em diferentes doses de nitrogênio.

Variáveis (%)	<i>A. brasilense</i>		Doses de Nitrogênio					EPM	P-Valor		
	sem	com	0	50	100	200	400		A	N	A x N
MS	33,13	33,33	31,33	34,14	34,20	32,62	33,88	1,2310	0,8051	0,1173	0,1162
MM	7,07	6,98b	7,30a	6,73e	6,95d	6,97c	7,14b	0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
PB	6,79	7,13	4,44c	6,40b	7,08ab	8,12ab	8,76a	0,5897	0,3791	<0,0001	0,4642
FDN	62,86	63,95	63,11	61,77	65,11	63,92	63,11	2,7437	0,5346	0,8063	0,6835
FDA	39,64	39,95	39,90	38,53	41,34	39,78	39,41	2,0663	0,8099	0,7456	0,7418

MS: matéria seca; MM: matéria mineral; PB: proteína bruta; FDN: fibra insolúvel em detergente neutro; FDA: fibra insolúvel em detergente ácido.

O teor da PB do sorgo foi influenciado ($P < 0,05$) pela adubação nitrogenada. A doses de 100, 200 e 400 kg ha^{-1} de N proporcionaram silagens com maiores teores de PB, sendo 7,08%, 8,12% e 8,76%, respectivamente. Observou-se que os teores de matéria seca (MS), fibra

insolúvel em detergente neutro (FDN) e fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), não foram influenciados ($P>0,05$) pela adubação ou inoculação com *A. brasilense*.

Em relação a composição química da silagem de sorgo (Tabela 8), a matéria mineral (MM) apresentou efeito de interação ($P<0,05$) entre a inoculação com *A. brasilense* e a adubação nitrogenada (Figura 3).

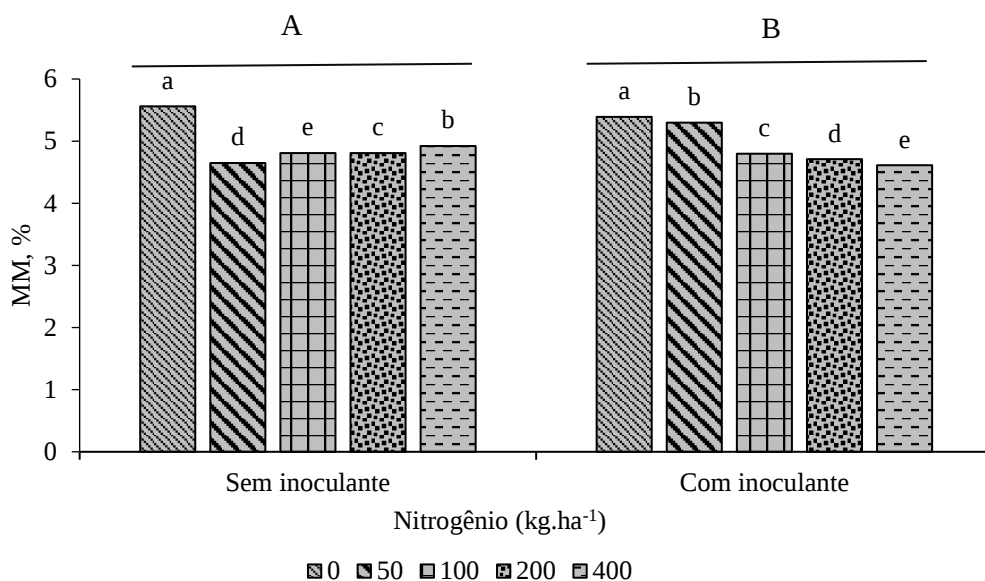
Tabela 8. Composição química de silagem de sorgo forrageiro AGRI 002E com e sem *A. brasilense* em diferentes doses de nitrogênio.

Variáveis (%)	<i>A. brasilense</i>		Doses de Nitrogênio (kg ha ⁻¹ de N)					EPM	<i>P-Valor</i>		
	sem	com	0	50	100	200	400		A	N	A x N
MS	31,15	30,91	28,57b	31,85ab	32,09a	31,41ab	31,26ab	0,986	0,708	0,009	0,183
MM	4,92	4,96	5,47	4,97	4,72	4,76	4,77	0,0001	0,000	0,000	0,000
PB	7,01b	7,67a	5,39c	6,52b	7,22b	8,39a	9,19a	0,3727	0,009	0,000	0,317
FDN	68,20b	70,79a	71,13	68,88	70,00	68,30	69,14	1,8769	0,03	0,605	0,946
FDA	44,06b	46,54a	45,74	44,55	46,58	44,71	44,92	1,7006	0,029	0,738	0,738
NDT	60,09	59,87	59,91	60,87	58,90	59,99	60,25	1,4464	0,809	0,745	0,741
DIVMS	595,50	594,83	612,32ab	610,81ab	622,38a	582,54ab	547,77b	22,955	0,963	0,020	0,391
DIVFDN	391,29	377,69	392,20	377,34	358,06	393,28	401,59	22,439	0,346	0,345	0,333

MS: matéria seca; MO: matéria orgânica; MM: matéria mineral; PB: proteína bruta; FDN: fibra insolúvel em detergente neutro; FDA: fibra insolúvel em detergente ácido; DIVMS: digestibilidade in vitro da matéria seca (g/kg); DIVFDN: digestibilidade in vitro da fibra insolúvel em detergente neutro (g/kg); NDT: nutrientes digestíveis totais (%); A: efeito do inoculante; N: efeito das doses de nitrogênio; A x N: efeito de interação entre o inoculante e doses de nitrogênio. EPM: Erro padrão da média; Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferença dentro do inoculante ou nas doses de nitrogênio pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na ausência da inoculação, o tratamento sem adubação nitrogenada apresentou as maiores porcentagens de MM. A MM é composta pelo resíduo inorgânico obtido após a queima da matéria orgânica, a qual é transformada em CO₂, H₂O e NO₂, e eliminada em conjunto com as substâncias voláteis decompostas pelo calor (SOUZA et al., 2017). O menor teor de MM é indicativo de melhor conservação da forragem, pois, quando ocorre fermentação inadequada, resultam em perdas de material orgânico, elevando a participação relativa da cinza (matéria mineral) na MS (ASHBELL, 1995).

Figura 3. Médias de matéria mineral (MM) da silagem de sorgo forrageiro AGRI 002E (%) sem e com inoculação de *A. brasilense* e diferentes doses de adubação nitrogenada ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).



Letras maiúsculas diferentes indicam diferença entre o fator sem e com inoculação e letras minúsculas diferentes indicam diferença na entre as doses de nitrogênio dentro dos fatores sem e com inoculação.

Observou-se efeito da adubação nitrogenada ($P < 0,05$) sobre o teor de matéria seca (MS) da silagem, em que a dose de 100 kg ha^{-1} de N proporcionou o maior teor de MS (32,09%) quando comparado ao tratamento sem adubação nitrogenada (28,57%). Esse incremento de MS pode ser resultado da ação do nitrogênio que influencia no metabolismo e crescimento das plantas, elevando a produção de massa e nitrogênio, entre outros. O nitrogênio é o nutriente que as plantas necessitam em grandes quantidades, sua deficiência é apontada na maioria dos solos e o seu fornecimento em quantidades adequadas, além de incrementar a área foliar, eleva os teores de clorofila nas folhas, tornando-as mais eficientes na interceptação da radiação solar (TAIZ & ZEIGER, 2009), e consequentemente, aumentando o acúmulo de matéria seca. De maneira geral, os teores de MS encontrados neste estudo apresentaram-se dentro das recomendações para uma silagem de boa qualidade, variando de 30 a 35% de MS (PAIVA, 1976; ARAÚJO, 2007).

O teor da PB da silagem foi influenciado ($P < 0,05$) tanto pela inoculação com *A. brasilense* quanto pela adubação nitrogenada. A silagem proveniente do sorgo inoculado com *A. brasilense* apresentou maior no teor de PB (7,67%) em relação ao tratamento sem o uso do inoculante (7,01%). Estes microrganismos possuem um complexo enzimático chamado nitrogenase, necessário para converter o nitrogênio atmosférico em amônia, sendo posteriormente assimilada em aminoácidos e proteínas (NEVES & RUMJANEK, 1998). Nesse

complexo, a quebra da molécula de nitrogênio na temperatura ambiente pode ocorrer a partir da utilização de energia oriunda dos processos foto e quimiossintéticos ou a partir de carboidratos (provenientes da respiração ou fermentação) e armazenados na forma de ATP (BRUM, 2016). As doses de 200 e 400 kg ha⁻¹ de N proporcionaram silagens com maiores teores de PB, sendo 8,39% e 9,19%, respectivamente. De acordo com Galindo et al. (2018), em virtude da aplicação do nitrogênio, a tendência é aumentar a disponibilidade desse nutriente à gramínea forrageira, resultando no aumento da absorção e nos teores de N na parte aérea, elevando consequentemente o teor de PB da silagem.

A fibra em detergente neutro (FDN) e a fibra em detergente ácido (FDA) das silagens diferiram ($P < 0,05$) com o uso do inoculante. A silagem inoculada apresentou 70,79 e 46,54%, respectivamente, e a sem inoculação 68,20 e 44,06%, de FDN e FDA, respectivamente. A baixa quantidade ou ausência de grãos que o híbrido de sorgo em estudo apresenta, pode ter contribuído, uma vez que os grãos contêm pouca fibra e a sua proporção presente na silagem está diretamente correlacionada com o teor de FDN.

O NDT calculado não foi influenciado pelos tratamentos ($P > 0,05$), obtendo-se valores entre 58,89 e 60,86% NDT. É bem sabido que teores mais elevados de NDT são desejáveis em silagens, no entanto, frações fibrosas tendem a apresentar menor disponibilidade energética, fato que pode ser justificativa do presente estudo, onde altos teores de FDN foram encontrados, bem como menor DIVFDN. O baixo ou mesmo ausência de panícula em sorgo de alto porte contribuem para os baixos valores de NDT (NEUMANN et al., 2004).

Observou-se efeito ($P < 0,05$) da adubação nitrogenada sobre digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS), a qual foi superior ($P < 0,05$) na dose de 100 kg ha⁻¹ de N (622,38 g.kg) e inferior quando comparada a dose de 400 kg ha⁻¹ de N (547,77 g.kg). De acordo com Neumann et al. (2017), a adubação nitrogenada em dosagens mais elevadas proporciona à planta um aumento na produção de compostos fibrosos, reduzindo sua digestibilidade.

A DIVFDN não diferiu ($P > 0,05$) entre os tratamentos, apresentando valores entre 358,06 e 401,59 g.kg. No entanto, Van Soest (1994) atribui a fertilização nitrogenada a redução da digestibilidade de plantas forrageiras e relaciona esse fato com a elevação dos compostos nitrogenados, aumento dos compostos da parede celular, assim como a redução de carboidratos solúveis.

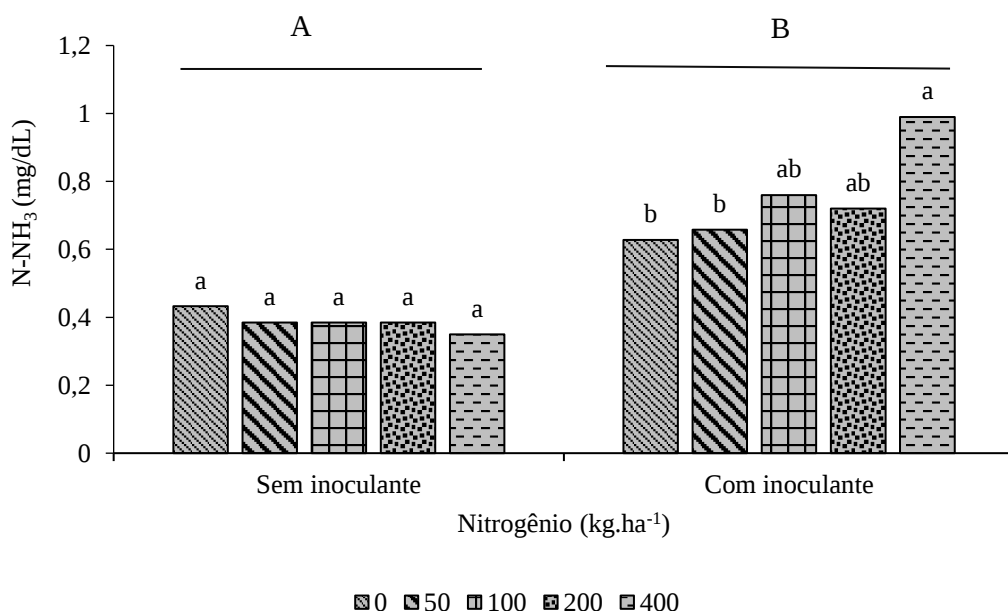
Para os parâmetros fermentativos da silagem de sorgo (Tabela 9), verificou-se efeito de interação ($P < 0,05$) entre inoculação com *A. brasilense* e doses de nitrogênio para os teores de N-NH₃ (Figura 4) e ácido lático (Figura 5).

Tabela 9. Parâmetros fermentativos de silagem de sorgo forrageiro AGRI 002E com e sem *A. brasilense* em diferentes doses de nitrogênio.

Variáveis	<i>A. brasilense</i>		Doses de Nitrogênio					EPM	<i>P-Valor</i>		
	sem	com	0	50	100	200	400		A	N	A x N
pH	4,19	4,21	4,25	4,27	4,14	4,13	4,21	0,05	0,415	0,066	0,077
N-NH ₃	0,38b	0,76a	0,53	0,52	0,56	0,59	0,67	0,06	0,001	0,200	0,028
LAC	94,03	92,96	81,55b	91,77ab	94,54ab	96,29ab	103,33a	6,75	0,805	0,048	0,035
ACE	49,17	49,68	87,00a	67,22ab	24,30b	39,46ab	29,15b	16,42	0,960	0,002	0,423
BUT	7,37	6,46	9,84a	8,56ab	5,12bc	4,64c	6,42abc	1,27	0,265	0,001	0,443

pH: potencial hidrogeniônico; N-NH₃ (% N): nitrogênio amoniacal; LAC (g/kg MS): ácido lático; ACE (g/kg MS): Ácido acético; BUT (g/kg MS): ácido butírico; A: efeito do inoculante; N: efeito das doses de nitrogênio; A x N: efeito de interação entre o inoculante e doses de nitrogênio. EPM: Erro padrão da média; Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferença dentro do inoculante ou nas doses de nitrogênio pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

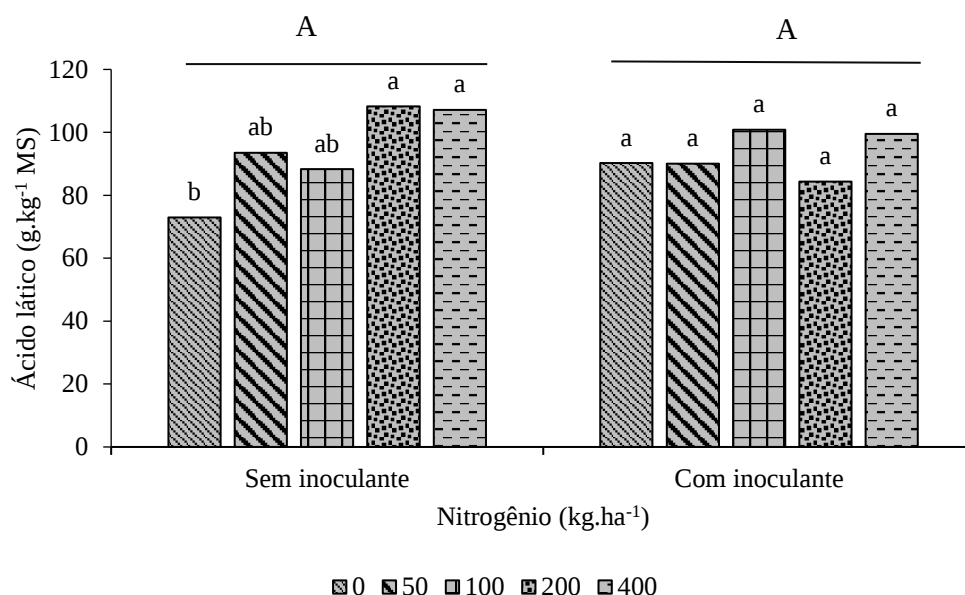
Figura 4. Médias nitrogênio amoniacal (N-NH₃) da silagem de sorgo forrageiro AGRI 002E com e sem *A. brasilense* e diferentes doses de adubação nitrogenada (kg.ha⁻¹).



Letras maiúsculas diferentes indicam diferença entre o fator sem e com inoculação e letras minúsculas diferentes indicam diferença na entre as doses de nitrogênio dentro dos fatores sem e com inoculação.

O nitrogênio amoniacal (N-NH₃) de silagem bem fermentadas devem ser inferiores a 10% (KUNG JR et al., 2018), indicando ocorrência de baixa degradação da proteína e que o processo de fermentação ocorreu de forma adequada. Assim no presente estudo, os valores de N-NH₃ se mantiveram abaixo de 0,99% N Total, com os tratamentos sem a inoculação apresentando menores teores. A interação da inoculação com *A. brasilense* e doses de nitrogênio mantiveram os teores de N-NH₃ dentro do recomendado.

Figura 5. Médias de ácido láctico da silagem de sorgo forrageiro AGRI 002E com e sem inoculação com *A. brasilense* e diferentes doses de adubação nitrogenada (kg.ha^{-1}).



Letras maiúsculas diferentes indicam diferença entre o fator sem e com inoculação e letras minúsculas diferentes indicam diferença na entre as doses de nitrogênio dentro dos fatores sem e com inoculação.

Os valores de LAC determinados no presente trabalho demonstram-se acima dos demais ácidos orgânicos, isso vai de encontro ao afirmado por Moisio e Heikonem (1994) que relataram que os teores de ácido láctico devem ser maiores do que os demais ácidos. Ao avaliar o perfil fermentativo de silagens de sorgo forrageiro, Pinedo et al. (2021) obtiveram 58,00 g/kg MS, sendo inferior ao encontrado neste estudo. Na literatura, está especificado que silagens bem conservadas apresentam valores de ácido láctico próximos de 80,00 a 100,00 g/kg MS (MICH et al., 2003), fato esse que ocorreu no estudo, chegando inclusive a ultrapassar essa referência.

A adubação nitrogenada promoveu as menores concentrações ($P < 0,05$) de ácido acético (ACE) nas silagens de sorgo que receberam as doses de 100 (24,30 g.kg MS) e 400 (29,15 g.kg MS) kg ha^{-1} de N. No entanto, na dose de 100 kg ha^{-1} de N os valores de ácido acético consideram-se dentro do estabelecido para uma silagem de qualidade, sendo abaixo dos 2,5% (NOGUEIRA, 1995). O aumento do ácido acético resulta na melhoria na estabilidade aeróbica, uma vez que o ácido acético tem fortes características antifúngicas (MUCK, 2013).

A adubação nitrogenada influenciou ($P < 0,05$) sobre a concentração de ácido butírico (BUT), em que as doses de 100 e 200 kg ha^{-1} de N promoveram menores valores de BUT, sendo 5,12 e 4,64 g.kg MS, respectivamente. A concentração de ácido butírico na silagem é reflexo da atividade de bactérias do gênero clostrídium que fazem a quebra da proteína em amônia, as

quais contribuem negativamente na qualidade do material ensilado, sendo o valor máximo recomendado de 2,0 g.kg MS (McDonald et al., 1991).

5. CONCLUSÃO

A utilização da inoculação com *Azospirillum brasilense* não favorece incrementos nas características agronômicas do sorgo forrageiro e reduz a produtividade em doses nitrogenadas de 200 e 400 kg ha⁻¹. No entanto, a associação não influencia as principais características fermentativas da silagem de sorgo. A inoculação com *A. brasilense* e a adubação nitrogenada elevam os teores de proteína e fibra da silagem sorgo. Não se recomenda o uso do inoculante com *A. brasilense* no tratamento de sementes de sorgo AGRI 002E. A dose de 100 kg ha⁻¹ de N pode ser indicada para o cultivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A. F.; ZOZ, T.; ZOZ, A.; OLIVEIRA, C. A. S.; WITT, T. W. *Azospirillum brasilense* inoculation methods in corn and sorghum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 49, e53027, 2019.

Apolonio, T. M. **Caracterização de estirpes de *Azospirillum brasilense* contendo proteína NifA deletada no domínio gaf.89 f**. Dissertação (Mestrado). Curso de Bioquímica, Bioquímica e Biologia Molecular. Universidade Federal do Paraná, 2018.

ASHBELL, G. 1995. Basic principles of preservation of forage, by-products and residues as silage or hay. Bet Dagan: **Agricultural Research Organization, The Volcani Center**. (n.1664-E). 58p.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Versão 1.1.0.711. Jaboticabal: UNESP, 2015.

BRASIL, E.C.; CRAVO, M. S.; VIEGAS, I. J. M. **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará**. 2. ed. – Brasília, DF: Embrapa.419 p, 2020.

BOLSEN, K. K.; LIN, C.; BRENT, C. R. Effects of silage additives on the microbial succession and fermentation process of alfafa and corn silages. **Journal of Dairy Science**, v. 75, p. 3066-3083, 1992.

BRUM, M. S; CUNHA, V. S; GRANDO, L. F. T.; MARTIN, T. N. Components of corn crop yield under inoculation with *Azospirillum brasilense* using integrated crop-livestock system. **Acta Scientiarum**. Agronomy, vol. 38, no. 4, pp. 485-492, 2016.

BASHAN, Y.; HOLGUIN, G.; BASHAN, L.E. *Azospirillum* plant relationships: physiological, molecular, agricultural and environmental advances (1997-2003). **Canadian Journal of Microbiology**, v. 50, p. 521-577, 2004.

CARMELLO Q. A. C. **Curso de nutrição/fertirrigação na irrigação localizada**. Piracicaba: Departamento de Solos e Nutrição de Plantas ESALQ, 59 p, 1999.

CARVALHO, G. D.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. T. de M.; SILVA, M. A. S. da; SANTOS, A. B. dos; COSTA, A. R. da; CORRÊA, R. S.; OLIVEIRA, J. de M.; LEAL, W. G. de O.; SOUZA, D. M. de; MATSUSHIGE, I.; SANTOS, R. C. G. **Impacto do manejo da adubação nitrogenada sobre a emissão de gás de efeito estufa óxido nitroso e a produtividade de arroz irrigado no Cerrado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2018. 23 p.

CHANEY, A. L.; MARBACH, E. P. Modified reagents for determination of urea and ammonia. **Clinical Chemistry**, v.8, n.2, p.130-137, 1962.

DETMANN, E.; SILVA, L. F. C.; ROCHA, G. C.; PALMA, M. N. N.; R. J P. P. **Métodos para análise de alimentos – 2. ed**. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema. 2 ed. 2021, 350 p.

DÖBEREINER, I. 1977. Potential for nitrogen fixation in Tropical Legumes and Grasses. In: Limitations and Potentials for Biological Nitrogen Fixation in the Tropics. (J. Döbereiner, R.H.

Burris, A. Hollaender, eds.) **Basic Life Sciences** 10, p. 13-24. Plenum Press, New York and London.

DOS ANJOS, G.V.S.; GONÇALVES, L.C. ; RODRIGUES, J.A.S. ; KELLER, K.M. ; COELHO, M.M. ; MICHEL, P.H.F. ; OTTONI, D. ; JAYME, D.G. . Effect of re-ensiling on the quality of sorghum silage. **Journal of Dairy Science**, v. 101, p. 6047-6054, 2018.

GALINDO, F. S.; BELONI, T.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; DUPAS, E; CARVALHO, F. C– Nitrogen management in mombasa guineagrass as a function of sources and rates of nitrogen. **Revista de Ciências Agrárias**, 41(4): 900-913, 2018.

JOBIM, C.C.; NUSSIO, L.G.; REIS, R.A.; SCHMIDT, P. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**. 36:101-119, 2007.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Handbuch der Klimatologie**. Berlin: Gebrüder Bornträger. 1930.

KUNG, J. R. L. et al. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 4020-4033, 2018.

LEMOS, R. C. de.; SANTOS, R. D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo** – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 3ª Ed., p. 83, Campinas-SP, 1996.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 5ª ed. Editora Agronômica Ceres. São Paulo, 292p. 1989.

McDOUGALL, E. I. The composition and output of sheep's saliva. **Biochemical Journal**, v.43, p.99-109, 1948.

MCDONALD, P.; HENDERSON, A.R.; HERON, S.J.E. **The biochemistry of silage**. 2nd ed. Chalcombe Publications, Bucks (UK). 1991. 340 p.

MENEZES, L. F. G.; RONSANI, R.; PAVINATO, P. S.; BIESEK, R. R.; SILVA, C. E. K.; MARTINELLO, C.; SILVEIRA, M. F. **Produção, valor nutricional e eficiências de recuperação e utilização do nitrogênio de silagens de milho sob diferentes doses de adubação nitrogenada**. In: Seminário Ciências Agrárias, 34(3), 1353-1362, 2013.

MERTENS, D. R. Gravimetric determination of amylase treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beaker or crucibles: collaborative study. **J. Assoc. Off. Anal. Chem. Intern.**, v.85, p.1217-1240, 2002.

METZ, B.; DAVIDSON, O.; CONINCK, H.; LOOS, M.; MEYER, L. (Ed.). **Carbon dioxide capture and storage: IPCC special report**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. 431 p.

MICH, T.R., PEREIRA, L.G.R., GONÇALVES, L.C.; TOMICH, R.G.P.; BORGES, I. 2003. **Características químicas para avaliação do processo fermentativo de silagens: uma proposta para qualificação da fermentação**. (Documentos 57/ EMBRAPA PANTANAL), 20p.

MORTATE, R. K.; NUNES, B. M.; COSTA, E. M.; ROCHA, E. M. F.; VENTURA, M. V. A.; PEREIRA, L. S. Resposta de sorgo inoculado com *Azospirillum brasilense* a doses de nitrogênio em cobertura. **Ciência Agrícola**, 18(1), 65-72, 2020.

MOISIO, T.; HEIKONEN, M. Lactic acid fermentation on silage preserved with formic acid. **Animal Feed Science and Technology**, v. 47, n. 1, p.107-124, 1994.

MOURA, M. M. A.,PIRES, D. A. DE A.,RODRIGUES, J.A.S.,SALES, E.C.J.,COSTA, R. F. TOLENTINO, D. C. Chemical composition of sorghum genotypes silages. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, 38(4),369-373, 2016.

MUCK, R. Recent advances in silage microbiology. **Agricultural and Food Science**, 22(1), 3-15. 2013.

NAKAO, A. H.; SOUZA, M. F. P.; DICKMANN, L.; CENTENO, D. C.; RODRIGUES, R. A. F. Resposta do sorgo granífero à aplicação de diferentes doses e épocas de inoculante (*Azospirillum brasiliense*) via foliar. **Enciclopédia Bioesfera**, 2014, 10, 18, 2702-2714.

NAKAO, A. H., ANDREOTTI, M., SOARES, D. A., MODESTO, V. C. DICKMANN, L. Intercropping *Urochloa brizantha* and sorghum inoculated with *Azospirillum brasilense* for silage. **Revista Ciência Agronômica**, 49, (3), 501-511, 2018.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrients requirements of dairy cattle**. 6th. ed., Washington, D.C., 1989.

NEVES, M.C.P.; RUMJANEK N.G. **Ecologia das bactérias diazotróficas nos solos tropicais**. p. 15-60. InI. S. Melo & J. L. Azevedo (Ed.). *Ecologia microbiana*.Embrapa-CNPMA, Jaguariúna. 486 p, 1998.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; NÖRNBERG, J.L.; ALVES FILHO, D.C.A.; MELLO, R.O.; SOUZA, A.N.M.; PELLEGRINI, L.G. Avaliação da qualidade e do valor nutritivo da silagem de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. 3(1):120-133, 2004.

NEUMANN, M.; HORST, E. H.; DOCHWAT, A.; LEÃO, G. F. M.; CARNEIRO, M. K.; MELLO, R. P. Características agronômicas do milho para silagem sob níveis de adubação nitrogenada e potássica em cobertura. **Scientia Agraria Paranaensis** ,v.6, n.1, p.69-77, 2017.

NOGUEIRA, F. A. S. **Qualidade das silagens de híbridos de sorgo de porte baixo com e sem taninos e de colmo seco e succulento, e seus padrões de fermentação, em condições de laboratório**. 78 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1995.

PANNUTI, L. R.; BALDIN, E. L. P.; GAVA, G. J. C.; KOLLN, O. T. Efeitos da fertirrigação sobre a ocorrência e danos de *Mahanarva fimbriolata* (Stål) (Hemiptera: Cercopidae) em cana-de-açúcar. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 82, n. 1, p. 1-8, 2015.

PAIVA, J. A. J. **Qualidade da silagem da região Metalúrgica de Minas Gerais**. 85 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo

Horizonte, 1976.

PASA, C. PASA, M. C. Zea mays L. e a produção de massa seca. **Biodiversidade** - V.14, N3, 2015 - pág. 36

PAZIANI, S. F.; FREITAS, R.S.; DUARTE, A.P.; TICELLI, M.; SAWAZAKI, E.; NUSSIO, L. G.; MARTINS, A. L. M.; GALLO, P. B. Sorgos “gigantes” para silagem. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.6, n.12, p. 99936-99946, 2020.

PINEDO, L. A.; ARÉVALO, B. R. dos S.; SANTOS, B. R. C. dos.; ASSIS, L. C. da S. L. C.; RIBEIRO, A. A.; AMORIM, D. S.; GONZÁLEZ CHACÓN, S. A. R.; OLIVEIRA, P. V. C. de.; FIRMINO, S. S.; GOMES, R. N. Dry matter losses and fermentative profile of sorghum silages cultivated in the Western Amazon. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 8, p. e20811830668, 2022.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: UNESP, 2008. v. 1. 407 p.

REZENDE, G.M.; PIRES, D. A. A.; BOTELHO, P. R. F.; ROCHA JÚNIOR, V. R.; SALES, E. C. J.; JAYME, D. G.; REIS, S. T.; PIMENTEL, L. R.; LIMA, L. O. B.; KANEMOTO, E. R.; MOREIRA, P. R. Características agronômicas de cinco genótipos de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], cultivados no inverno, para a produção de silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.10, n.2, p.171-179, 2011.

SALA, V. M. R.; CARDOSO, E. J. B. N.; FREITAS, J. G.; SILVEIRA, A. P. D. Resposta de genótipos de trigo à inoculação de bactérias diazotróficas em condições de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**; 42:833-42, 2007.

SCIVITTARO, W. B.; SANTOS, G. G.; FARIAS, D. G.; ANDRES, A.; CASTILHOS, R. M. V. Doses de nitrogênio e de atrazine em cultivo de sorgo em terras baixas. **Revista Brasileira de Agrociências**, Pelotas, v. 11, n. 3, p. 315-321, 2005.

SCHUMACHER, L. L.; VIEGAS, J.; TONIN, T. J.; PEREIRA, S. N.; SKONIESKI, F. R.; CARDOSO, G. S.; VAN CAENEGHEM DA HORA, A. L.; TEIXEIRA, J. V.; TEMP, L. B.; NEMOTO, B. S. Efeito da inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* sobre o fracionamento nitrogenado e glicídico em silagens de sorgo. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, e16710212321, 2021.

SILVA, T. E.; DETMANN, E.; CAMACHO, L. F.; SALIBA, E. O. S.; PALMA, M. N. N.; VALADARES FILHO, S. C. Comparação de métodos in vitro para a quantificação da digestibilidade da matéria seca e da fibra em detergente neutro de forragens e concentrados. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.69, n.6, p.1635-1644, 2017.

SOARES, D. A.; ANDREOTTI, M.; NAKAO, A. H.; MODESTO, V. C. DICKMANN, L. FREITAS, L. A. Inoculation with *Azospirillum* combined with nitrogen fertilization in sorghum intercropped with Urochloa in off-season¹. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 69, n.2, p. 227-235, 2022.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Planaltina: 555 EMBRAPA Cerrados, 2004.

SOUZA, M. A. DE.; DETMANN, E., BATISTA, E. D.; FRANCO, M. DE O.; VALADARES FILHO, S. DE C.; PINA, D. S.; ROCHA, G. C. Estudo colaborativo para avaliação dos teores de matéria mineral em alimentos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, 18(1), 62–75, 2017.

SPOLAOR, L.T; GONÇALVES, L. S. A.; DOS SANTOS, O. J. A. P; DE OLIVEIRA, A. L. M; SCAPIM, C. A.; BERTAGNA, F. A. B.; KUKI, M. C. Bactérias promotoras de crescimento associada a adubação nitrogenada de cobertura no desempenho agrônômico de milho pipoca. **Bragantia**, Campinas v.75, n. 1, p.33-40, 2016.

STELLA, L.A.; PERIPOLI, V.; PRATES, E.R.; BARCELLOS, J.O.J. Composição química das silagens de milho e sorgo com inclusão de planta inteira de soja. **Boletim de Indústria Animal**. v.73, n.1. p.73-79. 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Trad.: Eliane R. Santarém et al., 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Editora Artmed., 2012. 954 p.

TILLEY, J. M. A.; TERRY, R. A. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. **Journal of British Grassland Society**, v. 18, n. 2, p. 104-111, 1963.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. D.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, Chanpaign, v. 74, p. 3583- 3597, 1991.

VARGAS, J. A. C.; ARAÚJO, T. C.; MEZZOMO, R. Extraction, identification, and quantification of volatile fatty acids (VFA) in rumen fluid samples using Reverse Phase High-Performance Liquid Chromatography with Diode Array Detector (RP HPLC-DAD). PROTOCOL (Version 1) available at **Protocol Exchange**, 2020.

VAN SOEST, P.J. 1994. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2 nd ed. Ithaca: Cornell University Press.

VENTURA, S. R. da S.; CARVALHO, A. G. de; PEREIRA, F. T. Efeito da adubação na população de *Corythaica cyathicollis* em berinjela, em função do período de coleta. **Revista Biotemas**, Florianópolis, v. 21, n. 1, p. 47-51, 2008.

VENTURINI, T. **Caracterização da Silagem do Sorgo Forrageiro Agri 002e e utilização na alimentação de bovinos**. Orientador: Maximiliane Alavarse Zambom. 2019. 40p. Tese (Doutorado em zootecnia). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências, Marechal Cândido Rondon, 2019.