



**ADUBAÇÃO NITROGENADA ASSOCIADA A ZEÓLITA
EM PASTAGENS DE CAPIM MARANDU**

ADRIANE PEREIRA DA SILVA DOS SANTOS

2023



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**ADUBAÇÃO NITROGENADA ASSOCIADA A ZEÓLITA
EM PASTAGENS DE CAPIM MARANDU**

Autor: Adriane Pereira da Silva dos Santos
Orientadora: Prof^ª. D. Sc. Daniela Deitos Fries

ITAPETINGA
BAHIA – BRASIL
Março 2023

ADRIANE PEREIRA DA SILVA DOS SANTOS

**ADUBAÇÃO NITROGENADA ASSOCIADA A ZEÓLITA
EM PASTAGENS DE CAPIM MARANDU**

Tese apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de DOUTORA EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

Orientador: Prof^a. Dra. Daniela Deitos Fries

Co-orientadores: Prof. Dr. Daniel Lucas Santos Dias
Prof. Dr. Fábio Andrade Teixeira

ITAPETINGA
BAHIA – BRASIL
Março 2023

633.2 Santos, Adriane Pereira da Silva dos.
S233a Adubação nitrogenada associada à Zeólita em pastagens de capim Marandu. / Adriane Pereira da Silva dos Santos. – Itapetinga-BA: UESB, 2023.
81p.

Tese apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de DOUTORA EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Sob a orientação da Prof.^a D. Sc. Daniela Deitos Fries e coorientação de Prof. D. Sc. Daniel Lucas Santos Dias e Prof. D. Sc. Fábio Andrade Teixeira.

1. Capim Marandu - Adubação nitrogenada. 2. Adubação nitrogenada - Capim Marandu - Zeólita. 3. *Brachiara brizantha* cv. Marandu. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Programa de Pós-Graduação de Doutorado em Zootecnia, *Campus* de Itapetinga. II. Fries, Daniela Deitos. III. Dias, Daniel Lucas Santos. IV. Teixeira, Fábio Andrade. V. Título.

CDD(21): 633.2

Catálogo na Fonte:

Adalice Gustavo da Silva – CRB 535-5ª Região
Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para desdobramentos por Assunto:

1. Pastagens tropicais - Adubação nitrogenada - Zeólita

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA
Área de Concentração: Produção de Ruminantes

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: "Adubação nitrogenada associada a Zeólita em pastagens de capim Marandu".

Autor (a): Adriane Pereira da Silva dos Santos

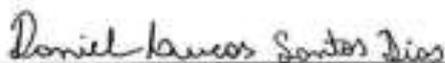
Orientador (a): Profª. Drª. Daniela Deitos Fries

Co-orientador (a): Prof. Dr. Daniel Lucas Santos Dias

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM ZOOTECNIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PRODUÇÃO DE RUMINANTES, pela Banca Examinadora:



Profª. Drª. Daniela Deitos Fries - UESB
Orientadora



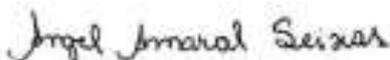
Prof. Dr. Daniel Lucas Santos Dias - UEFS



Prof. Dr. Paulo Bonomo - UESB



Prof. Dr. Fabiano Ferreira da Silva - UESB



Dr. Angel Amaral Seixas

Data de realização: 07 de março de 2023

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar”.

Josué 1:9

"Então se lembre: olhe para as estrelas, e não para os seus pés."

Stephen Hawking

“Tente uma, duas, três vezes e, se possível, tente a quarta, a quinta e quantas vezes for necessário. Só não desista nas primeiras tentativas, a persistência é amiga da conquista. Se você quer chegar aonde a maioria não chega, faça o que a maioria não faz.”

Bill Gates

A Deus, por ser minha luz, minha salvação;

À Nossa Senhora de Aparecida, minha mãe;

À minha família: Aldemi, Valdira, Cristovão e Cleidiane;

Ao meu esposo Fernando;

Aos mestres.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser meu tudo, minha luz, minha salvação, pelo dom da vida, saúde e proteção. Obrigada, Senhor, por estar sempre comigo e me dar forças todos os dias para seguir em frente, e não me deixar fraquejar jamais.

Aos meus pais, Ademir e Valdira, pelo amor incondicional, paciência, carinho, apoio;

Aos meus irmãos, Cristovão e Cleidiane, pela paciência e companheirismo;

Ao meu noivo Fernando, pelo apoio e carinho;

À minha avó Osvaldina, que além de vó, é minha mainha, que sempre acreditou em mim, e me deu todo o carinho e amor;

Ao meu Avó Cantides (in memorian), por tudo, por ter sido o meu melhor amigo;

À minha orientadora, Prof. D.Sc Daniela Deitos Fries, pela orientação, carinho, paciência, confiança e apoio durante toda minha vida acadêmica;

Ao meu co-orientador, Dr. Daniel, pelos ensinamentos e incentivo;

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, pela disponibilidade de infraestrutura para a execução deste trabalho;

À Fundação de Amparo à Pesquisa da Bahia (Fapesb), pelo apoio financeiro;

Ao Programa de Pós Graduação em Zootecnia (PPZ) da UESB, por ter possibilitado o desenvolvimento deste trabalho;

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, pelos conhecimentos;

Aos doutores e amigos, Angel e Natan, pelo apoio e ajuda para o desenvolvimento do experimento;

A todos do Laboratório de Anatomia e Fisiologia Ecológica de Plantas (LAFIEP), Natan, Angel, Barbara, Marcelo, Vanessa, Melque, Gabriel, Mariana e Romulo, pela ajuda na realização do experimento e análises;

Às minhas amigas Cleidiane, Lys e Jéssica, pela ajuda;

E a todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão de mais essa etapa.

A todos, só Deus para agradecê-los.

BIOGRAFIA

Adriane Pereira da Silva dos Santos, filha de Valdira Pereira do Carmo Santos e Aldemi Souza Santos, nasceu na cidade de Itapetinga, Bahia, no dia 05 de janeiro de 1994. Em fevereiro de 2011, iniciou o curso de Zootecnia, na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, finalizando-o em outubro de 2015.

Em março de 2016, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, em nível de Mestrado, área de concentração em Produção de Ruminantes, na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, obtendo o título em março de 2018.

Ingressou em março de 2018, no Programa de Doutorado em Zootecnia, área de Concentração em Produção de Ruminantes, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB. Em março de 2023, submeteu-se à banca de defesa da presente tese.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	XI
RESUMO	XII
ABSTRACT	XIII
I – REFERENCIAL TEÓRICO	01
1.1.Introdução	01
1.2. <i>Urochloa brizantha</i> syn. <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu.....	02
1.3.Nitrogênio.....	03
1.4.Zeólita	05
1.5.Zeólita em mistura com fertilizantes.....	08
1.6.Uso de zeólita em pastagens.....	10
1.7.Referências bibliográficas.....	13
II – OBJETIVOS	19
2.1.Objetivos gerais	19
2.2.Objetivos específicos.....	19
III – MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1. Instalação do experimento.....	20
3.2. Avaliações.....	21
3.2.1. Produção.....	21
3.2.2. Área foliar.....	22
3.2.3. Características morfogênicas e estruturais.....	22
3.2.4. Pigmentos fotossintéticos.....	22
3.2.5. Fracionamento de proteína.....	23
3.2.6. Análises Bromatológicas.....	24
3.2.7. Carboidratos solúveis, Amido e Prolina.....	25
3.3. Análise estatística.....	26

IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1. Produção de massa seca de folha, colmo, total e raiz.....	27
4.2. Área foliar e índice de área foliar.....	32
4.3. Características morfológicas e estruturais.....	34
4.4. Pigmentos fotossintéticos.....	36
4.5. Fracionamento de proteína.....	41
4.5. Características bromatológicas.....	50
4.6. Carboidratos solúveis, amido e prolina.....	55
V – CONCLUSÕES	58
VI – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

LISTA DE FIGURAS

		Página
FIGURA 1.	Ciclo biogeoquímico do Nitrogênio	04
FIGURA 2.	Unidade primaria de construção (A) e unidade secundaria de construção (B).....	06
FIGURA 3.	Fusão das unidades secundarias de construção para a formação de um poliedro de construção (A). Estrutura de zeólita tipo A (B).....	07
FIGURA 4.	Produção de massa seca de folha (A), colmo (B) e total (C), e razão folha:colmo (D) de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão da zeólita (1° Ciclo).....	27
FIGURA 5.	Produção de massa seca de folha (A), colmo (B) e total (C), razão folha:colmo (D) e massa seca da raiz (E) de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão da zeólita (2° Ciclo).....	30
FIGURA 6.	Area foliar (A) e índice de área foliar (IAF) (B) de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita (1° Ciclo).....	33
FIGURA 7.	Area foliar (A) e índice de área foliar (IAF) (B) de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita (2° Ciclo).....	34
FIGURA 8.	Taxa de aparecimento de perfilhos (TAP) (A), taxa de alongamento foliar (TAF) (B) e taxa de alongamento do pseudocolmo (TALPC)	35

	(C) de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita (1° Ciclo).....	
FIGURA 9.	Taxa de aparecimento de perfilhos (TAP) (A), taxa de alongamento foliar (TAF) (B) e taxa de alongamento do colmo (TALC) (C) de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita (2° Ciclo).....	36
FIGURA 10.	Teor de clorofila <i>a</i> (A), clorofila <i>b</i> (B) carotenoides (C), clorofilas totais (D) e razão clorofila <i>a/b</i> (E) de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita (1° Ciclo).....	37
FIGURA 11.	Teor de clorofila <i>a</i> (A), clorofila <i>b</i> (B) carotenoides (C), clorofilas totais (D) e razão clorofila <i>a/b</i> (E) de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita (2° Ciclo).....	40
FIGURA 12.	Teores de albuminas (A), globulinas (B), prolaminas (C) e glutelinas (D) em folhas de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita (1° Ciclo).....	42
FIGURA 13.	Teores de albuminas (A), globulinas (B), prolaminas (C) e glutelinas (D) em folhas de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita (2° Ciclo).....	45
FIGURA 14.	Teores de albuminas (A), globulinas (B), prolaminas (C) e glutelinas (D) em colmo de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita (1° Ciclo).....	46
FIGURA 15.	Teores de albuminas (A), globulinas (B), prolaminas (C) e glutelinas (D) em colmo de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu cultivada sob	48

	diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita (2° Ciclo).....	
FIGURA 16.	Teores de albuminas (A), globulinas (B), prolaminas (C) e glutelinas (D) em raiz de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita (2° Ciclo)	49
FIGURA 17.	Teores de proteína bruta (PB) em folhas (A) e em colmo (B) de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita.....	51
FIGURA 18.	Fração A (A), fração B1 + B2 (B), fração B3 (C) e fração C (D) em folhas de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita.....	52
FIGURA 19.	Fração A (A), fração B1 + B2 (B), fração B3 (C) e fração C (D) em colmo de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita.....	53
FIGURA 20.	Fibra insolúvel em detergente neutro (A) e fibra insolúvel em detergente ácido (B) em folha de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita.....	54
FIGURA 21.	Fibra insolúvel em detergente neutro (A) e fibra insolúvel em detergente ácido (B) em colmo de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita.....	55
FIGURA 22.	Teores de açúcares solúveis totais em folhas (A), açúcares solúveis totais em colmo (B), amido em colmo (C) e prolina em folhas (D) de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita.....	56

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1. Análise química do solo.....	20

RESUMO

Santos, Adriane Pereira da Silva dos. **Adubação nitrogenada associada a Zeólita em pastagens de capim Marandu**. Itapetinga, BA: UESB, 2023. 81 p. Tese. (Doutorado em Zootecnia, Área de Concentração em Produção de Ruminantes).*

A agropecuária atual utiliza grande quantidade de fertilizantes nitrogenados, principalmente a ureia, porém, com o aumento dos custos, devido à “crise de energia” e às preocupações sobre os impactos ambientais oriundos das perdas de N, despertam o interesse de melhorar o manejo e a utilização do nitrogênio. Diante disso, o objetivo desse estudo foi avaliar o efeito da adubação nitrogenada e níveis de inclusão de zeólita sobre as características produtivas, estruturais, fisiológicas, bioquímicas e bromatológicas da *Brachiara brizantha* cv. Marandu. O experimento foi conduzido na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), em Itapetinga, BA, no período de janeiro a abril de 2018. O ensaio foi realizado em esquema fatorial 2 x 5, sendo duas doses de nitrogênio (100 e 150 kg de N.ha⁻¹) e cinco níveis de inclusão de zeólita (0, 25, 50, 75 e 100% de zeólita com base no peso da ureia), ordenados em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições, totalizando 40 vasos plásticos com capacidade de 12 litros, os quais foram preenchidos com 9 dm³ de solo. Os fatores níveis de zeólita e adução nitrogenada apresentaram interação significativa para a maioria das variáveis estudadas. A produção de massa seca de folha, massa seca de colmo, massa seca total e massa seca de raiz, apresentaram comportamento quadrático com ponto de máxima, para ambas as doses da adubação nitrogenada, em dois ciclos produtivos. O comportamento foi semelhante para área foliar e o índice de área foliar. A taxa de aparecimento de perfilho e a taxa de alongamento do colmo não foram influenciadas pela adubação nitrogenada e níveis de inclusão de zeólita, nos dois ciclos produtivos, porém a taxa de alongamento foliar apresentou efeito quadrático com ponto de máxima para as doses de 100 e 150 kg no primeiro ciclo. Os pigmentos fotossintéticos foram influenciados pela inclusão da zeólita, nos dois ciclos produtivos, apresentando comportamento quadrático com ponto de máxima. Os teores de albumina, globulinas, prolaminas e gluteínas em folhas e como, também foram influenciadas pela inclusão de zeólita, ambas apresentando efeito quadrático com ponto de máxima. A zeólita modificou o perfil das proteínas de rápida, intermediária e lenta degradação, e da proteína indisponível. O uso da zeólita até a inclusão de 50%, em maiores doses N, possibilitou o melhor aproveitamento da adubação nitrogenada, propiciando maior produtividade e qualidade nutricional da pastagem, com maiores teores de proteína e melhor perfil proteico. Inclusões de zeólita acima de 50% no fertilizante nitrogenada pode prejudicar a disponibilidade do nitrogênio para as plantas.

Palavras-chave: Aluminossilicatos, nitrogênio, pastagens tropicais

* Orientadora: Daniela Deitos Fries, D.Sc. UESB e Co-orientador: Daniel Lucas Santos Dias, D.Sc. UEFS, Fábio Andrade Teixeira, D.Sc. UESB.

GENERAL ABSTRACT

Santos, Adriane Pereira da Silva dos. **Nitrogen fertilization associated with Zeolite in Marandu grass pastures.** Itapetinga, BA: UESB, 2023. 81 p. Thesis. (PhD in Zootechnics, Ruminant Production Concentration Area).*

Current agriculture uses a large amount of nitrogen fertilizers, mainly urea, but with increased costs, due to the “energy crisis” and concerns about the environmental impacts arising from N losses, arousing interest in improving management and use of nitrogen. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of nitrogen fertilization and zeolite inclusion levels on the productive, structural, physiological, biochemical and bromatological characteristics of *Brachiara brizantha* cv. Marandu. The experiment was conducted at the State University of Southwest Bahia (UESB), in Itapetinga, BA, from January to April 2018. The test was carried out in a 2 x 5 factorial scheme, with two nitrogen doses (100 and 150 kg of N.ha⁻¹) and five levels of zeolite inclusion (0, 25, 50, 75 and 100% zeolite based on the weight of urea), ordered in a completely randomized design (DIC), with four replications, totaling 40 plastic pots with a capacity of 12 liters, which were filled with 9 dm⁻³ of soil. The factors zeolite levels and nitrogen addition showed a significant interaction for most of the variables studied. The production of leaf dry mass, stem dry mass, total dry mass and root dry mass showed quadratic behavior with a maximum point, for both doses of nitrogen fertilization, in two production cycles. The behavior was similar for leaf area and leaf area index. The tiller appearance rate and stem elongation rate were not influenced by nitrogen fertilization and zeolite inclusion levels, in the two production cycles, however the leaf elongation rate showed a quadratic effect with a maximum point for doses of 100 and 150 kg in the first cycle. The photosynthetic pigments were influenced by the inclusion of zeolite, in both production cycles, showing quadratic behavior with a maximum point. The levels of albumin, globulins, prolamins and gluteins in leaves were also influenced by the inclusion of zeolite, both showing a quadratic effect with a maximum point. The zeolite modified the profile of proteins with rapid, intermediate and slow degradation, and the unavailable protein. The use of zeolite up to 50% inclusion, in higher N doses, made it possible to make better use of nitrogen fertilization, providing greater productivity and nutritional quality of the pasture, with higher protein levels and a better protein profile. Zeolite inclusions above 50% in nitrogen fertilizer can harm nitrogen availability to plants.

Keywords: Aluminosilicates, nitrogen, tropical grasslands

* Advisor:: Daniela Deitos Fries, D.Sc. UESB e Co-advisor: Daniel Lucas Santos Dias, D.Sc. UEFS, Fábio Andrade Teixeira, D.Sc. UESB.

I - REFERENCIAL TEÓRICO

1.1.Introdução

O Brasil é reconhecido mundialmente pelo seu potencial agropecuário, apresentando posições de destaque tanto em rebanho comercial de bovino, produção e exportação de carne, além de ter o pasto como base da alimentação do gado (ABIEC, 2020; Dohlman, Hansen e Boussios, 2017; USDA, 2021). Segundo Pezzopane *et al.* (2019), o Brasil é considerado o país que possui maior potencial de atender à crescente demanda de alimento no mundo, devido à diversos fatores, tais como, disponibilidade de terra, tecnologias para a produção em clima tropical e condições climáticas propicia a produção de grãos e pastagens.

Como citado anteriormente, a produção de bovino no Brasil ocorre principalmente em pastagens, diferente do que ocorre dos demais países produtores de carne. Diante disso, a área de pastagens no Brasil corresponde a cerca de 160 milhões de hectares (IBGE, 2020), porém estima-se que 60% destas pastagens apresenta algum nível de degradação (MapBiomass, 2021). Segundo Dias-Filho (2014), as principais causa da degradação das pastagens é manejo inadequada, que está relacionada ao estabelecimento incorreto das pastagens, uso de taxa de lotação superior à capacidade do pasto, ausência de adubação periódica, problemas ocasionados por ação biótica, como, ataque de insetos-pragas, e entre outros fatores.

Além da degradação da terra em todo mundo, a produção pecuária tradicional é um dos principais responsáveis pelos impactos negativos no meio ambiente (desmatamento, redução da biodiversidade, dependência de fertilizantes químicos), logo, tornando esses sistemas insustentáveis ao longo do tempo, contribuindo para o aquecimento global (Mauricio *et al.*, 2019). Diante disso, é crescente preocupação mundial sobre as mudanças climáticas, estima-se que na próxima década o nível de aquecimento global aumentará 1,5 °C, além de ocorrência de aumento de ondas de calor, estação mais quente e frias mais curtas, incêndios florestais, aumento da escassez de água e instabilidade no abastecimento de alimento (insegurança alimentar e fome) e entre

outros, ao menos que haja reduções imediatas e em larga escala da emissão dos gases de efeito estufa (GEE) (IPCC, 2021).

Conforme o *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, existem meios que podem ajudar a adaptar ou mitigar as mudanças climáticas, tais como, mudanças nas práticas de manejo do solo, recuperação de pastagens (IPCC, 2021), uso de adubos de eficiência aprimorada e estabilizados (Bernardi et al., 2016) e outros. À luz disso, pesquisadores e indústrias vêm desenvolvendo estudos que promovam um equilíbrio perfeito entre a liberação de nutrientes, absorção pelas plantas e impactos ambientais (Bindraban et al., 2015; Angle et al., 2017; Dimkpa et al., 2017).

Devido ao N ter um papel fundamental na agricultura, a maior parte das melhorias dos fertilizantes refere-se a esse nutriente, principalmente a ureia (adubo nitrogenado mais utilizado no mundo), porém, a sua conversão em amônia (NH_3) e CO_2 em solos úmidos é bastante rápido (minutos), acarretando elevadas perdas. Diversos são os motivos ambientais, agrícolas e de saúde humana para melhorar a eficiência do uso da adubação nitrogenada, estas melhorias estão relacionadas em modificações usando materiais biológicos, químicos, e mais recentemente, nanotecnologias ou modo de funcionalizar o N através de revestimento, incorporação ou encapsulamento com agentes de liberação lenta, ou controlada (Dimkpa et al., 2020).

O uso da zeólita associada com fertilizantes nitrogenados podem minimizar as perdas de N da ureia, controlando a retenção e liberação de NH_4^+ , convertendo em um fertilizante de eficiência melhorada. Esse mineral pode atuar na conservação da amônia através da redução de N na solução do solo, graças a capacidade de troca catiônica, retendo grande quantidade de íons de amônia, podendo interferir na nitrificação (Bartz e Jones, 1983; Ferguson e Pepper, 1987).

Contudo, são raros os estudos que investiguem a associação entre a adubação nitrogenada e a zeólita, sob a produtividade e qualidade das pastagens tropicais. Nesse sentido, este trabalho avaliou o efeito da adubação nitrogenada e níveis de inclusão de zeólita sob sobre as características fisiológicas, bioquímicas, estruturais, produtivas e bromatológicas da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu.

1.2. *Urochloa brizantha* syn. *Brachiaria brizantha* cv. Marandu

As gramíneas tropicas forrageiras são um dos recursos fundamentais e econômicos para a produção de bovino a pasto, sendo que o melhoramento do manejo

das pastagens pode aumentar a eficiência do sistema produtivo e do aproveitamento do recurso naturais (Landau et al., 2018; Lopes et al., 2013). A maior parte das pastagens cultivadas no Brasil é constituída pelo gênero *Brachiaria*, contribuindo na produção de carne e de leite no país (Jayme et al., 2022).

O gênero *Brachiaria* possui gramíneas de origem africana, sendo a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, originária de regiões vulcânicas, onde os solos apresentam altos níveis de fertilidade. Esse cultivar foi introduzida no Brasil na década de 60, oriunda da Zimbabwe Grassland Research Station, no Zimbábue, África (Karia, Duarte e Araújo, 2006; Nunes et al., 1984), e ao decorrer dos anos e ao uso, essa cultivar tornou-se um dos capins mais plantados no Brasil.

O Capim-marandu é uma planta cespitosa, robusta e perene, podendo atingir de 1,5 a 2,5 m de altura, apresenta rizomas curtos e encurvados, folhas linear lanceolada, com pouca pilosidade, bainha pilosa, inflorescência do tipo racemo com até 40 cm de comprimento e 4 a 6 ramos (Jayme et al., 2022)

As principais vantagens desse cultivar são, a alta produção de forragem, boa qualidade nutricional, com a produção média 9 toneladas.ha⁻¹.ano de matéria seca, além de poder atingir 11% de PB e 64% de FDN nas águas, boa cobertura de solo, a resistência as principais espécies de cigarrinha, alta potencial de resposta a aplicação de adubação, tolerância ao sombreamento, produção de semente satisfatória. Contudo, apesar das diversas vantagens, esse cultivar necessita de solos de boa fertilidade e boa disponibilidade hídrica (acima 800 mm/ano), além de não tolerar alagamento (drenagem) (Jayme et al., 2022; Valle, 1990).

1.3. Nitrogênio

O nitrogênio é componentes essencial de ácidos nucleicos, proteínas e outros compostos orgânicos, desempenhando um papel importantíssimo na estrutura e metabolismo vegetal. Estima-se, que 78% dos gases que compõem a atmosfera é constituído de nitrogênio (N₂), porém, o nitrogênio na forma molecular (ligação tripla entre os átomos - N≡N) não pode ser aproveitado pela maioria dos seres vivos, sendo necessário uma grande quantidade de energia para quebra-la, para posterior combinação com outros átomos (Lopes & Lima, 2015; Vieira, 2017).

Segundo Vieira (2017), cerca de 95% do nitrogênio presente no solo encontram-se na forma orgânica, além deste, existe a forma inorgânica (NH₄⁺, NO₂⁻ e NO₃⁻), que

mesmo em pouca quantidade no solo são de grande importância em diversos processos relacionados ao ciclo do nitrogênio e na nutrição das plantas. Geralmente, as plantas absorvem o nitrogênio no solo na forma de íons de nitrato (NO_3^-) ou amônio (NH_4^+) (Lopes & Lima, 2015; Taiz et al., 2017).

Como o nitrogênio é considerado um dos macronutrientes essenciais, este deve estar disponível no solo para o crescimento das plantas. Em um ecossistema natural o nitrogênio transforma-se constantemente, através de uma complexa rede de reações biológicas, físicas e químicas, denominada *Ciclo do nitrogênio*, possibilitando a disponibilidade necessária para manter o equilíbrio no ecossistema, como demonstrado na Figura 1.

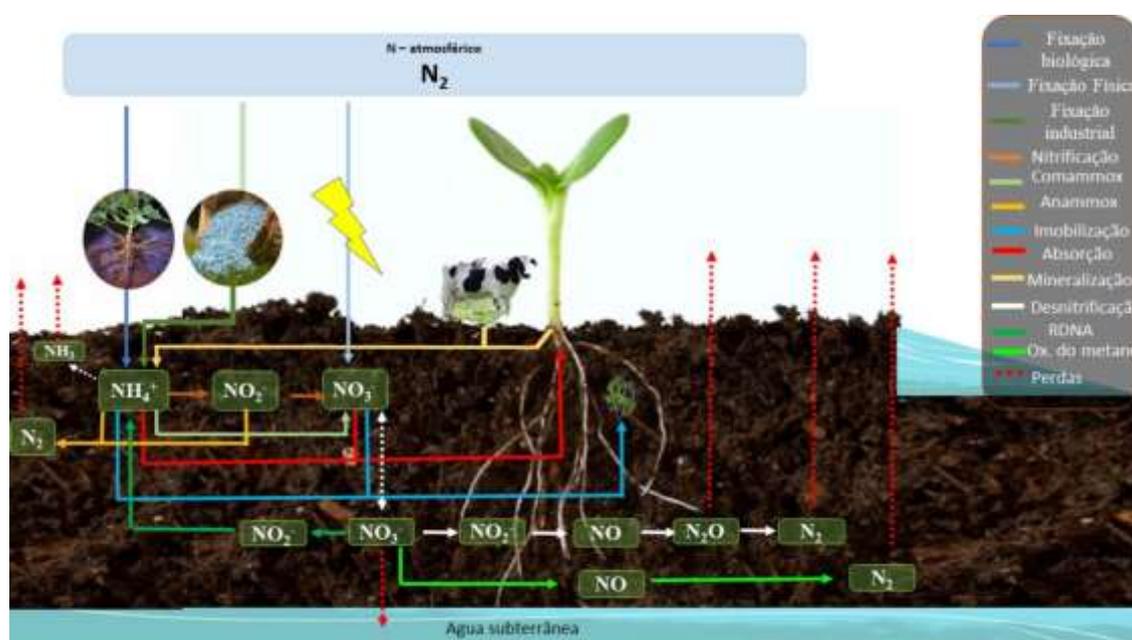


Figura 1. Ciclo biogeoquímico do Nitrogênio

Diversos processos interferem na dinâmica do N no solo (volatilização, lixiviação, mobilização, imobilização, nitrificação, desnitrificação e mineralização) podendo ocasionar modificações na necessidade e disponibilidade dos nutrientes para as plantas.

Com o crescimento da população mundial e o aumento na demanda de alimento, o consumo global de N (Huang *et al.*, 2017), oriundo do uso intensificado dos fertilizantes nitrogenados, vem aumentando a emissão global de amônia, ocasionando impactos na saúde, ambiente e mudanças climáticas. Segundo Good e Beatty (2011), a amônia não

possui efeito direto no aquecimento global, porém quando oxidada na atmosfera para óxido nítrico (N₂O), passa a ser um gás do efeito estufa.

A ureia é um dos fertilizantes nitrogenados mais utilizados nas pastagens, este quando aplicada ao solo é hidrolisada através da enzima urease, formando carbonato de amônio, após é decomposto gerando amônio, hidroxila e bicarbonato. A rápida hidrólise da ureia consome os íons de nitrogênio, ocasionando o aumento do pH nas regiões próximas as zonas de aplicação, sendo que quanto maior pH na regiões de aplicação, maior será a volatilização da amônia (Vieira, 2017).

As perdas por volatilização podem atingir a 78% do nitrogênio aplicado, podendo variar de acordo com o pH do solo, temperatura, umidade do ar, pluviosidade, tipo de solo, cultura a ser utilizada e prática de manejo do solo utilizada (Tasca *et al.*, 2011). Contudo, as perdas por volatilização podem ser minimizadas, através da adoção de técnicas, como: aplicação de ureia de maneira parcelada e/ou aplicação da ureia com ocorrência de chuvas, aplicação de fertilizante abaixo da superfície do solo (5-10cm), ou através do uso de fertilizantes de eficiência aprimorada (Vieira, 2017).

1.4. Zeólita

Em 1756, o mineralogista sueco Baron Axel Frederick Consted reconheceu as zeólitas pela primeira vez. Devido à capacidade peculiar desse grupo de minerais em liberar bolhas ao serem imersas, foram denominadas como o nome de “Zeólita” oriunda do grego “zeo” (ferver) e “líthios” (pedra), ou seja, “pedra que ferve” (Coombs *et al.*, 1998). Mais tarde, em 1845, Way observou que um determinado solo tinha propriedade de reter sais de amônia, e Breck constatou que as trocas iônicas eram possíveis devido aos silicatos hidratados de alumínio no solo. Em 1925, Weigel e Steinhof foram os pioneiros em descobrirem que a zeólita do tipo chabazita absorvia seletivamente as moléculas menores e rejeitava as maiores. Contudo, em 1932, McBain chamou esse fenômeno de seleção de moléculas, de peneiramento molecular ou “peneira molecular”. A partir da década de 40 e 50 foi possível ter maior conhecimento sobre as propriedades das zeólitas, graças aos avanços das pesquisas e tecnologias (Clifton 1987).

Estima-se que a produção mundial de zeólitas naturais seja em torno de 1,1 e 1,2 milhões de toneladas em 2018 e 2019, respectivamente (U.S. Geological Survey, 2020). A China é a maior produtora de zeólitas naturais chegando a 320 mil toneladas, o restante é obtido pela Coreia do Sul, Indonésia, Eslováquia, Nova Zelândia e entre outros.

Segundo Bernardi et al., (2016), existem no Brasil, três regiões com zeólita sedimentar que variam amplamente de ocorrência e concentração de estibilita (zeólita): 1. Formação de corda – Bacia do Parnaíba, no sul do estado do Maranhão e no norte do Tocantins, 2. Formação Adamantina do Paraná - Bacia hidrográfica do estado de São Paulo e 3. Formação Botucatu – Bacia do rio Parana no estado do Mato Grosso do Sul, sendo que os maiores reservatórios se encontram no vale do rio Parnaíba, aonde a zeólita predominante é do tipo estibilita, chegando a 50% do sedimento (Rezende e Angelica 1997). Entretanto, nenhum dos reservatórios encontrados produz zeólita para a comercialização.

Principais características e propriedades

As zeólitas são aluminossilicatos hidratados cristalinos de metais alcalinos ou alcalino-terrosos, organizados em rede cristalina rígida tridimensional, formado pelo tetraédrico TO_4 unidos nos vértices pelos átomos de oxigênio (O), como fica demonstrado na Figura 2A. O “T” refere-se a, diferentes tipos de átomos como, silício, alumínio, ferro, boro fosforo ou cobalto, porém, com predominância de silício (SiO_4)⁻⁴ e alumínio (AlO_4)⁻⁵ (Luz, 1995). Formando um sistema de canais, cavidades e poros nanoescala (Ming e Allen, 2001). A configuração tetraédrica da zeólita é denominada de “unidade primaria de construção” (Figura 2A).



Figura 2. Unidade primaria de construção (A) e unidade secundaria de construção (B). Adaptado de Luz (1995).

Sendo que a união de tetraedros gera unidades estruturais denominadas de “unidades secundarias de construção” (Secondary Building Unit -SBU), estas possuem até 16 T – átomos, formando anéis simples ou duplos de quatro, seis ou oito tetraedros (Figura 2B). União dessas unidades gera unidades poliédricas de construção (Figura 3A),

sendo que união destas, formam a estrutura da zeólita (Figura 3B) (Luz, 1995; Giannetto 1990).



Figura 3. Fusão das unidades secundárias de construção para a formação de um poliedro de construção (A). Estrutura de zeólita tipo A (B).

O silício apresenta a valência 4^+ superior a do alumínio 3^+ , diante disso a incorporação do Al dentro da estrutura da zeólita acarretará uma carga negativa para cada átomo de alumínio, necessitando de cátions de compensação, intersticiais ou trocáveis normalmente (Na^+ , Ca^{2+} , K^+) visando manter a neutralidade da mesma (Aguiar et al., 2002; Paprocki, 2009). Os cátions de compensação são livres para se moverem nos canais (íons permutáveis), atribuindo a zeólita um excelente trocador iônico. A composição da zeólita pode ser descrita da seguinte forma:



Onde o M é o cátion de valência, n é o número de molécula de água, x + y refere-se ao número de tetraedros por células unitárias e a porção entre colchetes indica a composição da armação estrutural (Giannetto 1989).

Esses minerais conseguem, reter e liberar água, além de realizar trocas catiônicas sem ocasionar nenhuma alteração na estrutura cristalina. Existem mais de 50 tipos de zeólita naturais e 150 tipos de zeólita sintéticas (Jha e Singh, 2016; Nakhli et al., 2017). Elas têm uma ampla gama de uso, incluindo correção de solo, nutrição e saúde animal, troca iônica, peneira molecular e entre outros.

A estrutura da zeólita possui algumas propriedades físico-química (Luz, 1995; Clifton, 1987), como:

- Baixa densidade e elevado volume de espaços vazios quando desidratadas;

- Alto de grau de hidratação, sendo que quando desidratadas apresentam estabilidade da estrutura cristalina;
- Troca catiônica;
- Uniformidade dos canais nos cristais desidratados;
- Condutividade elétrica;
- Adsorção de gases, vapores e odores;
- Propriedade catalítica.

A zeólita possui uma grande superfície interna (estrutura cristalina com cavidades espaçosas) no qual a possibilita uma alta eficiência de adsorção. Segundo Luz (1995) a clinoptilolita possui uma superfície interna de 300 m²/g e já mordenita é de 400 m²/g. As zeólitas naturais e sintéticas tem capacidade de capturar cátions, ânions e espécies moleculares, devido ao desequilíbrio de carga causado pelo alumínio (já citado anteriormente), podendo trocar ou absorver cátions diferentes de maneira de manter a neutralidade, como céσιο (Cs) e estrôncio (Sr), assim como metais pesados como Chumbo (Pb), cádmio (Cd), manganês (Mn), níquel (Ni), zinco (Zn), ferro (Fe), cromo (Cr) e cobre (Cu) e compostos orgânicos como o benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (Nakhli *et al.*, 2017).

Devido ao arranjo de Al e Si na estrutura tridimensional tetraédrica, os canais e gaiolas, que são criados nesta estrutura, são diferentes para cada zeólita, e conseqüentemente, têm seletividades únicas para vários cátions. Por exemplo, clinoptilolite tem uma seqüência de seletividade (Ames, 1960; Ming e Allen, 2001).



1.5. Zeólita em mistura com fertilizantes

Aproximadamente 40 a 70% do nitrogênio aplicado através da fertilização é perdida (Baligar e Bennett, 1986), além de sua aplicação não está sincronizada com a necessidade da cultura (Timilsena *et al.*, 2015). Esta baixa eficiência do uso do nitrogênio (EUN) está relacionada principalmente pelas perdas por escoamento, volatilização, lixiviação, nitrificação, desnitrificação (Chien, Prochnow e Cantarella, 2009; Timilsena *et al.*, 2015) contribuindo para o aumento das emissões de gases do efeito estufa (como o

óxido nitroso) e impactos ambientais, sobretudo a contaminação das águas superficiais e subterrâneas (Bernardi et al., 2016).

Em geral, pode ser adotada algumas mudanças no manejo de modo a aumentar a EUN, como: minimização dos fatores (químico, físico e biológicos) limitantes para o crescimento das plantas; adubação balanceada e sincronização entre a aplicação e demanda da planta; abastecimento de água adequada; otimização da taxa e tempo de aplicação da adubação; uso de adubação verde, rotação de culturas; uso de fertilizantes de liberação lenta ou controlada, e inibidores de nitrificação (Ussiri e Lal, 2013). Para que ocorra o manejo eficiente do N, são necessárias práticas de manejo do solo e da pastagem adequada, além do uso de adubos de eficiência aprimorada e estabilizados. (Bernardi et al., 2016)

As zeólitas são aluminossilicatos hidratados e estruturados em uma rede rígida tridimensional cristalina, que possui características que possibilita a retenção e liberação de água sem a modificação na sua estrutura, alta capacidade de troca de cátions e de adsorção, fazendo com que esta seja de grande interesse para fins agrícolas. O uso da zeólita como aditivos nos fertilizantes podem minimizar as perdas de N da ureia, controlando a retenção e liberação de NH_4^+ , convertendo em um fertilizante de eficiência melhorada. A zeólita pode atuar na conservação da amônia através da redução de N na solução do solo, graças a capacidade de troca catiônica, retendo grande quantidade de íons de amônia, podendo interferir na nitrificação (Bartz e Jones, 1983; Ferguson e Pepper, 1987).

A ureia possui elevada solubilidade na solução do solo, sendo que a presença da enzima urease no meio acarreta a rápida decomposição e perdas de amônia (NH_4^+) (Haruna Ahmed, Husin e Husni Mohd Hanif, 2008). No entanto, apesar do uso de fertilizantes de liberação lenta ou controlada de N e aplicação de divisão de ureia na estação de crescimento da planta possam superar os impactos ocasionados pela adubação convencional, eles possuem limitações, como aumento dos custos com mão de obra e padrões de liberação de N não sincronizados aos requisitos das plantas. (Maghsoodi *et al.*, 2020).

Há muitos anos é recomendado pelos pesquisadores a co-aplicação da zeólita com adubação nitrogenada, de modo a melhorar eficiência do uso do nitrogênio. Algumas maneiras podem explicar a liberação lenta do N da misturada da zeólita com ureia, como: I) menos exposições da ureia as enzimas no solo, sendo assim atraso na formação de íons

NH_4^+ , II) retardo da lixiviação da ureia da zona da raiz através da entrada da ureia nos poros da zeólita, III) entradas do íons de amônio (NH_4^+), nos sítios de trocas da zeólita, podendo impedir sua conversão em nitrito e nitrato pelas bactérias nitrificantes, IV) tamanho dos poros podem controlar a taxa de liberação do N, sendo, quando maior o tamanho, mais lenta a liberação (Eberl, 2002; (Maghsoodi *et al.*, 2020).

O aumento na eficiência do uso do nitrogênio (EUN) quando a ureia é utilizado com zeólita foi demonstrado por Bernardi *et al.*, (2014) no qual avaliaram diferentes tipos de fertilizantes: Ureia, ureia incorporada no solo, ureia + inibidor de urease, ureia +zeólita, nitrato de amônia, e não fertilizado (controle) sobre a volatilização de amônia do solo em azevém. Observaram que uso da ureia mais 20% de zeólita resultou na perda de aproximadamente 19,6% do N aplicado, sendo perdidos na forma de N-NH₃, inferior em comparação a ureia sem adição de zeólita (21%). O mesmo foi observado a produção de matéria seca. Resultados semelhantes foram encontrados por Bernardi *et al.*, (2011) com milho para silagem.

Em um estudo realizado por Karami *et al.*, (2020), avaliando a influência da zeólita incorporado no solo (0 e 10 toneladas) e diferentes doses de nitrogênio (0, 80, 160 e 240 kg de ureia ha^{-1}) sobre a produção de biomassa e nas características fisiológicas de *Amaranthus hypochondriacus*, verificaram que o uso da zeólita com nitrogênio aumentou os pigmentos fotos sintéticos, teor de proteínas na folha, produção de biomassa e a eficiência do uso da água, porém nas doses superiores a 80 kg de ureia não aumentou significativamente a biomassa final e outros parâmetros avaliados, indicando uma redução nos custos, meio ambiente e segurança.

Ainda que os resultados dos estudos demonstram que a mistura da zeólita e ureia pode reduzir a volatilização da amônia ou maior eficiência do uso do nitrogênio, a utilização desse mineral na agricultura ou pecuária irá depender do custo de produção da zeólita natural das reservas brasileiras, que se espera que seja explorada comercialmente futuramente. Além disso, estudos futuros são necessários para determinar a eficácia da zeólita no uso do nitrogênio em diversas culturas, clima, solo, região e sob diversos estresses ambientais.

1.6. Uso de zeólita em pastagens

A disponibilidade de nitrogênio para a absorção e assimilação das plantas é influenciado positivamente pela adubação nitrogenada, mineralização da matéria orgânica do solo e fixação biológica do nitrogênio, porém outros fatores como, lixiviação do nitrato, absorção, remoção da cultura, escoamento do solo, volatilização, desnitrificação e imobilização, influencia negativamente a disponibilidade de N (Hofman e Cleemput, 2014; Taiz *et al.*, 2017). Contudo, a intensidade de cada processo irá depender da textura e pH do solo, aeração, disponibilidade de água, temperatura, preparo do solo, tipo, quantidade e modo de aplicação do fertilizante e outros.

A agricultura atual utiliza grande quantidade de fertilizantes nitrogenados, porém, com aumento dos custos, devido a “crise de energia” em decorrência do aumento do preço dos derivados do petróleo e as preocupações sobre os impactos ambientais oriundos das perdas de N, despertam o interesse de melhorar o manejo e a utilização do nitrogênio (Lopes e Lima, 2015). O uso da zeólita tem mostrando que tanto o solo quando a planta podem beneficiar com sua adição, devido a capacidade de troca iônica e alta capacidade de adsorção deste mineral com a água e amônio (Ahmed *et al.*, 2009; Latifah, Ahmed e Majid, 2017).

As zeólita são aluminossilicatos hidratados cristalinos de metais alcalinos ou alcalino-terrosos que possui uma estrutura porosa, sendo considerada peneira molecular que podem absorver seletivamente moléculas como base no seu tamanho e afinidade. Esta característica possibilita que a zeólita retenha cátions, como a amônio (NH₄) (Inglezakis, Loizidou e Grigoropoulou, 2002). A amônio absorvido pela zeólita podem ser gradualmente liberados (dessorção) para absorção pelas plantas, ou seja, garantindo um fertilizante de liberação lenta.

Campana *et al.*, (2015), avaliando a mistura zeólita (0, 12,5, 25, 50 e 100% em relação ao nível de N) com ureia (100kg de N) em pastagens de capim Tanzânia, observaram que adição de zeólita reduziu a volatilização da amônia (efeito linear decrescente para a inclusão da zeólita). Neste mesmo estudo foi realizado um segundo experimento, no qual observaram o efeito da mistura de zeólita (0, 12,5, 25 e 50 % do nível de N) com ureia (100 kg de N), porém em condição de campo. Observaram inclusão da zeólita reduziu a volatilização da amônia no verão (menores perdas em 25% de zeólita), não havendo efeito no inverno.

Em um estudo realizado por Latifah *et al.*, (2017), avaliando o efeito da zeólita clinoptilolita sob diferentes taxas de ureia (100%, 75% e 25% da dose recomendada) na

cultura de milho, verificaram que a mistura de zeólita com a ureia, reduziu significativamente a lixiviação de NH_4 e nitrato em comparação com solo sozinho ou somente a ureia, devido, possivelmente, a seletividade específica da clinoptilita com a amônio. A zeólita também favoreceu a retenção de nitrogênio total, amônio trocável e nitrato disponível do solo, devido à alta capacidade de troca de cátion deste mineral e adsorção do amônio, possibilitando a melhor disponibilidade de nitrogênio ao longo tempo, devido a retenção temporária de nitrogênio nos locais de troca da zeólita.

Zaman & Nguyen (2010), estudando o efeito da zeólita e o cal como corretor de solo em solo pastoril, no qual avaliaram 3 fontes de nitrogênio: controle (0 N), urina de vaca ou nitrato de potássio (KNO_3), ambos aplicados na dose de 200 kg de N/ha, e com ou sem adição de cal, ou zeólita, observaram que a emissão de oxido nitroso foi superior em solos tratados com urina em comparação ao nitrato de potássio, devido uma maior produção de oxido nitroso. Contudo, o uso da zeólita reduziu as emissões totais do oxido nitroso em 11% dos solos tratados com urina, possivelmente devido à adsorção da (NH_4) pela zeólita, não havendo efeito sobre o nitrato de potássio.

1.7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIEC. Perfil da pecuária no Brasil. **BeefREPORT**, p. 49, 2020.
- AGUIAR, M. R. M. P. DE; NOVAES, A. C.; GUARINO, A. W. S. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. **Química Nova**, v. 25, n. 6b, p. 1145–1154, dez. 2002.
- AHMED, O. H. *et al.* Enhancing the Urea-N Use Efficiency in Maize (*Zea mays*) Cultivation on Acid Soils using Urea Amended with Zeolite and TSP. v. 6, n. 5, p. 829–833, 2009.
- ALVAREZ V., V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. *In*: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.). . **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação**. Viçosa, MG: [s.n.]. p. 41–60.
- AMES, L. L. THE CATION SIEVE PROPERTIES OF CLINOPTILOLITE. **American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials**, v. 45, p. 689–700, 1960.
- AVICE, J. C. *et al.* Nitrogen and Carbon Flows Estimated by ¹⁵N and ¹³C Pulse-Chase Labeling during Regrowth of Alfalfa. **Plant Physiology**, v. 112, n. 1, p. 281–290, 1 set. 1996.
- BALIGAR, V.; BENNETT, O. Outlook on fertilizer use efficiency in the tropics. **Fertilizer Research**, v. 10, n. 1, p. 83–96, 1986.
- BARTZ, J. K.; JONES, R. L. Availability of Nitrogen to Sudangrass from Ammonium-Saturated Clinoptilolite. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, n. 2, p. 259–262, mar. 1983.
- BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, n. 1, p. 205–207, ago. 1973.
- BERNARDI, A. C. C. *et al.* Ammonia Volatilization from Soil, Dry-Matter Yield, and Nitrogen Levels of Italian Ryegrass. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, n. 2, p. 153–162, 19 jan. 2014.
- BINDRABAN, P. S. *et al.* Revisiting fertilisers and fertilisation strategies for improved nutrient uptake by plants. **Biology and Fertility of Soils**, v. 51, n. 8, p. 897–911, 16 nov. 2015.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 1–2, p. 248–254, maio 1976.
- BYBORDI, A.; EBRAHIMIAN, E. Growth, Yield and Quality Components of Canola Fertilized with Urea and Zeolite. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**,

v. 44, n. 19, p. 2896–2915, 28 out. 2013.

CABRAL, C. E. A. *et al.* Effects of timing of nitrogen fertilizer application on responses by tropical grasses. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 9, n. 2, p. 182–191, 31 maio 2021.

CABRERA-BOSQUET, L. *et al.* Photosynthetic capacity of field-grown durum wheat under different N availabilities: A comparative study from leaf to canopy. **Environmental and Experimental Botany**, v. 67, n. 1, p. 145–152, nov. 2009.

CAIRO, P. A. R.; OLIVEIRA, L. E. M. DE; MESQUITA, A. C. **Análise de Crescimento de Plantas**. Vitória da Conquista: Edições UESB, 2008.

CAMPANA, M. *et al.* Ammonia Volatilization from Exposed Soil and Tanzania Grass Pasture Fertilized with Urea and Zeolite Mixture. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 46, n. 8, p. 1024–1033, 2015.

CAMPOS BERNARDI, A. C. DE *et al.* Yield, quality components, and nitrogen levels of silage corn fertilized with urea and zeolite. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 42, n. 11, p. 1266–1275, 2011.

CAMPOS BERNARDI, A. C. DE *et al.* Enhancing Nutrient Use Efficiency Using Zeolites Minerals—A Review. **Advances in Chemical Engineering and Science**, v. 06, n. 04, p. 295–204, 2016.

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; CANTARELLA, H. Chapter 8 Recent Developments of Fertilizer Production and Use to Improve Nutrient Efficiency and Minimize Environmental Impacts. *In: Advances in Agronomy*. 1. ed. [s.l.] Elsevier Inc., 2009. v. 102p. 267–322.

COOMBS, D. S. *et al.* Recommended nomenclature for zeolite minerals: report of the subcommittee on zeolites of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. **Mineralogical Magazine**, v. 62, n. 04, p. 533–571, 5 ago. 1998.

COSTA, N. DE L. *et al.* Response of *Brachiaria brizantha* cv. Piatã pastures to nitrogen fertilization. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 3, p. e89932498, 19 fev. 2020.

CREGAN, P. B.; BERKUM, P. VAN. Genetics of nitrogen metabolism and physiological/biochemical selection for increased grain crop productivity. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 67, n. 2–3, p. 97–111, jan. 1984.

D’OVIDIO, R.; MASCI, S. The low-molecular-weight glutenin subunits of wheat gluten. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 3, p. 321–339, maio 2004.

DELEVATTI, L. M. *et al.* Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality, and animal performance in a tropical pasture. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 7596, 20 maio

2019.

DETMANN, E. *et al.* **Métodos para análise de alimentos**. [s.l: s.n.].

DIERKING, R. M. *et al.* Nitrogen reserve pools in two *Miscanthus x giganteus* genotypes under contrasting N managements. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. September, p. 1–13, 20 set. 2017.

DIMKPA, C. O. *et al.* Development of fertilizers for enhanced nitrogen use efficiency – Trends and perspectives. **Science of The Total Environment**, v. 731, p. 139113, ago. 2020.

DISCHE, Z. General Color Reactions. *In*: WHISTLER, R. L.; WOLFRAM, M. L. (Eds.). **Carbohydrate Chemistry**. New York: Academic Press, 1962. p. 477–520.

DOHLMAN, E.; HANSEN, J.; BOUSSIOS, D. USDA Agricultural projections to 2020. **Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA)**, p. 1–124, 2017.

FERGUSON, G. A.; PEPPER, I. L. Ammonium Retention in Sand Amended with Clinoptilolite. **Soil Science Society of America Journal**, v. 51, n. 1, p. 231–234, jan. 1987.

GOOD, A. G.; BEATTY, P. H. Fertilizing Nature: A Tragedy of Excess in the Commons. **PLoS Biology**, v. 9, n. 8, p. e1001124, 16 ago. 2011.

GUO, H. *et al.* Nano-enabled fertilizers to control the release and use efficiency of nutrients. **Current Opinion in Environmental Science and Health**, v. 6, p. 77–83, 2018.

HARUNA AHMED, O.; HUSIN, A.; HUSNI MOHD HANIF, A. Ammonia volatilization and ammonium accumulation from urea mixed with zeolite and triple superphosphate. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science**, v. 58, n. 2, p. 182–186, jun. 2008.

HOFMAN, G.; CLEEMPUT, O. VAN. **Soil and Plant Nitrogen**. [s.l: s.n.].

HUANG, J. *et al.* Nitrogen and phosphorus losses and eutrophication potential associated with fertilizer application to cropland in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 159, p. 171–179, ago. 2017.

IBGE, I. B. D. G. E. Censo agropecuario 2017. p. 2017, 2020.

INGLEZAKIS, V. J.; LOIZIDOU, M. D.; GRIGOROPOULOU, H. P. Equilibrium and kinetic ion exchange studies of Pb^{2+} , Cr^{3+} , Fe^{3+} and Cu^{2+} on natural clinoptilolite. v. 36, p. 2784–2792, 2002.

IPCC, I. P. ON C. C. **Climate Change and Land An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food**

security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. [s.l.: s.n.].

JAYME, D. G. *et al.* **GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS TROPICAIS.** [s.l.: s.n.].

KARAMI, S. *et al.* Effect of Zeolite on Nitrogen Use Efficiency and Physiological and Biomass Traits of Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) Under Water-Deficit Stress Conditions. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 2020.

KARIA, C. T.; DUARTE, J. B.; ARAÚJO, A. C. G. DE. Desenvolvimento de Cultivares do Gênero *Brachiaria* (trin.) Griseb. no Brasil. **Documentos 163 / Embrapa Cerrados**, p. 56, 2006.

LANDAU, E. C.; SIMEÃO, R. M.; O, F. DA C. M. N. Evolução da Área Ocupada por Pastagens. **Embrapa**, 2018.

LATIFAH, O.; AHMED, O. H.; MAJID, N. M. A. Enhancing nitrogen availability from urea using clinoptilolite zeolite. **Geoderma**, v. 306, n. April, p. 152–159, 2017.

LIU, T. *et al.* Optimum Leaf Removal Increases Nitrogen Accumulation in Kernels of Maize Grown at High Density. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 39601, 13 jan. 2017.

LOPES, M. A. *et al.* Manejo e viabilidade econômica da adubação nitrogenada em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 21, n. 2004, p. 156–162, 2013.

LOPES, M. N. *et al.* Fluxo de biomassa em capim-massai durante o estabelecimento e rebrotação com e sem adubação nitrogenada. **Revista Ceres**, v. 60, n. 3, p. 363–371, jun. 2013.

LOPES, N. F.; LIMA, M. DA G. DE S. **Fiologia da produção.** Viçosa: Editora UFV, 2015.

LUZ, A. B. DA. Zeólitas: propriedades e usos industriais. **CETEM/CNPq**, 7 nov. 1995.

MAGHSOODI, M. R. *et al.* Hydroxyapatite nanorods, hydrochar, biochar, and zeolite for controlled-release urea fertilizers. **Geoderma**, v. 379, n. February, p. 114644, dez. 2020.

MAPBIOMAS. **Qualidade das pastagens.** Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>>.

MAURICIO, R. M. *et al.* Silvopastoral Systems in Latin America for Biodiversity, Environmental, and Socioeconomic Improvements. *In: Agroecosystem Diversity.* [s.l.] Elsevier, 2019. v. Documentosp. 287–297.

MING, D. W.; ALLEN, E. R. Use of Natural Zeolites in Agronomy, Horticulture and Environmental Soil Remediation. **Reviews in Mineralogy and Geochemistry**, v. 45, n. 1, p. 619–654, 1 jan. 2001.

NAKHLI, S. A. A. *et al.* Application of Zeolites for Sustainable Agriculture: a Review

on Water and Nutrient Retention. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 228, n. 12, p. 464, 30 dez. 2017.

NUNES, S. G. *et al.* Brachiaria brizantha cv. Marandu. **Documentos**, v. 21, p. 31, 1984.

OLIVEIRA, A. B. *et al.* Morfogênese do capim-tanzânia submetido a adubações e intensidades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 4 suppl, p. 1006–1013, ago. 2007.

OSBORNE, T. B. **The vegetable proteins**. 2. ed. London: Longmans Green and company, 1924.

OURRY, A.; KIM, T. H.; BOUCAUD, J. Nitrogen Reserve Mobilization during Regrowth of Medicago sativa L. (Relationships between Availability and Regrowth Yield). **Plant Physiology**, v. 105, n. 3, p. 831–837, 1 jul. 1994.

PALMER, A. F. E.; HEICHEL, G. H.; MUSGRAVE, R. B. Patterns of Translocation, Respiratory Loss, and Redistribution of ¹⁴C in Maize Labeled after Flowering 1. **Crop Science**, v. 13, n. 3, p. 371–376, maio 1973.

PAPROCKI, A. Síntese De Zeólitas a Partir De Cinzas De Carvão Visando Sua Utilização Na Descontaminação De Drenagem Ácida De Mina. p. 156, 2009.

PEYRAUD, J. .; ASTIGARRAGA, L. Review of the effect of nitrogen fertilization on the chemical composition, intake, digestion and nutritive value of fresh herbage: consequences on animal nutrition and N balance. **Animal Feed Science and Technology**, v. 72, n. 3–4, p. 235–259, jun. 1998.

PEZZOPANE, J. R. M. *et al.* Cenários futuros das pastagens no Brasil. In: **IX SIMFOR-IX Simposio sobre manejo estrategico de pastagens e VI simposio internacional sobre produção animal em pastejo**. [s.l: s.n.]. .

SILVEIRA, C. P.; MONTEIRO, F. A. Revista Brasileira de Zootecnia Influência da adubação com nitrogênio e cálcio nas características morfológicas e produtivas das raízes de capim-tanzânia cultivado em Influence of nitrogen and calcium fertilizations on morphological and productive charact. p. 47–52, 2011.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6° ed. [s.l: s.n.].

TASCA, F. A. *et al.* Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 493–502, abr. 2011.

TIMILSENA, Y. P. *et al.* Enhanced efficiency fertilisers: a review of formulation and nutrient release patterns. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 6, p. 1131–1142, abr. 2015.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral Commodity Summaries** U.S Department

OF The Interior, U.S Geological Survey. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf>>.

USDA. Livestock and poultry: world markets and trade. **United States Department of Agriculture and Foreign Agricultural Service**, p. 31, 2021.

USSIRI, D.; LAL, R. **Soil Emission of Nitrous Oxide and its Mitigation**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013.

VALLE, C. B. DO. **Coleção de germoplasma de espécies de Brachiaria no CIAT: estudos básicos visando ao melhoramento genético**. [s.l: s.n.]. v. 46

VIEIRA, R. F. **Ciclo do Nitrogênio em Sistemas Agrícolas**. [s.l: s.n.].

WELLBURN, A. R. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. **Journal of Plant Physiology**, v. 144, n. 3, p. 307–313, set. 1994.

ZAMAN, M.; NGUYEN, M. L. Effect of lime or zeolite on N₂O and N₂ emissions from a pastoral soil treated with urine or nitrate-N fertilizer under field conditions. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 136, n. 3–4, p. 254–261, 2010.

II – OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar o efeito da adubação nitrogenada associada aos níveis de inclusão de zeólita sobre as características produtivas, estruturais, fisiológicas, bioquímicas e bromatológicas da *Brachiara brizantha* cv. Marandu.

2.2. Objetivos Específicos

- ✓ Verificar o crescimento do capim-marandu em resposta à adubação nitrogenada, associada aos níveis de inclusão de zeólita, através de análises de crescimento, área foliar, características estruturais e avaliação de produção;
- ✓ Avaliar alterações fisiológicas ocasionada pela adubação nitrogenada associada aos níveis de inclusão de zeólita em plantas de capim-marandu, pelas quantificações dos teores de clorofilas, prolina e carboidratos;
- ✓ Avaliar o efeito adubação nitrogenada associada a níveis de inclusão de zeólita sobre a produção e distribuição de proteínas (prolaminas, albuminas, globulinas e glutelinas) em diferentes órgãos do capim-marandu;
- ✓ Avaliar a qualidade nutricional do capim-marandu em resposta adubação nitrogenada associada aos níveis de inclusão de zeólita, por meio das análises bromatológicas.

III – MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Instalação do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, localizada na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Campus *Juvino Oliveira*, situada a uma altitude média de 280 m, no município de Itapetinga, BA, no período de janeiro a abril de 2018. O ensaio foi realizado em esquema fatorial 2 x 5, sendo duas doses de nitrogênio (100 e 150 kg de N.ha⁻¹) e cinco níveis de inclusão de zeólita (0, 25, 50, 75 e 100% de zeólita com base no peso de N), ordenados em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições, totalizando 40 vasos plásticos com capacidade de 12 litros, os quais foram preenchidos com 9 dm⁻³ de solo.

O solo para o enchimento dos vasos foi coletado na camada 0-20 cm de profundidade, no Campus da UESB, sendo destorroado e passado em peneira de 4 mm, e colocado para secar ao ar. Uma amostra foi retirada para análises química e física, realizadas no Laboratório de Solos do Departamento de Engenharia Agrícola e Solos da UESB, sendo caracterizado como de textura Franco Arenosa. A análise química revelou as seguintes características:

Tabela 1. Análise química do solo

pH	mg/dm ³		cmolc/dm ³ de solo							%	* g/dm ³	
H ₂ O	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	AL ³⁺	H ⁺	S.B ¹	t ²	T ³	V ⁴	m ⁵	M.O ⁶
5,3	6	0,08	2,4	1,8	0,2	3,6	4,3	4,5	8,1	53	4	10

¹Soma de bases. ²CTC efetiva. ³CTC pH 7. ⁴Saturação de bases. ⁵Saturação por Al³⁺. ⁶Matéria orgânica

Fonte: Laboratório de solos da UESB.

Seguindo as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (Alvarez & Ribeiro, 1999), não houve necessidade de calagem. Entretanto, adotando-se o nível tecnológico médio, foi necessário fazer a correção do solo com fósforo e potássio. Foram aplicados 50 kg de P₂O₅ ha⁻¹, correspondendo a 1,25 g.vaso⁻¹ de superfosfato triplo e 40 kg de K₂O.ha⁻¹, correspondendo a 0,31 g.vaso⁻¹ de cloreto de potássio.

Para determinação da capacidade de retenção de água do solo, os vasos com solo seco foram pesados, saturados com água e, após escoamento total da água, pesados novamente. Pela diferença de peso seco e úmido (após escoamento total da água), foi determinada a máxima capacidade de retenção de água.

A gramínea *Brachiaria Brizantha* cv. Marandu foi semeada diretamente nos vasos, e quando as plantas apresentavam em torno de 10 cm de altura, foi realizado o desbaste, mantendo-se 4 plantas por vaso. O corte de uniformização foi realizado quando as plantas atingiram 30 cm de altura, deixando um resíduo de 10 cm, e em seguida foram aplicadas 100 e 150 kg de N.ha⁻¹, correspondendo a 1,02 e 1,53 g.vaso⁻¹ ureia e, juntamente com os níveis de inclusão de zeólita (0, 25, 50, 75 e 100% de zeólita com base no peso da ureia). A ureia e a zeólita foram dissolvidos em água para aplicação nos vasos.

A zeólita utilizada no experimento é um material natural de origem vulcânica (Prodac Zeolite), apresentando superfície interna de 600 m²/g.

As temperaturas mínima, máxima e média foram registradas no período e apresentaram valores médios de 14,0°C, 38,7°C e 28,2°C, respectivamente, durante todo período experimental.

3.2. Avaliações

A altura das plantas em todos os tratamentos foi mensurada diariamente até as mesmas atingirem 35 cm de altura, logo após, foram cortados à altura de 15 cm do solo. Esse procedimento foi adotado em dois ciclos consecutivo, com duração entre 23 a 25 dias cada ciclo. Ao final de cada corte, o material foi levado para o Laboratório de Anatomia e Fisiologia Ecológica de plantas (LAFIEP), sendo dessecado em folhas e pseudocolmo (colmo e bainha), além disso, no final do segundo corte, os vasos foram desmontados em água corrente para retirada da raiz.

3.2.1. Produção

O material dissecado foi pesado para a determinação da massa fresca (MF), logo após, seco em estufa de 65°C por 72 horas, e novamente pesado para determinar a massa seca (MS) da folha, pseudocolmo e raiz (2º ciclo). Após a secagem, o material foi moído em moinho de facas com peneira de malha de 1 mm.

3.2.2. Área foliar

Para determinar a área foliar, as folhas das quatro plantas, por vaso, foram separadas e, em seguida, escaneadas. As imagens digitalizadas foram avaliadas no programa computacional ImageJ, o qual determina a área ocupada pelas folhas pelo contraste com a área não ocupada. Sendo assim, área foliar total do vaso ($\text{cm}^2 \text{vaso}^{-1}$) foi determinado através da soma dos valores. A partir dos dados de área foliar foi calculado o índice de área foliar (IAF), conforme equações definidas por Cairo et al. (2008).

3.2.3. Características morfológicas e estruturais

Para avaliações de crescimento foram marcados com fitas coloridas 5 perfilhos em cada vaso, totalizando 20 repetições por tratamento. Em cada perfilho marcado foram avaliados no início e no final de cada ciclo: comprimento do pseudocolmo e comprimento da lamina foliar. A partir desses valores foram determinados:

- Taxa de alongamento foliar (TAIF): obtida pela diferença entre comprimento final (cm) e comprimento inicial da lâmina foliar (cm), dividido pelo intervalo de dias entre as medidas (cm dia^{-1}).

- Taxa de alongamento do pseudocolmo (TAIPC): obtida pela diferença entre comprimento final (cm) e comprimento inicial do pseudocolmo (cm), dividido pelo intervalo de dias entre as medidas (cm dia^{-1}).

Todos os perfilhos de cada vaso foram contados no início e no final de cada ciclo, e partir desses dados e de acordo com Difante et al. (2008), foi calculado:

- Taxa de aparecimento de perfilhos (TxAp): obtidos pelo perfilhos surgidos total dividido pelos perfilhos vivos na marcação anterior ($\text{perfilhos dia}^{-1}$).

- Número total de perfilhos (NTP): Numero de perfilhos vivos no final de cada ciclo.

3.2.4. Pigmentos fotossintéticos

Ao final de cada ciclo (antes do corte), foram coletadas folhas completamente expandidas, por volta de 10 horas da manhã para extração das clorofilas e carotenoides. As folhas foram imediatamente cortadas em fragmentos pequenos, logo após, foram pesadas 0,03 g de massa fresca de folhas de cada amostra e colocados em frascos de vidro contendo 5 mL de Dimetilsulfóxido (DMSO), envolvidos com papel alumínio e mantidos por 72 horas no escuro. Após, foram realizadas as leituras no espectrofotômetro em

comprimentos de onda de 665, 649 e 480 nm e quantificados de acordo com Wellburn (1994), utilizando-se as seguintes equações:

$$\text{Clorofila } a = (12.19 * A_{665}) - (3.45 * A_{649})$$

$$\text{Clorofila } b = (21.99 * A_{649}) - (5.32 * A_{665})$$

$$\text{Carotenoides} = [(1000 * A_{480}) - (2.14 * \text{Clorofila } a) - (70.16 * \text{Clorofila } b)] / 220$$

Sendo A = Absorbância. Com esses dados foram calculadas clorofilas totais (Clorofila a + Clorofila b) e razão clorofila a/b , os valores obtidos foram ajustados para mg g^{-1} de MS.

3.2.5. Fracionamento de proteína

Ao final de cada corte, foram coletadas 2 g de massa fresca de folha, pseudocolmo e raiz (2° corte), sendo armazenadas em envelopes de alumínio e congeladas, para posterior análises de fracionamento de proteínas.

Fração 1 - extração com água destilada – Grupo das albuminas

O material coletado foi macerado e homogeneizado com 4 ml água destilada, após foi incubado a 35 C°, por 30 minutos, sob agitação constante. Posteriormente, a amostra foi centrifugada a 1200 g, por 20 minutos, e coletado o sobrenadante. Após, o pellet foi ressuspenso com mais 3 ml de água destilada e centrifugado novamente para posterior coleta do sobrenadante. Os sobrenadantes foram combinados e congelados

Fração 2 - extração com NaCl 1% - Grupo das Globulinas

O pellet resultante foi ressuspendido com 4 ml de NaCl 1% repetindo os mesmo processos do anterior

Fração 3 - extração com etanol 80% - Grupo das Prolaminas

O mesmo processo da fração 2, porem substituindo o extrator - Etanol 80%

Fração 4 - extração com NaOH 100 mM – Grupo das Glutelinas

O mesmo processo da fração 2, porem substituindo o extrator - NaOH 100 mM.

A quantificação das proteínas solubilizadas em cada extrator foi realizada pelo o método de Bradford (1976). Sendo utilizada a solução de Coomassie blue G-250 e as leituras foram realizadas no espectrofotômetro em comprimentos de onda de 595 nm. Os valores obtidos foram calculados por grama de massa seca (mg g^{-1} de MS⁻¹).

3.2.6. Análises Bromatológicas

No primeiro ciclo, as amostras moídas a 1mm foram submetidas às análises de proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro corrigida para cinza e proteína (FDNcp), fibra em detergente ácido (FDA) composto nitrogenados insolúveis em detergente neutro (NIDN) e acida (NIDA), conforme procedimentos descritos por Detmann et al. (2012).

Foram realizados o fracionamento da proteína nas folhas e pseudocolmos, sendo a fração A (nitrogênio não proteico), determinado como a diferença entre o percentual do nitrogênio total na amostra e valor de nitrogênio proteico contido no resíduo após o tratamento com ácido tricloroacético (TCA) conforme descrito por Detmann et al. (2012).

A fração B1 + B2 foi obtida pela diferença entre o nitrogênio insolúvel em ácido tricloroacético (TCA) e o NIDN. A fração B3 foi obtida pela diferença entre NIDN e NIDA. E a fração C foi considerada nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA). As frações proteicas foram estimada da seguinte maneira:

$$\text{Fração A} = N_t - N_r$$

$$\text{Fração B1 +B2} = N_r - \text{NIDN}$$

$$\text{Fração B3} = \text{NIDN} - \text{NIDA}$$

$$\text{Fração C} = \text{NIDA}$$

Onde:

N_t = teor de nitrogênio total da amostra; N_r = teor de nitrogênio insolúvel após o tratamento com solução de TCA.

O esquema de fracionamento de proteína do CNCPS (SINIFFENS 2002) divide a proteína dos alimentos (PB) em 5 frações (A, B1, B2, B3 e C), com base a solubilidade em reagentes químicos. A fração A refere-se aos componentes nitrogenados não proteica (NNP). Essa fração possuía a solubilizada e a taxa de degradação instantaneamente. Já a fração B representa fração potencialmente degradável, sendo que esta é dividida em três frações (de acordo com a degradação). Fração B1 refere-se a proteína verdadeira solúvel, sendo rapidamente degradada no rumen, B2 representa a proteína com taxa de degradação intermediária e a B3 corresponde a proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) mais solúvel em detergente ácido, ou seja a proteína presente na parede celular das plantas potencialmente digestível, diante disso, apresenta taxa de degradação lenta. Já a fração C representa a proteína indisponível, ou seja, a não degradada no rumen, sendo chamada como proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA ou NIDA).

A fração A é constituído de amônio, aminoácidos e peptídeos, já a fração B1 constituído de albuminas e globulinas, a fração B2 é formado por glutelinas (presente em pequenos grãos) e albuminas e a fração B3 é formado por glicoproteínas existente na parede celular das plantas, além de proteínas prolaminas. Já a fração C é composto por proteínas associada a lignina, taninos e produtos da reação de Maillard,

3.2.7. Carboidratos solúveis, amido e prolina

Para as análises bioquímicas, as amostras de folha e pseudocolmo foram novamente moídas com auxílio do moinho de bola, para posterior análises. Estas análises foram realizadas somente no primeiro ciclo.

Carboidratos solúveis

Para extração dos carboidratos (CHOs) solúveis, foram homogeneizado 300 mg de massa seca de folhas e caules em 4 ml de tampão fosfato de potássio (K_2PO_4) 100 mM (pH 7,0), acrescido de 20 mM de ácido ascórbico, seguido de centrifugação a 4.000 rpm, por 20 minutos, e coleta do sobrenadante. Este procedimento foi realizado mais duas vezes e os sobrenadantes combinados. Os CHOs solúveis foram quantificados pelo método da Antrona (Dische, 1962).

Amido

Para a extração do amido, foi utilizado o pellet do pseudocolmo, resultante da extração dos carboidratos solúveis. O pellet foi ressuspendido com 5,0 mL do tampão acetato de potássio 200 mM (pH 4,8), e colocado em banho-maria a 100°C, por 5 minutos, sob agitação constante. Em seguida foi resfriado (em torno de 50 °C) e adicionada uma solução contendo 11 unidades da enzima amiloglucosidase, incubando-se em banho-maria, a 50°C, por duas horas, sob agitação constante. Logo após, foi centrifugada a 4.000 rpm, por 20 minutos, o sobrenadante foi coletado e o volume completado para 5 mL com o mesmo tampão. O amido foi quantificados pelo método da Antrona (Dische, 1962).

Prolina

A prolina foi determinada por meio da homogeneização de 100 mg de massa seca de folhas com 5 ml de ácido sulfosalicílico 3%, sendo mantido sob agitação constante, à temperatura ambiente, durante 60 minutos. Em seguida, as amostras foram filtradas em papel filtro e feitas à quantificação segundo Bates et al. (1973).

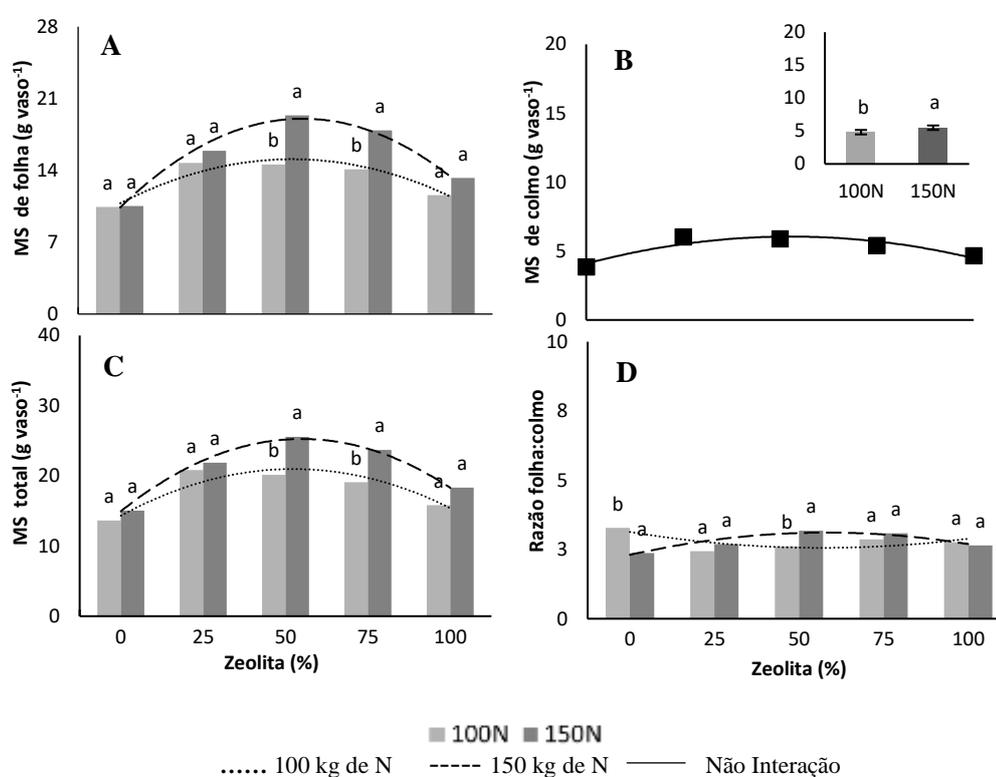
3.3. Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância, considerando como fontes de variação as doses de nitrogênio (N), inclusão de zeólita (Z) e a interação de N x Z. A interação foi desdobrada, ou não, de acordo com a significância. O efeito da inclusão de zeólita foi avaliado por análise de regressão e as doses de nitrogênio foram comparadas pelo teste F. Adotou-se $\alpha = 0,05$.

IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Produção de massa seca de folha, colmo, total e raiz.

No primeiro ciclo a produção de massa seca de folha, massa seca total e razão folha:colmo apresentaram interação significativa entre adubação nitrogenada e níveis de zeólita, exceto, a massa seca de colmo, como demonstra na Figura 4.



MS de folha: $\hat{Y}_{100N} = 10,753 + 0,1665Z - 0,0016Z^2$; ($R^2 = 0,93$); $\hat{Y}_{150N} = 10,328 + 0,3151Z - 0,0029Z^2$; ($R^2 = 0,99$)
 MS de colmo: $\hat{Y} = 4,0834 + 0,0745Z - 0,0007Z^2$; ($R^2 = 0,86$)
 MS total: $\hat{Y}_{100N} = 14,314 + 0,2547Z - 0,0024Z^2$; ($R^2 = 0,88$); $\hat{Y}_{150N} = 14,934 + 0,3758Z - 0,0034Z^2$; ($R^2 = 0,99$)
 Razão folha:colmo: $\hat{Y}_{100N} = 3,1323 - 0,0202Z + 0,0002Z^2$; ($R^2 = 0,52$); $\hat{Y}_{150N} = 2,3053 + 0,0277Z - 0,0002Z^2$; ($R^2 = 0,91$)

Figura 4. Produção de massa seca de folha (A), colmo (B) e total (C), e razão folha:colmo (D) de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão da zeólita (1º Ciclo).

A inclusão de zeólita propiciou efeito quadrático para massa seca de folha nas doses de 100 e 150 kg de N ha⁻¹ apresentando produção máxima de 15,08 e 18,89 g vaso⁻¹

¹, nas inclusões de 52,03 e 54,33% de zeólita, respectivamente. Contudo, a adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ aumentou a massa seca de folha em 32,89 e 26,84% nos níveis de 50 e 75% de zeólita, respectivamente, em comparação a dose de 100 kg de N ha⁻¹.

A massa seca total apresentou efeito quadrático para as doses de 100 e 150 kg de N ha⁻¹, com produção máxima de 21,07 e 25,32 g vaso⁻¹ nas inclusões de 53,06 e 55,26 % de zeólita, respectivamente. Além disso, a dose de 150 kg de N ha⁻¹ propiciou o aumento na massa seca total em 26,68 e 23,94 %, nos níveis de 50 e 75 % de zeólita, respectivamente. A inclusão de zeólita influenciou de forma quadrática a razão folha:colmo para ambas as doses de nitrogênio, apresentando uma razão mínima de 2,62 no nível de 50,5% de zeólita para a dose 100 kg de N ha⁻¹, porém, para a dose de 150 kg de N ha⁻¹ apresentou a razão máxima de 3,26 no nível de 69,25% de zeólita. A dose de 150 kg de N ha⁻¹ reduziu a razão em 27,69 %, no nível de 0% de zeólita, no entanto, a dose de 150 kg de N ha⁻¹ propiciou um aumento de 21,73% no nível de 50% de zeólita.

A massa seca de colmo demonstrou efeito quadrático para zeólita, com produção máxima de 6,07 g vaso⁻¹, no nível de 53,21 % de zeólita, além disso, a adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ favoreceu aumento de 14,08% na massa seca do colmo. O rápido crescimento das plantas, principalmente as folhas, deve-se a alta disponibilidade de nitrogênio, sendo que as folhas após de tornarem-se expandidas, aumenta a formação do pseudocolmo (Oliveira *et al.*, 2007).

Na maioria das variáveis avaliadas, foi observado que não houve diferença entre o uso da dose de 100 e 150 kg de N ha⁻¹, sem o uso da zeólita, isso devido a quantidade de nitrogênio absorvido pelas plantas pode variar durante o seu ciclo de desenvolvimento em função da quantidade de raízes e taxa de absorção por unidade de peso de raiz, sendo assim, limita a absorção de elevadas quantidades de nitrogênio (Cregan & Berkum, 1984). Segundo Guo *et al.*, (2018), normalmente, a maioria das plantas possui baixa absorção de nutrientes por períodos mais longos de tempo, tornando o fertilizante de liberação controlada mais adequada para fornecer nutrientes quando comparado à adubação convencional.

Nesse sentido, através da inclusão da zeólita na adubação nitrogenada, houve o melhor aproveitamento do nitrogênio, beneficiando o crescimento do capim Marandu, devido à sua alta capacidade de adsorção do amônio, sendo este amônio mobilizado de acordo com a demanda da planta. Segundo Nakhli *et al.*, (2017), a presença da zeólita

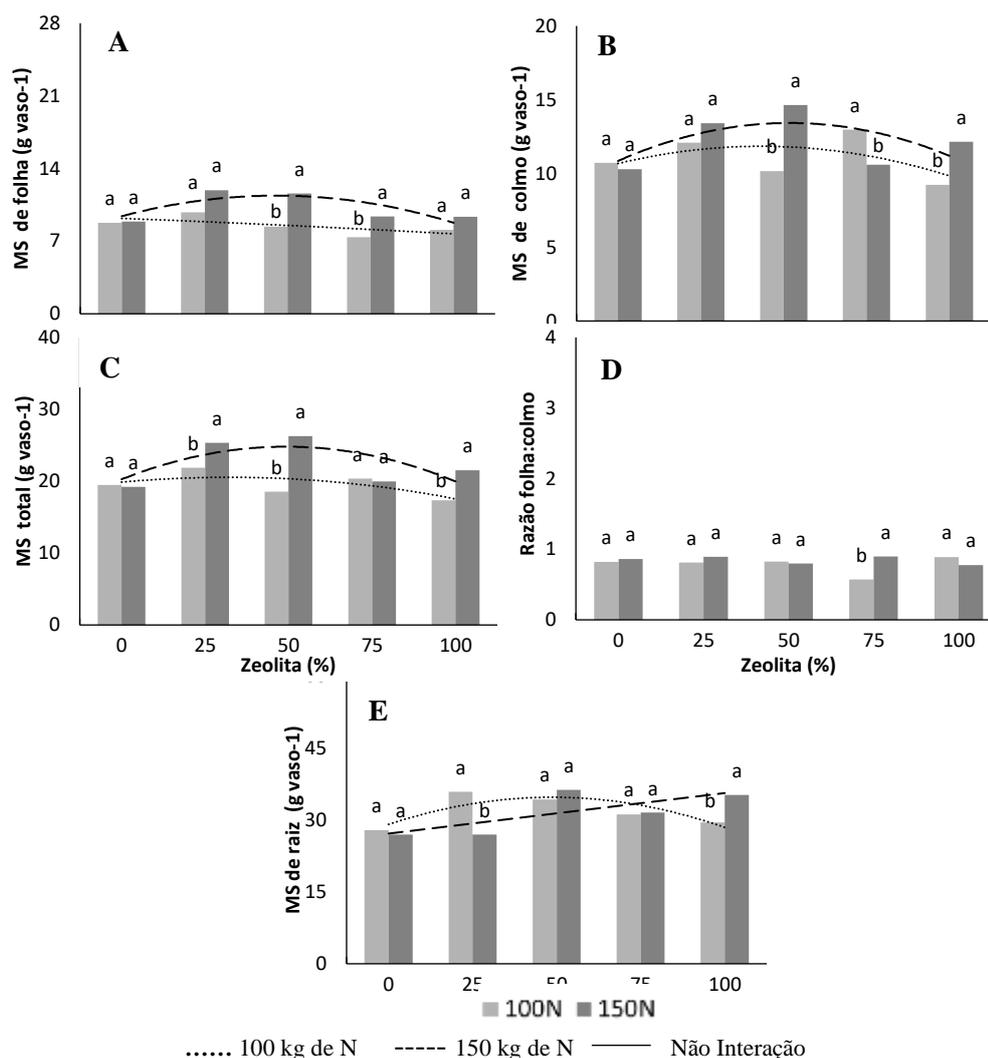
aumenta a retenção de nutrientes na zona radicular para absorção das plantas quando necessário, melhorando eficiência do uso dos fertilizantes, devido à redução das perdas por volatilização, lixiviação e infiltração, especialmente N, P, K e S, conseqüentemente intensifica o crescimento.

Como era esperado, a inclusão de nitrogênio na pastagem via adubação química, promove o aumento de fluxo de biomassa, sendo considerada uma prática desejável, aumentando a produtividade e otimização do uso das pastagens (Lopes et al., 2013).

Não obstante, nesse trabalho foi observado que a maioria das variáveis apresentaram efeito quadrático com ponto de máxima, variando entre 50 a 70 % de inclusão de zeólita, havendo redução a partir desses níveis, como demonstrado na Figura 4. Esses resultados podem estar relacionados com maior quantidade de locais ativos nas superfícies e nos poros da zeólita, ocasionando maior força nas ligações, impedindo que o amônio seja retirado da estrutura da zeólita, ou seja, indisponibilizando para absorção pelas plantas. Resultado semelhante foi observado por Bernardi et al., (2011) avaliando a produção de milho para silagem, com a mistura de ureia e zeólita, observaram que o uso de 62 e 48,5% de zeólita concentrada ou natural, respectivamente, com ureia aumentou a produção de matéria seca do milho para silagem, além de possibilitar um maior uso do N nas doses mais altas de adubação.

A troca catiônica da zeólita pode ser semelhante em que ocorre as partículas inorgânicas e orgânicas do solo, no qual cátions minerais como amônio (NH_4^+) são adsorvidos nas superfície da partículas ou dentro das redes formadas pelas partículas do solo, sendo este não facilmente lixiviados quando o solo é preenchidos com água, possibilitando uma reserva de nutrientes para as raízes, sendo este substituídos por outros cátions através da troca catiônica (Taiz *et al.*, 2017).

No segundo ciclo, a produção de massa seca de colmo, folha, total e raiz, e razão folha:colmo apresentaram interação significativa entre adubação nitrogenada e níveis de zeólita, como demonstrado na figura 5. Para a dose de 100 kg de N ha^{-1} , a massa seca de folha apresentou efeito linear decrescente com redução de 0,0149 g vaso⁻¹ a cada unidade de zeólita adicionada, enquanto para dose de 150 kg de N ha^{-1} , a inclusão de zeólita propiciou efeito quadrático, com máxima produção 11,42 g vaso⁻¹ na inclusão de 47,28 % de zeólita. A adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha^{-1} aumentou a massa seca de folha em 21,62, 27,14 e 15,58% para os receptivos níveis de 25, 50 e 75 % de zeólita.



MS de folha: $Y_{100N} = -0,0149Z + 9,2309$; ($R^2 = 0,44$); $Y_{150N} = -0,0009Z^2 + 0,0851Z + 9,4065$; ($R^2 = 0,61$)
 MS de colmo: $Y_{100N} = -0,0006Z^2 + 0,0541Z + 10,673$; ($R^2 = 0,29$); $Y_{150N} = -0,001Z^2 + 0,0994Z + 10,847$; ($R^2 = 0,38$)
 MS total: $Y_{100N} = -0,0007Z^2 + 0,0419Z + 19,87$; ($R^2 = 0,48$); $Y_{150N} = -0,0019Z^2 + 0,1845Z + 20,254$; ($R^2 = 0,48$)
 Razão folha:colmo: $Y_{100N} = 0,78$; $Y_{150N} = 0,84$
 MS de raiz: $Y_{100N} = -0,0024Z^2 + 0,2329Z + 29,039$; ($R^2 = 0,72$); $Y_{150N} = 0,0844Z + 27,14$; ($R^2 = 0,57$)

Figura 5. Produção de massa seca de folha (A), colmo (B) e total (C), razão folha:colmo (D) e massa seca da raiz (E) de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão da zeólita (2º Ciclo).

A inclusão de zeólita propiciou efeito quadrático nas doses de 100 e 150 kg de ha^{-1} para massa seca de colmo apresentando produção máxima de 11,89 e 13,32 g vaso $^{-1}$, nas inclusões de 45,08 e 49,70% de zeólita, respectivamente. Todavia, a adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha^{-1} aumentou a massa seca de colmo em 44, 11 e 31,59 % nos níveis de 50 e 100 % de zeólita, respectivamente, exceto para o nível de 75% zeólita, que ocasionou uma redução em 18,33% na massa seca de colmo. A massa seca

total apresentou efeito quadrático para inclusão de zeólita para as doses de 100 e 150 kg de N ha⁻¹, com produção máxima de 20,49 e 24,73 g vaso⁻¹ nas inclusões de 29,93 e 48,55 % de zeólita, respectivamente. Além disso, a dose de 150 kg de N ha⁻¹ propiciou o aumento na massa seca total em 15,74, 41,52 e 24,11 %, nos níveis de 25, 50 e 100% de zeólita.

A inclusão de zeólita não influenciou a razão folha:colmo para ambas as doses de nitrogênio. A dose de 150 kg de N ha⁻¹ aumentou a razão folha:colmo em 56,93% no nível de 75% de zeólita.

As doses de adubação nitrogenada foram aplicadas no início do período experimental, de forma única, sendo que a produção observada no segundo ciclo pode ser atribuída a efeito residual da adubação nitrogenada, oriunda da amônia presente na zeólita, assim como, na mobilização das reservas orgânicas de nitrogênio dos órgãos de reservas. A aplicação da zeólita juntamente com ureia possibilitou menores perdas de N pela lixiviação (Bybordi e Ebrahimian, 2013) e a volatilização da amônia, conseqüentemente, maior captação e assimilação pela plantas, possibilitando maiores taxas de crescimento e produção de matéria seca, até mesmo residual.

Em um estudo realizado por Latifah et al., (2017), avaliando o efeito da zeólita clinoptilolita sob diferentes taxas de ureia (100%, 75% e 25% da dose recomendada) na cultura de milho, verificaram que a mistura de zeólita com a ureia, reduziu significativamente a lixiviação de NH₄ e nitrato em comparação com solo sozinho ou somente a ureia, devido, possivelmente, à seletividade específica da clinoptilita com a amônio. A zeólita também favoreceu a retenção de nitrogênio total, amônio trocável e nitrato disponível do solo, devido à alta capacidade de troca de cátion deste mineral e adsorção do amônio, possibilitando a melhor disponibilidade de nitrogênio ao longo tempo, devido a retenção temporária de nitrogênio nos locais de troca da zeólita. Resultados semelhantes foram encontrados por Campana et al., (2015) avaliando a mistura zeólita com ureia em pastagens de capim Tanzânia.

A massa seca da raiz apresentou efeito quadrático para a dose de 100 N ha⁻¹ com produção máxima 34,69 g vaso⁻¹ na inclusão de 48,52 % de zeólita, porém para a dose de 150 kg de N ha⁻¹ apresentou efeito linear crescente com aumento de 0,0844 g vaso⁻¹ a cada unidade de zeólita adicionada. A adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ reduziu a massa seca da raiz em 24,91% no nível de 25 % de zeólita, porém, para o nível de 100 % de zeólita este proporcionou um aumento de 19,51% na massa seca da raiz.

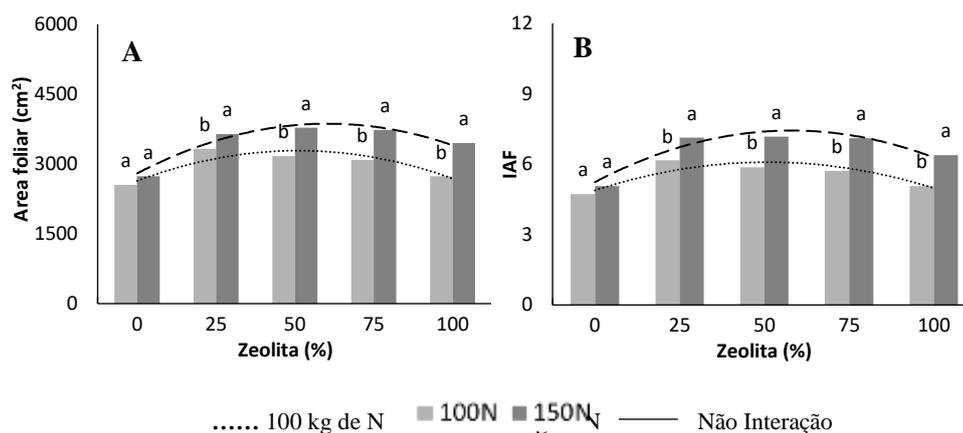
Diversos estudos têm demonstrado a importância do nitrogênio no aumento das taxas de crescimento radicular de gramíneas, devido à elevação da produção de assimilados nas folhas, fornecendo substrato para crescimento do sistema radicular (Cabral *et al.*, 2021; Silveira e Monteiro, 2011). As raízes são responsáveis pela absorção de nutrientes e água, além de acumular carboidratos e proteínas de reservas, que poderão ser utilizados durante o estresse, além de períodos de baixa atividade fotossintética (déficit hídrico, sombreamento ou após a desfolha) (Cabral *et al.*, 2021; Taiz *et al.*, 2017).

Segundo Taiz *et al.*, (2017), o nitrogênio favorece o aumento da formação e atividades de enzimas em diferentes partes da planta, como as raízes, estimulando a capacidade da transformação de substâncias inorgânicas, assim como o nitrogênio presente no solo.

4.2. Área foliar e índice de área foliar

No primeiro ciclo, a área foliar e o índice de área foliar apresentaram interação significativa entre adubação nitrogenada e níveis de zeólita, sendo que a inclusão de zeólita propiciou efeito quadrático na área foliar de ambas as doses de nitrogênio, com máxima área de 3284,80 e 3864,37 cm² nas inclusões de 51,00 e 60,31% de zeólita, respectivamente (Figura 6). Contudo, a adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ aumentou a área foliar em 9,44, 19,31, 20,86 e 26,10% nos níveis de 25, 50, 75 e 100% de zeólita, respectivamente.

O índice de área foliar apresentou efeito quadrático para as doses de 100 e 150 N ha⁻¹, com índice de 5,99 e 7,28 nas inclusões de 47,10 e 54,07% de zeólita, respectivamente. Além disso, a dose de 150 kg de N ha⁻¹ propiciou o aumento do índice de área foliar em 15,84, 22,29, 24,38 e 26,10% nos níveis de 25, 50, 75 e 100% de zeólita, respectivamente.



Área foliar: $Y_{100N} = -0,2495Z^2 + 25,45Z + 2635,8$; ($R^2 = 0,83$); $Y_{150N} = -0,2938Z^2 + 35,437Z + 2795,8$; ($R^2 = 0,95$)
Índice de área foliar (IAF): $Y_{100N} = -0,0005Z^2 + 0,0471Z + 4,881$; ($R^2 = 0,83$); $Y_{150N} = -0,0007Z^2 + 0,0757Z + 5,2352$; ($R^2 = 0,92$)

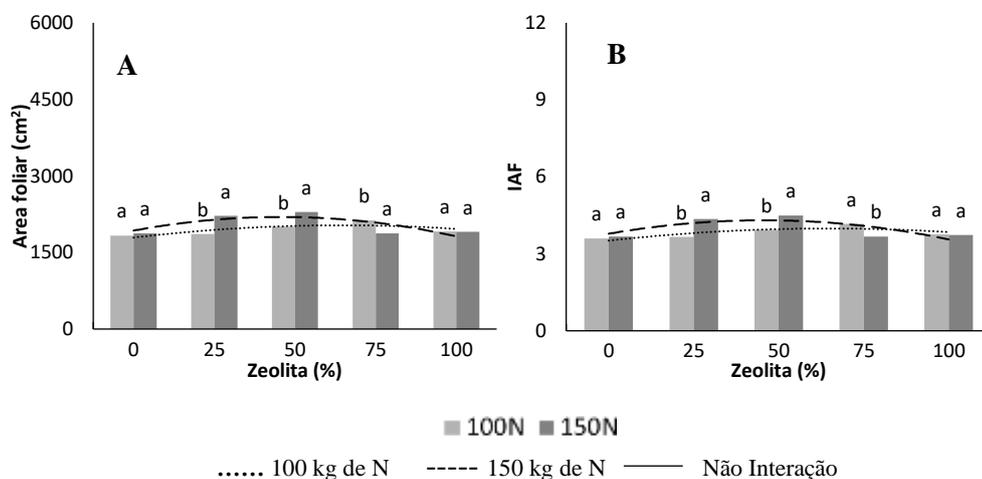
Figura 6. Área foliar (A) e índice de área foliar (IAF) (B) de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita (1º Ciclo).

No segundo, ciclo a área foliar e o índice de área foliar apresentaram interação significativa entre adubação nitrogenada e níveis de zeólita, como demonstrado na figura 7. A inclusão de zeólita proporcionou o efeito quadrático na área foliar de ambas as doses de nitrogênio, com máxima área de 2033,33 e 2196,31 cm² nas inclusões de 64,71 e 45,62 % de zeólita, respectivamente.

A adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ aumentou a área foliar em 19,41 e 14,49% nos níveis de 25 e 50% de zeólita, respectivamente, todavia, para o nível de 75% de zeólita, a dose de 150 kg de N ha⁻¹ ocasionou redução de 11,87% na área foliar. Quando ocorre o suprimento de nitrogênio no solo adequado para absorção pelas plantas ocorre a formação de novas folhas, aumentando área foliar e índice de área foliar, além de permitir a formação de proteínas de reserva que serão acumulados nos tecidos, que poderão serem mobilizados após a desfolha, para a formação de novas folhas durante o crescimento (recuperação foliar) (Dierking *et al.*, 2017).

O índice de área foliar apresentou efeito quadrático para as dose de 100 e 150 kg de N ha⁻¹, com índice de 4,05 e 4,22 nas inclusões de 73,50 e 38,33% de zeólita, respectivamente. A adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ aumentou a área foliar em 19,01 e 14,49% nos níveis de 25 e 50% de zeólita, respectivamente. Entretanto,

para o nível de 75% de zeólita, a dose de 150 kg de N ha⁻¹ ocasionou redução de 11,87% na área foliar.



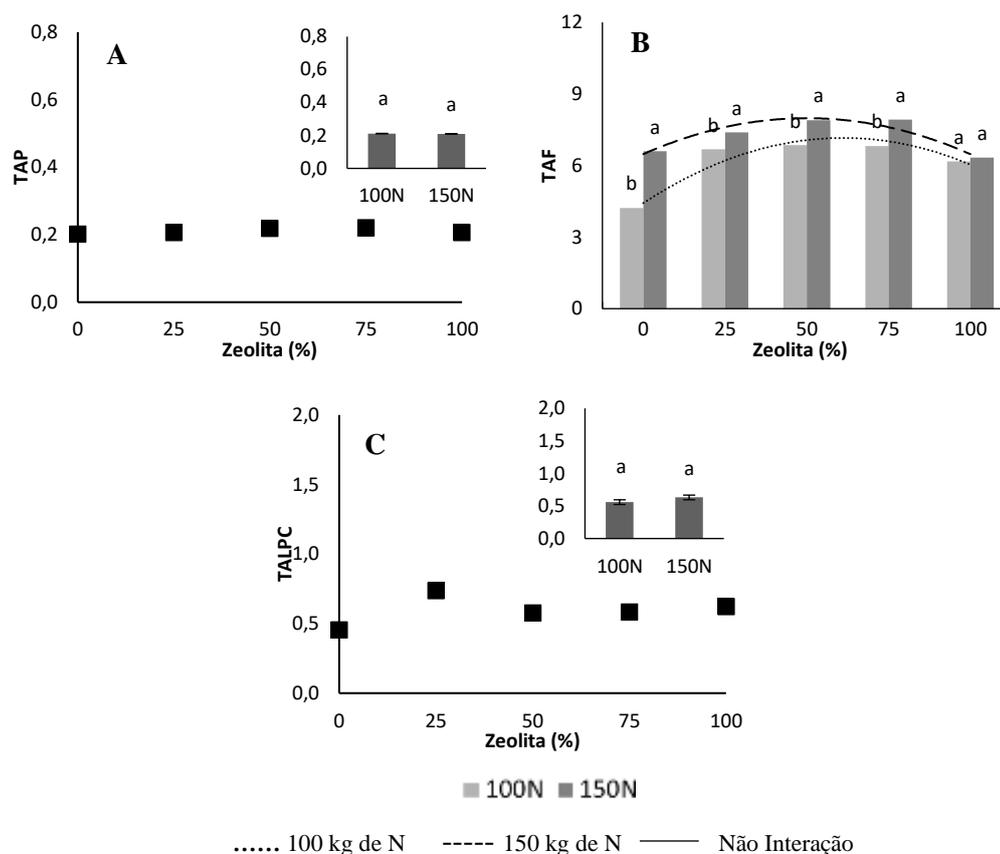
Área foliar: $Y_{100N} = -0,0578x^2 + 7,4805x + 1791,3$; ($R^2 = 0,64$); $Y_{150N} = -0,1286x^2 + 11,735x + 1928,6$; ($R^2 = 0,58$)
 Índice de área foliar (IAF): $Y_{100N} = -0,0001x^2 + 0,0147x + 3,5123$; ($R^2 = 0,64$); $Y_{150N} = -0,0003x^2 + 0,023x + 3,7815$; ($R^2 = 0,58$)

Figura 7. Área foliar (A) e índice de área foliar (IAF) (B) de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita (2º Ciclo).

4.3. Características morfológicas e estruturais

No primeiro ciclo, a interação não foi significativa para a taxa de aparecimento de perfilhos (TAP) e taxa de alongamento do pseudocolmo (TALPC) em função da dose de nitrogênio e níveis de zeólita, e mesmo avaliando de forma independentes verificou que não houve efeito dos fatores sobre estas variáveis (Figura 8).

A taxa de alongamento foliar (TAF) apresentou comportamento quadrático para ambas as doses de nitrogênio, com a taxa máxima de 7,28 e 7,98 cm dia⁻¹ nos níveis de 63,86 e 50,08 % de zeólita, respectivamente. A adubação nitrogenada na dose 150 kg de N aumentou a taxa de alongamento da folha em 56,31, 10,62, 15,40 e 16, 20% nos níveis de 0, 25, 50 e 75 % de zeólita. A taxa de alongamento foliar constitui uma variável importante na análise do fluxo de biomassa, sendo que, conforme aumenta TALF, também ocorre aumento na proporção de folhas, resultando maior área foliar fotossinteticamente ativa e, conseqüentemente, a maior produção de forragem (Lopes, M. A. et al., 2013; Peyraud e Astigarraga, 1998), como demonstrado nos resultados anteriores.



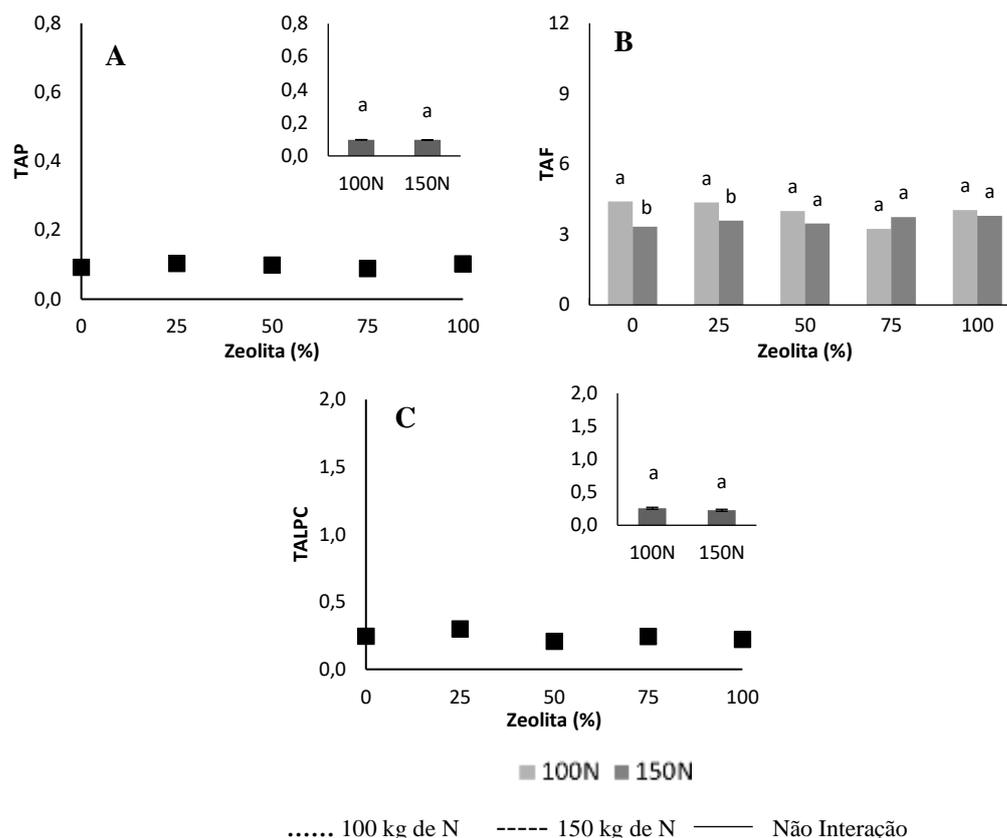
TAP: $Y = 0,21$

TAF: $Y_{100N} = -0,0007Z^2 + 0,0894Z + 4,4261$; ($R^2 = 0,92$); $Y_{150N} = -0,0006Z^2 + 0,0601Z + 6,4797$; ($R^2 = 0,91$)

TALPC: $Y = 0,60$

Figura 8. Taxa de aparecimento de perfilhos (TAP) (A), taxa de alongamento foliar (TAF) (B), e taxa de alongamento do pseudocolmo (TALPC) (C) de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita (1º Ciclo).

No segundo ciclo, a interação não foi significativa para a taxa de aparecimento de perfilhos (TAP) e taxa de alongamento do pseudocolmo (TALPC) em função da dose de nitrogênio e níveis de zeólita, e mesmo avaliando de forma independentes verificou que não houve efeito dos fatores sobre estas variáveis, como demonstrado na figura 9.



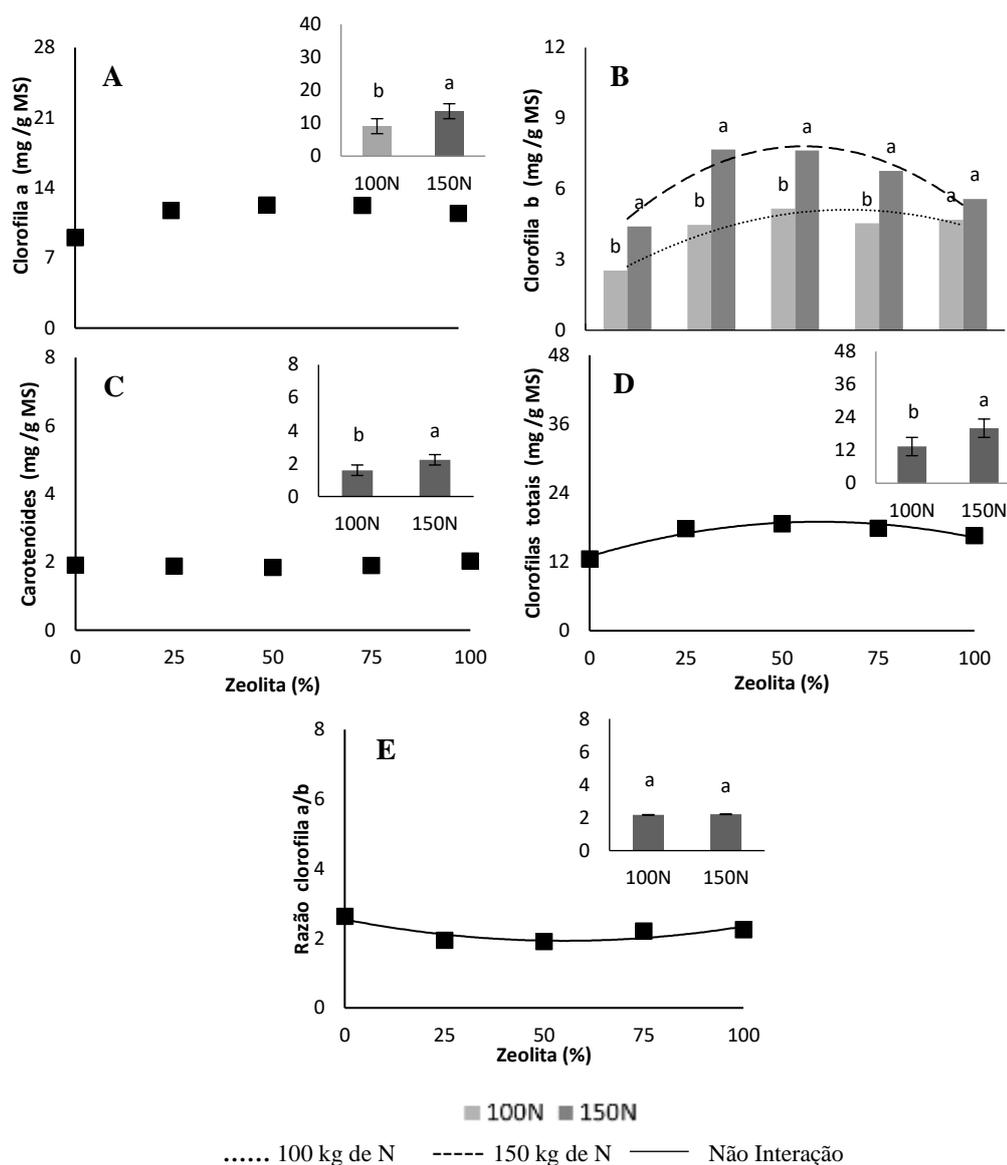
TAP: $Y = 0,10$
 TAF: $Y_{100N} = 4,02$; $Y_{150N} = 3,59$
 TALPC: $Y = 0,24$

Figura 9. Taxa de aparecimento de perfilhos (TAP) (A), taxa de alongamento foliar (TAF) (B) e taxa de alongamento do colmo (TALC) (C) de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita (2º Ciclo).

A taxa de alongamento foliar não foi influenciada pela inclusão de zeólita para ambas doses de adubação. Porém, a adubação nitrogenada na dose 150 kg de N ha⁻¹ reduziu a taxa de alongamento da folha em 24,40 e 17,68% nos níveis de 0 e 25% de zeólita.

4.4. Pigmentos fotossintéticos

Em relação aos pigmentos fotossintéticos, no primeiro ciclo a clorofila *a* carotenoides, clorofilas totais e razão clorofila *a/b* apresentaram interação não significativa entre adubação nitrogenada e níveis de zeólita, exceto a clorofila *b* (Figura 10).



Clorofila a: $Y = 11,35$

Clorofila b: $Y_{100N} = -0,0006Z^2 + 0,0733Z + 2,7102$; ($R^2 = 0,88$); $Y_{150N} = -0,0011Z^2 + 0,117Z + 4,7327$; ($R^2 = 0,88$)

Carotenoides: $Y = 1,91$

Clorofilas totais: $Y = -0,0017Y^2 + 0,2025Y + 12,931$; ($R^2 = 0,93$)

Razão clorofila a/b: $Y = 0,0002Z^2 - 0,0223Z + 2,5419$; ($R^2 = 0,75$)

Figura 10. Teor de clorofila a (A), clorofila b (B) carotenoides (C), clorofilas totais (D) e razão clorofila a/b (E) de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita (1º Ciclo).

A inclusão de zeólita não influenciou o teor de clorofila a, porém a adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ aumentou em 50,08% em comparação a dose de 100 kg de N ha⁻¹. A adubação nitrogenada influencia no aumento da espessura foliar e na concentração pigmentos fotossintéticos, propiciando maior atividade fotossintéticas,

devido ao aumento na interceptação da radiação pelos pigmentos e na eficiência da conversão em biomassa (Cabrera-Bosquet *et al.*, 2009).

Segundo Taiz *et al.*, (2017), a maior parte do nitrogênio envolvido na fotossíntese encontra-se na forma de proteína solúvel, tais como, enzima ribulose 1,5 bifosfato carboxilase/oxigenase (RuBisco), um dos componentes fundamental do processo de regulação do Ciclo Benson-Calvin nos cloroplastos. Além disso, o nitrogênio compõem as estruturas, como as membranas dos tilacoides dos cloroplasto, participa de complexos de proteínas, pigmentos, transportadores de elétrons, além de fazer parte do DNA (Costa *et al.*, 2020).

A inclusão de zeólita propiciou efeito quadrático na clorofila *b* nas dose de 100 e 150 kg de N ha⁻¹ apresentando teor máxima de 4,95 e 7,84 mg, nas inclusões de 61,08 e 53.18% de zeólita, respectivamente. Contudo, a adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ aumentou a o ter de clorofila *b* em 73,68, 71,28, 47,94 e 49,08% nos níveis de 0, 25, 50 e 75% de zeólita, respectivamente.

O teor de carotenoides não foi influenciado pela inclusão de zeólita, porém, a adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ aumentou em 39,77% em comparação a dose de 100 kg de N ha⁻¹. As clorofilas totais apresentaram comportamento quadrático com teor máximo de 19,11 mg no nível de 60,29% de zeólita, contudo adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ aumentou em 49,98% em comparação a dose de 100 kg de N.

A inclusão de zeólita propiciou efeito quadrático a razão clorofila *a/b* com razão mínima de 1,92 no nível de 55,75% de zeólita. A adubação nitrogenada não influenciou esta variável.

Semelhantes a outras variáveis já discutido neste estudo, a inclusão da zeólita possibilitou o efeito quadrático com teores máximos de pigmentos variando entre 50 a 60% de inclusão. A zeólita é capaz de reter o nitrogênio disponível no solo e liberá-lo de forma controlada, o que permite que as plantas tenham acesso ao nutriente conforme sua demanda aumenta. Isso, por sua vez, estimula a fotossíntese e a produção de biomassa, por favorecer a síntese clorofilas e proteínas (Liu *et al.*, 2017). Além disso, absorção de nitrogênio é, portanto, dependente da disponibilidade de produtos da fotossíntese, que são produzidos em maior quantidade quando a zeólita está presente no solo (Palmer, Heichel e Musgrave, 1973).

Em um estudo realizado por Bybordi & Ebrahimian (2013), avaliando efeito da ureia e zeólita em canola ao longo dos anos, observaram que a incorporação da zeólita no solo aumentou o crescimento e produção da canola, além de induzir o aumento da fotossíntese e de proteínas. Entretanto, nesse estudo, também foi observado que o conteúdo de fosforo (P) reduziu devido à aplicação de zeólita no primeiro ano, contudo, no segundo reduziu o teor de potássio e magnésio e aumentou o de zinco, os autores atribui a capacidade de absorve seletivamente as moléculas (peneira molecular), permitindo que a zeólita absorva minerais e aumente a disponibilidade para as plantas.

A inclusão de zeólita propiciou efeito quadrático a razão clorofila *a/b* com razão mínima de 1,92 no nível de 55,75% de zeólita. A adubação nitrogenada não influenciou essa variável. Esse efeito de redução da razão clorofila *a/b* pode ser atribuído aumento do teor de clorofila *b* com uso da zeólita (Figura 10), em consequência da maior disponibilidade de nitrogênio, que possibilitou maiores taxas fotossintéticas e maior área foliar e conseqüentemente, uma maior produção de biomassa.

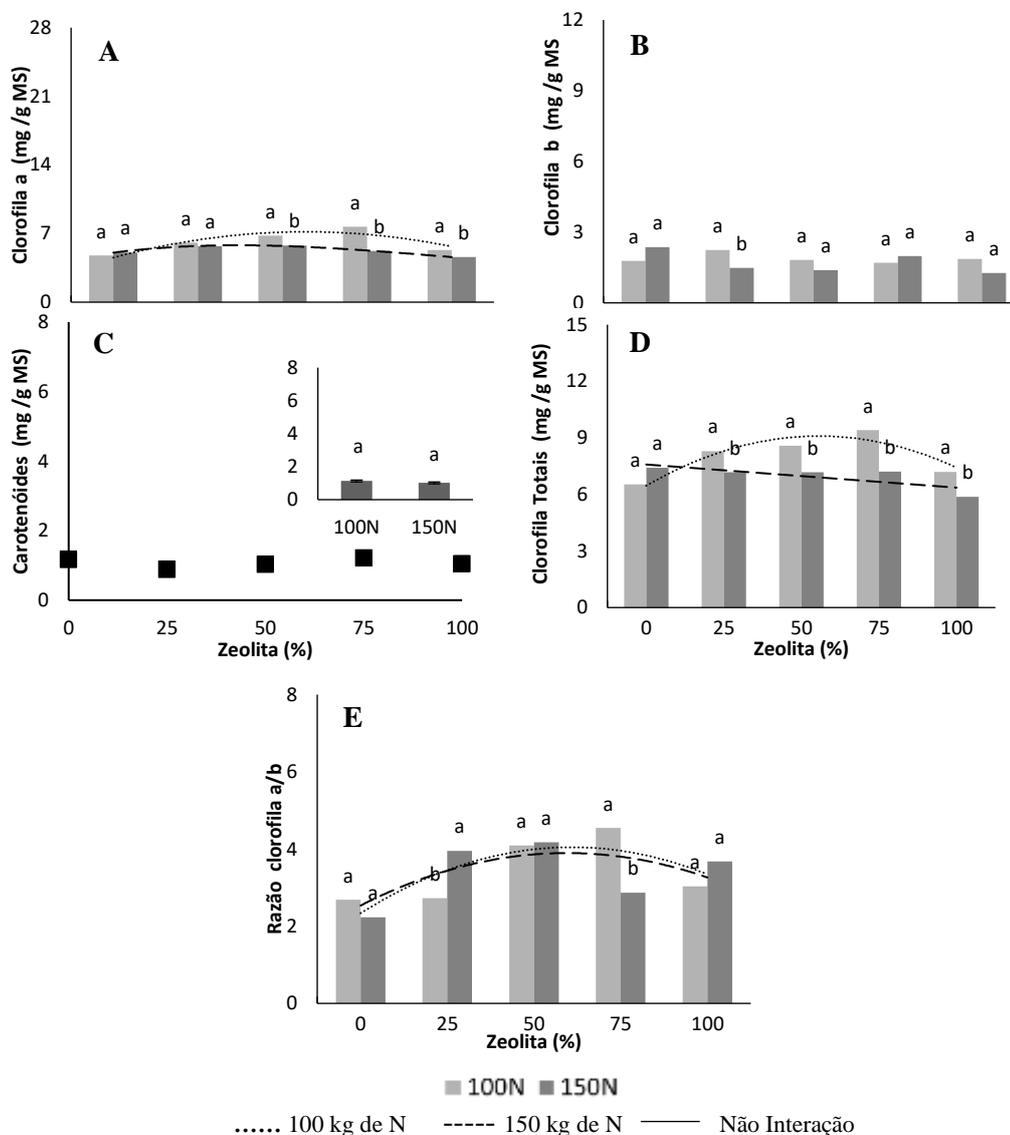
Segundo Taiz et al., (2017), as plantas inteiras é compostas de muitas folhas que fazem sombras umas para outras, sendo assim, em um determinado momento do dia, um pequena parte das folhas estarão exposta ao sol plena, especialmente plantas de copas densas, diante disso as folhas de sombra aumenta a captura de luz, aumentando o teor de clorofilas total e razão mais alta entre clorofila *b* e clorofila *a*.

Além disso, a clorofila *b* é um pigmento coletor de radiação, com absorção máxima de 650 nm, diferente da clorofila *a* que é de 670 nm, no qual possibilitar a captação de energia em outros comprimentos de onda, resultando na maior eficiência na captação de luz, e com a disponibilidade de água e nutrientes suficientes, quanto mais luz a lavoura receber, mais será a produtividade (Taiz *et al.*, 2017).

Segundo Taiz et al., (2017), os pigmentos fotossintéticos são responsáveis pela absorção de energia solar, no qual a planta utilizar esse energia para oxidar a agua, liberando oxigênio, e posteriormente reduz o dióxido de carbono em composto carbonato, principalmente açucares, processo esse denominado fotossíntese.

No segundo ciclo, a clorofila *a*, *b*, totais e razão clorofila *a/b* apresentaram interação significativa entre adubação nitrogenada e níveis de zeólita, exceto os carotenoides (Figura 11). A inclusão de zeólita propiciou efeito quadrático na clorofila *a* nas dose de 100 e 150 kg de N ha⁻¹ apresentando teor máxima de 7,23 e 5,69 mg, nas inclusões de 57,94 e 38,37% de zeólita, respectivamente. Contudo a adubação

nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ reduziu a o ter de clorofila *a* em 14,58, 31,99 e 13,57% nos níveis de 50, 75 e 100% de zeólita, respectivamente.



Clorofila *a*: $Y_{100N} = 0,0008Z^2 + 0,0927Z + 4,543$; ($R^2 = 0,81$); $Y_{150N} = -0,0004Z^2 + 0,0307Z + 5,0996$; ($R^2 = 0,97$)

Clorofila *b*: $Y_{100N} = 1,88$; $Y_{150N} = 1,69$

Carotenóides: $Y = 1,07$

Clorofilas totais: $Y_{100N} = -0,0008Z^2 + 0,0945Z + 6,4611$; ($R^2 = 0,87$); $Y_{150N} = -0,0122Z^2 + 7,5848$; ($R^2 = 0,60$)

Razão clorofila *a/b*: $Y_{100N} = -0,0005Z^2 + 0,0561Z + 2,3384$; ($R^2 = 0,62$); $Y_{150N} = -0,0004Z^2 + 0,0458Z + 2,5359$; ($R^2 = 0,43$)

Figura 11. Teor de clorofila *a* (A), clorofila *b* (B) carotenóides (C), clorofilas totais (D) e razão clorofila *a/b* (E) de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita (2º Ciclo).

O teor de clorofila *b* não foi influenciado pela inclusão de zeólita para ambas doses de nitrogênio. Ainda assim, a adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ reduziu a o ter de clorofila *b* em 34,12% no nível de 25% de zeólita. O teor de carotenoides não foi influenciado pela inclusão de zeólita e nem pela adubação nitrogenada.

A inclusão de zeólita propiciou efeito quadrático na clorofilas totais para dose de 100 kg de N apresentando teor máxima de 9,25 mg, na inclusão de 59,06% de zeólita, e já para a dose de 150 kg de N ha⁻¹ a zeólita propiciou efeito linear decrescente, reduzindo em 0,0122 mg a cada unidade adicionada de zeólita. Porém, a adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ reduziu a o ter de clorofila totais em 13,50, 16,43, 23,29 e 18,36% nos níveis de 25, 50, 75 e 100% de zeólita, respectivamente.

A inclusão de zeólita propiciou efeito quadrático na razão clorofilas *a/b* nas dose de 100 e 150 kg de N ha⁻¹ apresentando razão máxima de 3,91 e 3,85, nas inclusões de 56,10 e 57,25% de zeólita, respectivamente. Entretanto, a adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ aumentou razão clorofilas *a/b* em 44,68 no nível de 25% de zeólita, porém para o nível de 75% de zeólita reduziu a razão em 36,85%. O uso da zeólita possibilitou um melhor aproveitamento da adubação nitrogenada, ocasionando aumento nas taxas de crescimento foliar, devido o efeito da zeólita em reduzir as perdas e liberar de forma gradual o N, aumentando a formação de pigmentos fotossintéticos.

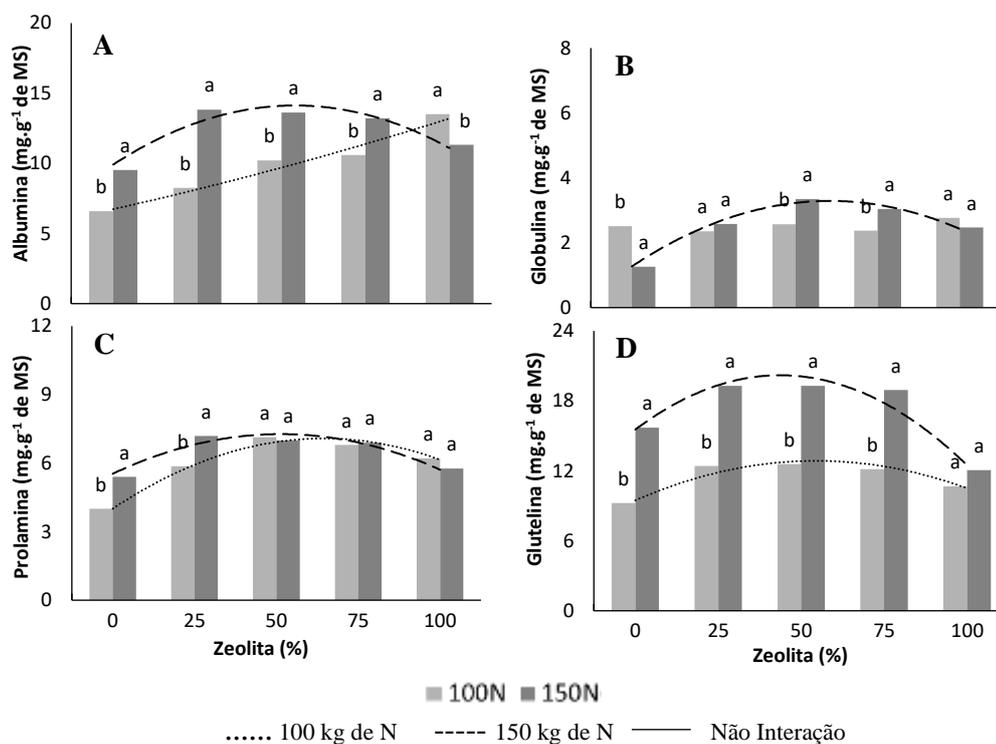
4.5. *Fracionamento do proteínas*

No primeiro ciclo, a concentração da albumina, globulinas, prolamina e glutelina em folhas apresentaram interação significativa entre adubação nitrogenada e níveis de zeólita (Figura 12). A inclusão de zeólita propiciou efeito linear crescente para dose de 100 kg de N ha⁻¹, com aumento de 0,06 mg albumina a cada unidade adicionada de zeólita. Contudo, para a dose de 150 kg de N ha⁻¹, apresentou efeito quadrático, com concentração máxima de 14,24 mg na inclusão de 55,56% de zeólita.

Os resultados da pesquisa mostraram que as plantas adubadas com 150 kg de N ha⁻¹ apresentaram maior concentração de albuminas nas folhas até o nível de associação de 75% de zeólita. No entanto, a inclusão de zeólita em níveis acima de 75% resultou em uma redução na capacidade de aproveitamento do nitrogênio em altas doses, o que levou a uma diminuição na concentração de albuminas.

De acordo com Dierking et al., (2017), a adubação nitrogenada aumenta as concentração de nitrogênio nos tecidos em diferentes partes da plantas, possibilitando

uma maior produtividade de biomassa. Nesse estudo, observou que uso da zeólita possibilitou maior disponibilidade de nitrogênio para absorção, e posterior, aproveitamento para crescimento das plantas, assim como, na formação de proteínas de reservas, como demonstrado na figura 12.



Albumina: $Y_{100N} = 0,0646Z + 6,5983$ ($R^2 = 0,96$); $Y_{150N} = -0,0014Z^2 + 0,1556Z + 9,9177$ ($R^2 = 0,90$).

Globulina: $Y_{100N} = 2,52$; $Y_{150N} = -0,0006Z^2 + 0,0667Z + 1,271$; ($R^2 = 0,99$).

Prolamina: $Y_{100N} = -0,0007Z^2 + 0,0954Z + 4,0075$; ($R^2 = 0,98$); $Y_{150N} = -0,0007Z^2 + 0,0676Z + 5,5345$; ($R^2 = 0,91$).

Glutelina: $Y_{100N} = -0,0011Z^2 + 0,1242Z + 9,4713$ ($R^2 = 0,94$); $Y_{150N} = -0,0024x^2 + 0,2131x + 15,542$; ($R^2 = 0,95$)

Figura 12. Teores de albuminas (A), globulinas (B), prolaminas (C) e glutelinas (D) em folhas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita (1º Ciclo).

Segundo Ourry et al., (1994), as reservas nitrogenadas caracterizam-se exclusivamente como proteínas e aminoácidos, devido as plantas priorizarem o uso de compostos ou esqueletos carbônicos (aminoácidos e proteínas), já sintetizados para formação de novos tecidos, em vez do uso de fontes inorgânicas, no qual seria necessário a incorporação, processo que ocasionaria maior gasto energético em um momento de maior demanda energética, que é a recuperação foliar.

Destarte, como as demais variáveis avaliadas neste estudo, o uso da zeólita possibilitou maior eficiência da adubação nitrogenada. A adubação nitrogenada atua tanto na fase fotoquímica, com o aumento dos pigmentos fotossintéticos (Taiz *et al.*, 2017), quando na fase bioquímica pelo aumento da atividade e síntese de enzimas (Cabrera-Bosquet *et al.*, 2009). De acordo com a classificação de Osborne (1924), as albuminas são grupos de proteínas solúveis em água, que correspondem nas plantas a maioria das enzimas.

A inclusão de zeólita não influenciou o teor de globulina em folhas na dose de 100kg de N ha⁻¹, enquanto para a dose de 150 kg de N ha⁻¹ a inclusão de zeólita propiciou efeito quadrático, com máximo teor de 3,12 mg de globulina na inclusão de 55,58% de zeólita. A adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ reduziu o teor de globulina em 49,78 na inclusão de 0% de zeólita, porém propiciou o aumento de 30,15 e 28,00%, para os níveis de 50 e 75% de zeólita, respectivamente.

As globulinas são grupo de proteínas solúveis em soluções salinas formando o grupo de proteínas presentes nas membranas (Osborne, 1924). Segundo Taiz *et al.*, (2017), esse grupo de proteínas refere-se aos corpos proteicos ligados à membrana, atuando na recepção e transporte de nutrientes entre ambiente externo e interno da célula. Com maior disponibilidade de nitrogênio, possibilitar maior formação de cloroplasto, especificamente nas membranas dos tilacoides, local onde ocorre a fotossíntese, possuindo elevada quantidade de proteínas essenciais para que ocorra a fotossíntese (Taiz *et al.*, 2017).

A inclusão de zeólita propiciou efeito quadrático no teor de prolamina em folhas nas doses de 100 e 150 kg de N ha⁻¹, apresentando teor máximo de 7,26 e 7,17mg, nas inclusões de 68,14 e 48,28 % de zeólita, respectivamente. A adubação nitrogenada na dose 150 kg de N ha⁻¹ aumentou o teor de prolamina em 34,55 e 22,70% nos níveis de 0 e 25% de zeólita. É importante ressaltar que a adição de zeólita acima de 25% melhorou a síntese de prolamina nas folhas do capim-marandu na dose de 100 kg de N ha⁻¹. Nesse estudo, o uso de zeólita variando entre 50 a 70% de inclusão, possibilitou maior eficiência da adubação nitrogenada, ocasionando o aumento na síntese de prolamina em todos os órgãos do capim marandu, em consequência da maior disponibilidade de nitrogênio disponível no solo. Visto que as prolamina representam o grupo de proteínas solúvel em álcool formando o grupo de proteínas de armazenamento (Osborne, 1924), estas serão as principais fonte de nitrogênio no qual serão utilizadas pelas plantas durante o processo de

germinação e na fase inicial de crescimento antes de que a fotossíntese esteja estabelecida (D'Ovidio e Masci, 2004).

O teor de glutelina em folhas apresentou efeito quadrático nas doses de 100 e 150 kg de N ha⁻¹ apresentando teor máximo de 12,98 e 20,27 mg, nas inclusões de 56,45 e 44,39% de zeólita, respectivamente. A dose de 150 kg de N ha⁻¹ resultou em uma maior concentração desse grupo proteico, observada até o nível de inclusão de 75% de zeólita. No entanto, é importante ressaltar que uma alta concentração de zeólita no solo pode prejudicar a disponibilidade de N para a planta, devido à maior retenção do nitrogênio. As glutelinas são solúveis em solução ácida e/ou básica formando o grupo de proteínas estruturais (Osborne, 1924). Adubação nitrogenada aliado a inclusão de zeólita ocasionou altas taxas de crescimento foliar devido maior disponibilidade de nitrogênio no solo para posterior absorção e aproveitamento pela planta. Como citado anteriormente, a glutelina é proteína estrutural, promovendo resistência e sustentação estrutural aos tecidos das plantas.

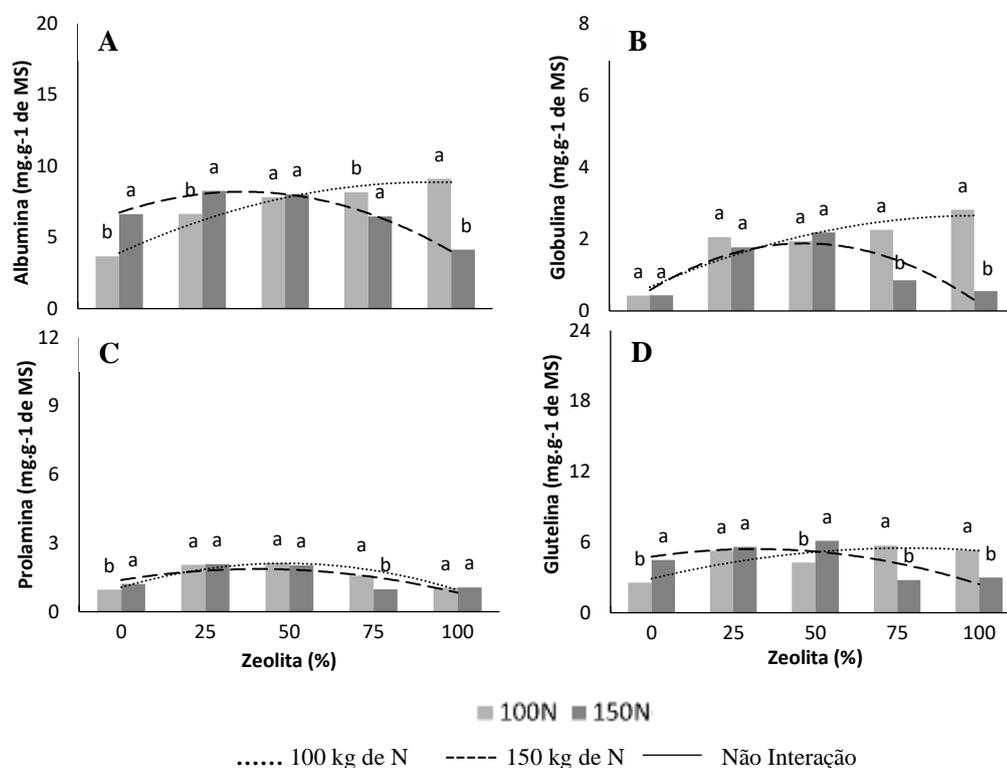
Observa-se que as albuminas são o maior grupo de proteínas encontradas nas folhas do capim-marandu, isso porque, tanto a rubisco como a PEP-case são solúveis em água. Ambas são enzimas envolvidas na fotossíntese e são encontradas nas folhas das plantas, dissolvidas no líquido das células chamado citosol.

No segundo ciclo, a concentração albumina, globulinas prolamina e glutelina em folhas apresentaram interação significativa entre adubação nitrogenada e níveis de zeólita (Figura 13).

A inclusão de zeólita propiciou efeito quadrático no teor de albumina em folhas nas doses de 100 e 150 kg de N ha⁻¹ apresentando teor máximo de 8,54 e 8,15mg, nas inclusões de 87,92 e 35,95% de zeólita, respectivamente. A adubação nitrogenada na dose 150 kg de N ha⁻¹ aumentou o teor de albumina em 80,29 e 24,36% nos níveis de 0 e 25% de zeólita, exceto nos níveis de 75 e 100%, ocasionando redução de 20,74 e 54,63% da albumina.

O teor de globulina apresentou efeito quadrático para as dose de 100 e 150 kg de N ha⁻¹, com máximo teor de 2,60 e 1,82 mg nas inclusões de 98,50 e 45,58% de zeólita, respectivamente. A adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ reduziu o teor de globulina em 62,00 e 80,47% nos níveis de 75 e 100% de zeólita. A inclusão de zeólita propiciou efeito quadrático no teor de prolamina em folhas nas doses de 100 e 150 kg de N ha⁻¹ apresentando teor máximo de 2,23 e 1,85mg, nas inclusões de 53,87 e 39,50% de

zeólita, respectivamente. A adubação nitrogenada na dose 150 kg de N ha⁻¹ aumentou o teor de albumina em 25,18% no nível de 0% de zeólita, porém, para o nível de 75% de zeólita, ocasionou redução de 37,85% da prolamina.



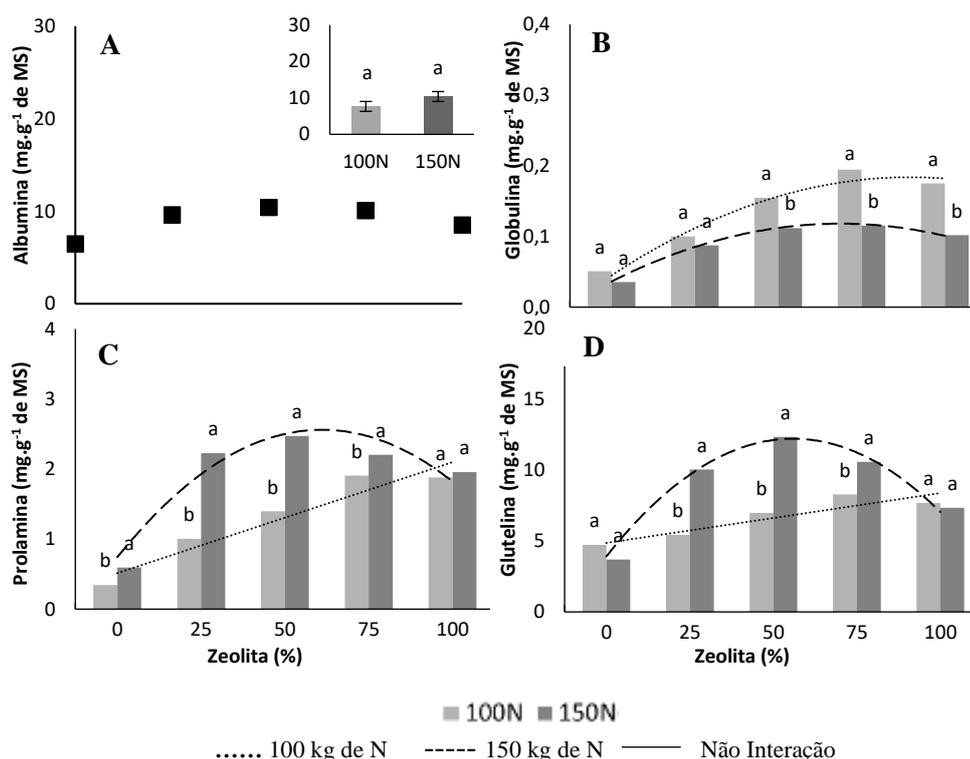
Albumina: $Y_{100N} = -0,0006x^2 + 0,1055x + 3,9049$ ($R^2 = 0,97$); $Y_{150N} = 0,0011x^2 + 0,0791x + 6,7291$ ($R^2 = 0,99$).
 Globulina: $Y_{100N} = -0,0002x^2 + 0,0394x + 0,6614$ ($R = 0,85$); $Y_{150N} = -0,0006x^2 + 0,0547x + 0,5783$; ($R^2 = 0,78$).
 Prolamina: $Y_{100N} = -0,0004x^2 + 0,0431x + 1,0655$; ($R^2 = 0,91$); $Y_{150N} = -0,0003x^2 + 0,0237x + 1,3873$; ($R^2 = 0,57$).
 Glutelina: $Y_{100N} = -0,0004x^2 + 0,0669x + 2,8945$ ($R^2 = 0,71$); $Y_{150N} = -0,0006x^2 + 0,0409x + 4,7642$; ($R^2 = 0,63$)

Figura 13. Teores de albuminas (A), globulinas (B), prolaminas (C) e glutelinas (D) em folhas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita (2º Ciclo).

O teor de glutelina apresentou efeito quadrático para as dose de 100 e 150 kg de N ha⁻¹, com teor máximo de 5,69 e 5,46mg nas inclusões de 83,62 e 34,08% de zeólita, respectivamente. A adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ aumentou o teor de glutelina em 78,12, 43,10% nos níveis de 0 e 50% de zeólita, porem para os níveis de 75 e 100% de zeólita, ocasionou redução de 51,29 e 43,88% da glutelina.

No primeiro ciclo, a concentração globulinas, prolamina e glutelina em caule apresentaram interação significativa entre adubação nitrogenada e níveis de zeólita, como demonstrado na figura 14. Não houve efeito da interação e dos fatores isolados sobre o

teor de albumina em caule. A inclusão de zeólita propiciou efeito quadrático no teor de globulinas em caule nas doses de 100 e 150 kg de N ha⁻¹ apresentando teor máximo de 0,16 e 0,11 mg, nas inclusões de 77,5 e 60% de zeólita, respectivamente. A adubação nitrogenada na dose 150 kg de N ha⁻¹ reduziu o teor de globulina em 27,58, 40,67 e 41,80% nos níveis de 50, 75 e 100% de zeólita.



Albumina: $Y = 9,02$

Globulina: $Y_{100N} = -2E-05Z^2 + 0,0031Z + 0,0449$; ($R^2 = 0,97$); $Y_{150N} = -2E-05Z^2 + 0,0024Z + 0,0363$ ($R^2 = 0,99$)

Prolamina: $Y_{100N} = 0,0159x + 0,5126$; ($R^2 = 0,92$); $Y_{150N} = -0,0005Z^2 + 0,0596Z + 0,7412$; ($R^2 = 0,91$)

Glutelina: $Y_{100N} = 0,0352Z + 4,8743$; ($R^2 = 0,85$); $Y_{150N} = -0,0027Z^2 + 0,2973Z + 3,9232$; ($R^2 = 0,98$)

Figura 14. Teores de albuminas (A), globulinas (B), prolaminas (C) e glutelinas (D) em colmo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita (1º Ciclo).

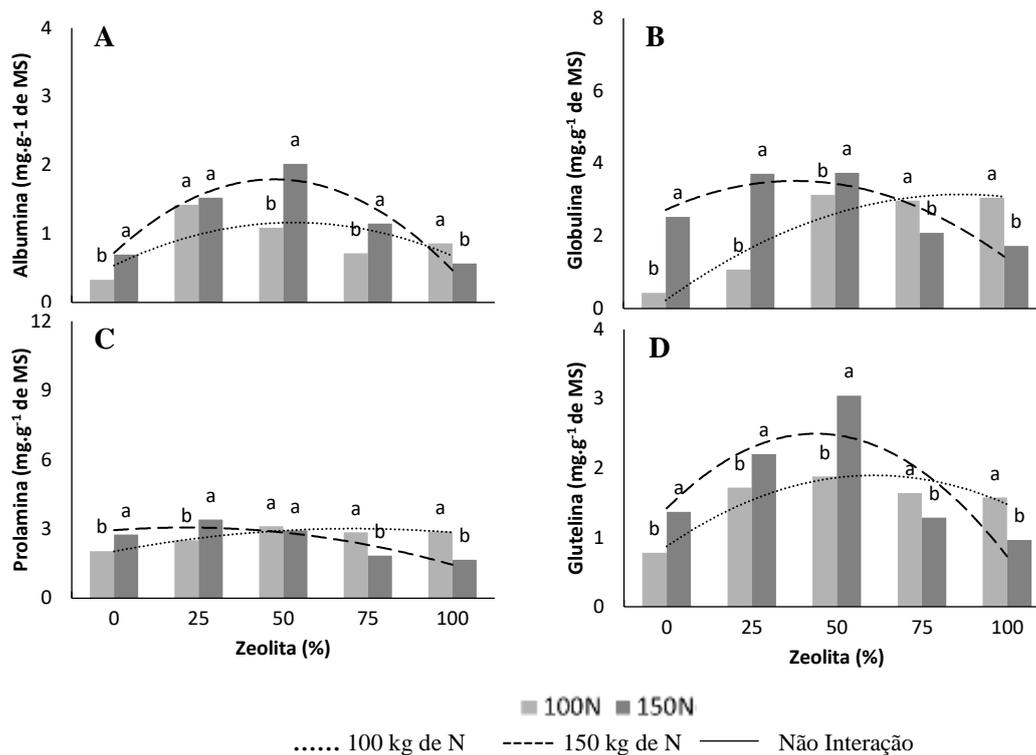
O teor de prolamina apresentou efeito linear crescente para as dose de 100 kg de N, com aumento de 0,0159 mg a cada unidade adicionada de zeólita. Contudo para a dose de 150 kg de N ha⁻¹, apresentou efeito quadrático, com concentração máxima de 2,52 mg na inclusão de 59,60% de zeólita. A adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹

aumentou a prolamina em colmo em 72,51, 121,85, 76,92 e 15,68 % nos níveis de 0, 25, 50 e 75% de zeólita. O teor de glutelina apresentou efeito linear crescente para as doses de 100 kg de N ha⁻¹, com aumento de 0,0352 mg a cada unidade adicionada de zeólita. Porém, para a dose de 150 kg de N ha⁻¹, apresentou efeito quadrático, com concentração máxima de 12,11 mg na inclusão de 55,06% de zeólita. A adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ aumentou a glutelina em colmo em 84,54, 76,91 e 27,63% nos níveis de 25, 50 e 75% de zeólita.

O aumento na disponibilidade de nitrogênio leva ao acúmulo de proteínas de reserva não apenas nas folhas, mas também em outros órgãos como o caule e a raiz. Quando as folhas são removidas durante a desfolhação, as proteínas armazenadas nesses órgãos são mobilizadas para formar novas folhas durante a rebrota. O estudo mostrou que a inclusão de zeólita de 50 a 70% aumentou a disponibilidade de nitrogênio para as plantas, o que resultou em maior síntese de proteínas de reserva. Isso permitiu que as proteínas de reserva fossem usadas como fonte de nitrogênio para a formação de novos tecidos durante a rebrota, reduzindo a quantidade de proteínas de reserva disponíveis no segundo ciclo após a desfolhação.

No segundo ciclo, a concentração albumina, globulinas, prolamina e glutelina em colmo apresentaram interação significativa entre adubação nitrogenada e níveis de zeólita (Figura 15). A inclusão de zeólita propiciou efeito quadrático no teor de albumina em colmo nas doses de 100 e 150 kg de N ha⁻¹ apresentando teor máximo de 1,23 e 1,75 mg, nas inclusões de 58,75 e 45,30 % de zeólita, respectivamente. A adubação nitrogenada na dose 150 kg de N ha⁻¹ aumentou o teor de albumina em 109,59, 85,04 e 60,59% nos níveis de 0, 50 e 75% de zeólita, exceto no nível de 100%, ocasionando redução de 34,03% da albumina.

O teor de globulina em colmos apresentou efeito quadrático nas doses de 100 e 150 kg de N ha⁻¹ apresentando teor máximo de 3,02 e 3,83 mg, nas inclusões de 83,50, 47,10 % de zeólita, respectivamente. A adubação nitrogenada na dose 150 kg de N ha⁻¹ aumentou o teor de globulinas em 482,00, 246,38 e 19,30 % nos níveis de 0, 25 e 50 % de zeólita, porem para os níveis de 75 e 100%, esta ocasionou redução de 29,85 e 43,45% da globulinas.



Albumina: $Y_{100N} = -0,0002x^2 + 0,0235x + 0,5384$; ($R^2 = 0,42$); $Y_{150N} = -0,0005x^2 + 0,0453x + 0,7208$ ($R^2 = 0,91$)
 Globulina: $Y_{100N} = -0,0004x^2 + 0,0668x + 0,2274$; ($R^2 = 0,90$); $Y_{150N} = -0,0005x^2 + 0,0417x + 2,7202$ ($R^2 = 0,77$)
 Prolamina: $Y_{100N} = -0,0002x^2 + 0,0279x + 2,0275$; ($R^2 = 0,90$); $Y_{150N} = -0,0003x^2 + 0,0109x + 2,9467$; ($R^2 = 0,80$)
 Glutelina: $Y_{100N} = -0,0003x^2 + 0,0336x + 0,8701$; ($R^2 = 0,88$); $Y_{150N} = -0,0006x^2 + 0,0492x + 1,4173$; ($R^2 = 0,71$)

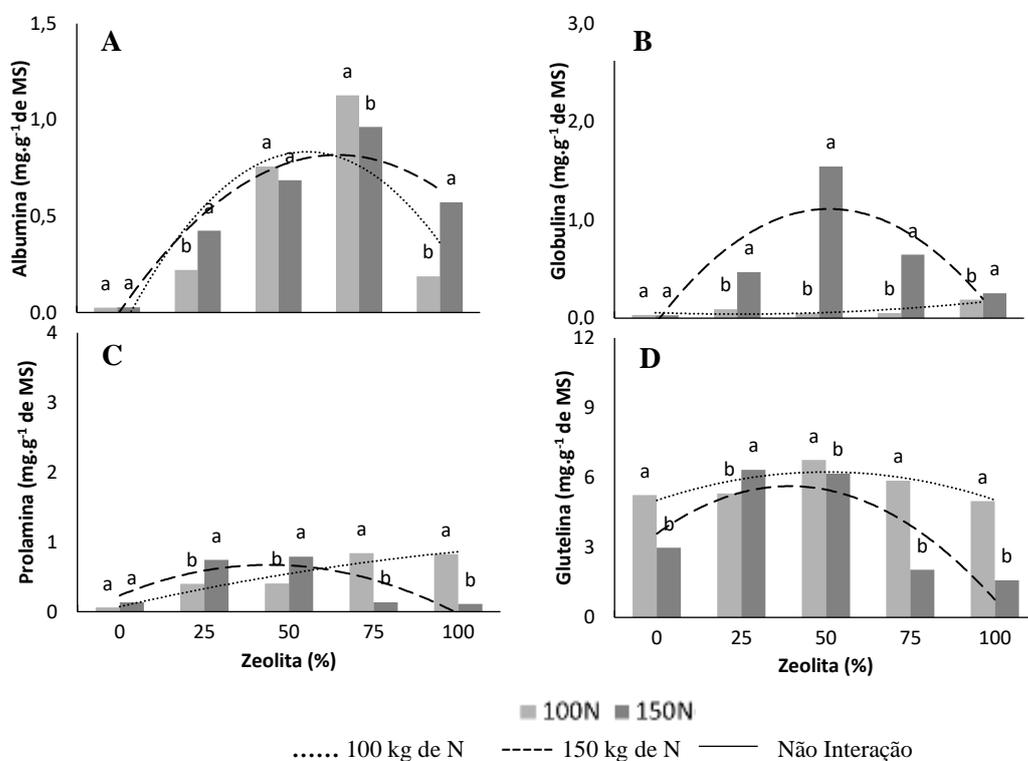
Figura 15. Teores de albuminas (A), globulinas (B), prolaminas (C) e glutelinas (D) em colmo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita (2^o Ciclo).

A inclusão de zeólita propiciou efeito quadrático para prolamina no colmo nas dose de 100 e 150 kg de N ha⁻¹ apresentando teor máxima de 3,13 e 3,04 mg, nas inclusões de 74,24 e 18,17% de zeólita, respectivamente. Contudo, a adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ aumentou a prolamina no colmo em 35,07 e 35,65% nos níveis de 0 e 25% de zeólita, respectivamente, exceto nos níveis de 75 e 100%, ocasionando redução de 35,46 e 42,39% da prolamina.

O teor de glutelina em colmos apresentou efeito quadrático nas doses de 100 e 150 kg de N ha⁻¹ apresentando teor máximo de 1,81 e 2,42 mg, nas inclusões de 56,00 e 41,00 % de zeólita, respectivamente. A adubação nitrogenada na dose 150 kg de N ha⁻¹ aumentou o teor de globulinas em 75,97, 28,37 e 62,01 % nos níveis de 0, 25 e 50 % de

zeólita, porém, para os níveis de 75 e 100%, esta ocasionou redução de 21,68 e 38,82% da globulinas.

No segundo ciclo, a concentração albumina, globulinas, prolamina e glutelina em raiz, apresentaram interação significativa entre adubação nitrogenada e níveis de zeólita (Figura 16). O teor de albumina em colmos apresentou efeito quadrático nas doses de 100 e 150 kg de N ha⁻¹ apresentando teor máximo de 1,02 e 0,75 mg, nas inclusões de 54,67 e 61,00 % de zeólita, respectivamente. A adubação nitrogenada na dose 150 kg de N ha⁻¹ aumentou o teor de albumina em 92,42% no nível de 25% de zeólita, exceto nos níveis de 75 e 100%, ocasionando redução de 14,57 e 204, 51% da albumina.



Albumina: $Y_{100N} = -0,0003x^2 + 0,0328x - 0,1315$; ($R^2 = 0,67$); $Y_{150N} = -0,0002x^2 + 0,0244x - 0,0142$; ($R^2 = 0,92$)

Globulina: $Y_{100N} = 2E-05x^2 - 0,0011x + 0,056$; ($R^2 = 0,64$); $Y_{150N} = -0,0004x^2 + 0,0441x - 0,0559$; ($R^2 = 0,73$)

Prolamina: $Y_{100N} = -0,0079x + 0,1123$; ($R^2 = 0,89$); $Y_{150N} = -0,0002x^2 + 0,0199x + 0,2326$; ($R^2 = 0,65$)

Glutelina: $Y_{100N} = -0,0013x^2 + 0,1039x + 3,5942$; ($R^2 = 0,70$); $Y_{150N} = -0,0005x^2 + 0,0484x + 5,0275$; ($R^2 = 0,64$)

Figura 16. Teores de albuminas (A), globulinas (B), prolaminas (C) e glutelinas (D) em raiz de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita (2° Ciclo)

O teor de globulina em colmos, apresentou efeito quadrático com concentração mínima de 0,10 mg na inclusão de 27,50% de zeólita para a dose 100kg de N ha⁻¹,

contudo, para a dose de 150 kg de N ha⁻¹ apresentou teor máximo de 1,27 mg, na inclusão de 55,12% de zeólita. A adubação nitrogenada na dose 150 kg de N aumentou o teor de globulinas em 409,32, 2979,39, 1138,56 e 35,05% nos níveis de 25, 50, 75 e 100 % de zeólita.

O teor de prolamina apresentou efeito linear crescente para a dose de 100 kg de N ha⁻¹, com aumento de 0,0079 mg a cada unidade adicionada de zeólita. Entretanto, para a dose de 150 kg de N ha⁻¹, apresentou efeito quadrático, com concentração máxima de 0,73 mg na inclusão de 49,75% de zeólita. A adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ aumentou a prolamina em raiz em 123,24 85,20 e 95,73 % nos níveis de 0, 25 e 50 % de zeólita, respectivamente, exceto nos níveis de 75 e 100%, ocasionando redução de 83,98 e 86,55% da prolamina.

O teor de glutelina em raiz apresentou efeito quadrático nas doses de 100 e 150 kg de N ha⁻¹ apresentando teor máximo de 6,20 e 5,67 mg, nas inclusões de 48,40 e 39,96% de zeólita, respectivamente. A adubação nitrogenada na dose 150 kg de N ha⁻¹ reduziu o teor de glutelina em 43,02, 8,60, 65,11 e 67,99 % nos níveis de 0, 50, 75 e 100 % de zeólita, porem para o nível de 25%, ocasionou aumento de 19,19% da glutelina.

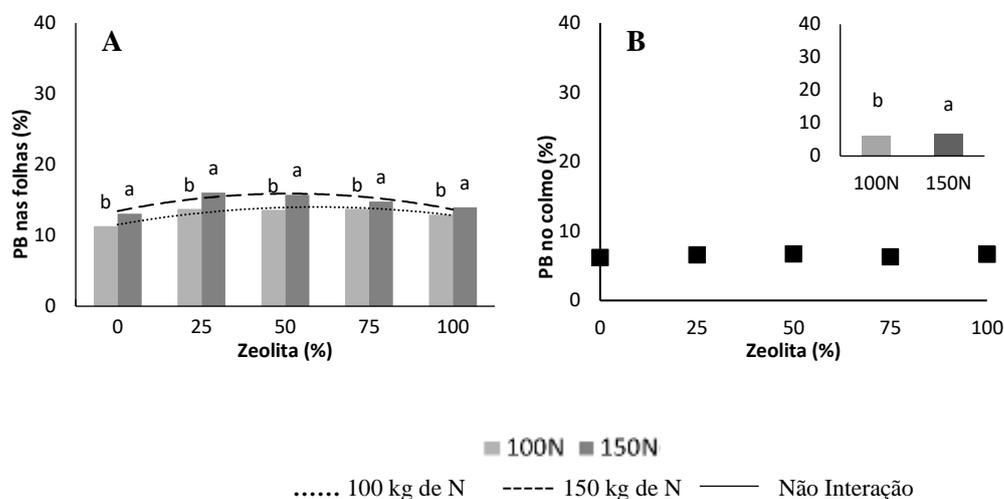
A adubação nitrogenada aumentou o acúmulo de aminoácidos e proteínas nos órgãos de armazenamento da planta, além de possibilitar o aumento das taxas de crescimento após o corte. Após a desfolha a absorção de nitrato e amônio do solo pelas gramíneas tropicais é reduzido pela desfolha, diante disso, a planta pode mobilizar as reservas de nitrogênio do bainha foliar (pseudocolmo) e das raízes para regenerar as laminas foliares (Avice *et al.*, 1996; Dierking *et al.*, 2017).

4.5. Características bromatológicas

No primeiro ciclo, os teores de proteína bruta (PB) nas folhas apresentaram interação significativa entre adubação nitrogenada e níveis de zeólita, exceto para proteína bruta no colmo (Figura 17).

A inclusão de zeólita propiciou efeito quadrático para proteína bruta nas folhas nas doses de 100 e 150 kg de N ha⁻¹ apresentando teor máximo de 14,04 e 16,02%, nas inclusões de 59,86 e 53,44% de zeólita, respectivamente. Independente dos níveis de zeólita, as plantas adubadas com 150 kg de N ha⁻¹ apresentaram maior teor de proteína bruta nas folhas.

A adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ possibilitou aumento de 9,19% na proteína bruta do colmo.



PB em folhas: $Y_{100N} = 0,0007x^2 + 0,0838x + 11,529$ ($R^2 = 0,0,87$); $Y_{150N} = -0,0009x^2 + 0,0962x + 13,44$ ($R^2 = 0,80$).
 PB em colmo: $Y = 6,50$

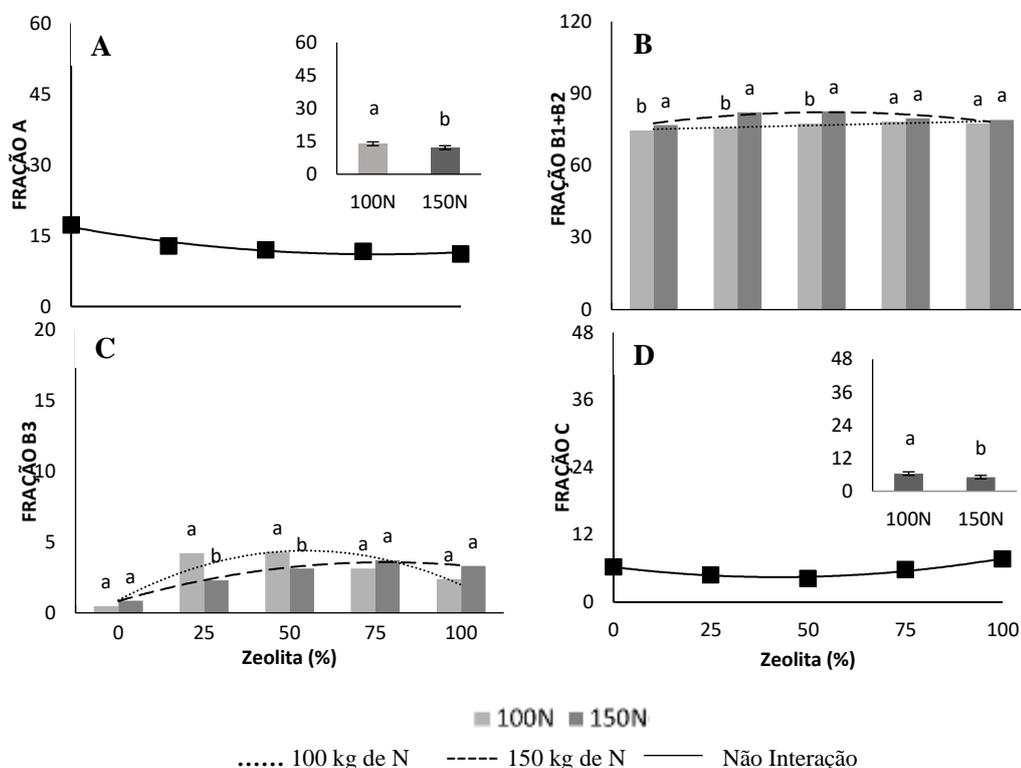
Figura 17. Teores de proteína bruta (PB) em folhas (A) e em colmo (B) de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita.

O teor de proteína bruta pode crescer com aumento da taxa adubação nitrogenada, devido à maior síntese de aminoácidos e proteínas. Os teores de PB máximos, encontrados neste estudo, foram semelhante ao estudo de Delevatti et al., (2019), que encontrou 16,7% em capim marandu adubado 270 kg de N ha⁻¹

Em um estudo realizado, Delevatti et al., (2019), no qual avaliaram o efeito do aumento das doses de nitrogênio (0, 90, 180 e 270 kg de N.ha⁻¹. ano⁻¹, em pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistema de pastejo contínuo ao longo de três anos, observaram que a produção de forragem, proteína bruta, taxa de acúmulo de forragem, taxa de lotação, ganho médio diário aumentaram com aumento dose de nitrogênio, além disso, a fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) e a eficiência do uso do nitrogênio reduziu com aumento da dose de nitrogênio.

No primeiro ciclo, a fração A e a fração C em folhas apresentaram interação não significativa entre adubação nitrogenada e níveis de zeólita, exceto fração B1 + B2 e fração B3 (Figura 18). A fração A foi influenciada pela inclusão da zeólita, apresentando

efeito quadrático, com teor mínimo de 10,81 % na inclusão de 81,78 % de zeólita, além disso a adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ reduziu em 12,56 % a fração A.



FRAÇÃO A: $Y = 0,0009x^2 - 0,1472x + 16,827$; ($R^2 = 0,93$);
 FRAÇÃO B1 +B2: $Y_{100N} = -0,0333x + 75,161$; ($R^2 = 0,76$); $Y_{150N} = 0,0017x^2 + 0,1772x + 77,64$; ($R^2 = 0,74$).
 FRAÇÃO B3: $Y_{100N} = -0,0012x^2 + 0,1282x + 0,8968$; ($R^2 = 0,83$); $Y_{150N} = -0,0005x^2 + 0,0704x + 0,8356$; ($R^2 = 0,99$).
 FRAÇÃO C: $Y = 0,001x^2 - 0,0848x + 6,2492$; ($R^2 = 0,97$);

Figura 18. Fração A (A), fração B1 + B2 (B), fração B3 (C) e fração C (D) em folhas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita.

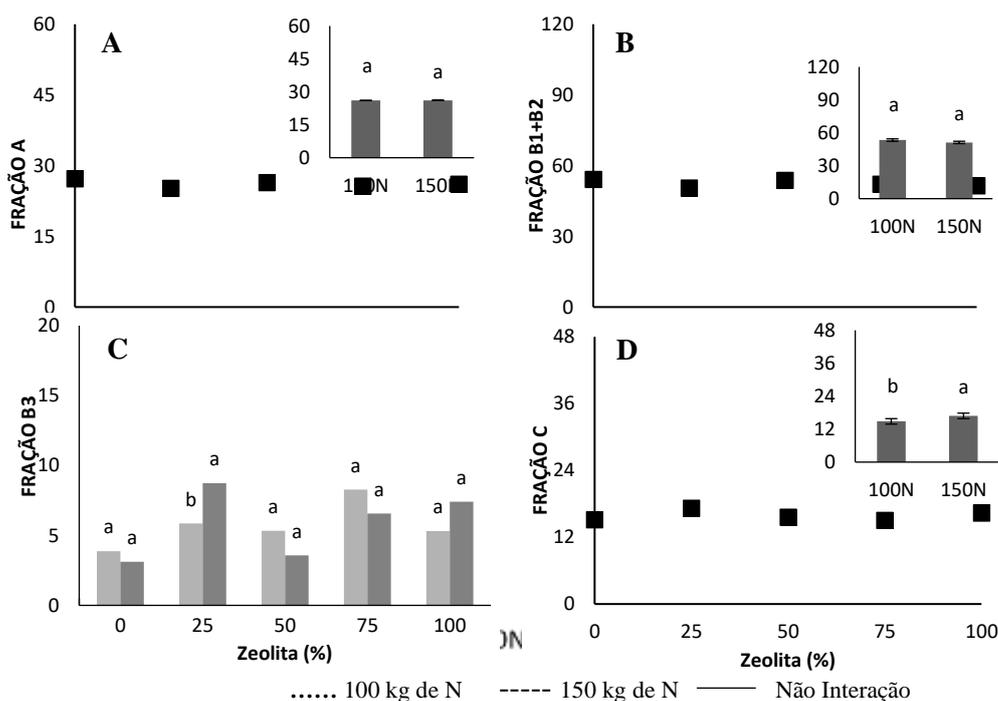
Para a dose de 100 kg de N, a fração B1 + B2 apresentou efeito linear crescente com aumento de 0,0333 % a cada unidade de zeólita adicionada, enquanto para dose de 150 kg de N ha⁻¹, a inclusão de zeólita propiciou efeito quadrático, com teor máximo de 82,26 % na inclusão de 52,12 % de zeólita. A adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ aumentou em 3,03, 8,38 e 6,49 % nos níveis de 0, 25 e 50 % de zeólita.

A inclusão de zeólita propiciou efeito quadrático para a fração B3 nas dose de 100 e 150 kg de N ha⁻¹ apresentando teor máximo de 4,32 e 3,31%, nas inclusões de 53,42 e 70,40 % de zeólita, respectivamente. Porém, a adubação nitrogenada na dose de 150 kg

de $N\ ha^{-1}$ reduziu a fração B3 em 45,59 no nível de 25 % de zeólita. A fração C foi influenciada pela inclusão da zeólita, apresentando efeito quadrático, com teor mínimo de 4,45 % na inclusão de 42,40 % de zeólita, além disso, a adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N reduziu em 20,05 % a fração C.

No primeiro ciclo Fração A, fração B1 + B2 e fração C no colmo apresentaram interação não significativa entre adubação nitrogenada e níveis de zeólita, exceto a fração B3. A fração A e fração B1 + B2 não foram influenciadas pelos fatores estudados exceto a fração C que foi influenciado somente pela adubação nitrogenada no qual a dose de 150 kg de N aumentou em 13,50% (Figura 19).

A inclusão de zeólita não influenciou ao fração B3 nas dose de 100 e 150 kg de $N\ ha^{-1}$. Todavia, a adubação nitrogenada na dose de 150 kg de $N\ ha^{-1}$ aumentou a fração B3 em 48,89 % no nível de 25% de zeólita.



FRAÇÃO A: $Y = 26,05$;

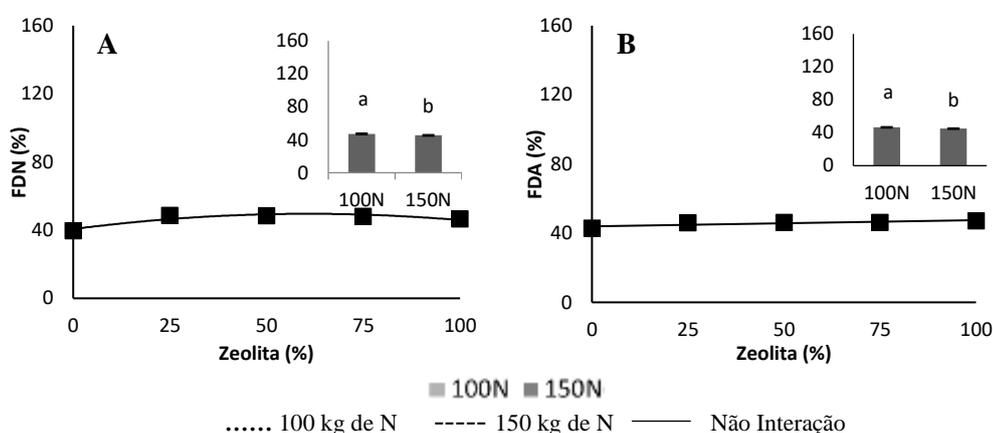
FRAÇÃO B1 +B2: $Y = 52,29$;

FRAÇÃO B3: $Y_{100N} = 5,74$; $Y = 5,89$;

FRAÇÃO C: $Y = 15,83$;

Figura 19. Fração A (A), fração B1 + B2 (B), fração B3 (C) e fração C (D) em colmo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita.

No primeiro ciclo, a fibra insolúvel em detergente (FDN) neutro e fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) em folha apresentaram interação não significativa entre adubação nitrogenada e níveis de zeólita. A inclusão de zeólita propiciou efeito quadrático para o FDN o apresentando teor máximo de 49,72 %, na inclusão de 61,58% de zeólita (Figura 20). A fibra insolúvel em detergente acida (FDA) na folha apresentou efeito linear crescente para a inclusão da zeólita, com acréscimo de 0,0359% a cada unidade adicionada de zeólita. Contudo, avaliando o efeito da adubação nitrogenada, observou que a dose de 150 kg de N ha⁻¹ N reduziu os teores de FDN e FDA em 3,83 e 3,38%, respectivamente, resultados semelhantes foram encontrados por Delevatti et al., (2019).



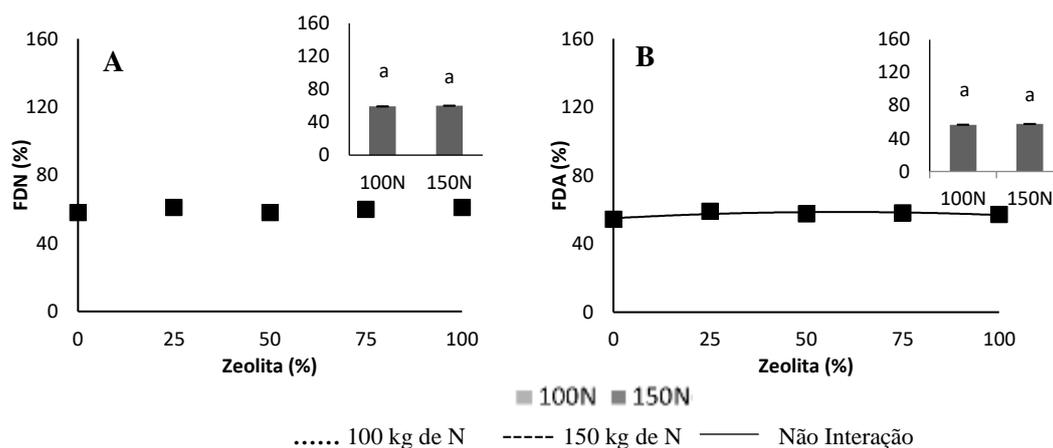
$$\text{FDN: } Y = -0,0024x^2 + 0,2956x + 40,62; (R^2 = 0,87)$$

$$\text{FDA: } Y = 0,0359x + 43,938; (R^2 = 0,71)$$

Figura 20. Fibra insolúvel em detergente neutro (A) e fibra insolúvel em detergente ácido (B) em folha de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita.

No primeiro ciclo a fibra insolúvel em detergente (FDN) neutro e fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) em colmo apresentaram interação não significativa entre adubação nitrogenada e níveis de zeólita, como demonstrado na figura 21. A fibra insolúvel em detergente neutro não foi influenciada pelos fatores estudados. A inclusão de zeólita propiciou efeito quadrático para a fibra insolúvel em detergente apresentando teor máximo de 58,53 % no nível de 56,82% de zeólita, porém não houve efeito da adubação nitrogenada sobre essa variável.

Segundo Peyraud & Astigarraga, (1998) um dos motivos para a redução da concentração de FDN com uso da adubação nitrogenada dá-se devido ao aumento da proteína bruta e outros conteúdos solúveis que se acumula dentro da célula, ocasionando a diluição da parede celular. Além disso, as plantas afim de aumentar a sintase de proteína e aminoácidos, utilizam o carbono para reduzir N inorgânico para a síntese de proteínas, em vez de produzir carboidratos estruturais (Taiz *et al.*, 2017).



FDN: $Y = 59,55$

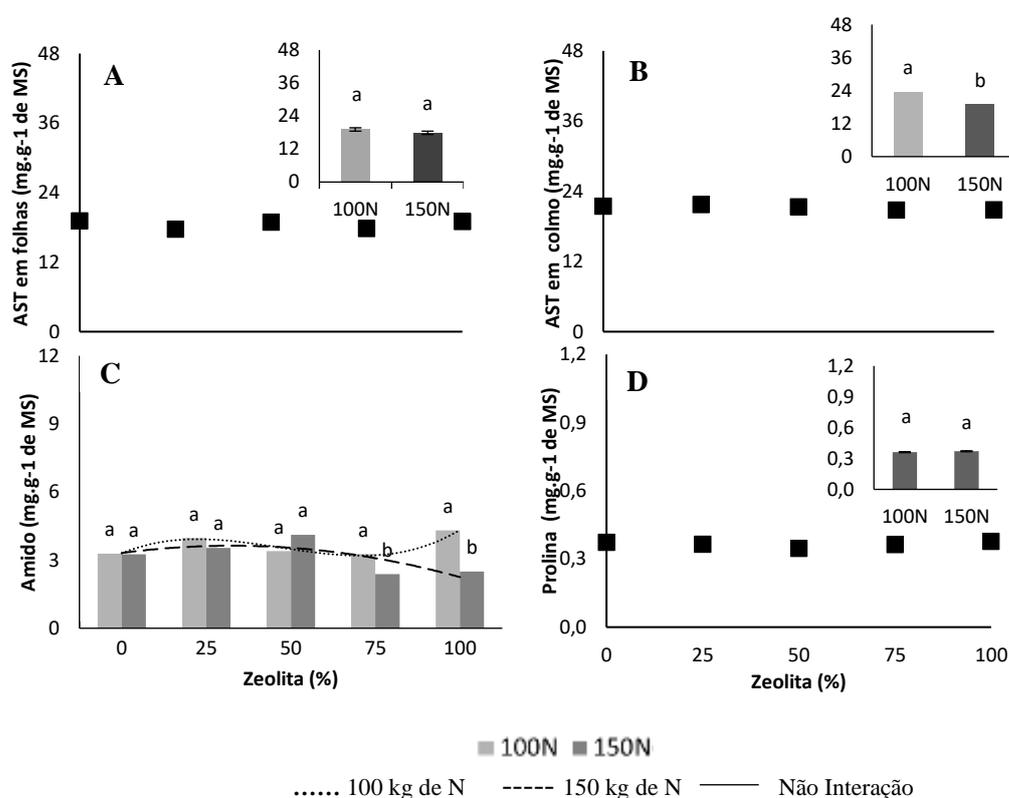
FDA: $Y = 0,0359x + 43,938$; ($R^2 = 0,71$)

Figura 21. Fibra insolúvel em detergente neutro (A) e fibra insolúvel em detergente ácido (B) em colmo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita.

4.6. Carboidratos solúveis, Amido e Prolina

No primeiro ciclo, os teores de açúcares solúveis totais em folhas, açúcares solúveis totais em colmo e prolina em folhas, apresentaram interação não significativa entre adubação nitrogenada e níveis de zeólita, exceto, amido no colmo (Figura 22). Os açúcares solúveis totais em folhas, açúcares solúveis totais em colmo e prolina não foram influenciados pela inclusão da zeólita, além disso, a adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ reduziu em 18, 82% os açúcares solúveis no colmo. A adubação nitrogenada favorece taxa de desenvolvimento mais acelerada, em comparação com as plantas sem adubação, a fim de manter esse rápido crescimento, ocorre o consumo dos seus fotoassimilados, aumentando a síntese de proteínas e aminoácidos, através do uso do carbono para reduzir nitrogênio inorgânico (Taiz *et al.*, 2017).

Para a dose de 100 kg de N ha⁻¹, o amido no como apresentou efeito cúbico, enquanto para dose de 150 kg de N ha⁻¹, a inclusão de zeólita propiciou efeito quadrático, com teor máximo de 3,64 mg na inclusão de 32,83 % de zeólita. A adubação nitrogenada na dose de 150 kg de N ha⁻¹ reduziu em 26,87 e 41,97 % nos níveis de amido, nas inclusões de 75 e 100% de zeólita. Segundo Taiz et al., (2017), o acúmulo de reservas orgânicas nas raízes ou colmo ocorre quando existe excedente de carboidratos produzidos pela processo da fotossíntese em relação ao que é requerido para crescimento e manutenção dos tecidos das plantas.



AST em folhas: $Y = 18.49$

AST em colmo: $Y = 21.22$

Amido em colmo: $Y_{100N} = 1E-05x^3 - 0,0018x^2 + 0,0621x + 3,2965$; ($R^2 = 0,98$); $Y_{150N} = -0,0003x^2 + 0,0197x + 3,3138$; ($R^2 = 0,57$).

Prolina: $Y = 0,37$

Figura 22. Teores de açúcares solúveis totais em folhas (A), açúcares solúveis totais em colmo (B), amido em colmo (C) e prolina em folhas (D) de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e níveis de inclusão de Zeólita.

O crescimento após a desfolha não está somente relacionado a disponibilidade de carboidratos de reserva nas raízes e colmo, porém, esteja ligado com armazenamento prévio de composto contendo nitrogênio. A mobilização de substratos que não sejam

carboidratos não estruturais , tais como hemicelulose, proteínas, aminoácidos e ácidos orgânicos, podem ser necessários para a atividade respiratórias das raízes (Avice *et al.*, 1996).

V – CONCLUSÕES

O uso da zeólita até a inclusão de 50%, em maiores doses N, possibilitou o melhor aproveitamento da adubação nitrogenada, propiciando maior produtividade e qualidade nutricional da pastagem, com maiores teores de proteína e melhor perfil proteico.

Além disso, o uso da zeólita no fertilizante pode possibilitar o uso da aplicação de doses únicas de fertilizantes nitrogenados, sem a necessidade de parcelamento da aplicação, devido à capacidade desse mineral em reter nitrogênio e liberar de forma gradativa, de acordo com a necessidade da planta.

Inclusões de zeólita acima de 50% no fertilizante nitrogenada podem prejudicar a disponibilidade do nitrogênio para as plantas, podendo estar relacionados com maior quantidade de locais ativos nas superfícies e nos poros da zeólita.

VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC. Perfil da pecuária no Brasil. **BeefREPORT**, p. 49, 2020.

AGUIAR, M. R. M. P. DE; NOVAES, A. C.; GUARINO, A. W. S. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. **Química Nova**, v. 25, n. 6b, p. 1145–1154, dez. 2002.

AHMED, O. H. *et al.* Enhancing the Urea-N Use Efficiency in Maize (*Zea mays*) Cultivation on Acid Soils using Urea Amended with Zeolite and TSP. v. 6, n. 5, p. 829–833, 2009.

ALVAREZ V., V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. *In*: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.). . **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação**. Viçosa, MG: [s.n.]. p. 41–60.

AMES, L. L. THE CATION SIEVE PROPERTIES OF CLINOPTILOLITE. **American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials**, v. 45, p. 689–700, 1960.

AVICE, J. C. *et al.* Nitrogen and Carbon Flows Estimated by 15N and 13C Pulse-Chase Labeling during Regrowth of Alfalfa. **Plant Physiology**, v. 112, n. 1, p. 281–290, 1 set. 1996.

BALIGAR, V.; BENNETT, O. Outlook on fertilizer use efficiency in the tropics. **Fertilizer Research**, v. 10, n. 1, p. 83–96, 1986.

BARTZ, J. K.; JONES, R. L. Availability of Nitrogen to Sudangrass from Ammonium-Saturated Clinoptilolite. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, n. 2, p. 259–262, mar. 1983.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, n. 1, p. 205–207, ago. 1973.

BERNARDI, A. C. C. *et al.* Ammonia Volatilization from Soil, Dry-Matter Yield, and Nitrogen Levels of Italian Ryegrass. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, n. 2, p. 153–162, 19 jan. 2014.

BINDRABAN, P. S. *et al.* Revisiting fertilisers and fertilisation strategies for improved nutrient uptake by plants. **Biology and Fertility of Soils**, v. 51, n. 8, p. 897–911, 16 nov. 2015.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical**

Biochemistry, v. 72, n. 1–2, p. 248–254, maio 1976.

BYBORDI, A.; EBRAHIMIAN, E. Growth, Yield and Quality Components of Canola Fertilized with Urea and Zeolite. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 44, n. 19, p. 2896–2915, 28 out. 2013.

CABRAL, C. E. A. *et al.* Effects of timing of nitrogen fertilizer application on responses by tropical grasses. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 9, n. 2, p. 182–191, 31 maio 2021.

CABRERA-BOSQUET, L. *et al.* Photosynthetic capacity of field-grown durum wheat under different N availabilities: A comparative study from leaf to canopy. **Environmental and Experimental Botany**, v. 67, n. 1, p. 145–152, nov. 2009.

CAIRO, P. A. R.; OLIVEIRA, L. E. M. DE; MESQUITA, A. C. **Análise de Crescimento de Plantas**. Vitória da Conquista: Edições UESB, 2008.

CAMPANA, M. *et al.* Ammonia Volatilization from Exposed Soil and Tanzania Grass Pasture Fertilized with Urea and Zeolite Mixture. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 46, n. 8, p. 1024–1033, 2015.

CAMPOS BERNARDI, A. C. DE *et al.* Yield, quality components, and nitrogen levels of silage corn fertilized with urea and zeolite. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 42, n. 11, p. 1266–1275, 2011.

CAMPOS BERNARDI, A. C. DE *et al.* Enhancing Nutrient Use Efficiency Using Zeolites Minerals—A Review. **Advances in Chemical Engineering and Science**, v. 06, n. 04, p. 295–204, 2016.

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; CANTARELLA, H. Chapter 8 Recent Developments of Fertilizer Production and Use to Improve Nutrient Efficiency and Minimize Environmental Impacts. *In: Advances in Agronomy*. 1. ed. [s.l.] Elsevier Inc., 2009. v. 102p. 267–322.

COOMBS, D. S. *et al.* Recommended nomenclature for zeolite minerals: report of the subcommittee on zeolites of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. **Mineralogical Magazine**, v. 62, n. 04, p. 533–571, 5 ago. 1998.

COSTA, N. DE L. *et al.* Response of *Brachiaria brizantha* cv. Piatã pastures to nitrogen fertilization. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 3, p. e89932498, 19 fev. 2020.

CREGAN, P. B.; BERKUM, P. VAN. Genetics of nitrogen metabolism and physiological/biochemical selection for increased grain crop productivity. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 67, n. 2–3, p. 97–111, jan. 1984.

D’OVIDIO, R.; MASCI, S. The low-molecular-weight glutenin subunits of wheat gluten.

Journal of Cereal Science, v. 39, n. 3, p. 321–339, maio 2004.

DELEVATTI, L. M. *et al.* Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality, and animal performance in a tropical pasture. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 7596, 20 maio 2019.

DETMANN, E. *et al.* **Métodos para análise de alimentos**. [s.l.: s.n.].

DIERKING, R. M. *et al.* Nitrogen reserve pools in two *Miscanthus x giganteus* genotypes under contrasting N managements. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. September, p. 1–13, 20 set. 2017.

DIMKPA, C. O. *et al.* Development of fertilizers for enhanced nitrogen use efficiency – Trends and perspectives. **Science of The Total Environment**, v. 731, p. 139113, ago. 2020.

DISCHE, Z. General Color Reactions. *In*: WHISTLER, R. L.; WOLFRAM, M. L. (Eds.). **Carbohydrate Chemistry**. New York: Academic Press, 1962. p. 477–520.

DOHLMAN, E.; HANSEN, J.; BOUSSIOS, D. USDA Agricultural projections to 2020. **Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA)**, p. 1–124, 2017.

FERGUSON, G. A.; PEPPER, I. L. Ammonium Retention in Sand Amended with Clinoptilolite. **Soil Science Society of America Journal**, v. 51, n. 1, p. 231–234, jan. 1987.

GOOD, A. G.; BEATTY, P. H. Fertilizing Nature: A Tragedy of Excess in the Commons. **PLoS Biology**, v. 9, n. 8, p. e1001124, 16 ago. 2011.

GUO, H. *et al.* Nano-enabled fertilizers to control the release and use efficiency of nutrients. **Current Opinion in Environmental Science and Health**, v. 6, p. 77–83, 2018.

HARUNA AHMED, O.; HUSIN, A.; HUSNI MOHD HANIF, A. Ammonia volatilization and ammonium accumulation from urea mixed with zeolite and triple superphosphate. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science**, v. 58, n. 2, p. 182–186, jun. 2008.

HOFMAN, G.; CLEEMPUT, O. VAN. **Soil and Plant Nitrogen**. [s.l.: s.n.].

HUANG, J. *et al.* Nitrogen and phosphorus losses and eutrophication potential associated with fertilizer application to cropland in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 159, p. 171–179, ago. 2017.

IBGE, I. B. D. G. E. Censo agropecuario 2017. p. 2017, 2020.

INGLEZAKIS, V. J.; LOIZIDOU, M. D.; GRIGOROPOULOU, H. P. Equilibrium and kinetic ion exchange studies of Pb²⁺, Cr³⁺, Fe³⁺ and Cu²⁺ on natural clinoptilolite.

v. 36, p. 2784–2792, 2002.

IPCC, I. P. ON C. C. **Climate Change and Land An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.** [s.l.: s.n.].

JAYME, D. G. *et al.* **GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS TROPICAIS.** [s.l.: s.n.].

KARAMI, S. *et al.* Effect of Zeolite on Nitrogen Use Efficiency and Physiological and Biomass Traits of Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) Under Water-Deficit Stress Conditions. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 2020.

KARIA, C. T.; DUARTE, J. B.; ARAÚJO, A. C. G. DE. Desenvolvimento de Cultivares do Gênero *Brachiaria* (trin.) Griseb. no Brasil. **Documentos 163 / Embrapa Cerrados**, p. 56, 2006.

LANDAU, E. C.; SIMEÃO, R. M.; O, F. DA C. M. N. Evolução da Área Ocupada por Pastagens. **Embrapa**, 2018.

LATIFAH, O.; AHMED, O. H.; MAJID, N. M. A. Enhancing nitrogen availability from urea using clinoptilolite zeolite. **Geoderma**, v. 306, n. April, p. 152–159, 2017.

LIU, T. *et al.* Optimum Leaf Removal Increases Nitrogen Accumulation in Kernels of Maize Grown at High Density. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 39601, 13 jan. 2017.

LOPES, M. A. *et al.* Manejo e viabilidade econômica da adubação nitrogenada em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 21, n. 2004, p. 156–162, 2013.

LOPES, M. N. *et al.* Fluxo de biomassa em capim-massai durante o estabelecimento e rebrotação com e sem adubação nitrogenada. **Revista Ceres**, v. 60, n. 3, p. 363–371, jun. 2013.

LOPES, N. F.; LIMA, M. DA G. DE S. **Fiologia da produção.** Viçosa: Editora UFV, 2015.

LUZ, A. B. DA. Zeólitas: propriedades e usos industriais. **CETEM/CNPq**, 7 nov. 1995.

MAGHSOODI, M. R. *et al.* Hydroxyapatite nanorods, hydrochar, biochar, and zeolite for controlled-release urea fertilizers. **Geoderma**, v. 379, n. February, p. 114644, dez. 2020.

MAPBIOMAS. **Qualidade das pastagens.** Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>>.

MAURICIO, R. M. *et al.* Silvopastoral Systems in Latin America for Biodiversity, Environmental, and Socioeconomic Improvements. *In: Agroecosystem Diversity.* [s.l.] Elsevier, 2019. v. Documentosp. 287–297.

MING, D. W.; ALLEN, E. R. Use of Natural Zeolites in Agronomy, Horticulture and

Environmental Soil Remediation. **Reviews in Mineralogy and Geochemistry**, v. 45, n. 1, p. 619–654, 1 jan. 2001.

NAKHLI, S. A. A. *et al.* Application of Zeolites for Sustainable Agriculture: a Review on Water and Nutrient Retention. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 228, n. 12, p. 464, 30 dez. 2017.

NUNES, S. G. *et al.* Brachiaria brizantha cv. Marandu. **Documentos**, v. 21, p. 31, 1984.

OLIVEIRA, A. B. *et al.* Morfogênese do capim-tanzânia submetido a adubações e intensidades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 4 suppl, p. 1006–1013, ago. 2007.

OSBORNE, T. B. **The vegetable proteins**. 2. ed. London: Longmans Green and company, 1924.

OURRY, A.; KIM, T. H.; BOUCAUD, J. Nitrogen Reserve Mobilization during Regrowth of Medicago sativa L. (Relationships between Availability and Regrowth Yield). **Plant Physiology**, v. 105, n. 3, p. 831–837, 1 jul. 1994.

PALMER, A. F. E.; HEICHEL, G. H.; MUSGRAVE, R. B. Patterns of Translocation, Respiratory Loss, and Redistribution of ¹⁴C in Maize Labeled after Flowering 1. **Crop Science**, v. 13, n. 3, p. 371–376, maio 1973.

PAPROCKI, A. Síntese De Zeólitas a Partir De Cinzas De Carvão Visando Sua Utilização Na Descontaminação De Drenagem Ácida De Mina. p. 156, 2009.

PEYRAUD, J. .; ASTIGARRAGA, L. Review of the effect of nitrogen fertilization on the chemical composition, intake, digestion and nutritive value of fresh herbage: consequences on animal nutrition and N balance. **Animal Feed Science and Technology**, v. 72, n. 3–4, p. 235–259, jun. 1998.

PEZZOPANE, J. R. M. *et al.* Cenários futuros das pastagens no Brasil. In: **IX SIMFOR-IX Simposio sobre manejo estrategico de pastagens e VI simposio internacional sobre produção animal em pastejo**. [s.l: s.n.]. .

SILVEIRA, C. P.; MONTEIRO, F. A. Revista Brasileira de Zootecnia Influência da adubação com nitrogênio e cálcio nas características morfológicas e produtivas das raízes de capim-tanzânia cultivado em Influence of nitrogen and calcium fertilizations on morphological and productive charact. p. 47–52, 2011.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6° ed. [s.l: s.n.].

TASCA, F. A. *et al.* Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 493–502, abr. 2011.

TIMILSENA, Y. P. *et al.* Enhanced efficiency fertilisers: a review of formulation and

nutrient release patterns. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 6, p. 1131–1142, abr. 2015.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral Commodity Summaries** U.S Department OF The Interior, U.S Geological Survey. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf>>.

USDA. Livestock and poultry: world markets and trade. **United States Department of Agriculture and Foreign Agricultural Service**, p. 31, 2021.

USSIRI, D.; LAL, R. **Soil Emission of Nitrous Oxide and its Mitigation**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013.

VALLE, C. B. DO. **Coleção de germoplasma de espécies de Brachiaria no CIAT: estudos básicos visando ao melhoramento genético**. [s.l: s.n.]. v. 46

VIEIRA, R. F. **Ciclo do Nitrogênio em Sistemas Agrícolas**. [s.l: s.n.].

WELLBURN, A. R. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. **Journal of Plant Physiology**, v. 144, n. 3, p. 307–313, set. 1994.

ZAMAN, M.; NGUYEN, M. L. Effect of lime or zeolite on N₂O and N₂ emissions from a pastoral soil treated with urine or nitrate-N fertilizer under field conditions. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 136, n. 3–4, p. 254–261, 2010.