



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL

CAMPUS CHAPECÓ

CURSO DE AGRONOMIA

TAINÁ HEBEL DA SILVA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DO MILHO CULTIVADO SOB DIFERENTES
MANEJOS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA**

CHAPECÓ

2022

TAINÁ HEBEL DA SILVA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DO MILHO CULTIVADO SOB DIFERENTES
MANEJOS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luis Mattias

CHAPECÓ

2022

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Silva, Tainá Hebel da
DESEMPENHO AGRONÔMICO DO MILHO CULTIVADO SOB
DIFERENTES MANEJOS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA / Tainá Hebel
da Silva. -- 2022.
54 f.

Orientador: Doutor Jorge Luis Mattias

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Agronomia, Chapecó, SC, 2022.

I. Mattias, Jorge Luis, orient. II. Universidade
Federal da Fronteira Sul. III. Título.

TAINÁ HEBEL DA SILVA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DO MILHO CULTIVADO SOB DIFERENTES
MANEJOS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA**

Dissertação apresentada ao Curso de Bacharelado em Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 10/08/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jorge Luís Mattias – UFFS
Orientador

Prof. Dr. João Guilherme Dal Belo Leite – UFFS
Avaliador

Prof. Dr. Siumar Pedro Tironi – UFFS
Avaliador

Dedico este trabalho aos meus pais, Sandro e Andréia, que nunca mediram esforços para que eu pudesse conquistar meus sonhos, fornecendo todo apoio necessário nesta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela vida e pela oportunidade de estudar. Aos Beatos Padre Manuel e Coroinha Adílio, que nos momentos de fraqueza iluminaram meu caminho para que eu tivesse forças e fé para recomeçar e seguir em frente.

Agradeço infinitamente aos meus pais pelo apoio ao longo da trajetória acadêmica e por todo suporte nos momentos difíceis, que foram vários. Certamente foram meus alicerces e tudo que sou devo a vocês.

Aos demais familiares e amigos por todo incentivo, parcerias e bons momentos que ficarão guardados para o resto da vida.

Ao meu namorado Gabriel Pauli, que a cima de tudo foi meu amigo e companheiro durante o período da graduação, auxiliando-me em todas as tarefas.

Ao orientador, demais professores e técnicos do laboratório de Química e Fertilidade do Solo por todo apoio e suporte prestado, além das amizades e momentos vividos que certamente guardarei com muito carinho.

Enfim, agradeço a todos os envolvidos que em algum momento da minha trajetória me auxiliaram naquilo que foi necessário. Muito obrigada a todos.

RESUMO

O milho (*Zea mays* L.) é o cereal mais produzido no mundo, de grande importância para alimentação humana e animal. É exigente nutricionalmente, principalmente para nitrogênio, um elemento de recomendação complexa devido a suas dinâmicas de perdas e transformações. A principal fonte de nitrogênio utilizada no Brasil é a ureia, porém é suscetível a perdas que reduzem sua eficiência. Os fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada têm sido boa alternativa para reduzir perdas e diminuir dependências climáticas para aplicações. Entretanto, tem preços elevados quando comparados a ureia. Desta forma, o presente estudo teve por objetivo analisar quais fontes e manejos de adubação nitrogenada proporcionam o melhor desempenho produtivo e retorno econômico para cultura do milho. O experimento foi realizado no ano agrícola 2021/2022, no município de Três Palmeiras - RS, em delineamento de blocos ao acaso com 7 tratamentos, sendo: T1 - fertilizante nitrogenado de eficiência aumentada, de liberação gradual, encapsulado, incorporado antes da semeadura; T2 - fertilizante nitrogenado de eficiência aumentada com inibidor de urease (NBPT) em cobertura (V4+V8); T3 - ureia incorporada antes da semeadura; T4 - ureia em cobertura (V4+V8); T5 - ureia incorporada antes da semeadura e em cobertura (V8); T6 - Fertilizante nitrogenado de eficiência aumentada com inibidor de urease (NBPT) em cobertura (V8); T7 - sem adubação nitrogenada (testemunha) e 4 repetições. Foram avaliadas as seguintes características agronômicas: número de fileiras de grãos, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga, índices de clorofila A e B, teor de nitrogênio foliar e de grão, peso de mil grãos, produtividade e altura de inserção de espigas. Avaliou-se também a viabilidade econômica da aplicação das diferentes fontes e, para isto, procedeu-se com a coleta dos dados de produtividade e custos das diferentes fontes. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas entre si pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade, com auxílio do programa estatístico R. O tratamento que se obteve a maior produtividade foi aplicação de ureia em cobertura nos estádios fenológicos de V4 e V8, sendo também, o tratamento de maior viabilidade econômica, principalmente devido à boa disponibilidade hídrica para a aplicação dessa fonte.

Palavras-chave: fertilizante nitrogenado de eficiência aumentada; *Zea mays* L.; viabilidade econômica; perdas de nitrogênio.

ABSTRACT

Corn (*Zea mays* L.) is the most produced cereal in the world and of great importance for human and animal food. It is nutritionally demanding and responsive, mainly to nitrogen, which is an element of complex recommendation due to its dynamics of losses and transformations. The main source of nitrogen used in Brazil is urea, but it is susceptible to losses that reduce its efficiency. Nitrogen fertilizers of increased efficiency have been a good alternative to reduce losses and reduce climatic dependencies for applications. However, they have high prices when compared to urea. Thus, the present study aimed to analyze which sources and managements of nitrogen fertilization provide the best productive performance and economic return for corn. The experiment was carried out in the agricultural year 2021/2022, in the municipality of Três Palmeiras - RS, in a randomized block design with 7 treatments, as follows: T1 - nitrogen fertilizer of increased efficiency, gradual release, encapsulated, incorporated before sowing; T2 - nitrogen fertilizer of increased efficiency with urease inhibitor (NBPT) in topdress (V4+V8); T3 - urea incorporated before sowing; T4 - urea in coverage (V4+V8); T5 - urea incorporated before sowing and in top dressing (V8); T6 - Nitrogen fertilizer of increased efficiency with urease inhibitor (NBPT) in topdress (V8); T7 - without nitrogen fertilization (control) and 4 repetitions. The following agronomic traits were evaluated: number of grain rows, number of grains per row, number of grains per ear, chlorophyll A and B indices, leaf and grain nitrogen content, thousand seed weight, productivity and insertion height of spikes. The economic feasibility of applying the different sources was also evaluated and, for this, the collection of data on productivity and costs from the different sources was carried out. The data were submitted to analysis of variance and the means were compared by Duncan's test, at 5% probability, with the aid of the R statistical program. V4 and V8, being also the most economically viable treatment.

Keywords: increased efficiency nitrogen fertilizer; *Zea mays* L.; economic viability; nitrogen losses.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Clorofilômetro utilizado para determinação dos índices de clorofila A e B	21
Figura 2 - Moinho de facas tipo Willey utilizado para moagem de folhas e grãos22
Figura 3 - Representação da distribuição pluviométrica e de temperaturas durante o ciclo da cultura27
Figura 4 - Má formação de espigas devido ao déficit hídrico29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nutrientes extraídos pela cultura do milho e exportação pelo grão para diferentes rendimentos	9
Tabela 2 - Análise de solo do local em que foi conduzido o experimento, realizada em 2020	17
Tabela 3 - Fontes e formas de adubação nitrogenada utilizadas no experimento	19
Tabela 4 - Produtividade, peso de mil sementes e altura de inserção de espigas nos diferentes tratamentos.....	30
Tabela 5 - Número de fileira de grãos, número de grãos por fileira e número de grãos por espiga obtidos nos diferentes tratamentos utilizados.....	31
Tabela 6 - Índices de clorofila A e B obtidos nos diferentes tratamentos	32
Tabela 7 - Porcentagem de nitrogênio foliar e do grão obtido para os diferentes tratamentos	33
Tabela 8 - Custos de produção iguais para todos os diferentes tratamentos utilizados	34
Tabela 9 - Especificação da mão de obra necessária para fornecer os diferentes fertilizantes utilizados	35
Tabela 10 - Especificação dos custos de N para os diferentes tratamentos	36
Tabela 11 - Composição da receita líquida e receita bruta considerada para as diferentes fontes de nitrogênio	38
Tabela 12 - Acréscimo de produtividade, custo de produção/venda, lucro por fonte de N (sc/há) e lucro/fonte de N (R\$/há) obtidos para os diferentes tratamentos.....	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 OBJETIVO GERAL	7
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
3.1 CULTURA DO MILHO E SUA IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA.....	8
3.2 MANEJO NUTRICIONAL	9
3.3 IMPORTÂNCIA DO NITROGÊNIO	10
3.4 DINÂMICA DO NITROGÊNIO	11
3.5 FONTES DE NITROGÊNIO	12
3.6 FORMAS DE SUPRIR O NITROGÊNIO DEMANDADO PELA CULTURA	15
3.7 VIABILIDADE ECONÔMICA DE FERTILIZANTES NITROGENADOS	15
4 MATERIAL E MÉTODOS	17
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
6 CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS.....	41

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays L.*) é o cereal mais produzido, sendo assim, uma das commodities mais importantes do mundo visto sua ampla utilização tanto para alimentação humana, produção de combustíveis renováveis e base para fabrico de rações e outros componentes de dietas animais (CONAB, 2019).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial desse importante cereal, sendo na safra 2020/2021 obtidas produções em torno de 87 milhões de toneladas e Estados Unidos e China, maiores produtores mundiais, em torno de 358 e 260 milhões de toneladas, respectivamente (USDA, 2022). Para a safra 2021/2022 as estimativas brasileiras de produtividade são de 115,6 milhões de toneladas, 32,8% maior em relação à safra anterior. (CONAB, 2022).

O rendimento de grãos da cultura é afetado principalmente por fatores climáticos e relacionados ao manejo (ROSA; EMYGDIO; BISPO, 2017). Devido à grande importância econômica que essa cultura apresenta, é importante saber manejá-la e conhecer suas exigências nutricionais para promover o máximo desempenho produtivo. As taxas de extração dos nutrientes para o milho são lineares, conforme aumenta a produtividade, aumenta demanda nutricional. As maiores demandas da cultura são por nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e fósforo, respectivamente (COELHO, 2006).

O nitrogênio é o elemento mais requerido por gramíneas em geral, tornando-se o nutriente de maior influência na produtividade de grãos e de grande importância nos custos de produção (SILVA; BUZZETTI; LAZARINI, 2005). O nitrogênio é absorvido pelas plantas preferencialmente na forma de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) e apresenta grande importância ao desenvolvimento da planta, composição de aminoácidos e proteínas, precursor da molécula da clorofila, fotossíntese, respiração, absorção iônica e diferenciação celular (MALAVOLTA, 2006). Além de ser o mais importante nutriente, é também o de fornecimento mais complexo devido as dinâmicas de transformações, tais como mineralização, imobilização, nitrificação, desnitrificação, lixiviação e volatilização (BONO *et al.*, 2008).

A ureia é a fonte de N mais utilizada no Brasil e no mundo (HEFFER; PRUD'HOMME, 2016). Este fertilizante possui alto teor de nitrogênio, facilidade

logística e alta solubilidade, porém pode ter sua eficiência reduzida devido as perdas por volatilização de amônia (NH_3), especialmente nas condições brasileiras de clima tropical com altas temperaturas (FRAZÃO *et al.*, 2014). Dessa forma, sabendo-se da importância do N para a planta e as perdas as quais a ureia está sujeita, procuram-se alternativas para melhorar a eficiência desse fertilizante e diminuir as perdas nas aplicações, reduzindo os riscos de contaminações ambientais.

Existem algumas alternativas para reduzir os processos de perdas, fazendo-se o uso de fertilizantes nitrogenados com eficiência aumentada, de liberação lenta ou controlada ou com inibidores (FRAZÃO *et al.*, 2014). Ureias revestidas com polímeros de enxofre e incorporadas na semeadura do milho são alternativas que visam melhorar o aproveitamento do nitrogênio para a cultura, fornecendo N ao longo do ciclo (GARCIA *et al.*, 2020). Há também os fertilizantes nitrogenados com inibidor de urease, como o NBPT (N-(n-butil) trimidatiofosfórica), o qual tem sido de melhores resultados na inibição da volatilização de amônia (CANTARELLA *et al.*, 2008).

Os fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada podem ser alternativas para diminuir as dependências de condições edafoclimáticas para aplicação, assim reduzindo as dinâmicas de perdas. Entretanto, comumente apresentam custos de aquisição mais elevados quando comparados a ureia, sendo fundamental analisar a viabilidade econômica da utilização dessas fontes, bem como, a resposta da cultura em termos de produtividade.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar quais fontes e manejos para fornecimento de adubação nitrogenada proporcionam o melhor desempenho produtivo e retorno econômico.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Comparar o desempenho produtivo da cultura sob as diferentes fontes e formas de fornecimento da adubação nitrogenada;

Determinar os componentes de rendimento: produtividade, número de grãos por fileira e número de fileiras por espiga, número de grãos por espigas e peso de grãos;

Determinar o índice de clorofila das folhas, altura de inserção da espiga teor de nitrogênio do grão e teor de nitrogênio foliar;

Determinar qual fontes e formas de fornecimento da adubação nitrogenada teve a melhor relação entre a receita obtida e o valor investido.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CULTURA DO MILHO E SUA IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA

O milho é uma planta monocotiledônea, pertencente à família Poaceae, tribo *Maydeae*, gênero *Zea* e espécie *Zea mays* L. (MÔRO; FRITSCHÉ-NETO, 2017). No Brasil, é cultivado em praticamente todo país, apresentando grande importância econômica (CONAB, 2019). O cultivo de milho ainda tem papel na geração de emprego tanto em zonas rurais quanto urbanas, pois tem participação como matéria prima direta ou indireta em mais de 3500 segmentos industriais (MÔRO; FRITSCHÉ-NETO, 2017).

O mercado global de milho é abastecido principalmente por quatro países, Estados Unidos, Argentina, Brasil e Ucrânia (USDA, 2021). Atualmente o Brasil é o terceiro maior produtor mundial desse importante cereal, obtendo na safra 2019/2020 produção em torno de 102 milhões de toneladas (CONAB, 2020). Nos últimos 10 anos houveram grandes mudanças nas áreas de milho, sendo que as áreas com cultivos de milho segunda safra cresceu 122,6%, sendo o aumento mais expressivo (GARCIA, *et al.*, 2020). Esse autor ainda destaca que a demanda segue crescente principalmente para atender o consumo interno, alimentação animal, exportações e produção de etanol, a qual tem projeções crescentes no Brasil.

O milho é imprescindível para a agricultura brasileira e a segunda espécie agrícola mais produzida no país, ficando atrás somente da soja (MÔRO; FRITSCHÉ-NETO, 2017). As três principais regiões produtoras do país são Centro-Oeste, seguido de região Sul e Sudeste (CONAB, 2020).

Na agricultura familiar o milho também é essencial para a subsistência das famílias, sendo utilizado de forma direta na alimentação ou indireta, servindo de alimento para os animais que fornecerão carne, leite, ovos e derivados (MÔRO; FRITSCHÉ-NETO, 2017). Esses autores ainda destacam que especialmente no Brasil o milho tem um valor cultural muito grande, sendo tradicionalmente usado em pratos salgados e doces em eventos típicos como festas juninas, fazendo parte da cultura de diversos estados.

3.2 MANEJO NUTRICIONAL

O cultivo de milho no Brasil vem passando por diversas transformações, decorrentes principalmente da adoção de práticas de manejos mais adequadas para a cultura, principalmente no que diz respeito ao manejo da fertilidade, sendo que isso tem contribuído para o aumento de produção e produtividade com o passar dos anos (COELHO, 2006).

O milho é uma cultura altamente responsiva a adubação, especialmente a nitrogenada (RAMBO *et al.*, 2004). Para que a cultura possa expressar todo seu potencial produtivo, é necessário assegurar que essas grandes demandas nutricionais sejam plenamente atendidas (AMARAL FILHO *et al.*, 2005). Os macronutrientes mais exigidos são nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e fósforo, e os micronutrientes são ferro, boro, molibdênio, zinco e manganês (COELHO, 2006).

Coelho (2006) ainda relata que há diferentes taxas de translocação nutricional entre colmo, folhas e grãos, sendo que o fósforo e o nitrogênio são em sua maior parte translocados para os grãos, e cálcio e potássio são os nutrientes que serão devolvidos em maiores quantidades pelos restos culturais que ficarão no solo (Tabela 1).

Tabela 1 - Nutrientes extraídos pela cultura do milho e exportação pelo grão para diferentes rendimentos

Produção	Nutriente extraído				
	N	P	K	Ca	Mg
t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹				
3,65	77	9	83	10	10
5,80	100	19	95	17	17
7,87	167	33	113	27	25
9,17	187	34	143	30	28
10,15	127	42	157	32	33
Exportação pelos grãos (%)	70-77	77-86	26-43	3-7	47-69

Fonte: COELHO; FRANÇA, 1995.

Para altas produtividades é essencial ter solos equilibrados nutricionalmente, e principalmente corrigir problemas de acidez e níveis de Ca e Mg, para não comprometer a eficiência da adubação com NPK, sendo que aumentar as doses desses fertilizantes não resolve problemas como a presença de alumínio trocável

(VERGUTZ; NOVAIS; VALADARES, 2017). Dessa forma, esses autores ainda destacam a importância da realização correta da amostragem para posterior análise de solo, a qual servirá de base para atender as demandas da planta conforme os teores disponíveis no solo e expectativas de produção.

3.3 IMPORTÂNCIA DO NITROGÊNIO

O nitrogênio está presente de forma abundante na atmosfera terrestre, com cerca de 78% de N_2 em sua composição (MENDES; LUCENA; MEDEIROS, 2015). É um macronutriente requerido em grandes quantidades pelos seres vivos, atrás somente de carbono, oxigênio e hidrogênio (SOUZA; FERNANDES, 2018).

É também, o elemento mais limitante aos cultivos agrícolas, sendo um grande regulador de processos fisiológicos e bioquímicos que são indispensáveis para o desenvolvimento das plantas, como expansão foliar, desenvolvimento radicular e expressão de genes (BOUGUYON; GOJON; NACRY, 2012). É constituinte de aminoácidos, proteínas e nucleotídeos, além da clorofila, membranas e hormônios (SOUZA; FERNANDES, 2018). O nitrogênio pode ser obtido de diferentes maneiras: absorção pelas raízes de formas orgânicas e inorgânicas, absorção foliar ou fixação biológica de nitrogênio (BUCHER; BUCHER; SOUZA, 2018). As raízes das plantas absorvem esse nutriente na forma de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000).

O milho exporta grandes quantidades de nitrogênio durante o seu ciclo produtivo, demandando que haja complementação dos teores supridos pelo solo quando se almeja produtividades elevadas (COELHO, 2006). Ainda, este autor destaca que cerca de 70-90% dos estudos conduzidos no Brasil em diversos tipos de solo, clima e sistemas de cultivo relataram respostas na aplicação de nitrogênio, consolidando sua importância para boas produtividades.

A deficiência de nitrogênio nas fases iniciais pode resultar em aumento da relação raiz-parte aérea, pois a planta aumenta o crescimento de raízes para buscar suprir a falta do nutriente (SOUZA; FERNANDES, 2018). Os sintomas visuais são amarelecimento e clorose gradual das folhas mais velhas, que resultam em abscisão e redução do crescimento das plantas (WILLIAMS; MILLER, 2001, *apud* CANTARELLA, 2008). Assim, é essencial o aporte de nitrogênio em cada etapa do

desenvolvimento da planta (GREGORY; GEORGE, 2011). Porém, esse aporte deve ser realizado de forma consciente, evitando o uso indiscriminado de fertilizantes pois isso contribui para poluição ambiental (SOUZA; FERNANDES, 2018).

3.4 NITROGÊNIO NO SOLO

A disponibilidade de nitrogênio no solo é influenciada pelo teor de matéria orgânica, onde se considera que quanto maior o aporte de matéria orgânica no solo, maior o teor de nitrogênio (FONTOURA; BAYER, 2009). As formas de N no solo são de aproximadamente 98% na forma orgânica, e apenas 2% na forma inorgânica de amônio (NH_4^+) ou nitrato (NO_3^-), as quais são disponíveis para absorção radicular (MALAVOLTA, 2006).

O nitrogênio absorvido é transportado pela parte aérea da planta pelo xilema, via corrente respiratória. A forma pela qual esse N é transportado dependerá de qual forma foi absorvido e assimilado. Um dos fatores que influencia na absorção de nitrogênio é o pH, o qual atua da seguinte maneira: pH ácido inibe a absorção de NH_4^+ e favorece a absorção de NO_3^- , e pH alcalino o contrário acontece (FAQUIN, 2005).

O ciclo do nitrogênio é composto por reações que podem adicionar, imobilizar ou retirar nitrogênio do solo por meio das transformações que geram perdas (MENDES; LUCENA; MEDEIROS, 2015). Os processos de perdas de N que reduzem a sua disponibilidade nos solos são por processos de mineralização, imobilização, desnitrificação, nitrificação, lixiviação e volatilização (BONO et al., 2008).

Os processos que geram aporte de N aos solos são por meio do arraste pela chuva dos óxidos de N, que são produzidos pela atmosfera por descargas elétricas. Por fixação biológica de nitrogênio em um complexo processo realizado pela ação da enzima nitrogenase que está presente em algumas bactérias específicas, as bactérias diazotróficas. A decomposição de plantas que estão em simbiose com essas bactérias também contribui para a disponibilidade de N mineral para o solo e para as culturas seguintes, além da adição de fertilizantes (SOUZA; FERNANDES, 2018).

O nitrogênio que é adicionado ao sistema pode ser perdido por lixiviação de NO_3^- , a qual ocasiona contaminações de cursos de água. Pode ser também imobilizado pelos organismos do solo, logo após a aplicação dos fertilizantes (SOUZA;

FERNANDES, 2018). A volatilização ocorre principalmente na forma de gás NH_3 , quando se utiliza ureia como fertilizante (BONO et al., 2008).

Cerca de 70% do N aplicado no solo pode ser perdido por lixiviação, desnitrificação, volatilização, erosão ou imobilização por microrganismos (MILLER; GRAMER, 2004). O aumento do uso de N no sistema não resolve os problemas de perdas, além de gerar poluição ambiental. Deve-se pensar em aumentar a eficiência desses fertilizantes no solo, além de aumentar a eficiência do uso de nitrogênio pelas plantas (EUN), sendo estes um dos principais objetivos da nutrição de plantas (SOUZA; FERNANDES, 2018).

3.5 FONTES DE NITROGÊNIO

A ureia é a fonte de N mais utilizada no Brasil e no mundo (HEFFER; PRUD'HOMME, 2016). No Brasil, depois da ureia os fertilizantes nitrogenados mais utilizados são nitrato de amônio com 33% de N, sulfato de amônio com 21% de N e 23% de S (CANTARELLA, 2007).

A ureia possui alto teor de nitrogênio (45-46% de N), facilidade logística e de manejo, além de alta solubilidade. Porém, pode ter sua eficiência reduzida devido as perdas por volatilização de amônia (NH_3), especialmente nas condições brasileiras de clima tropical com altas temperaturas e das condições climáticas serem determinantes para sua maior eficiência. Comparada a outras fontes, é a que possui preço mais acessível por kg de N (CANTARELLA, 2007; FRAZÃO *et al.*, 2014).

A volatilização da amônia ocorre devido a diversos fatores, sendo um dos principais a hidrólise da ureia devido a ação da enzima urease, que está naturalmente presente nos solos (REYNOLDS; WOLF; ARMBRUSTER, 1985). De acordo com Cabrera *et al.* (1991, *apud* Frazão *et al.*, 2014), Cantarella *et al.*, (2008) e Lanna *et al.*, (2010, *apud* Frazão *et al.*, 2014) também há outros fatores relativos a clima e propriedades do solo como pH (pH alcalino favorece ainda mais a volatilização), capacidade de troca de catiônica, cobertura do solo, temperatura e umidade do ambiente, presença de chuvas antes ou após a aplicação

Tecnologias têm sido desenvolvidas para tentar resolver os problemas de perdas dos fertilizantes nitrogenados, aumentando sua eficiência, com o uso de fertilizantes ditos de liberação lenta ou controlada ou com inibidores, sendo

classificados como “fertilizantes de eficiência aumentada” (HALL, 2005). Esses fertilizantes são classificados de acordo com seus processos de produção e liberação do nutriente, sendo fertilizantes estabilizados, fertilizantes de liberação lenta ou de liberação controlada (GUELF, 2017; TRENKEL, 2010).

Os fertilizantes de liberação lenta ou controlada podem ser definidos como fontes de nutrientes que tem por objetivo diminuir as perdas, aumentar o tempo de disponibilidade dos nutrientes para as plantas e promover a liberação gradual de acordo com a demanda do ciclo da planta (TRENKEL, 2010). O mesmo autor ainda relata a divisão desta classe de fertilizantes em duas, de acordo com seu modo de fabricação: produtos de condensação de ureia-aldeídos (liberação lenta) e fertilizantes revestidos ou encapsulados (liberação controlada).

O revestimento dos grãos de ureia também tem uma classificação de acordo com o tipo, sendo: enxofre; enxofre com polímeros que incluem materiais poliméricos de cera; e materiais poliméricos/poliolefinicos. Os fertilizantes de liberação lenta são obtidos pela condensação da ureia com aldeídos, e os de liberação controlada tem compostos que fazem o seu recobrimento, formando uma barreira física, controlando a passagem do nitrogênio (GUELF, 2017).

Esses fertilizantes promovem um atraso na liberação inicial, prolongando o tempo de disponibilidade do nutriente a cultura, sendo que isso pode ocorrer devido a solubilidade controlada do material pelos revestimentos; hidrólise lenta dos compostos ou por meios desconhecidos (MOTA, 2013). Porém, os fertilizantes só podem ter o termo “liberação controlada” quando se conhece o padrão e a taxa de liberação do nutriente durante a fabricação do produto (SHAVIV, 2005).

Para os fertilizantes de liberação lenta não há conhecimento dessa taxa de liberação, pois são influenciados pelas condições climáticas e de solo, mas a liberação do nitrogênio ocorre de forma mais lenta quando comparado a ureia, que é de liberação imediata (SHAVIV, 2005).

A liberação do nitrogênio nos fertilizantes de liberação controlada segue um modelo sigmoidal, onde há uma fase de liberação lenta, liberação rápida e por último, a liberação total do nutriente, apresentando linearidade durante o ciclo da cultura (SHAVIV; RABAN; ZAIDEL, 2003). Além disso, as taxas de liberação desses

fertilizantes podem variar de acordo com a espessura e a qualidade do revestimento por parte da indústria (TRENKEL, 2010). E também, as condições relativas ao ambiente e solo, como teor de umidade e temperatura do solo (HALVORSON *et al.*, 2014).

Alguns fertilizantes apresentam essas tecnologias juntas, sendo de liberação lenta e controlada, como a ureia revestida com enxofre e polímeros. Esse tipo de fertilizante tem maior capacidade de atender as demandas de nitrogênio ao longo do ciclo da cultura, além de reduzir as condições de perdas de nitrogênio devido à presença das duas formas de controle de liberação (RANSOM *et al.*, 2020).

Os fertilizantes estabilizados são aqueles obtidos pelo tratamento da ureia com estabilizadores de nitrogênio (GUELFY, 2017). Dentre os principais fertilizantes com inibidores, os que utilizam inibidores de urease, como NBPT (N-(n-butil) triamidatofosfórica) são os que vem apresentando melhores resultados para redução da volatilização de amônia (CANTARELLA, 2008).

Os inibidores de urease são substâncias que inibem a atividade da enzima urease, e conseqüentemente retardam o processo de hidrólise da ureia, assim reduzindo a volatilização de amônia (TRENKEL, 2010). Dependendo de algumas condições ambientais e do solo, o NBPT pode inibir a hidrólise da ureia por 3-14 dias, tendo resultados interessantes. Porém, deve-se levar em consideração que diversos fatores influenciam nesse maior ou menor período de inibição, como os fatores edafoclimáticos, pH da área, temperatura, umidade relativa do ar, teor de matéria orgânica do solo, além de outros fatores (CANCELLIER *et al.*, 2016).

O NBPT vem sendo utilizado em diversas culturas, Moralles *et al.* (2019) apresentou um compilado de autores que realizaram experimentos usando esse tipo de fertilizante em trigo, milho, batata, girassol, ervilha, algodão e pastagens, em diversos sistemas de cultivo e em diversos locais, e o uso dos fertilizantes contribuiu de maneira interessante para redução das perdas por volatilização, promovendo maior eficiência na utilização de N, melhor crescimento e desenvolvimento das plantas, demonstrando assim ser uma boa alternativa de uso.

3.6 FORMAS DE SUPRIR O NITROGÊNIO DEMANDADO PELA CULTURA

Os fertilizantes nitrogenados podem ser aplicados no solo por diferentes manejos, podendo ser fornecido em cobertura (à lanço) ou incorporado em linhas. A incorporação do fertilizante nitrogenado auxilia na redução da formação de amônia (NH_3), impedindo a liberação para a atmosfera e melhorando o aproveitamento do fertilizante (GALINDO *et al.*, 2019).

O fornecimento a lanço na superfície do solo geralmente é o mais utilizado, sendo feito também o parcelamento das doses de nitrogênio. O objetivo do parcelamento é aumentar a eficiência dos fertilizantes, principalmente quando se utiliza doses mais elevadas, e o fornecimento desse parcelamento apresenta melhores efeitos quando a planta apresenta quatro a oito folhas completamente expandidas (MAR *et al.*, 2003).

Quando as plantas de milho estão nesse estágio de 4-5 folhas, estas apresentam maior demanda por nitrogênio pois é a fase em que começa o processo de diferenciação floral, a qual dará origem aos primórdios da panícula e da espiga, definindo o potencial de produção. Se nessa fase tiver suprimento insuficiente de nitrogênio isso pode acarretar em redução da diferenciação do número de óvulos nos primórdios da espiga e, conseqüentemente, redução na produtividade e rendimento de grãos (ERNANI *et al.*, 2005, *apud* CARDOSO *et al.*, 2011).

3.7 ANÁLISE ECONÔMICA

Estamos vivenciando um período de alta das commodities agrícolas devido ao aquecimento do mercado interno e externo. A pandemia da Covid 19 trouxe diversos impactos para a economia global, refletindo no mercado do agronegócio também. A oferta e preços de embalagens, matérias primas e outros insumos essenciais a produção agrícola também foram muito impactados, elevando os custos dos produtores rurais. Além, da forte influência do mercado externo e preços de dólar sobre o mercado de fertilizantes e a dependência externa que o Brasil apresenta, sendo que cerca de 70% dos fertilizantes nitrogenados que o país consome, são oriundos do exterior (ABISOLO, 2021).

De forma geral, os fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada têm um processo de produção demorado e caro devido as suas características de não

apresentar efeitos desfavoráveis para a fertilidade do solo, ausência de toxicidade ao solo, plantas, animais e seres humanos; além dos trâmites para obtenção de registro, sendo que todos esses processos encarecem seus custos. Porém, devido a diminuição de perdas e aumento da eficiência dos fertilizantes, estes podem ser boa alternativa de uso (TRENKEL, 2010).

Diversos trabalhos vêm sendo conduzidos para determinar a eficiência desses fertilizantes, porém poucos trazem a importância da viabilidade econômica, ou seja, mesmo que esses fertilizantes gerem incrementos na produtividade, muitas vezes esse incremento não é suficiente para cobrir os custos e gerar lucros para o produtor rural, uma vez que apresentam o custo elevado em comparação a outros fertilizantes (SOUZA; BUZETTI; MOREIRA, 2015).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no ano agrícola 2021/2022, no município de Três Palmeiras, região norte do estado do Rio Grande do Sul, com 632 m de altitude. O clima, segundo a classificação de Koppen é CFA, temperado úmido, com chuvas durante todos os meses do ano, invernos com ocorrência de geadas e verões com temperaturas elevadas (EMBRAPA, 2015).

A lavoura em que foi implantado o experimento é cultivada em sistema de plantio direto a cerca de 15 anos e o solo é classificado como Latossolo Vermelho, pertencendo a unidade de mapeamento de Passo Fundo, de textura argilosa (EMBRAPA, 2013). Como histórico da área, na safra 2019/2020 teve o cultivo de mix com aveia e centeio no inverno, milho no verão e soja segunda safra, e para a safra 2020/2021 trigo no inverno e soja no verão, e para a safra 2021/2022 mix de cobertura pré milho contendo centeio e nabo.

Antes da semeadura foi feito o manejo do mix presente na área, com a dessecação da cobertura verde utilizando o herbicida glifosato (dose comercial de 1,5 kg ha⁻¹) em mistura com cletodim (dose comercial de 400 ml ha⁻¹) e óleo mineral (dose comercial de 300 ml ha⁻¹). A adubação de base na linha de semeadura e o fornecimento de adubação nitrogenada foram feitos com base nas análises de solo da área realizadas no ano anterior (2020), conforme exposto na tabela 2, para expectativa de rendimento de 12 t ha⁻¹ com base no Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2016).

Tabela 2 – Atributos químicos do solo da área em que foi conduzido o experimento, realizada em 2020

Propriedades químicas	Camada 0-20 (cm)
Argila (%)	57
Matéria orgânica (%)	3,9
pH em água	5,5
Índice SMP	5,7
P (mg dm ⁻³)	10,1
K (mg dm ⁻³)	195
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	3,5
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,8
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,3
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	4,7
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	5,1
CTC pH 7 (cmol _c dm ⁻³)	9,5
Saturação de bases (%)	50,52

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Para a implantação do experimento, a adubação utilizada foi na linha de semeadura 300 kg ha⁻¹ de NPK 08-40-00, e para o potássio foi utilizado 150 kg ha⁻¹ à lanço, antes da semeadura. Já para a adubação nitrogenada foi feito o fornecimento de 400 kg ha⁻¹ para todos os diferentes fertilizantes utilizados, diferindo somente nas formas de fornecimento, que foi incorporado na semeadura ou em aplicações à lanço, sendo feito o parcelamento da dose nos estádios fenológicos V4+V8 ou somente em V8, quando as plantas estavam com 4 ou 8 folhas completamente expandidas. Os tratamentos culturais de aplicações de inseticidas, fungicidas e herbicidas foram feitos de forma mecanizada com pulverizador de barras, quando houve necessidade.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com 7 tratamentos e 4 repetições, totalizando 28 parcelas (Tabela 3). O tamanho da parcela foi de 6x5, totalizando 30m² cada parcela. Os fertilizantes nitrogenados utilizados foram ureia com inibidor de urease (NBPT), com 45% de N; ureia convencional com 45% de N e 4% de S, e fertilizante nitrogenado de eficiência aumentada, de liberação gradual, encapsulada com enxofre e polímeros de proteção, com 40% de N e 6,47% de S.

Embora o fertilizante nitrogenado de eficiência aumentada, de liberação gradual, encapsulada com enxofre e polímeros de proteção tenha menor porcentagem de nitrogênio em relação às demais fontes, foi fornecido os mesmos 400 kg ha⁻¹ devido à recomendações dos fabricantes e por sua forma de fornecimento ser preferencialmente incorporada, a qual diminui as perdas e aumenta sua eficiência, permitindo a redução na dose utilizada. Sendo assim, os demais tratamentos ficaram com o equivalente a 180 kg ha⁻¹ de N e o fertilizante nitrogenado de eficiência aumentada, de liberação gradual, encapsulada com enxofre e polímeros de proteção com 160 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 3 - Fontes e formas de adubação nitrogenada utilizadas no experimento

Tratamentos	
T1	Fertilizante nitrogenado de eficiência aumentada, de liberação gradual, encapsulada com enxofre e polímeros de proteção, em dose única, incorporada antes da semeadura.
T2	Fertilizante nitrogenado de eficiência aumentada com inibidor de urease (NBPT), parcelado em 2 aplicações a lanço em V4+V8.
T3	Ureia incorporada antes da semeadura em dose única.
T4	Ureia parcelada em 2 aplicações a lanço em V4+V8.
T5	Ureia incorporada antes da semeadura + aplicação a lanço em V8.
T6	Fertilizante nitrogenado de eficiência aumentada com inibidor de urease (NBPT) fornecido a lanço em dose única em V8
T7	Sem fornecimento de adubação nitrogenada

Fonte: elaborado pela autora (2022).

Para os tratamentos em que foi incorporada à adubação nitrogenada na área esta foi feita com uma semeadora de inverno que possui espaçamento de 0,17m, um dia antes da semeadura do milho, seguindo as recomendações dos fabricantes dos fertilizantes para evitar problemas de caimento dos fertilizantes nitrogenados com os grãos do adubo. No T1 e T3 foi feito o fornecimento da adubação nitrogenada somente um dia antes da semeadura do milho, em dose única. No T2, T4 e T6 foi feito o fornecimento parcelado da dose, distribuído em aplicações a lanço no estágio fenológico de V4+V8 e somente em V8, respectivamente. No T5 foi incorporada à

ureia um dia antes da semeadura do milho e feito mais uma aplicação a lanço, em V8. As aplicações a lanço foram feitas de forma manual.

O milho semeado foi o híbrido da Dekalb 230 PRO3 ®, que apresenta ciclo hiperprecoce, indicado para abertura de safras da Região Sul, possibilitando a antecipação da colheita para plantio de safrinha soja/feijão. O híbrido apresenta como características agronômicas: altura de plantas de 238 cm, ciclo de 124 dias, peso de mil grãos de 418 g e altamente produtivo. A semeadura ocorreu em 11 de setembro de 2021, com distribuição de plantas de 4 sementes por metro linear, espaçamento de 0,50 m, totalizando a população almejada de 80 mil plantas ha⁻¹. A colheita foi realizada em 13 de janeiro de 2022, quando os grãos se encontravam com 16% de umidade. A colheita ocorreu antes do previsto devido a ocorrência de uma seca severa, a qual prejudicou o desempenho da cultura e antecipou a colheita.

Ao longo do ciclo da cultura foi feito o acompanhamento diário da precipitação pluvial (mm) e das temperaturas (°C) no local do experimento, de modo a verificar as interferências climáticas ao longo do desenvolvimento da cultura, além dos seguintes parâmetros produtivos, avaliados em 10 plantas centrais de cada parcela:

Altura de inserção de espigas: determinado medindo do nível do solo até o nó de inserção da primeira espiga que tiver os grãos formados (m).

Peso de mil grãos: determinado de acordo com o método de regra de análise de sementes, sendo pesado 8 repetições de 100 sementes (BRASIL, 2009), após a colheita.

Número de grãos por fileira e número de fileiras de grãos: obtidos através da contagem manual após a colheita.

Número de grãos por espiga: determinado a partir da contagem do número médio de grãos de quatro fileiras e multiplicando pelo número de fileiras desta respectiva espiga.

Índice de clorofila das folhas: determinado com auxílio de um clorofilômetro eletrônico modelo clorofiLOG (Falker) (Figura 1), fazendo-se a média de três leituras na primeira folha logo abaixo a formação da primeira espiga, no estágio de pendoamento da cultura (VT), medindo-se os índices de clorofila A e B.

e B
Figura 1 - Clorofilômetro utilizado para determinação dos índices de clorofila A



Fonte: fotografia registrada pela autora (2022).

Teor de nitrogênio foliar: a coleta das folhas foi realizada de acordo com a metodologia proposta pelo Manual de Calagem e Adubação para os estados de SC e RS (2016), sendo feita a coleta da primeira folha logo abaixo a primeira espiga, de 15 plantas por parcela, no momento em que se encontrava em torno de 50% das plantas em pendoamento. As folhas amostradas foram secadas previamente em estufa de ventilação forçada, a 60°C por 48h. Após, as folhas foram moídas em moinhos de facas tipo Willey, e armazenadas em frascos plásticos para a determinação do nitrogênio foliar, seguindo a metodologia proposta por Tedesco *et al.* (1995).

Teor de nitrogênio do grão: após a colheita das espigas de cada parcela, foi realizada a debulha manual dos grãos e a secagem prévia do material a 50°C em estufa de ventilação forçada, por 48h para correção da umidade. Foi feita a moagem dos grãos em moinhos de facas tipo Willey (Figura 2), e armazenados em frascos plásticos para determinação do nitrogênio do grão, seguindo a mesma metodologia utilizada para a determinação foliar.

Figura 2 - Moinho de facas tipo Willey utilizado para moagem de folhas e grãos



Fonte: fotografia registrada pela autora (2022).

O nitrogênio foi determinado a partir da pesagem em balança analítica de alta precisão de 0,2 gramas do material moído, e acondicionado em tubos para digestão. Após a pesagem, foi adicionado 1 ml de H_2O_2 (35 volumes), 2ml de H_2SO_4 (concentrado) e 0,7g de mistura para digestão, na capela e com exaustão ligada. As amostras foram colocadas no bloco digestor, por $160^\circ C$ até evaporar a água e aumentado a temperatura para $360^\circ C$. Após as amostras atingirem coloração esverdeada, foi mantido por mais 1h nesta temperatura. Depois, foi retirado as amostras do bloco e deixado esfriar para completar até a marca de aferição com água destilada.

A solução líquida foi armazenada em frascos “snap cap”, para retirada das alíquotas para as determinações do nitrogênio, que foram mantidas em refrigeração. Para início da destilação, retirou-se 10 ml da alíquota que foram colocados em tubos para digestão e então foi adicionado 5 ml de hidróxido de sódio, iniciando-se imediatamente a destilação em destilador de nitrogênio.

No condensador foi acondicionado um frasco Erlenmeyer de 50 ml, contendo 5 ml de indicador ácido bórico. Recolhia-se de 35-40 ml de destilado no frasco Erlenmeyer, que ficava com coloração esverdeada após as primeiras gotas do

destilado pingarem no frasco. Foram feitas uma amostra branca para cada repetição, iniciando as destilações com estas amostras.

A titulação foi feita com H_2SO_4 em concentração de 0,0025M, até a viragem para a coloração rosa-claro, anotando o valor gasto para proceder os cálculos com a seguinte fórmula:

$$N\% = \frac{(mL H^+ am - mL H^+ br) \times 700 \times 5 \times 5}{10000}$$

Onde:

mL H^+ am= valor gasto na titulação;

mL H^+ br= valor gasto para titular as amostras brancas;

Produtividade: obtida através da pesagem das 10 espigas colhidas (kg), que foram debulhadas manualmente, e corrigidas para 13% de umidade. O cálculo procedeu-se da seguinte forma:

$$Produtividade \text{ kg ha}^{-1} = \frac{\text{peso das espigas colhidas (kg)}}{\text{n}^\circ \text{ de espigas colhidas}} \times \text{população de plantas}$$

Para a conversão para sc ha^{-1} dividiu-se o valor obtido em $kg ha^{-1}$ por 60.

Análise econômica: foi avaliado o acréscimo na produtividade de grãos, o preço recebido pelo produtor (sacos de 60 kg), custo dos diferentes fertilizantes nitrogenados somados aos custos de aplicação de cada tratamento e a margem de lucro. As metodologias para avaliação da viabilidade econômica foram semelhantes ao adotado por MARTIN *et al.*, (1994); SOUZA; BUZETTI; MOREIRA, (2015) e GALINDO *et al.*, (2019).

Para a receita bruta e receita líquida, foram considerados a produtividade (em sacas por hectare), os custos de produção (em R\$ por hectare) e os custos de N (em R\$ por hectare). Os custos de produção referem-se a custos iguais para todos os diferentes tratamentos, relativos à semeadura, colheita, mão de obra, consumo de diesel, compra de sementes, adubação de base e tratos culturais como herbicidas para dessecação, fungicidas e inseticidas utilizados no decorrer do ciclo da cultura.

O custo de N se deu pela diferença entre os tratamentos referente ao preço da fonte de N utilizada e a forma como foi fornecida, em dose única (necessitando apenas

uma entrada do implemento na lavoura) ou em parcelamento (necessitando de duas entradas do implemento na lavoura), ou sem custo para o tratamento em que não foi aplicado nitrogênio (testemunha), bem como, a mão de obra utilizada e o consumo de diesel para fornecer os diferentes fertilizantes. A dose utilizada foi a mesma para todos os diferentes tratamentos, não havendo variação para este fator.

Para o consumo de diesel, o preço na época em que foram feitas as diferentes operações era de R\$ 4,20, consultado em comércio local. A estimativa de consumo foi com base em profissionais da área e produtores rurais.

Para a receita bruta, foi multiplicada a produtividade pelo preço do milho pago ao produtor (sacos de 60 kg) em janeiro de 2022, mês em que foi realizada a colheita, que era de R\$ 92,00/sc, conforme cotações agrícolas da COTRISAL. A receita líquida foi obtida pela subtração da receita bruta dos custos de produção e os respectivos custos de fonte de N.

O custo total (em sacos por hectare) foi obtido pela divisão dos custos totais de produção + custo das diferentes fontes de N pelo valor da venda (considerando sacos de 60 kg), expressando quantos sacos por hectare era preciso produzir para pagar o valor gasto de cada tratamento testado.

O custo de produção por fonte de N (em sacos por hectare) se deu pela diferença do custo de produção dos respectivos tratamentos subtraído do valor do custo de produção da testemunha, que não recebeu adubação nitrogenada.

O acréscimo de produtividade foi calculado pela subtração do respectivo tratamento em relação a produtividade obtida pelo tratamento testemunha.

Já o lucro por fonte de N em sacos por hectare foi obtido pela subtração do acréscimo de produtividade pelo custo de produção por fonte de N. O lucro final por fonte de N (em R\$ por hectare) foi obtido pela multiplicação do lucro por fonte de N pelo valor da venda no preço recebido pelo produtor no mês de janeiro, sendo este o valor final líquido de retorno que cada fonte proporcionou nos diferentes tratamentos, para assim analisar qual fonte proporcionou a maior margem de lucro.

As diferentes formas de fornecimento da adubação requerem diferentes tipos de mão de obra, que no caso do experimento se deu com mão de obra contratada, sendo levada em consideração da seguinte forma:

O mês possui 4,5 semanas em média, com jornada de trabalho semanal de 44h e salário pago aos funcionários de 2 salários mínimos (1 salário mínimo está com valor de R\$ 1.212,00). Assim, os funcionários recebem R\$ 12,24/hora trabalhada.

A incorporação do fertilizante nitrogenado feita antes da semeadura do milho foi realizada com semeadora de fluxo contínuo, que possui 4m de largura, com uma eficiência de campo estimada em média, de 75%, em uma velocidade de trabalho de 8km/h.

A distribuição do fertilizante nitrogenado à lanço durante a execução do experimento foi feita de forma manual, mas simulando uma situação real de campo esse custo também foi considerado, uma vez que o implemento poderia ter sido utilizado, porém devido ao pequeno tamanho das parcelas ficaria inviável. O equipamento possui 24m de largura de trabalho, mas sua eficiência de campo não é exatamente determinada em trabalhos científicos, acarretando na ausência de dados para este implemento. Dessa forma, foi considerada a eficiência de um equipamento similar, o pulverizador de barras, que é em média de 70%, em uma velocidade de trabalho de 11,5 km/h.

Os valores de eficiência de campo e capacidade operacional para ambos os implementos foram citados conforme encontrado por PACHECO, (2000).

A capacidade de campo teoria (CcT) foi calculada da seguinte forma:

$$CcT = \frac{L \times V}{10 \times n^{\circ}p}$$

A capacidade de campo efetiva (CcE) foi calculada da seguinte forma:

$$CcE = \frac{L \times V}{10 \times n^{\circ}p} \times Ec$$

Onde:

CcT= capacidade de campo teórica

CcE= capacidade de campo efetiva

L= largura de trabalho (m)

V= velocidade de operação (km/h)

Nºp= número de passadas

Ec= eficiência de campo (base 1)

Os valores de CcE e CcT são expressos normalmente em $ha^{-1} h$.

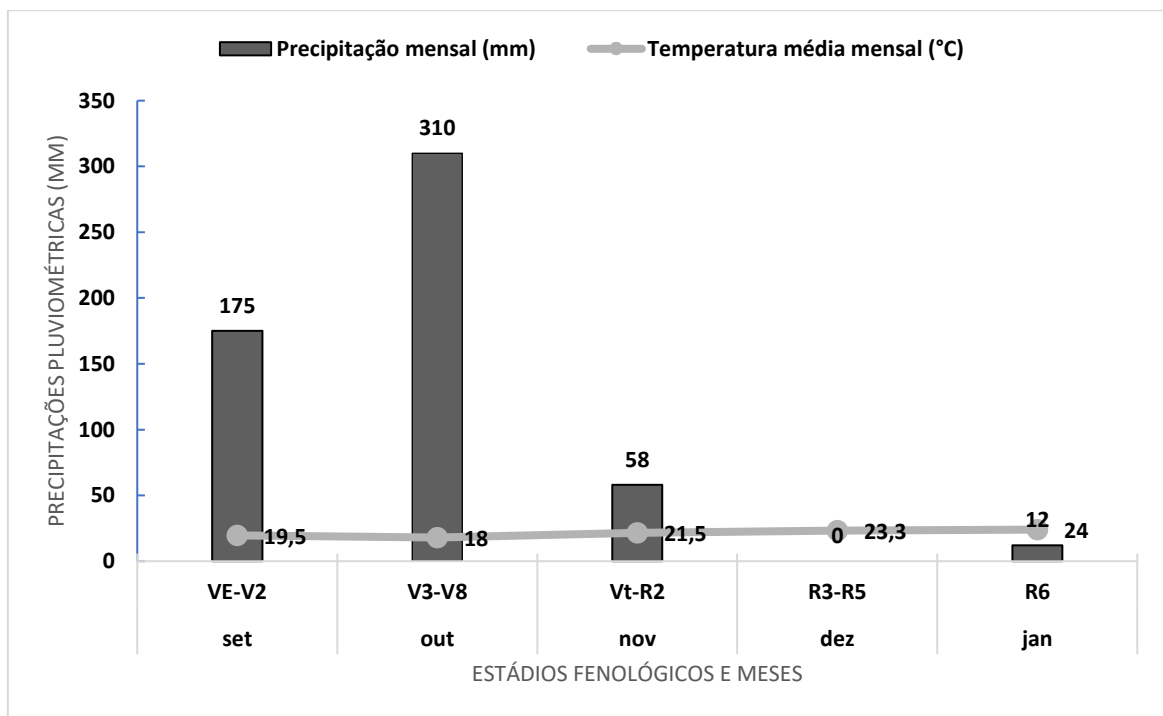
Algumas etapas do trabalho também tiveram características qualitativas, onde obteve-se resultados via consulta com agricultores e profissionais da área, como para obtenção dos valores de insumos, de mão de obra e valores de eficiência operacional (estimar se os valores obtidos corroboram com os reais rendimentos conhecidos).

Com os resultados obtidos os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico R.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o ciclo da cultura houveram eventos climáticos extremos em decorrência da atuação do fenômeno “La niña”, que prejudicou principalmente a região norte do Estado do Rio Grande do Sul, onde foi conduzido o estudo. Os principais efeitos foram a irregularidade na distribuição das precipitações, ocorrendo excesso de chuva nos dois primeiros meses de desenvolvimento da cultura, e falta de chuva nos meses seguintes, fato este que prejudicou o seu desenvolvimento e principalmente a produtividade.

Figura 3 - Representação da distribuição pluviométrica e de temperaturas durante o ciclo da cultura



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

De acordo com os volumes pluviométricos registrados durante o ciclo da cultura, é possível observar que na fase inicial de desenvolvimento que foi de setembro a outubro, houveram bons volumes de precipitações, fornecendo assim uma boa condição para germinação e para as aplicações das diferentes fontes de adubação nitrogenada que foram feitas à lanço, quando o milho estava nos estádios fenológicos de V4 e V8, especialmente boas condições para a ureia. É válido ressaltar que na primeira semana de implantação do experimento houve um grande volume de chuva em poucos dias, fato este que pode ter acarretado em uma possível lixiviação

dos fertilizantes que foram incorporados em semeadura, podendo afetar o desempenho destas formas testadas.

Já para os estádios seguintes de desenvolvimento os meses mais críticos foram novembro, o qual houve um volume de precipitação no início do mês, e dezembro, mês este que não foram registradas ocorrências de chuvas. Nesses meses de maior agravamento do estresse hídrico foi o período em que a cultura se encontrava em estágio de pleno florescimento. Essas fases são as de máxima exigência hídrica, e a falta de água nesses períodos é a responsável pelas maiores reduções de produtividade, sendo observadas reduções de 40-50% no estágio de embonecamento, de 20-30% no período anterior ao embonecamento e de 10-20% após, sendo que essas reduções podem ser até maiores a depender da extensão do período de déficit hídrico (ANDRADE *et al.*, 2006).

A cultura já estava em exposição a um período de restrição hídrica antes do embonecamento (estádio fenológico R1), situação que continuou durante e após o embonecamento, sendo então observados os efeitos do extremo climático nas características agrônômicas que foram analisados no decorrer do ciclo, como baixa altura de inserção de espiga, peso de mil sementes baixo, menores teores de nitrogênio foliar e do grão, e também, baixa produtividade. A formação das espigas foi prejudicada em função dos extremos climáticos ocorridos, conforme é possível observar na figura 4.

Para a produtividade, altura de inserção de espigas e peso de mil grãos não houveram diferenças estatísticas significativas, somente houve diferença em relação a testemunha que não recebeu adubação nitrogenada, conforme pode-se observar na tabela 4. Esses resultados corroboram com o encontrado por RODRIGUES *et al.* (2018), em estudo realizado testando diferentes fontes de nitrogênio em milho, sendo Nitromag (27% N), Cooper N (45% N), Super N (45%), Ureia (45% N), Testemunha (0% N): Sem nitrogênio na parcela, em duas aplicações, analisaram rendimento de grãos, produtividade de massa verde e seca e índice de clorofila foliar. Foi verificado que não houve incremento dos parâmetros analisados em relação as diferentes fontes testadas.

Contudo, analisando a produtividade pode-se perceber a diferença de 13,2 sacas ha⁻¹ em relação ao fertilizante testado que mais produziu (ureia em V4+V8) e o

de menor produção (fertilizante nitrogenado de eficiência aumentada, encapsulado e revestido incorporado em semente). Essa diferença pensada na prática na tomada de decisão de qual fonte e forma escolher pode representar uma boa diferença monetária, importante nos dias atuais principalmente levando em consideração o preço atual dos fertilizantes e, principalmente, devido à grande opção de fontes de adubação nitrogenada disponíveis, é importante saber quais geram boas produtividades e bons retornos econômicos.

A baixa produtividade é explicada pela ocorrência dos extremos climáticos descritos anteriormente, devido a fase em que a cultura se encontrava os períodos de deficiência hídrica foram extremamente prejudiciais. Estes resultados corroboram com o encontrado por SILVA *et al.* (2021) onde foi observado que o déficit hídrico a partir da fase de polinização gera espigas com má formação, além de uma baixa produtividade.

Figura 4 - Má formação de espigas devido ao déficit hídrico



Fonte: fotografia registrada pela autora (2022).

KOPPER *et al.* (2017) observou que a altura de inserção de espigas é um parâmetro agrônomo de suma importância, pois há correlação positiva entre

produtividade e altura de inserção de espigas, sendo que plantas com espigas inseridas em maior altura tendem a ter maiores produtividades. No presente trabalho as diferentes fontes e formas de aplicação não tiveram diferenças significativas de altura, somente em relação a testemunha. Onde houve o fornecimento de adubação nitrogenada, obteve-se altura de inserção de espiga maior.

Tabela 4 - Produtividade, peso de mil grãos e altura de inserção de espigas nos diferentes tratamentos

Fontes e formas de aplicação	Produtividade (sc ha ⁻¹)	PMG (g)	Alt ins. esp. (m)
Ureia em V4+V8	118,90 a*	190,10 a	1,50 a
Fertilizante nitrogenado com inibidor de urease (NBPT) em V4+V8	117,11 a	183,90 a	1,50 a
Ureia incorporada em semeadura + V8	115,30 a	187,20 a	1,50 a
Ureia incorporada em semeadura	111,30 a	182,40 a	1,40 a
Fertilizante nitrogenado com inibidor de urease (NBPT) em V8	108,80 a	177,40 a	1,40 a
Fertilizante nitrogenado encapsulado e revestido incorporado em semeadura	105,70 a	178,60 a	1,50 a
Testemunha	87,30 b	159,80 b	1,20 b
CV (%)	8,47	4,48	5,69

* Médias não seguidas pela mesma letra diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). Fonte: elaborado pela autora (2022).

Outros parâmetros importantes são o número de fileiras de grãos (NFG), número de grãos por fileiras (NGF) e número de grãos por espiga (NGesp), também analisados no estudo. Houveram poucas diferenças significativas entre esses parâmetros comparando as diferentes fontes e formas de adubação utilizadas, conforme exposto na tabela 5.

Conforme observado por VALDERRAMA *et al.* (2011) e NASCIMENTO *et al.* (2011) esses resultados podem, de maneira geral, não ser tão fortemente influenciados pelos diferentes manejos e fontes de adubação nitrogenada pois são características mais relativas ao genótipo do milho. Embora, pode-se perceber que o tratamento testemunha teve desempenho pior quando comparado aos demais tratamentos, confirmando que a adubação nitrogenada de qualquer forma tem

influência nessas características, promovendo um incremento em relação a não aplicação, mas não propriamente é tão influenciada pela fonte ou pela forma de fornecimento.

Tabela 5 - Número de fileira de grãos (NFG), número de grãos por fileira (NGF) e número de grãos por espiga (NG esp.) obtidos nos diferentes tratamentos utilizados

Fontes e formas de aplicação	NFG	NGF	NGesp
Ureia em V4+V8	29,0 a*	15,9 a	443,0 a
Fertilizante nitrogenado com inibidor de urease (NBPT) em V4+V8	29,0 a	15,9 a	451,0 a
Ureia incorporada em semeadura + V8	29,1 a	14,4 bc	441,0 a
Fertilizante nitrogenado com inibidor de urease (NBPT) em V8	28,5 a	14,0 c	436,0 a
Fertilizante nitrogenado encapsulado e revestido incorporado em semeadura	28,5 a	15,5 ab	424,0 a
Ureia incorporada em semeadura	27,4 b	14,9 abc	410,0 a
Testemunha	23,3 c	12,5 d	346,0 b
CV (%)	1,89	5	6,11

* Médias não seguidas pela mesma letra diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). Fonte: elaborado pela autora (2022).

Quanto ao índice de clorofila A e B, apresentados na tabela 6, pode-se observar também que as maiores diferenças foram em função do tratamento testemunha. A baixa diferença observada pode ser explicada pelo fato de que a dose estabelecida para as diferentes fontes e formas de fornecimento de adubação nitrogenada foi a mesma, não criando variação no fornecimento que pudesse resultar em menores ou maiores índices. Quando houve o suprimento de nitrogênio de alguma forma, houve a sintetização de clorofila.

ARGENTA *et al.* (2001) encontraram diferenças nas medidas de índice de clorofila utilizando-se de diferentes sistemas de manejo de N e em diferentes estádios fenológicos, comprovando que a época e a quantidade de N aplicada tem forte correlação com maiores ou menores índices de clorofila A e B na folha índice do milho.

Tabela 6 - Índices de clorofila A e B obtidos nos diferentes tratamentos

Fontes e formas de aplicação	Índice de clorofila A	Índice de clorofila B
Ureia em V4+V8	42 a*	13 a
Fertilizante nitrogenado com inibidor de urease (NBPT) em V4+V8	41 ab	14 a
Ureia incorporada em semeadura + V8	41 ab	13 a
Ureia incorporada em semeadura	40 ab	13 ab
Fertilizante nitrogenado com inibidor de urease (NBPT) em V8	41 ab	13 a
Fertilizante nitrogenado encapsulado e revestido	40 b	12 b
Testemunha	37 c	11 c
CV (%)	1,63	5,2

* Médias não seguidas pela mesma letra diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). Fonte: elaborado pela autora (2022).

Os teores de nitrogênio foliar em nível adequado para o bom suprimento demandado pela cultura, segundo Malavolta *et al.* (1997) e Raij *et al.* (1996), se encontram na faixa de 2,75 a 3,5%. Como pode ser observado na tabela 7, os teores obtidos ficaram dentro ou próximos do ideal nos diferentes tratamentos, exceto para o fertilizante encapsulado e revestido incorporado em semeadura e para a testemunha.

Para os valores mais elevados encontrados, estes podem ser explicados por um possível acúmulo do nitrogênio na folha, uma vez que em um tratamento o fornecimento foi somente na semeadura e depois no estágio fenológico V8, e o outro tratamento foi feito o fornecimento de toda a dose estipulada para a cultura somente em V8.

Embora os teores estejam dentro ou próximos do ideal, ainda podem ser considerados relativamente baixos, pois quanto maior o teor encontrado nas folhas, há a indicação de um melhor aporte do suprimento de nitrogênio para a planta. Em estudo realizado por SOUZA *et al.* (2014), foi constatado que houve interação entre a disponibilidade hídrica do solo e o nitrogênio, sendo que o elemento pode limitar o crescimento de plantas que foram submetidas a um déficit hídrico. Ainda, há uma

redução da atividade da redutase do nitrato, a qual diminui formação de aminoácidos, proteínas e clorofilas. Assim sendo, o déficit hídrico pode ter comprometido a síntese de nitrogênio devido à redução da atividade de enzimas importantes, gerando teores mais baixos do que se estivesse ocorrido uma situação de boa distribuição pluviométrica.

Este fator também pode explicar o menor teor de nitrogênio foliar encontrado para o fertilizante nitrogenado revestido e encapsulado (tabela 7), pois trata-se de um fertilizante de liberação lenta e controlada que necessita de boa disponibilidade hídrica para que ocorra a liberação e a dissolução do fertilizante. Como nos primeiros meses de desenvolvimento houveram grandes precipitações pluviométricas, a liberação do fertilizante pode ter ocorrido de forma mais rápida no início, e após, no período de restrição hídrica o fertilizante já teria sido totalmente liberado.

Tabela 7 - Porcentagem de nitrogênio (N) foliar e do grão obtido para os diferentes tratamentos

Fontes e formas de aplicação	N foliar (%)	N grão (%)
Fertilizante nitrogenado com inibidor de urease (NBPT) em V8	2,80 a*	1,60 a
Ureia incorporada em semeadura + V8	2,75 a	1,60 a
Ureia incorporada em semeadura	2,68 ab	1,60 a
Ureia em V4 + V8	2,66 ab	1,50 a
Fertilizante nitrogenado com inibidor de urease (NBPT) em V4 + V8	2,60 b	1,50 a
Fertilizante nitrogenado encapsulado e revestido	2,26 c	1,60 a
Testemunha	2,12 d	0,90 b
CV (%)	2,81	4,26

* Médias não seguidas pela mesma letra diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). Fonte: elaborado pela autora (2022).

Quando se analisa o teor de nitrogênio do grão, também exposto na tabela 7, verifica-se que também não houveram diferenças significativas entre os diferentes tratamentos, somente em relação a testemunha. Conforme relatado por PAES, (2006) o milho apresenta em sua composição, em média, 9,5% de proteína. Os resultados

obtidos estão dentro da faixa considerada normal, exceto para a testemunha a qual apresentou um teor de nitrogênio menor no grão.

A análise de custos realizada incorporou os custos de produção, relativos à custos com operações (mão de obra e consumo de diesel) e insumos que foram realizadas de forma igual para todos os tratamentos, conforme exposto na tabela 8.

Tabela 8 - Custos de produção iguais para todos os diferentes tratamentos utilizados

Custos de produção	Unidade	Valor unitário (R\$)	Quantidade utilizada	Total ha ⁻¹ (R\$)
a. Operações				
Semeadura	h	96,24	0,56 h	53,89
Pulverizações	h	50,04	0,22 h	11,01
Colheita	h	117,24	0,44 h	51,59
Subtotal				116,49
b. Fertilizantes				
Adubação de base 08-40-00	sc	209,47	6,0 sc	1256,82
Cloreto de potássio	sc	170,0	3,0 sc	510,0
Subtotal				1766,82
c. Fungicidas				
Ábacus ®	l	193,77	330,0 mL	63,94
Subtotal				63,94
d. Inseticidas				
Flycontrol ®	l	265,0	200,0 mL	53,0
Nomolt ®	l	808,0	150,0 mL	121,2
Pirinex ®	l	36,0	1,0 l	36,0
Subtotal				210,2
e. Herbicidas				
Roundup ®	kg	48,34	2,5 kg	120,85
Atrazina ®	l	18,87	6,0 l	113,22
Poker ®	l	58,50	300 mL	17,55
Subtotal				251,62
f. Outros				

Sementes de milho	sc	1100,0	1,4 sc	1540,0
DBK 230PRO ®				
Óleo mineral	l	22,22	300,0 mL	6,6
Biomaphos ®	l	750,0	150,0 mL	112,5
Inoculação	l	95,0	100,0 mL	9,50
Inoculação	l	83,89	400,0 mL	33,5
Subtotal				1702,21
Custos de produção totais				4111,28

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

As fontes utilizadas foram oferecidas de diferentes formas, também levadas em consideração para composição da análise de custos, conforme exemplificado na tabela 9. As diferentes fontes e formas de aplicação tiveram custos parecidos com mão de obra para aplicação, com exceção dos tratamentos que tiveram incorporação do fertilizante e incorporação + aplicação em cobertura, sendo um custo um pouco maior em relação a aplicação somente em cobertura.

Tabela 9 - Especificação da mão de obra necessária para fornecer os diferentes fertilizantes utilizados

Tratamentos	Operação	Unidade	Valor unitário (R\$/h)	Horas gastas ha ⁻¹	Total (R\$ ha ⁻¹)
T1	1 incorporação	h	62,64	0,42	26,31
T2	2 distribuições à lanço	h	50,04	0,10	5,00
T3	1 incorporação	h	62,64	0,42	26,31
T4	2 distribuições à lanço	h	50,04	0,10	5,00
T5	1 incorporação e 1 distribuição à lanço	h	62,64 + 50,04	0,42 + 0,05	28,81
T6	1 distribuição à lanço	h	50,04	0,05	2,50
T7	-	-	-	-	0

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O tratamento testemunha cujo qual não recebeu nenhum tipo de adubação nitrogenada não obteve custos com relação a isso, porém, foi obtido uma produtividade muito inferior aos demais tratamentos. É amplamente conhecido e

relatado na literatura que o uso de nitrogênio para a cultura do milho é benéfico, mas é necessário sempre levar em consideração a viabilidade das diferentes fontes disponíveis em relação a custos e produtividade dos grãos (SOUZA; BUZETTI; MOREIRA, 2015).

As especificações dos componentes considerados para composição dos custos de nitrogênio para as diferentes fontes são exemplificadas na tabela 10. A fonte mais barata de ser utilizada foi ureia distribuída em duas aplicações à lanço em V4+V8, forma esta que também foi a que obteve a maior produtividade dos tratamentos analisados. Porém, quando comparada aos demais tratamentos, fertilizante nitrogenado de eficiência aumentada (NBPT) fornecido em diferentes formas, ou ureia incorporada em semeadura, obteve-se pouca diferença monetária e também, pouca diferença de produtividade.

O custo mais elevado encontrado foi para o fertilizante nitrogenado encapsulado e revestido, incorporado em semeadura, sendo que este foi o tratamento de menor produtividade quando comparado aos demais. Essas fontes de nitrogênio geralmente apresentam valor mais elevado pelos tipos de revestimentos que apresentam em seus grânulos, além de serem fontes de liberação lenta e controlada, apresentando um custo de produção maior em comparação às demais fontes.

Tabela 10 - Especificação dos custos de N para os diferentes tratamentos

Tratamentos	Unidade	Valor unitário (R\$)	Quantidade utilizada (sc ha ⁻¹)	Custo de operação (R\$ ha ⁻¹)	Total (R\$ ha ⁻¹)
T1	sc	211	8	26,31	1714,31
T2	sc	175	8	5,00	1405,00
T3	sc	163,50	8	26,31	1334,31
T4	sc	163,50	8	5,00	1313,00
T5	sc	163,50	8	28,81	1336,81
T6	sc	175	8	2,50	1402,50
T7	-	-	-	-	0

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Na tabela 11 pode-se observar a composição da receita bruta e receita líquida utilizadas para os cálculos. O tratamento que gerou a receita líquida maior foi ureia

em V4+V8, devido principalmente a ter menor custo para aquisição em comparação com as outras fontes e a produtividade maior. A ureia é uma das fontes mais baratas de nitrogênio disponíveis no mercado, e com a maior concentração de nitrogênio em sua composição.

É válido ressaltar que a ureia tem altas dependências climáticas para aplicação, como condições de chuva, umidade e baixas temperaturas para uma maior eficiência e menores perdas. No caso do período de condução deste experimento, as condições climáticas no início do desenvolvimento da cultura foram favoráveis, tendo boa disponibilidade hídrica para as aplicações. Este fator pode ter auxiliado a ser o tratamento que obteve a maior produtividade, sendo a fonte mais barata e por isso apresentando uma receita líquida maior. Porém, nem sempre as condições climáticas são ideais para as aplicações, gerando perdas e reduzindo a eficiência do aproveitamento pela cultura.

Já para os fertilizantes que foram incorporados em semeadura, devido ao grande volume de precipitação do início do ciclo de desenvolvimento da cultura pode ter comprometido o desempenho dessas fontes e formas testadas por lixiviação, sendo uma forma de perda e redução de eficiência de fertilizantes nitrogenados.

Tabela 11 - Composição da receita líquida e receita bruta considerada para as diferentes fontes de nitrogênio

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Tratamentos	Produtividade (sc ha ⁻¹)	Custo de produção (R\$ ha ⁻¹)	Custo de N (R\$ ha ⁻¹)	Receita bruta (R\$ ha ⁻¹)	Receita líquida (R\$ ha ⁻¹)
T1	105,7	4111,28	1714,31	9727,46	3901,87
T2	117,1	4111,28	1405,00	10773,20	5256,92
T3	111,3	4111,28	1334,31	10239,60	4794,01
T4	118,9	4111,28	1313,00	10941,86	5517,58
T5	115,3	4111,28	1336,81	10610,66	5162,57
T6	108,8	4111,28	1402,50	10009,60	4495,82
T7	87,3	4111,28	0	8031,60	3920,32

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O acréscimo de produtividade e fatores considerados para composição do lucro final por fonte de nitrogênio podem ser observados na tabela 12. De forma geral, todos os tratamentos proporcionaram uma margem de lucro, exceto a testemunha e o fertilizante nitrogenado de eficiência aumentada, revestido e encapsulado. Como já foi possível observar anteriormente nas demais análises, a ureia em V4+V8 foi o tratamento com maior margem de lucro.

Resultados semelhantes também foram obtidos por PORTUGAL, (2012) que realizou um estudo com objetivo de avaliar diferentes fontes de nitrogênio (sem nitrogênio, nitrato de amônio sem incorporação, ureia em cobertura, ureia com incorporação, sulfato de amônio em cobertura, fertilizante de liberação controlada sem incorporação com 50 e 100 kg/há de N), no sentido econômico e de produtividade no cultivo de milho em sistema de plantio direto. Os resultados obtidos foram que ureia comum, sulfato de amônio e nitrato de amônio apresentaram desempenhos semelhantes em produtividade e retorno econômico. Já o fertilizante de liberação controlada não foi viável do ponto de vista econômico.

Tabela 12 - Acréscimo de produtividade, custo de produção/venda, lucro por fonte de N (sc ha⁻¹) e lucro/fonte de N (R\$ ha⁻¹) obtidos para os diferentes tratamentos

Tratamentos	Custo total (sc ha ⁻¹)	Custo de produção/fonte de N (sc ha ⁻¹)	Acréscimo produtividade (sc ha ⁻¹)	Lucro/fonte de N (sc ha ⁻¹)	Lucro/fonte e de N (R\$ ha ⁻¹)
T1	63,32	18,63	18,40	-0,23	-21,51
T2	59,96	15,27	29,80	14,53	1336,60
T3	59,19	14,50	24,00	9,50	873,69
T4	58,96	14,27	31,60	17,33	1594,20
T5	59,22	14,53	28,00	13,47	1239,19
T6	59,93	15,24	24,50	9,26	851,50
T7	44,69	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

As demais fontes e formas testadas obtiveram lucros, mas com margem menor de lucro menor quando comparadas a ureia em V4+V8. Podem ser opções de utilização viáveis da mesma forma, quando as condições climáticas de aplicação não forem ideais para utilização da ureia. Os componentes de produtividade analisados diferiram pouco em relação a essas fontes, tendo resultados semelhantes e assim influenciando na margem de ganho maior ou menor.

Somente o fertilizante nitrogenado de eficiência aumentada revestido e encapsulado obteve resultados que apresentaram uma inviabilidade em seu uso, devido ao alto custo de aquisição e baixa produtividade obtidos no experimento, nas condições de cultivo do milho em sistema de plantio direto, de solo e clima em que o trabalho foi conduzido.

6 CONCLUSÕES

A condição climática para aplicação dos fertilizantes nitrogenados é o principal fator determinante para que a fonte utilizada gere um bom desempenho para a cultura do milho ou não. O potencial produtivo e o desempenho das fontes testadas podem ter sido comprometidos pelo regime hídrico.

Todos os tratamentos analisados tiveram acréscimo de produtividade em relação a testemunha que não recebeu adubação nitrogenada. O tratamento que utilizou fertilizante nitrogenado de eficiência aumentada, revestida e encapsulada incorporada em semeadura não obteve margem de lucro, com saldo negativo devido ao seu alto custo e baixa produtividade.

Já as demais fontes e formas de fornecimento testadas, com fertilizante nitrogenado de eficiência aumentada (NBPT) e ureia, em cobertura ou incorporada em semeadura, obtiveram diferenças entre si nos parâmetros de produção analisados, mas ainda assim proporcionaram uma margem de lucro mostrando serem viáveis, mas com menores ganhos. Podem ser opções de fontes e formas de suprimento de nitrogênio quando as condições climáticas para aplicação de ureia não forem as ideais.

O tratamento que obteve a maior produtividade e lucratividade foi a ureia em cobertura nos estádios fenológicos de V4+V8 (R\$ 1601 ha⁻¹), devido principalmente as boas condições de disponibilidade hídrica que ocorreram para suas aplicações, mostrando assim, ser a fonte e a forma mais eficiente de fornecimento nas condições de cultivo do milho em sistema de plantio direto, de clima e solo em que o trabalho foi conduzido.

REFERÊNCIAS

ABISOLO - Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal. **Anuário Brasileiro de Tecnologia em Nutrição Vegetal**. Campinas, SP. v. 7, 2021.

AMARAL FILHO, José Pedro Ribeiro Do; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, Rogerio; BARBOSA, José Carlos. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Jaboticabal, v. 29, p. 467–473, 2005. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/5969#:~:text=A%20aduba%C3%A7%C3%A3o%20de%20cobertura%20foi,gr%C3%A3os%20de%20milho%20segunda%20safra>. Acesso em: 04 abr 2022.

ANDRADE, Camilo de Lelis; ALBUQUERQUE, Paulo Emílio Pereira; BRITO, Ricardo Augusto Lopes; RESENDE, Morethson. Viabilidade e Manejo da Irrigação da Cultura do Milho. **Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico**, 47, v. 85, n. 1679–1150, p. 12, 2006. Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2006/circular/Circ_85.pdf. Acesso em: 09 maio 2022.

ARGENTA, Gilber.; DA SILVA, Paulo Regis Ferreira.; BORTOLINI, Clayton Giani.; FORSTHOFER, Everton Leonardo; STRIEDER, Mércio Luiz. Relationship of reading of portable chlorophyll meter with contents of extractable chlorophyll and leaf nitrogen in maize. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 2, p. 158–167, 2001. DOI: 10.1590/s0103-31312001000200005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbfv/a/bq6hkDRMFbTkJGtNfCWGCf/abstract/?lang=en>. Acesso em: 14 abr 2022.

BERNARDON, Tatiane. **Componentes da produtividade de grãos de milho (*Zea mays* L.), visando obter parâmetros para a agricultura de precisão**. Dissertação (Pós-Graduação em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

BONO, Maior José Antonio; D'AGOSTINI, Contreiras Rodrigues Adriana Paula; MAUAD, Munir; DE ALBUQUERQUE, Júlio César; RUMIKO, Yamamoto Cristina; DA SILVA, Chermouth Katyuce; DE FREITAS, Mirianny Elena. Modo de aplicação de fertilizantes nitrogenados na qualidade fisiológica de sementes de milho. **Agrian**, v. 1, n. 2, p. 91–102, 2008.

BOUGUYON, Eléonore; GOJON, Alain; NACRY, Philippe. Nitrate sensing and signaling in plants. **Seminars In Cell & Developmental Biology**, v. 23, n. 6, p. 648–654, ago. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.semcdb.2012.01.004>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22273693/>. Acesso em: 17 abr. 2022.

BREDEMEIER, Christian; MUNDSTOCK, Claudio Mario. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciências Rurais**, n. 2, p. 365–372, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782000000200029>.

BUCHER, Cassia Pereira Coelho; BUCHER, Carlos Alberto; SOUZA, Sonia Regina de. Absorção, transporte e redistribuição de formas orgânicas de nitrogênio em plantas. In: FERNANDES, Manlio Silvestre; SOUZA, Sonia Regina de; SANTOS, Leandro Azevedo (ed.). **Nutrição mineral de plantas**. 2. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. p. 167-193.

CANCELLIER, Eduardo Lopes. **Eficiência da ureia estabilizada e de liberação controlada no milho cultivado em solo de fertilidade construída**. 2013. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

CANTERELLA, Heitor. Nitrogênio. In: NOVAIS, Roberto Ferreira de. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

CANTARELLA, Heitor; TRIVELIN, Paulo Cesar Ocheuze; CONTIN, Teodoro Leonardo Michelucci; DIAS, Fábio Luis Ferreira; Fábio; ROSSETTO, Raffaella; MARCELINO, Rafael; COIMBRA, Renato Bradan; QUAGGIO, José Antônio. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea Applied to sugarcane trash blankets. **Sci. Agric**, Piracicaba, v. 65, n. 4, p. 397-401, july/august, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000400011>.

CARDOSO, Susiane de M.; SORATTO, Rogério P.; DA SILVA, Ângela H.; DE MENDONÇA, Cristiane G. Fontes e parcelamento do nitrogênio em cobertura, na cultura do milho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p. 23–28, jan/mar, 2011. DOI: 10.5039/agraria.v6i1a739.

COELHO, Antônio Marcos. Nutrição e Adubação do Milho. **Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagoas p. 10, 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/490410/1/Circ78.pdf>. Acesso em: 12 jun 2022.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Brasília, DF, v. 9, safra 2021/22, n. 10 décimo levantamento, julho 2022.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Análise Mensal**. v. 5, n. 61, p. 1–7, 2020.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária Safra 2019 / 2020**. Brasília, DF, v. 7, p. 102, 2019. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em 8 mar. 2022.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Portal de informações agropecuárias**. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>. Acesso em: 01 ago. 2021.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa em Agropecuária. **Clima**. Versão Eletrônica. Abr./ 2015. Disponível em: <http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>. Acesso em: 15 mai. 2022.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa em Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

FAQUIN, Valdemar. **Nutrição mineral de plantas**. Curso de pós graduação (Especialização a distância solos e meio ambiente) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

FONTOURA, Sandra Mara Vieira; BAYER, Cimélio. Adubação nitrogenada para alto rendimento de milho em plantio direto na região centro-sul do Paraná. **Revista**

Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, p. 1721–1732, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600021>.

FRAZÃO, Joaquim J.; SILVA, Átila R. da; SILVA, Vanderli L. da; OLIVEIRA, Vinícius A.; CORRÊA, Rubia S. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 12, p. 1262–1267, 2014. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1262-1267.

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; VETTORAZZI, J.; DUPAS, E.; YANO, E. H.; BUZETTI, S. Economic viability of corn crop as function of doses, forms and application times of nitrogen in brazilian savannah. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, Selvíria, v. 22, n. 2, p. 391–399, 2019. Disponível em: <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/2423/1260>. Acesso em: 27 ago. 2021.

GARCIA, José Gasques; BASTOS, Eliana Teles; TUBINO, Marco Antonio Azevedo; ARAUJO, Wilson Vaz de. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2019/20 a 2029/30. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, Brasília. 11° ed. Brasília: Atlas, 2020, p. 26- 40.

GARCIA, Pedro Lopes; SERMARINI, Renata Alcarde; FILHO, Carlos Roberto de Sant Ana; BENDASSOLLI, José Albertino; BOSCHIERO, Beatriz Nastaro; TRIVELIN, Paulo Cesar Ocheuze. 15N-Fertilizer recovery in maize as an additional strategy for understanding nitrogen fertilization management with blends of controlled-release and conventional urea. **Agronomy**, Iracemápolis, v. 10, n. 12, p. 1932, 2020. DOI: 10.3390/agronomy10121932.

GREGORY, Peter. J.; GEORGE, Timonthy. S. Feeding nine billion: the challenge to sustainable crop production. **Journal Of Experimental Botany**, [S.l.], v. 62, n. 15, p. 5233-5239, 12 ago. 2011. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/err232>.

GUELFY, D. **Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta e controlada**. Internacional Plant Nutrition Institute. 2017. 32 p. (Internacional Plant Nutrition Institute. Informações Agronômicas, 157).

HALL, W. Benefits of enhanced-efficiency fertilizers for the environment. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005, Frankfurt. **Proceedings...** Frankfurt: International Fertilizer Industry Association, 2005. p. 1-9.

HALVORSON, Ardell D.; SNYDER, Clifford S.; BLAYLOCK, Alan D.; DEL GROSSO, Stephen J. Enhanced-efficiency nitrogen fertilizers: Potential role in nitrous oxide emission mitigation. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 2, p. 715–722, 2014. DOI: 10.2134/agronj2013.0081.

HEFFER, Patrick; PRUD'HOMME, Michel. **Global nitrogen fertilizer demand and supply: trend, current level and outlook**. Technical Report; International Fertilizer Association (IFA), Paris, 2016.

KOPPER, Clayton Vilmar; MEERT, Leandro; KRENSKI, Antônio; BORGHI, Wagner Antonio; OLIVEIRA, Antonio Mendes De; FIGUEIREDO, Alex Sandro Torre. Produtividade de milho segunda safra em função de diferentes velocidades de

semeadura e densidade de plantas. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Pernambuco, v. 22, p. 1–6, 2017. DOI: 10.12661/pap.2017.003.

MALAVOLTA, Eurípedes. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MALAVOLTA, Eurípedes; VITTI, Godofredo Cesar; OLIVEIRA, Sebastião Alberto de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MAR, Gilson Domingos do; MARCHETTI, Marlene Estevão; SOUZA, Luiz Carlos Ferreira de; GONÇALVES, Manoel Carlos; NOVELINO, José Oscar. Produção do milho safrinha em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 2, p. 267-274, 2003.

MARTIN, Batista Nelson; SERRA, Renata; ANTUNES, Gonçalves Francisco João; OLIVEIRA, Mascarenhas Dias Marli; OKAWA, Hiroshige. Custos: Sistema de custo de produção agrícola. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 24, p. 97–122, 1994.

MENDES, Roselita Maria de Souza; LUCENA, Eliseu Marlônio Pereira De; MEDEIROS, Jeanne Barros Leal de Pontes. **Ciências Biológicas: Princípios de Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Fortaleza: EdUECE, 2015.

MILLER, A. J.; CRAMER, M. D. Root Nitrogen Acquisition and Assimilation. **Plant And Soil**, [S.l.], v. 274, n. 1-2, p. 1-36, jul. 2005. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-004-0965-1>.

MORALES, Edgar Javier et al., Urea (NBPT) una alternativa en la fertilización nitrogenada de cultivos anuales. **Rev. Mex. Cienc. Agríc**, Texcoco, v. 10, n. 8, p. 1875-1886, 2019. Disponível em: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342019000801875&lng=es&nrm=iso. Acesso em 28 ago. 2021. Epub 05-Feb-2021. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i8.1732>.

MÔRO, Gustavo Vitti; FRITSCHÉ-NETO, Roberto. Importância e usos do milho no Brasil. *In*: GALVÃO, João Carlos Cardoso; BORÉM, Aluísio; PIMENTEL, Marco Aurélio. **Milho do plantio à colheita**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2017. p. 9-24.

MOTA, Edson Pereira da. **Fertilizantes nitrogenados de liberação gradual: longevidade e volatilização em ambiente controlado**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências – Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2013.

NASCIMENTO, Flávia Meinicke; BICUDO, Sílvio José; RODRIGUES, José Guilherme Lança; FURTADO, Mariléia Barros; CAMPOS, Sérgio. Produtividade de genótipos de milho em resposta à época de semeadura. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 2, p. 193–201, 2011. DOI: 10.1590/s0034-737x2011000200010.

PACHECO, Edson Patto. **Seleção e custo operacional de máquinas agrícolas**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000. 21p. (Embrapa Acre. Documentos, 58).

PAES, Maria Cristina Dias. **Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2006. 6 p. (Circular Técnica n. 75).

PORTUGAL, André Vilela. **Fontes de nitrogênio no cultivo de milho em sistema plantio direto: avaliação econômica e produtividade**. 2012. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção na Agropecuária) - Universidade José Do Rosário Vellano-Unifenas, Alfenas, 2012.

RAIJ, Bernardo van; CANTARELLA, Heitor; QUAGGIO, José Antônio; FURLANI, Angela Maria Cangiani. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

RAMBO, Lisandro; FERREIRA DA SILVA, Paulo Regis; ARGENTA, Gilber; SANGOI, Luís. Adequação de doses de nitrogênio em milho com base em indicadores de solo e de planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.3, p. 401-409, 2008.

RANSOM, Curtis J.; JOLLEY, Von D.; BLAIR, Trenton A.; SUTTON, Lloyd E.; HOPKINS, Bryan G. Nitrogen release rates from slow- and controlled-release fertilizers influenced by placement and temperature. **PLoS ONE**, Minnesota, v. 15, n. 6, p. 1-21, 17 jun. 2020. Public Library of Science (PLoS). DOI: 10.1371/journal.pone.0234544.

REYNOLDS, C. M.; WOLF, D. C.; ARMBRUSTER, J. A. Factors Related to Urea Hydrolysis in Soils. **Soil Science Society Of America Journal**, [S.l.], v. 49, n. 1, p. 104-108, jan. 1985. Wiley.
<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1985.03615995004900010021x>. Disponível em:
<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1985.03615995004900010021x>. Acesso em: 8 maio 2022.

RODRIGUES, Fábio Junior; BARCAROL, Marcos Antonio; ADAMS, Cristiane Rosa; KLEIN, Claudia; BERWANGER, Alexandre Léo. Eficiência Agrônômica da Cultura do Milho Sob Diferentes Fontes de Nitrogênio em Cobertura. **Uniciências**, [S. l.], v. 22, n. 2, p. 66–70, 2018. Editora e Distribuidora Educacional. DOI: 10.17921/1415-5141.2018v22n2p66-70.

ROSA, Ana Paula Scheneid Afonso da; EMYGDIO, Beatriz Marti; BISPO, Noryam Bervian. **Indicações técnicas para o cultivo de milho e sorgo no Rio Grande do Sul Safras 2017/2018 e 2018/2019**. 1° ed. Brasília: Embrapa clima temperado, 2017, 209 p.

SHAVIV, A. Controlled release fertilizers. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005, Frankfurt. **Proceedings...** Frankfurt: IFA, 2005.

SHAVIV, A.; RABAN, S.; ZAIDEL, E. Modeling controlled nutrient release from polymer coated fertilizers: diffusion release from single granules. **Environmental Science & Technology**, Washington, v. 37, n. 10, p. 2251-2256, May 2003.

SILVA, Edson Cabral da; BUZETTI, Salatiér; LAZARINI, Edson. Aspectos Econômicos da Adubação Nitrogenada na Cultura do Milho em Sistema de Plantio Direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [S. l.], v. 4, n. 3, p. 286–297, 2005. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v4n3p286-297.

SILVA, Samuel; SOUSA, Amanda Cibele da Paz; SILVA, Carla Sabrina da; ARAÚJO, Edmaíris Rodrigues; SOARES, Marcelo Augusto da Silva; TEODORO,

lêdo. Parâmetros produtivos do milho sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas no semiárido brasileiro. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, edição especial, p. 30–41, 2021. DOI: 10.15809/irriga.2021v1n1p30-41.

SOUZA, Juliana Aparecida; BUZETTI, Salatier; MOREIRA, Adônís. Viabilidade econômica de fontes e doses de nitrogênio no cultivo do milho segunda safra em sistema de plantio direto. **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, [S. l.], v. 58, n. 3, p. 308–313, 2015. DOI: 10.4322/rca.1921.

SOUZA, Luma Castro de; SIQUEIRA, Jackeline Araújo Mota; SILVA, Jonny Lucio de Souza; SILVA, Jaomara Nascimento da; COELHO, Carla Carolynne Ressueno; NEVES, Myriam Galvão; OLIVEIRA NETO, Cândido Ferreira de; LOBATO, Alan Klynger da Silva. Compostos Nitrogenados, Proteínas e Aminoácidos em Milho sob Diferentes Níveis de Silício e Deficiência Hídrica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 2, p. 117–128, 2014. DOI:10.18512/19806477/rbms.v13n2p117-128.

SOUZA, Sonia Regina de; FERNANDES, Manlio Silvestre. Nitrogênio. *In*: FERNANDES, Manlio Silvestre; SOUZA, Sonia Regina de; SANTOS, Leandro Azevedo (ed). **Nutrição Mineral de Plantas**. 2 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. p. 309-376.

TEDESCO, Marino José; GIANELLO, Clesio; BISSANI, Carlos Alberto; BOHNEN, Humberto; VOLKWEISS, Sérgio José. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5)

TRENKEL, M. **Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient efficiency in agriculture**. 2 ed. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010. 163 p.

USDA. **Grain: World Markets and Trade**. United States Department of Agriculture, jun. 2021. Disponível em: <https://public.govdelivery.com/accounts/USDAFAS/subscriber/new>. Acesso em: 10 jan. 2022.

USDA. **World Agricultural Production**. United States Department of Agriculture. Circular series, July 2022. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf> Acesso em: 15 jun. 2022.

VALDERRAMA, Márcio; BUZETTI, Salatier; BENETT, Cleiton Gredson Sabin; ANDREOTTI, Marcelo; FILHO, Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 2, p. 237–242, 2011. DOI: 10.5216/pat.v41i2.8390.

VERGUTZ, Leonardus; NOVAIS, Roberto Ferreira de; VALADARES, Rafael Vasconcelos. Recomendação de corretivos e adubação. *In*: GALVÃO, João Carlos Cardoso; BORÉM, Aluizio; PIMENTEL, Marco Aurélio. **Milho do plantio à colheita**. 2 ed. Viçosa: UFV, 2017. p. 107-138.

WILLIAMS, Le; MILLER, Aj. Transporters responsible for the uptake and partitioning of nitrogenous solutes. **Annual Review Of Plant Physiology And Plant Molecular**

Biology, [S.L.], v. 52, n. 1, p. 659-688, jun. 2001. Annual Reviews.
<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.arplant.52.1.659>.