Este trabalho foi conduzido objetivando avaliar a influência de diferentes fontes e doses de N sobre o desempenho agronômico e econômico do milho. Foram testadas quatro fontes de N: ureia convencional, ureia protegida, ureia com inibidor de nitrificação e ureia com inibidor de uréase. Cada fonte foi aplicada nas doses de 0, 140, 280 e 420 kg ha^{-1} de N. Os resultados obtidos no trabalho mostraram que a utilização de fontes estabilizadas com inibidores da nitrificação ou da uréase e de fontes protegidas não aumenta o rendimento de grãos e a eficiência agronômica de uso do nitrogênio, em comparação com a ureia convencional, no Nitossolo Vermelho de textura argilosa em que o trabalho foi conduzido.

Orientador: Luis Sangoi

Lages, 2020

ANO
2020

RAFAEL ANDRE MERGENER | FONTES E DOSES DE FERTILIZANTES E EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO À PRODUÇÃO E RENTABILIDADE DE MILHO

UDESC

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

TESE DE DOUTORADO

FONTES E DOSES DE FERTILIZANTES E EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO À PRODUÇÃO E RENTABILIDADE DE MILHO

RAFAEL ANDRE MERGENER

LAGES, 2020

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
DOUTORADO EM PRODUÇÃO VEGETAL

RAFAEL ANDRE MERGENER

FONTES E DOSES DE FERTILIZANTES E EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO À PRODUÇÃO E RENTABILIDADE DE MILHO

LAGES - SC
2020

Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da

Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,

com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Mergener, Rafael Andre
FONTES E DOSES DE FERTILIZANTES E EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO À PRODUÇÃO E RENTABILIDADE DE MILHO / Rafael Andre Mergener. -- 2020.
85 p.

Orientador: Luis Sangoi
Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, 2020.

1. Milho. 2. Nitrogênio. 3. Eficiência agronômica . 4. Rentabilidade. 5. Ureia. I. Sangoi, Luis. II. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. III. Título.

RAFAEL ANDRE MERGENER

FONTES E DOSES DE FERTILIZANTES E EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO À PRODUÇÃO E RENTABILIDADE DE MILHO

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de doutor no Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Banca Examinadora:

Orientador: _____

Ph.D. Luis Sangoi
Orientador – UDESC/Lages-SC

Membros: _____

Dr. Clóvis Arruda de Souza
Membro – UDESC/Lages-SC

_____

Dr. Álvaro Luiz Mafra
Membro – UDESC/Lages-SC

_____

Dr. Marcio Zílio
Membro Externo – Unoesc/Campos Novos-SC

_____

Dra. Analu Mantovani
Membro Externo – Unoesc/Campos Novos-SC

Lages, Santa Catarina, 21 de fevereiro de 2020

Aos meus pais, Ito e Dilma, à minha esposa Beatriz e filha Sophie pelos momentos e apoio incondicional. A vocês, minha eterna gratidão.

Ofereço e dedico!

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Profº Luis Sangoi a quem agradeço profundamente todos os conhecimentos compartilhados, confiança depositada, respeito, paciência, força e encorajamento transmitido. Fico grato e tenho certeza que, além de um orientador, encontrei um amigo a quem admiro e tenho como exemplo devido a sua postura profissional e pessoal.

A Unoesc por ter me proporcionado a possibilidade de realização do doutorado, especialmente ao Profº Milton da Veiga e colegas professores do curso de Agronomia, aos quais sou grato pela confiança depositada, ensinamentos e incentivo que me levaram a realização desta tese.

Ao meu grande amigo Dr. Clayton Debiasi por ter me auxiliado nos primeiros passos acadêmicos. Sou grato pelos ensinamentos e incentivo que me levaram a superação desta etapa da minha vida.

A professora Dra. Rosete Pescador por ter me aberto às portas do Laboratório de biotecnologia da FURB, onde realizei minhas primeiras atividades acadêmicas.

A minha esposa Beatriz Ortiz Mergener e minha filha maravilhosa Sophie Ortiz Mergener pela força transmitida durante a realização deste trabalho. Agradeço a compreensão, paciência e respeito das “senhoritas”, os quais me fizeram perceber que existem pessoas que realmente são especiais. Meus mais sinceros sentimentos de amor e gratidão a vocês meus amores.

A Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, especialmente ao Departamento de Agronomia e ao Programa de Pós-graduação em Produção vegetal.

À UDESC, pelo ensino público e de qualidade,

Muito obrigado!

Na corrida dessa vida é preciso entender que você vai rastejar, que vai
cair, vai sofrer e a vida vai lhe ensinar
que se aprende a caminhar e só depois a correr.
A vida é uma corrida que não se corre sozinho e vencer não é chegar, é
aproveitar o caminho sentindo o cheiro das flores
e aprendendo com as dores causadas por cada espinho.
Aprenda com cada dor, com cada decepção, com cada vez que alguém
lhe partir o coração.
O futuro é obscuro, e às vezes é no escuro
que se enxerga a direção.
Aprenda quando chorar e quando sentir saudade, aprenda até quando
alguém lhe faltar com a verdade.
Aprender é um grande dom, aprenda que até o bom vai aprender com a
maldade.
Aprender a desviar das pedras da ingratidão, dos buracos da inveja, das
curvas da solidão, expandindo o pensamento
fazendo do sofrimento a sua maior lição.
Sem parar de aprender, aproveite cada flor, cada cheiro no cangote, cada
gesto de amor, cada música dançada
e também cada risada, silenciando o rancor.
Experimente o mundo, prove de todo sabor, sinta o mar, o céu e a terra,
sinta o frio e o calor,
sinta sua caminhada e dê sempre uma parada
pelo caminho que for.
Pare, não tenha pressa, não carece acelerar, a vida já é tão curta, é
preciso aproveitar essa estranha corrida
que a chegada é a partida e ninguém pode evitar!
Por isso é que o caminho tem que ser aproveitado,
deixando pela estrada algo bom pra ser lembrado,
vivendo uma vida plena, fazendo valer a pena
cada passo que foi dado.
Aí sim, lá na chegada, onde o fim é evidente, é que a gente percebe que
foi tudo de repente,
e aprende na despedida que o sentido da vida
é sempre seguir em frente.

Bráulio Bessa

RESUMO

O nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maior quantidade pelo milho e o que mais impacta a sua produtividade. O N é um elemento muito instável no solo, podendo sofrer perdas significativas por volatilização de amônia e lixiviação de nitrato. As fontes estabilizadas e de liberação lenta de nitrogênio podem reduzir estas perdas e aumentar a eficiência agronômica de uso do nitrogênio. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de determinar a influência de diferentes fontes e doses de N sobre o desempenho agronômico e econômico do milho. O experimento foi implantado em Campos Novos, SC, durante os Anos agrícolas de 2016/17 e 2017/18. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, dispostos em parcelas subdivididas. Na parcela principal foram testadas quatro fontes de N: ureia convencional, ureia protegida, ureia com inibidor de nitrificação e ureia com inibidor de urease. Nas subparcelas foram testadas quatro doses de nitrogênio em cobertura: testemunha, 140 kg ha^{-1}, 280 kg ha^{-1} e 420 kg ha^{-1}. As doses corresponderam a 50%, 100% e 150% da dose recomendada para produzir 18.000 kg ha^{-1} de grãos. Avaliou-se características morfológicas, fisiológicas, o rendimento de grãos, os componentes do rendimento e o índice de lucratividade da cultura. A aplicação das diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados não afetou o rendimento de grãos, massa de 1000 grãos, número de grãos m², número de grãos por espiga, número de espigas por planta, estatura de plantas, altura de inserção da espiga, diâmetro do colmo, número total de folhas, número de folhas senescente, IAF e teor de N nos grãos. Em contrapartida, o incremento na dose de N aumentou a estatura da planta, a altura de inserção de espiga, o IAF da cultura na floração e o teor de N nos grãos. O rendimento variou de 4.266 a 14.332 kg ha^{-1} em 2016/17 e de 4.743 a 12.068 kg ha^{-1} em 2017/18, apresentando uma resposta quadrática ao aumento da dose nos dois anos. As doses que otimizaram a produtividade do milho equivaleram a 145% em 2016/17 e 170 % em 2017/18 da dose de N recomendada para alcançar 18.000 kg de grãos por hectare. Os maiores índices de lucratividade foram obtidos pela combinação de 420 kg ha^{-1} de N com ureia convencional e 140 kg de N ha^{-1} e ureia com inibidor de uréase, nos anos agrícolas de 2016/17 e 2017/18, respectivamente. Independentemente da fonte utilizada, o aumento da dose reduziu a eficiência agronômica de uso do nitrogênio. A utilização de fontes estabilizadas com inibidores da nitrificação ou da uréase e de fontes protegidas não aumenta o rendimento de grãos e a eficiência agronômica de uso do nitrogênio, em comparação com a ureia convencional, no Nitossolo Vermelho de textura argilosa em que o trabalho foi conduzido.

Palavras-chave: Zea mays, eficiência agronômica de uso do nitrogênio, rendimento de grãos, rentabilidade financeira.

ABSTRACT

Nitrogen (N) is the nutrient required in higher amount by maize. It is also the element that impact the most the crop productivity. N is very unstable in the soil. It can suffer significant losses by ammonia volatilization and nitrate leaching. The stabilized and slow releasing nitrogen sources can reduce nitrogen losses and increase N efficiency use. This study was conducted with the objective of determining the influence of different nitrogen sources and rates on the agronomic and economic performance of maize. The experiment was set in Campos Novos, SC, during the 2016/2017 and 2017/18 growing seasons. The experimental design was a randomized block, with treatments arranged in split plots. Four N source were tested in the main plot: conventional urea, protected urea, nitrification inhibitor and urease inhibitor urea. Four nitrogen rates were assessed in the split plots: control, 140 kg ha^{-1}, 280 kg ha^{-1} and 420 kg ha^{-1}. N rates were equivalent to 50%, 100% and 150% of the nitrogen dose required to reach the grain productivity of 18,000 kg ha^{-1}. Morphological and physiological traits, grain yield, yield components and profitability index were evaluated. The nitrogen sources did not affect grain yield, mass of 1,000 grains, number of grains m^{-2}, number of grains per ear, number of ears per plant, plant height, ear insertion height, stem diameter, leaf area index and number of senescent leaves. The increment in nitrogen rate enhanced plant height, ear insertion height, LAI at flowering and kernel nitrogen contend. Grain yield ranged from 4,266 to 14,332 kg ha^{-1} in 2016/17 and from 4,743 to 12,068 kg ha^{-1} in 2017/18. It presented a quadratic response to nitrogen rates at both growing seasons. Maximum grain yields were obtained with N quantities equivalent to 145% and 170% of the nitrogen rate required do reach 18,000 kg ha^{-1}, in 2016/17 and 2017/18, respectively. Maximum profitability indexes were gathered by the combination of 420 kg N ha^{-1} with conventional urea and 140 kg N ha^{-1} and urea with urease inhibitor, in 2016/17 and 2017/18, respectively. The increase in nitrogen rate reduced nitrogen efficiency use, regardless of nitrogen source. The use of stabilized sources, with nitrification or urease inhibitors, and protected sources do not enhance grain yield and nitrogen efficiency use of maize, when compared to conventional urea, in the clayed Rhodic Kandiudox where the trial was set.

Key words: *Zea mays.* NUE. Grain yield, Financial profitability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: 1- Teosinto, considerado o provável ancestral do milho. 2- O primeiro milho, reconstruído a partir de seus restos mais antigos de *Tehuacan*, México. 3- A espiga de milho moderna com muitas fileiras de grãos emparelhados.....16

Figura 2: Principais partes que compõe a cariopse de milho.....17

Figura 3: Representação esquemática da enzima nitrogenase com seus cluster e cofatores.....20

Figura 4 - Precipitações e temperaturas médias durante o ciclo de cultivo do milho em 2016/17 (A) e 2017/18 (B) em Campos Novos, SC. Dados registrados na estação meteorológica de Campos Novos e fornecidos pela Epagri CIRAM.....33

Figura 5: Rendimento de grãos do milho em função das doses de nitrogênio, na média das fontes de N. Campos Novos, ano 2016/17 (A) e 2017/18 (B).....37

Figura 6: A- Massa de 1000 grãos em 2016/17. B- Massa de 1000 grãos em 2017/18. C- Número de grãos m² em 2016/17. D- Número de grãos m² em 2017/18. E- Número de grãos espiga^{-1} em 2016/17. F- Número de grãos espiga^{-} em 2017/18 de milho, em função das doses de nitrogênio, na média das fontes de N. Campos Novos, SC.....39

Figura 7: A- Número de grãos fileira em 2016/17. B- Número de grãos fileira em 2017/18. C- Número fileiras espiga em 2016/17. D- Número fileiras espiga em 2017/18. E- Número espigas planta em 2016/17. F- Número de espigas planta em 2017/18 de milho, em função das doses de nitrogênio, na média das fontes de N. Campos Novos, SC. 40

Figura 8. Estatura de plantas 2016/17 (A) e 2017/18 (B), altura de inserção da espiga 2016/17 (C) e 2017/18 (D), diâmetro do colmo 2016/17 (E) e 2017/18 (F) de milho, em função das doses de nitrogênio, na média das fontes de N. Campos Novos-SC.....52

Figura 9. Acamamento e quebra de plantas de milho no ANO agrícola de 2017/18, em função das doses de nitrogênio, na média das fontes de N. Campos Novos, SC.....53

Figura 10. Número total de folhas em 2016/17 (A) e 2017/18 (B), número de folhas senescentes de 2016/17 (C) e 2017/18 (D) e índice de área foliar de 2016/17 (E) e 2017/18 (F) de milho, em função das doses de nitrogênio, na média das fontes de N. Campos Novos-SC.....55

Figura 11. Índice de clorofila Falker em 2016/17 (A) e 2017/18 (B) e eficiência agronômica de uso do nitrogênio 2016/17 (C) e 2017/18 (D), Percentagem de N no grão em 2017/18 (E) e 2017/18 (F) de milho, em função de doses e fontes de N. Campos Novos- SC.....57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Produção de grãos de milho no Brasil entre os Anos de 2000 e 2019.....19

Tabela 2: Rendimento de grãos e componentes do rendimento de milho, em função das fontes nitrogenadas utilizadas nos Anos agrícolas de 2016/17 e 2017/18, na média de quatro doses de N. Campos Novos, SC.....35

Tabela 3: Retorno financeiro das diferentes fontes e doses de N utilizadas para a produção de grãos de milho, nos Anos agrícolas de 2016/17 e 2017/18 no município de Campos Novos/SC. Percentual de nitrogênio (%N), Cotação mês abril de 2017 e 2018 (Cot Abr), Custo operacional do cultivo do milho (C.O), Receita bruta (RB), Receita líquida (RL), Índice de lucratividade (IL).....42

Tabela 4: Estatura de plantas, altura de inserção da espiga, diâmetro de colmo, número total de folhas, número de folhas senescentes, índice de área foliar, Índice de clorofila falker, eficiência agronômica de uso do nitrogênio e teor de N no grão, em função das fontes nitrogenadas utilizadas nos anos agrícolas de 2016/17 e 2017/18, na média de quatro doses de N. Campos Novos, SC.....51

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL 13

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 15

2.1 Origem e características do Milho.....15

2.2 A produção de milho no mundo, Brasil e SC.....18

2.3 A importância do Nitrogênio para a cultura do milho e sua dinâmica no solo...19

2.4 Fontes de doses de N.....23

3. ARTIGO 1: Fontes e doses de Nitrogênio aplicados em cobertura e rendimento de grãos de milho 27

3.1 Resumo.....27

3.2 Abstract.....28

3.3 Introdução.....28

3.4 Material e Métodos.....30

3.5 Resultados e discussão.....34

3.6 Conclusões.....44

4. **ARTIGO 2: Características morfológicas do milho e eficiência agronômica de uso do nitrogênio submetido a diferentes fontes e doses aplicados em cobertura**.....45

4.1 Resumo.....45

4.2 Abstract.....46

4.3 Introdução.....47

4.4 Material e Métodos.....47

4.5 Resultados e discussão.....50

4.6 Conclusões.....58

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....59

6. REFERÊNCIAS.....61

APÊNDICES.....69

1. INTRODUÇÃO GERAL

O milho (*Zea mays* L.) é uma monocotiledônea da família *Poaceae*. Possivelmente ele teve sua origem no México a partir da domesticação do teosinto há aproximadamente 8 mil Anos atrás. Com a sua domesticação iniciou-se um processo de melhoramento da espécie, elevando suas características produtivas e disseminando suas sementes mundo a fora, tornando o milho uma das culturas mais importantes do planeta. O seu grão é basicamente composto por carboidratos, proteínas, lipídios, minerais e vitaminas com alto valor energético. Estas características transformaram o milho no cereal mais utilizado para alimentação animal, principalmente nas rações e na alimentação humana como amido, óleo, farinhas, derivados ou “in natura”.

Os maiores produtores mundiais são os Estados Unidos (EUA), seguidos da China, Brasil e União Europeia. O Brasil alcançou no ano 2018/19 100,046 milhões de toneladas do grão, tornando-se o terceiro maior produtor mundial. Os sucessivos aumentos na produção brasileira estão atrelados a tecnificação a que a cultura do milho foi submetida nas últimas décadas, desde o melhoramento genético de plantas até a otimização das técnicas de manejo.

Dentre as práticas de manejo que merecem destaque, ressalta-se a otimização do uso de fertilizantes nitrogenados, pois a cultura responde expressivamente a suplementação desse elemento químico. A resposta do milho ao nitrogênio deve-se ao importante papel bioquímico que este constituinte possui. Ele está presente na estrutura molecular de aminoácidos, proteínas, enzimas e ácidos nucleicos como os ácidos desoxirribonucleico e ribonucleico.

Apesar da relevância do nitrogênio para o milho, este elemento apresenta-se de forma irregular ou restrita para as raízes das plantas, em virtude das suas perdas por lixiviação e/ou volatilização que ocorrem no solo durante o ciclo da cultura. A lixiviação consiste na perda do nitrato pela passagem da água nas porosidades do solo que devido à alta afinidade com a água é carreada para as partes inferiores do perfil, chegando ao lençol freático, onde pode ser drenado parra rios e lagos. As perdas por volatilização ocorrem através da formação da amônia. Esta molécula é formada durante as transformações químicas do nitrogênio no solo. Quando estas transformações ocorrem próximas a superfície do solo existe o favorecimento das perdas por volatilização. Nos solos com características mais argilosas existe a

tendência de as perdas ocorrerem mais pelo efeito da volatilização, enquanto solos mais arenosos essas perdas tendem a ocorrer em maior proporção por consequência da lixiviação.

Como forma de tentar minimizar as perdas por volatilização e/ou lixiviação foram criados alguns fertilizantes nitrogenados. Estes fertilizantes são chamados de fertilizantes estabilizados, quando envoltos por inibidores de urease (NBPT) ou inibidores de nitrificação (DMPP), e fertilizantes de liberação lenta quando envolto por polímeros de proteção.

Levando em consideração estas novas alternativas de manejo do nitrogênio, este trabalho foi baseado em três hipóteses: a resposta do rendimento de grãos do milho ao nitrogênio aplicado em cobertura é maior quando se utilizam fontes estabilizadas ou de liberação lenta; a dose de N necessária para otimizar o rendimento de grãos do milho é menor quando se utilizam fontes estabilizadas ou de liberação lenta; fontes de liberação lenta e com inibidores são estratégias que aumentam a eficiência agronômica de uso do nitrogênio à produção de grãos de milho.

Assim, os objetivos deste trabalho foram: determinar a influência das diferentes doses e fontes de nitrogênio sobre o rendimento de grãos do milho; determinar a dose de N que otimiza o rendimento de grãos do milho para cada fonte de N avaliada no trabalho; avaliar a viabilidade técnica e econômica da utilização de fontes estabilizadas e de liberação lenta como estratégias de manejo para aumentar a eficiência de uso do N à produção de grãos de milho.

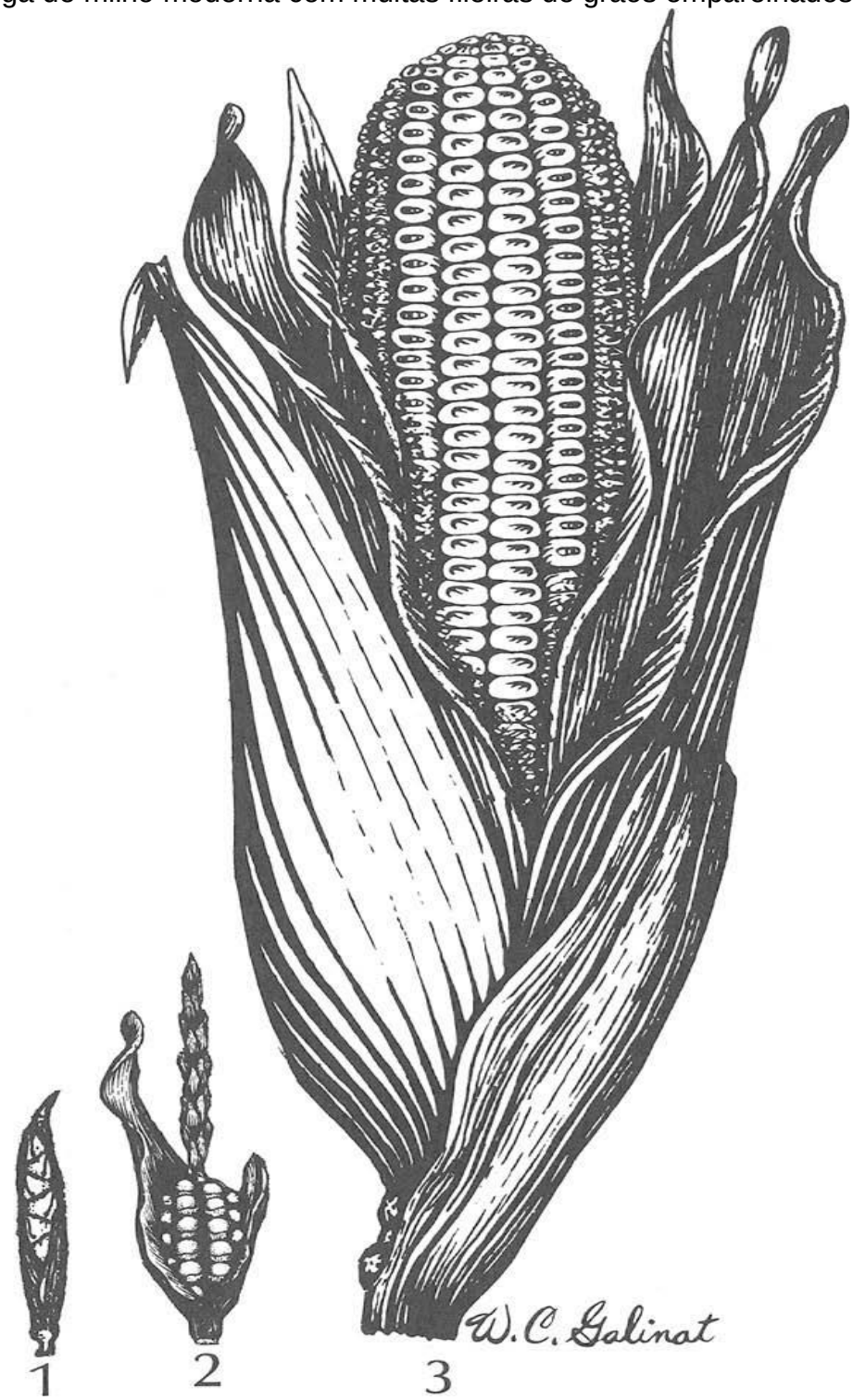
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ORIGEM E CARACTERÍSTICAS DO MILHO.

Os primeiros passos que deram origem ao milho (*Zea mays* L.) provavelmente foram dados durante a invenção da agricultura do Novo Mundo, há mais de 8000 Anos. Eles possivelmente ocorreram no vale de Tehuacan região centro-sul do México. O teosinto é o mais provável ancestral selvagem do milho. Ele produz uma espiga com duas fileiras de espiguetas solteiras que se alternam entre os lados opostos da ráquis (espiga). Cada núcleo é geralmente fechado por três estruturas de proteção denominadas gluma externa, cúpula e casca que envolve toda a espiga (Figura 1-1). Com o processo de domesticação houve um isolamento da espécie que levou a seleção de características que ocasionaram o surgimento da primeira espiga de milho. Essa espiga “rudimentar” era constituída por quatro fileiras de espiguetas femininas emparelhadas, resultando em oito linhas de grãos por espiga que podiam ficar expostas devido ao alongamento da ráquis (Figura 1-2) (GALINAT, 1988).

Os sucessivos processos de seleção e melhoramento amador, promovido por agricultores e camponeses, bem como o melhoramento profissional Anos depois, tornaram as espigas altamente produtivas. As espigas modernas e atuais são compostas por diversas fileiras de grãos emparelhados, ficando toda espiga recoberta e protegida pela palha (Figura 1–3). O lado negativo desse processo deve-se a uma característica interessante dos híbridos modernos que provém da incapacidade desses híbridos sobrevivem como plantas selvagens (GALINAT, 1988). Assim, o milho é uma espécie totalmente domesticada, que depende do homem para a sua propagação.

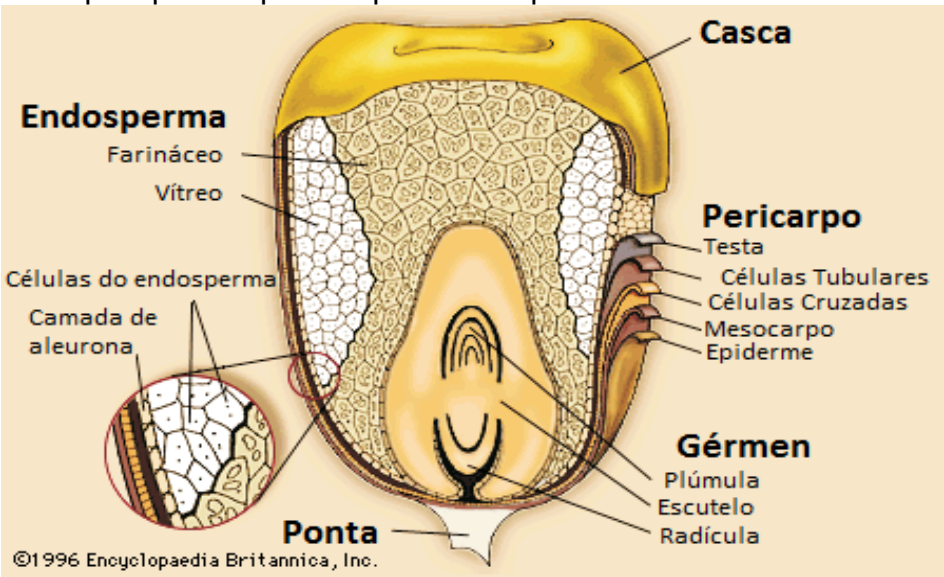
Figura 1: 1- Teosinto, considerado o provável ancestral do milho. 2- O primeiro milho, reconstruído a partir de seus restos mais antigos de *Tehuacan*, México. 3- A espiga de milho moderna com muitas fileiras de grãos emparelhados.



Fonte: Galinat, 1988

Em relação as características botânicas do milho, ele é uma espécie anual, estival, cespitosa, ereta, com pouco afilhamento, monoica, classificada no grupo das plantas C4, com ampla adaptação as condições do ambiente. Suas espiguetas masculinas são reunidas em espigas verticiliadas terminais, definidas como inflorescências. O grão do milho é um fruto, denominado cariopse, em que o pericarpo está fundido com o tegumento da semente propriamente dito. As espiguetas femininas se soldam num eixo comum definido como sabugo (várias ráquis reunidas) A flor feminina apresenta um único estilo-estigma (barba-do-milho), originando uma espiga protegida por brácteas (UFRGS, 2020). O grão de milho é um alimento essencialmente energético devido ao amido ser o seu principal componente. Todavia, as qualidades nutricionais do grão merecem destaques desde os grãos amarelados até os brancos, passando pelos grãos de tonalidade avermelhada. O grão de milho é formado por quatro principais estruturas físicas: endosperma, gérmen, pericarpo (casca) e ponta (Figura 2), as quais diferem em composição química e na organização dentro do grão. Sua composição bioquímica compreende cerca de 72% de amido, 9,5% proteínas (Zeína 60%), 9% fibra e 4% de óleo (PAES, 2006), além de vitaminas como a vitamina A, vitaminas do complexo B e minerais, como o cálcio, ferro, fósforo. Cada 100 gramas do alimento têm cerca de 360 Kcal (CIB, 2006).

Figura 2: Principais partes que compõe a cariopse de milho.



Fonte: *Encyclopedia brintannica, 1996.*

A proteína contida no grão do milho é denominada de Zeína (Glúten do milho) e caracteriza-se por ser pobre nos aminoácidos do tipo lisina e triptofano, que são essenciais a nutrição animal. O endosperma, onde a zeína está contida, representa

aproximadamente 83% do peso seco do grão. Ele é constituído principalmente de grânulos de amido e zeínas na concentração de 8% (PAES, 2006). Dessa forma, devido a sua qualidade nutricional, o milho está entre os alimentos que apresentam uma grande relevância na satisfação das necessidades alimentares dos seres humanos (OTEGUI & SLAFER, 2004), sendo consumido in natura, na forma de polentas, tortilhas e “snacks” (STEINMACHER, 2005). Também merecem destaque o excelente potencial produtivo desta cultura (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000) e sua diversidade de aplicações em medicamentos, combustíveis e na indústria (EMBRAPA, 2018).

Na indústria está proteína apresenta elevado potencial devido ao seu alto grau de polimerização e capacidade de formação de filmes para conservação de alimentos, formando barreiras contra a umidade, dióxido de carbono e o oxigênio. Além disso, pode substituir o uso de plásticos oriundos de polímeros sintéticos por novos materiais biodegradáveis, contribuindo para a diminuição de perdas pós-colheita, validade (*shelf life)* prolongada dos produtos e a inserção da cultura do milho em novos mercados (PAPALIA & LONDERO, 2015).

2.2 A PRODUÇÃO DE MILHO NO MUNDO, BRASIL E SANTA CATARINA.

No ano agrícola de 2018/19, a produção mundial de milho alcançou a marca de 1.061 milhões de toneladas, sendo os Estados Unidos (370 milhões de toneladas) o país com a maior parcela desta produção, seguido da China (225 milhões de toneladas) e pelo Brasil (USDA, 2018). O Brasil vem ano a ano apresentando uma tendência de aumento da produção de milho. No ano de 2000 a produção brasileira era de 42.290 milhões de toneladas. Segundo a Conab (2020), em 2019 a ano foi de 100.046 milhões de toneladas (Tabela 1). Entre os estados com a maior produção deste grão destacam-se o Mato Grosso, Paraná e Goiás. Santa Catarina aparece na oitava colocação com uma produção de 2,5 milhões de toneladas, com as microrregiões de Chapecó, Joaçaba (abrangendo o município de Campos Novos) e São Miguel do Oeste destacando-se como as mais produtoras. (SINTESE, 2018).

Tabela 1: Produção de grãos de milho no Brasil entre os anos de 2000 e 2019.

	2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10
Milho total	42.290	35.281	47.411	42.129	34.977	42.515	51.370	58.652	51004	56018
1ª ano	35.833	29.100	34.614	31.554	27.272	31.809	36.597	39.964	33655	34079
2ª ano	6.457	6.181	12.797	10.574	7.705	10.706	14.773	18.688	17349	21939
3ª ano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	-
Milho total	57.407	72.980	81.506	80.052	84.672	66.531	97.843	80.710	100.04	-
1ª ano	34.947	33.867	34.577	31.653	30.082	25.758	30.462	26.811	25.647	-
2ª ano	22.460	39.113	46.929	48.399	54.591	40.773	67.381	53.899	73.178	-
3ª ano	-	-	-	-	-	-	-	-	1.222	-

Fonte: Adaptado de Conab 08/01/2020.

2.3 IMPORTÂNCIA DO NITROGÊNIO PARA A CULTURA DO MILHO E SUA DINÂMICA NO SOLO.

O nitrogênio possui grande importância para a cultura do milho, pois está presente em componentes celulares fundamentais à vida. Este elemento químico possui relevante papel na estrutura dos nucleotídeos que são subunidades constituintes dos ácidos desoxirribonucleico e ribonucleico (DNA e RNA). O N também faz parte da constituição de importantes moléculas, como os aminoácidos, proteínas e enzimas que são componentes orgânicos fundamentais ao funcionamento celular (LEHNINGER, 2004). O nitrogênio compõe 78% do total de gases presentes na atmosfera, estando na forma de N_2. Apesar da abundância das moléculas de N_2, esta reserva está indisponível para a utilização pelos vegetais. Para que sua absorção seja realizada pelas raízes das plantas, é necessário que haja a quebra da tripla ligação covalente que une os dois átomos de nitrogênio (N_2) da molécula atmosférica, formando as moléculas de amônia (NH_3) e nitrato (NO_3) (TAIZ & ZEIGER, 2017).

O processo de captura do nitrogênio atmosférico ocorre através da fixação biológica realizada por meio de bactérias simbióticas do gênero *Acetobacter, Rhizobium, Azorhizobium, Bradyrhizobium, Sinorhizobium,* e bactérias de vida livre pertencentes aos gêneros *Azospirillum, Azotobacter, Beijerinckia, Clostridium e*

Rhodospirillum. Esses microrganismos possuem uma enzima denominada nitrogenase, que é responsável pela conversão do N_2 atmosférico em amônia (NH_3) numa reação conhecida como amonificação e representada na equação 1 (REIS & TEIXEIRA, 2006).

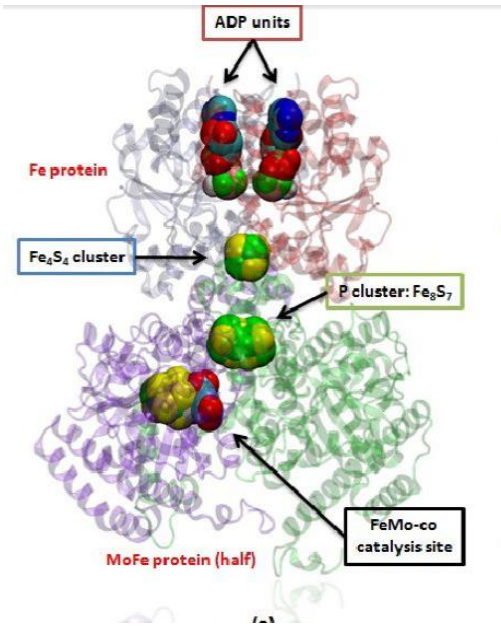
Equação 1: $(N_2) + (8H^+) + (8e^-) + (16\ ATP) \rightarrow (2NH_3) + (16\ ADP) + (16PO_4^{-3}) + H_2$

A amônia por sua vez é dissolvida em água e dá origem o amônio (NH^+_4) conforme reação abaixo (TAIZ & ZEIGER, 2017; PRADO, 2008).

Equação 2: $NH_3 + H_2O \rightarrow NH_4^+ + OH^-$

Esse processo necessita de uma condição de anaerobiose para ocorrer em virtude da inativação irreversível da nitrogenase causada pela presença do oxigênio, que é capaz de inativar os agrupamentos contendo Fe-proteinas e Mo-Fe-proteína dos complexos desta enzima (Figura 3).

Figura 3: Representação esquemática da enzima nitrogenase com seus cluster e cofatores.



Fonte: https://www.pymol.org/render

As bactérias anaeróbias fixadoras de nitrogênio não apresentam problemas na realização das suas atividades metabólicas associadas ao nitrogênio. Em contrapartida, as bactérias aeróbias precisam manter um mínimo necessário de

oxigênio internamente, para que não haja inativação da atividade da enzima nitrogenase (TAIZ & ZEIGER, 2017).

É importante destacar que o amônio presente no solo provém da fixação biológica de nitrogênio (FBN) e da mineralização da matéria orgânica. Entretanto, ele também pode ser proveniente de fertilizantes nitrogenados de origem industrial, como a ureia, que são aplicados ao solo como forma de suplementação de nitrogênio. Nas equações 3, 4 e 5 é possível verificar as etapas químicas de transformação da ureia até a formação do amônio e amônia.

Equação 3: $(NH_2)_2CO + H_2O \rightarrow (NH_4)_2CO_3$

Equação 4: $(NH_4)_2CO_3 + 2H \rightarrow 2NH_4 + CO_2 + H_2O$

Equação 5: $NH_4 + OH \rightarrow H_2O + NH_3 \uparrow$ (Volatilização)

A partir do amônio (NH_4) da fixação biológica ou dos fertilizantes nitrogenados forma-se o nitrito resultante de uma reação conhecida como nitrificação, a qual é subdividida em duas etapas denominadas de nitrosação e nitratação. Na nitrosação ocorre a conversão do amônio, através de bactérias conhecidas como *Nitrossomonas*, as quais oxidam o nitrogênio amoniacal formando nitrito, água e hidrogênio (Equação 6). Na sequência, bactérias do gênero *Nitrobacter* realizam a nitratação oxidando o nitrito a nitrato (Equação 7). Ambos os processos oxidativos ocorrem porque as bactérias têm o objetivo de extrair energia dessas reações químicas (Quimiossíntese) para o seu metabolismo (TAIZ & ZEIGER, 2017 e SANGOI & SILVA & PAGLIARINI., 2016).

Equação 6: $NH_4^+ + 3/2\ O_2 \rightarrow NO_2- + 2H_2^+ + H_2O$

Equação 7: $NO_2^- + ½\ O_2 \rightarrow NO_3^- \downarrow$ (Lixiviação)

Posteriormente a formação do nitrato ocorre a desnitrificação biológica, havendo a redução do nitrato a nitrogênio gás (N_2) (Equação 8) e óxido nitroso (N_2O) (Equação 9) (SANGOI & SILVA & PAGLIARINI., 2016).

Equação 8: $5(CH_2O) + 4NO_3^- + 4H^+ \rightarrow 4CO_2 + 2N_2O + 6H_2O$

Equação 9: $4(CH_2O) + 4NO_3^- + 4H^+ \rightarrow 5CO_2 + 2N_2 + 7H_2O$

Quando o nitrogênio é aplicado ao solo, este deverá ser incorporado para que se torne disponível às plantas. Entretanto, quando a adição destes fertilizantes é feita na superfície do solo, uma boa parte destes fertilizantes (ureias) pode ser perdida através dos processos de lixiviação e volatilização (BORÉM & GALVÃO & PIMENTEL., 2015).

A lixiviação contribui com perdas significativas do nitrogênio do solo, principalmente na forma de nitrato (NO_3^-) em regiões úmidas (YAMADA & STIPP & VITTI., 2007), onde a quantidade de chuva é elevada, a palhada é presente e o solo apresenta baixa capacidade de retenção líquida (TROEH & THOMPSON, 2007). Perdas de nitrogênio por lixiviação ocorrem principalmente porque o nitrato (NO_3^-) é altamente permeável e considerado uma molécula aniônica do solo. Partículas aniônicas do solo são incapazes de reter outras partículas negativas (RAIJ, 2011) devido à baixa CTC (SANGOI *et al*., 2003), permitindo a lixiviação de ânions como o nitrato. Quando os ânions são carreados pelo solo, eles carregam consigo outros cátions seguindo o princípio da eletroneutralidade (YAMADA & STIPP & VITTI., 2007). As maiores taxas de lixiviação são identificadas nos solos em que a palhada está presente, onde a temperatura do solo é menor, tornando-o mais apto a atividade microbiológica e transformando mais NH_4 em NO_3 (SANGOI *et al*., 2003).

O nitrogênio do solo também sofre perdas significativas por volatilização, um processo pelo qual o nitrogênio é perdido na forma de N_2, NH_3, NO e N_2O (FARIA, 2013; TROEH & THOMPSON, 2007). A volatilização é altamente influenciada por fatores como a temperatura e precipitação, sendo que oscilações desses dois fatores levam a um aumento ou redução da perda de nitrogênio. Num experimento onde as temperaturas variaram entre 22 e 25ºC, a volatilização de amônia ocorreu predominantemente nos primeiros dias após a aplicação, alcançando seu pico no 4º dia (VITTI, 2013) e declinando até o 20º dia após aplicação (VITTI, 2013, CANTARELLA, 2007). Perdas por volatilização resultantes da precipitação também ocorrem porque a elevação do volume de água no solo aumenta a corrente de evaporação da água que carreia consigo as formas voláteis do nitrogênio (VITTI, 2013, SANGOI *et al*., 2003).

Posteriormente a absorção do nitrogênio pela planta ocorre à conversão do nitrato em nitrito através da enzima nitrato redutase. O nitrito é convertido a amônio através da enzima nitrito redutase, que formará a glutamina e glutamato através das enzimas glutamina sintetase e glutamato sintase, respectivamente (CRAWFORD, 1995).

As quantidades necessárias de nitrogênio no milho dependem do potencial produtivo que se almeja alcançar. De uma maneira geral, são necessários de 25 a 27 kg de N por tonelada de biomassa produzida. Deste total, aproximadamente 70 % são exportados para o grão (SANGOI & SILVA & PAGLIARINI., 2016). Assim, a absorção de N pode variar conforme a produção desejada, oscilando entre 77 a 217 kg de N ha^{-1}, para rendimentos variando entre 3,65 a 10,15 ton/ha de grãos, respectivamente (COELHO & FRANÇA, 1995). Outros nutrientes como o fósforo, potássio, cálcio, magnésio também são muito importantes para o desenvolvimento adequado da cultura.

2.4 FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO

Para que o nitrogênio esteja disponível no solo, é necessário que ocorra a fixação biológica deste elemento, que consiste na quebra do N_2, e formação amônia (NH_3) (PRADO, 2008). O solo detém uma reserva natural de N constituída pelos resíduos culturais e pela matéria orgânica presente, sendo controlado principalmente pelos processos opostos e simultâneos de mineralização e imobilização do nitrogênio. A mineralização ou amonificação consiste na liberação do excedente de N dos resíduos orgânicos na forma de amônia que rapidamente são oxidados a nitrato por bactérias nitrificadoras. Em contrapartida, a imobilização consiste na assimilação de N para a síntese celular (YAMADA & STIPP & VITTI., 2007). Um solo pode conter em média 33 kg ha^{-1} (TROEH & THOMPSON, 2007) de nitrogênio disponível, média que está muito abaixo da demanda requerida pelo milho. Para suplementar esta demanda, diversas fontes de nitrogênio mineral são oferecidas no mercado que variam quanto a concentração do nutriente na formulação, o tempo de liberação do nitrogênio para as plantas e o custo de aquisição. Entre os produtos existentes encontram-se a ureia convencional, as ureias estabilizadas (contém inibidores de urease e amônia oxigenase) e as ureias de liberação lenta, também chamadas de encapsuladas. As

diferentes fontes de nitrogênio apresentam respostas positivas quando aplicadas em condições ambientais favoráveis (SANGOI; SILVA; PAGLIARINI., 2016).

Das fontes de nitrogênio disponíveis no mercado, a ureia convencional é o fertilizante mais comum entre os produtores devido à alta concentração de nitrogênio na fórmula (44-46%), baixo custo por kg de N aplicado e praticidade na sua administração. A ureia também se destaca pela alta solubilidade, facilitando sua chegada até as raízes das plantas e, consequentemente a sua absorção. A desvantagem no uso da ureia convencional é sua alta susceptibilidade a volatilização na forma de amônia (NH_3). No momento que a ureia entra em contato com a água ou umidade, ela é dissolvida. Posteriormente, pela ação da urease, forma carbonato de amônio que interfere no pH (acidificação) favorecendo a emissão de NH_3 (CANTARELLA, 2007). A dinâmica do nitrogênio no solo é de alta complexidade (TAIZ & ZEIGER, 2017), bem como sua suplementação na forma de adubos que atendam a demanda das culturas. A adubação nitrogenada com ureia convencional em milho favorece a produtividade de grãos quando as condições edafoclimáticas são favoráveis (ALBUQUERQUE *et al*., 2013). Por outro lado, a sua utilização sob temperatura elevada, baixa umidade no solo, grande quantidade de palha remanescente do cultivo anterior na superfície do solo e alto pH pode favorecer as perdas por volatilização de amônia e prejudicar o desempenho agronômico do milho. Além disto, deve-se salientar que, independentemente da fonte, doses ótimas de nitrogênio favorecem a produção de massa seca de parte aérea, aumentam o teor de nitrogênio na folha bem como a produtividade de grãos (FRAZÃO *et al*., 2014).

As fontes estabilizadas de nitrogênio possuem inibidores da atividade da enzima urease e amônia monoxigenase junto à estrutura do grânulo do fertilizante. Entre os inibidores da uréase destaca-se o NBPT (N-n butil tiofosfóricotriamida), que é um inibidor competitivo da ureia no sítio da enzima uréase. Quando este ocupa o sítio de ligação que deveria ser ocupado pela ureia, ocorre a inibição da enzima uréase (MARIANO et al., 2011) por um período de 3 a 15 dias decrescendo gradualmente (SANGOI & SILVA & PAGLIARINI., 2016).

Existem também as fontes estabilizadas que inibem a nitrificação, impedindo a transformação do amônio em nitrato, como o inibidor 3,4 dimetilpirazolfosfato (DMPP). Este inibidor afeta a ação da enzima de nitrificação amônia monoxigenase produzida pelas *Nitrossomonas,* pois no citosol desta célula bacteriana o DMPP liga-se por afinidade ao mesmo sítio de ligação do qual a amônia (NH_3) se liga. Essa inibição

competitiva impede a transformação da amônia em nitrato (MCCARTY, 1999) por um período de seis a oito semanas (LOS FERTILIZANTES, 2002), com redução do NO_3^- formado (RAUBER, 2015) e lixiviação de NO_3^- (ZANNAN et al., 2004). Estas fontes estabilizadas contendo inibidores de nitrificação podem apresentar boas respostas para rendimento de grãos em solos arenosos (JAEGER *et al*., 2016), mas não para solos argilosos (MOTA et al., 2015).

As fontes de ureia de liberação lenta são chamadas de fertilizantes inteligentes, pois estes fertilizantes retardam a liberação do nitrogênio quando comparado aos fertilizantes convencionais. Estes fertilizantes podem ser classificados como adubos de liberação lenta e controlada. O primeiro grupo caracteriza-se pela condensação da ureia e ureia-aldeidos, transformando parte do fertilizante insolúvel em água (SANGOI & SILVA & PAGLIARINI., 2016). O segundo grupo consiste em grânulos de ureia recoberta com resina de enxofre ou polímeros permeáveis em água que libera os nutrientes osmoticamente de forma gradual (TRENKEL, 2010).

Esses dois grupos de fertilizantes promovem benefícios como o fornecimento regular de nitrogênio para as plantas, menores danos às raízes provocado por elevadas concentrações, menores perdas por lixiviação, imobilização e volatilização, menor frequência de aplicação no solo, maior praticidade dos fertilizantes e menor contaminação de águas superficiais e subterrâneas (SANGOI & SILVA & PAGLIARINI., 2016).

As fontes de nitrogênio disponíveis para as plantas são relevantes, mas as doses aplicadas também possuem grande impacto sobre o rendimento de grãos. O incremento nas doses de nitrogênio aumenta as produtividades de grãos. Contudo doses elevadas de fertilizantes diminuem a eficiência do uso deste elemento (SANGOI et al., 2015), pois o suprimento do nitrogênio excede às necessidades da cultura (SANGOI & SILVA & PAGLIARINI., 2016). Assim, é importante compatibilizar a dose de N aplicada com a fonte de fertilizante nitrogenado utilizada pelo produtor. Teoricamente, fontes de N com menor propensão a perdas por lixiviação e volatilização podem ser aplicadas em menor quantidades para alcançar um mesmo teto produtivo.

3. ARTIGO 1: FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO APLICADOS EM COBERTURA E RENDIMENTO DE GRÃOS DE MILHO

3.1 RESUMO

O desenvolvimento de tecnologias na produção de fertilizantes nitrogenados pode otimizar a eficiência agronômica de uso do nitrogênio e incrementar a produtividade do milho. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar os efeitos de fontes e doses de nitrogênio sobre o rendimento de grãos e a viabilidade econômica de uso destas fontes no milho. O experimento foi implantado em Campos Novos, SC, durante os anos agrícolas de 2016/17 e 2017/18. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, dispostos em parcelas subdivididas. Na parcela principal foram testadas quatro fontes de N: ureia convencional, ureia protegida, ureia com inibidor de nitrificação e ureia com inibidor de urease (somente segundo ano). Nas subparcelas foram testadas quatro doses de nitrogênio em cobertura: 0 (testemunha), 140 kg de N ha^{-1}, 280 kg de N ha^{-1} e 420 kg de N ha^{-1}. Avaliou-se o rendimento de grãos, os componentes do rendimento e o índice de lucratividade das fontes e doses testadas. A aplicação das diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados não apresentou diferenças no rendimento de grãos, massa de 1000 grãos, número de grãos m^2, número de grãos por espiga, número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, número de espigas por planta. Os rendimentos médios de grãos dos tratamentos foram de 10.510 kg ha^{-1} e 9.028 kg ha^{-1}, no primeiro e segundo ano agrícola, respectivamente. As doses utilizadas afetaram significativamente o rendimento de grãos e seus componentes. O rendimento variou de 4.266 a 14.332 kg ha^{-1} em 2016/2017 e de 4.743 a 12.068 kg ha^{-1} em 2017/18, apresentando uma resposta quadrática ao aumento da dose nos dois anos de cultivo. As doses que otimizaram a produtividade do milho equivaleram a 145% em 2016/2017 e 170 % em 2017/18 da dose recomendada para alcançar a produtividade de 18.000 kg ha^{-1}. Os maiores índices de lucratividade foram obtidos pela aplicação das doses de 420 kg de N ha^{-1} com ureia convencional e 140 kg de N ha^{-1} de ureia com inibidor de urease, nos anos agrícolas de 2016/17 e 2017/18, respectivamente.

Palavras-chave: *Zea mays*, Fertilizantes nitrogenados, Eficiência de uso do N.

3.2 ABSTRACT

The development of technologies in the production of nitrogen fertilizers can optimize N efficiency use and enhance maize grain yield. This study was carried out aiming to evaluate the effects of nitrogen sources and rates on grain yield and the economic viability of use on the maize crop. The experiment was set in Campos Novos, SC, during the growing seasons of 2016/2017 and 2017/18. The experimental design was a randomized block, with treatments arranged in split plots. Four nitrogen sources were tested in the main plots: conventional urea, protected urea, urea with nitrification inhibitor and urea with urease inhibitor (only second crop). Four nitrogen side-dress rates were tested in the split plots: 0 (control) 140, 280 and 420 kg of N ha^{-1}. Grain yield, yield components and the treatment profitability index were assessed. The application of the different sources of nitrogen fertilizers did not present differences in grain yield, mass of 1000 grains, number of grains m², number of grains per ear, number of rows per ear, number of grains per row, number of ears per plant. The treatments average grain yields were 10,510 kg ha^{-1} and 9,028 kg ha^{-1}, in the first and second growing seasons, respectively. The nitrogen rates affected significantly grain yield and its components. Grain yield ranged from 4,266 to 14,332 kg ha^{-1} in 2016/2017 and from 4,743 to 12,068 kg ha^{-1} in 2017/18. It presented a quadratic response to nitrogen rates at both growing seasons. Maximum grain yields were obtained at rates equivalent to 145 and 170 % of the dose required to reach a grain productivity of 18,000 kg ha^{-1}, in 2016/17 and 2017/18, respectively. Maximum profitability indexes were gathered by the combination of 420 kg N ha^{-1} with conventional urea and 140 kg N ha^{-1} and urea with urease inhibitor, in 2016/2017 and 2017/18, respectively.

Keywords: Zea mays, nitrogen fertilizers, N efficiency use.

3.3 INTRODUÇÃO

O Nitrogênio (N) é o elemento mais abundante na atmosfera. Ele é requerido em grande quantidade pelas principais culturas produtoras de grãos. As plantas não têm capacidade de utilizar o N diretamente da atmosfera. Assim, elas precisam obtê-lo de outras formas, tais como através da fixação biológica, da mineralização da matéria orgânica e da aplicação de fertilizantes sintéticos. A assimilação do nitrogênio é fundamental para as plantas porque o N está diretamente relacionado com o seu crescimento, desenvolvimento e produtividade (AMADO *et al*., 2002).

O milho é uma espécie altamente responsiva à adubação nitrogenada. Atualmente, ele é uma das culturas mais produzidas no mundo em virtude das suas inúmeras aplicações para a indústria, alimentação humana e animal. O Brasil possui uma produção de grãos de milho que o coloca entre os três maiores produtores mundiais, devido a extensão da sua área cultivada que oscilou entre 14.000.000 e

18.000.000 de hectares nos últimas cinco anos (SÍNTESE, 2018). Apesar da sua importância estratégica e da grande área implantada, a produtividade média brasileira é baixa (5.040 kg ha^{-1}) quando comparada aos Estados Unidos (10.241 kg ha^{-1}) que são os maiores produtores mundiais deste cereal (SÍNTESE, 2018).

A aplicação de fertilizantes nitrogenados é importante para alavancar a produtividade do milho. O N está presente em componentes celulares fundamentais da planta, como na estrutura dos nucleotídeos do DNA e RNA, na estrutura molecular de aminoácidos, proteínas e enzimas, os quais são componentes orgânicos indispensáveis para o bom funcionamento celular (LEHNINGER, 2004).

Dentre as fontes nitrogenadas se destaca o uso da ureia convencional. Ela é o fertilizante mais comum entre os produtores de milho devido a sua alta concentração de nitrogênio na fórmula (44-46%), baixo custo por kg de N aplicado e à sua praticidade na administração. A ureia também se destaca pela alta solubilidade, facilitando a chegada até as raízes das plantas e a sua absorção.

Por outro lado, a maior desvantagem no uso da ureia convencional é sua alta susceptibilidade a volatilização na forma de amônia (NH_3). No momento em que a ureia entra em contato com a água ou umidade, ela é dissolvida. Pela ação da enzima urease, a ureia se transforma em carbonato de amônio, que acidifica o pH e favorece a emissão de NH_3 (CANTARELLA 2007). Fatores como temperaturas elevadas, baixa umidade no solo, grande quantidade de palha remanescente do cultivo anterior e pH elevado favorecem as perdas por volatilização de amônia e prejudicam o desempenho agronômico do milho (FRAZÃO *et al*., 2014).

As fontes estabilizadas de nitrogênio possuem inibidores da atividade da enzima urease e amônia monoxigenase junto à estrutura do grânulo de ureia. Entre os inibidores da urease destaca-se o NBPT (N-n butil tiofosfóricotriamida), que é um inibidor competitivo da ureia no sítio da enzima urease. Quando este ocupa o sítio de ligação que deveria ser ocupado pela ureia, ocorre à inibição da enzima urease (MARIANO *et al*., 2011) por um período de 3 a 15 dias (SANGOI; SILVA; PAGLIARINI., 2016). Existem também as fontes estabilizadas que inibem a nitrificação, impedindo a transformação do amônio em nitrato, como o inibidor 3,4 dimetilpirazolfosfato (DMPP). Este inibidor afeta a ação da enzima de nitrificação amônia monoxigenase produzida pelas *Nitrossomonas,* pois no citosol desta célula bacteriana o DMPP liga-se por afinidade ao mesmo sítio de ligação do qual a amônia (NH_3) se liga. Essa inibição competitiva impede a transformação da amônia em nitrato

(MCCARTY, 1999) por um período de seis a oito semanas (LOS FERTILIZANTES, 2002). As fontes estabilizadas contendo inibidores de nitrificação apresentam boas respostas para rendimento de grãos em solos arenosos (JAEGER *et al*., 2016), mas não para solos argilosos (MOTA *et al*., 2015).

As fontes de ureia de liberação lenta são chamadas de fertilizantes inteligentes. Elas retardam a liberação do nitrogênio quando comparado aos fertilizantes convencionais. Estes fertilizantes podem ser classificados como adubos de liberação lenta e controlada. O primeiro grupo caracteriza-se pela condensação da ureia e ureia-aldeidos, transformando parte do fertilizante insolúvel em água (SANGOI; SILVA; PAGLIARINI., 2016). O segundo grupo consiste em grânulos de ureia recoberta com resina de enxofre ou polímeros permeáveis em água que libera os nutrientes osmoticamente de forma gradual (TRENKEL, 2010).

As fontes estabilizadas e de liberação lenta de N reduzem as perdas por volatilização de amônia e lixiviação de nitrato. Assim, elas podem aumentar a eficiência agronômica de uso do nitrogênio. Contudo, o uso e eficiência das diferentes fontes de fertilizantes nitrogenadas ainda não está claro para os solos argilosos da região de Campos Novos. Devido a isto, este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito de fontes e doses de nitrogênio em cobertura sobre o rendimento de grãos do milho e a viabilidade econômica do uso destas fontes.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado na área experimental da Universidade do Oeste de Santa Catarina, campus de Campos Novos, nos anos agrícolas de 2016/17 e 2017/18. O município de Campos Novos está situado numa altitude de 934 metros acima do nível do mar, a 27º 24´ 0´´ de latitude sul e 51º 13´ 30´´ de longitude oeste (CIASC, 2019). O clima da região é classificado segundo Köeppen como Cfb temperado (PANDOLFO *et al*., 2002). A área dos experimentos é plana e manejada conforme sistema de plantio direto. O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho distrófico (LAUS NETO *et al.,* 1999). A camada de 0-20 cm do solo apresentava as seguintes características em agosto de 2016: 60% de argila; pH (H_2O) de 5,6; matéria orgânica de 3,8%; índice de SMP de 5,6; 16,3 mg dm^{-3} de P; 91 mg dm^{-3} de K; 9,9 $cmol_c$ dm^{-3} de Ca^{2+}; 4,3 $cmol_c$ dm^{-3} de Mg^{2+}; 0 $cmol_c$ dm^{-3} de Al^{3+} e 21,3 $cmol_c$ dm^{-3} de CTC.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, dispostos em parcelas sub-divididas. No ano 2016/17 foram avaliados 12 tratamentos. Na parcela principal foram testadas três fontes de nitrogênio: ureia convencional, ureia com inibidor de nitrificação - DMPP e ureia protegida. Nas subparcelas foram avaliadas quatro doses de nitrogênio: 0 (testemunha), 140 kg de N ha^{-1}, 280 kg de N ha^{-1} e 420 kg de N ha^{-1}, os quais foram aplicados (30 kg na base + estádios fenológicos) a lanço sobre a superfície do solo. As doses corresponderam a 50%, 100% e 150% da dose recomendada segundo a comissão de Química e Fertilidade do Solo do RS-SC (2016) com objetivo de produzir 18.000 kg ha^{-1} de grãos. No ano 2017/18 foram avaliados 16 tratamentos, utilizando nas parcelas principais quatro fontes de nitrogênio (ureia convencional, ureia protegida, ureia com inibidor de nitrificação - DMPP e ureia com inibidor de urease – NBPT) e nas subparcelas as mesmas quatro doses de nitrogênio empregadas em 2016/2017. Cada subparcela foi constituída por seis linhas de seis metros de comprimento e espaçamento entrelinhas de 0,7 m.

As aplicações da ureia convencional, ureia com inibidor de nitrificação e ureia com inibidor de urease foram realizadas quando as plantas apresentavam seis, três e três folhas expandidas, respectivamente, conforme escala de Ritchie & Benson & Lupkes*.,* (1993). A ureia protegida foi aplicada no dia seguinte à semeadura do milho.

O híbrido utilizado foi o P30F53VYH com população de 70.000 plantas ha^{-1}. Foram aplicados 30 kg de nitrogênio na semeadura e o restante da dose prevista no tratamento em cobertura. As adubações fosfatada e potássica foram feitas no dia da semeadura. Aplicaram-se 512 kg ha^{-1} de superfosfato triplo e 233 kg ha^{-1} de cloreto de potássio, correspondentes as doses de 209 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 153 kg ha^{-1} de K_20.

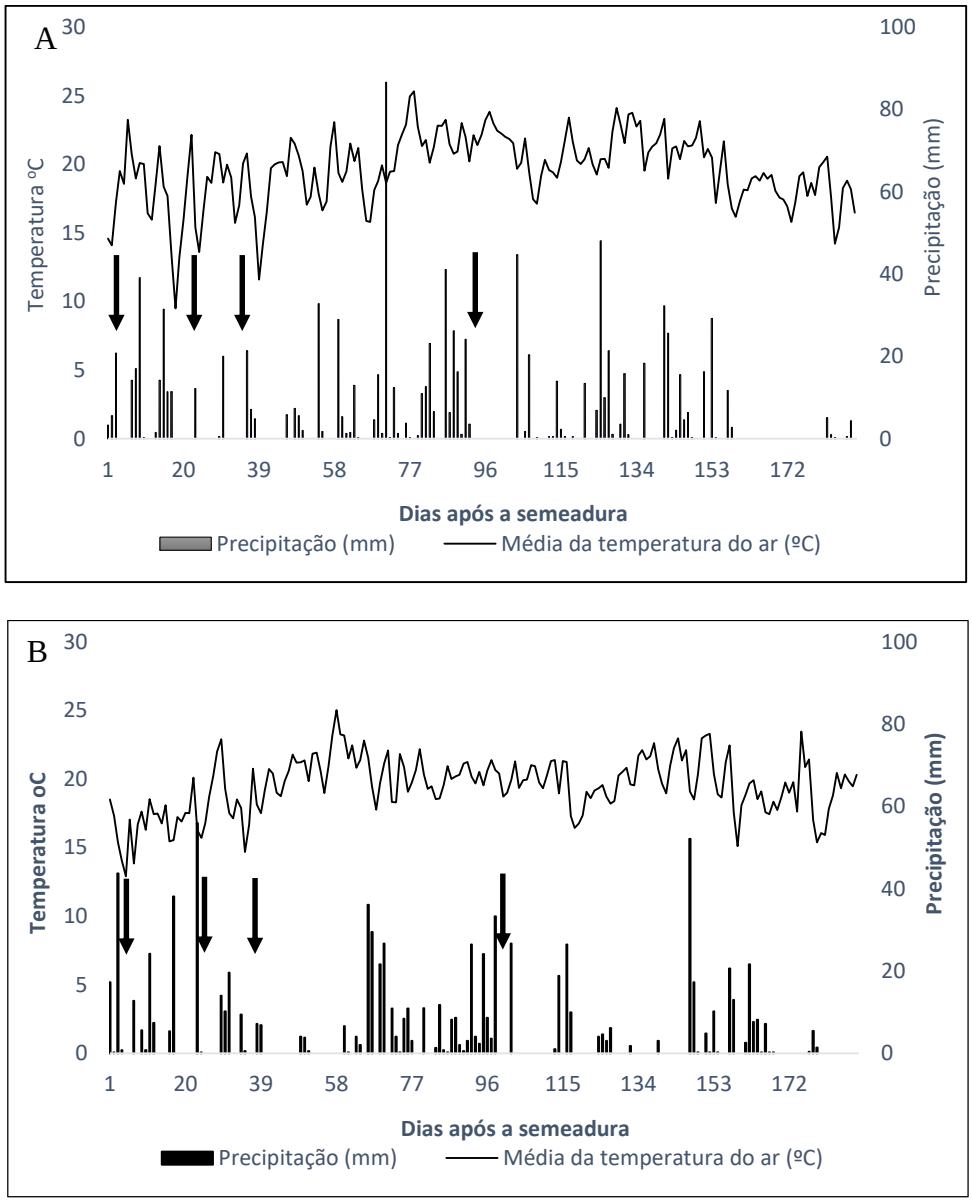
No mês de maio de cada ano foi realizada a semeadura de aveia preta (*Avena strigosa*) com 80 kg ha^{-1} de sementes. A cobertura de inverno foi posteriormente dessecada na metade de agosto, utilizando os herbicidas glifosato e 2,4 D.

A semeaduras foram realizadas nos dias 13 de outubro de 2016 e 23 de outubro de 2017, com o uso de semeadoras manuais. Em cada cova foram lançadas três sementes para evitar falhas na densidade populacional do estande. Quando as plantas estavam com aproximadamente três folhas expandidas realizou-se o desbaste manual para ajuste da densidade populacional almejada.

As características agronômicas avaliadas foram o número de espigas por planta, número de espigas m^{-2}, número de grãos m^{-2}, número de grãos por espiga, peso de 1000 grãos e rendimento de grãos, expresso em kg ha^{-1} na umidade padrão de 13%.

Os dados meteorológicos de temperatura e pluviosidade descritos na Figura 4 foram fornecidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), através do centro de informações de recursos ambientais e de hidrometeorologia de Santa Catarina (CIRAM, 2019). Eles foram coletados entre os meses de outubro a abril dos anos agrícolas de 2016/17 e 2017/18, coincidindo com a estação de crescimento do milho. Os dados foram coletados na estação meteorológica da Epagri localizada a 1 km de distância da área experimental da Unoesc de Campos Novos.

Figura 4 - Precipitações e temperaturas médias durante o ciclo de cultivo do milho em 2016/17 (A) e 2017/18 (B) em Campos Novos, SC. Dados registrados na estação meteorológica de Campos Novos e fornecidos pela Epagri CIRAM. 1º seta: aplicação ureia protegida (semeadura), 2ºseta: aplicação ureia com inibidor desnitrificação (V3), 3º seta: aplicação da ureia convencional e ureia com inibidor de urease (V6), 4º seta: florescimento masculino.



Fonte: Elaborada pelo autor a partir dos dados fornecidos pela Epagri Ciram.

Os custos operacionais foram obtidos a partir dos dados da Companhia nacional de abastecimento (Conab) para híbridos de milho de alta tecnologia utilizados na região sul do Brasil. Para determinar a lucratividade dos tratamentos envolvidos foi utilizada metodologia proposta por Martin *et al.*, (1997). Foram calculadas a receita bruta (RB), como o produto entre a quantidade produzida (em número de sacos de 60 kg) e o preço médio recebido pelo produtor (RB = quantidade produzida x preço por

unidade); o lucro operacional (LO), é a diferença entre a receita bruta e o custo operacional total (LO = RB – COT) e o índice de lucratividade (IL), entendido como a proporção da receita bruta que se constitui em recursos disponíveis, após a cobertura do custo operacional total de produção (IL = (LO/RB) x 100).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (Teste F) ao nível de significância de 5%. Quando os valores de F foram significativos, as médias do fator qualitativo (fontes de N) foram comparadas pelo teste de Tukey e do fator quantitativo (doses de N) por análise de regressão. As duas comparações foram feitas ao nível de significância de 5%. O resumo da análise de variância para as variáveis apresentadas no trabalho pode ser visualizado nos apêndices da tese.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os rendimentos médios de grãos nos anos agrícolas de 2016/17 e 2017/18 foram de 10.510 e 9.028 kg ha^{-1}, respectivamente (Tabela 2). No primeiro ano, o rendimento de grãos foi 4,1% superior ao segundo ano, evidenciando uma queda na produtividade de 1.482 kg ha^{-1} (24,7 sacos ha^{-1}). Esta variação entre a produtividade entre os anos pode ter sido influenciada pelo fato do segundo ano ter sido acometido por uma estiagem entre o 39º e 58º dia após a semeadura (Figura 4). Neste período, a cultura apresentava 9 a 10 folhas expandidas, fase do desenvolvimento vegetativo em que as plantas apresentam intenso alongamento celular. A falta de água inibe o alongamento das células caulinares. Consequentemente, ela reduz o tamanho dos internódios, comprometendo o acúmulo de reservas e de nitrogênio (WEISSMAN, 2008). Estas reservas são determinantes para obtenção de boas produtividades, pois elas são remobilizadas do caule para as espigas na fase de enchimento dos grãos (MUELLER *et al*., 2019).

Tabela 2: Rendimento de grãos e componentes do rendimento em função das fontes nitrogenadas utilizadas nos anos agrícolas de 2016/17 e 2017/18, na média de quatro doses de N. Campos Novos, SC.

2016/17	Rendimento (kg ha^{-1})	Massa 1000 grãos (g)	Grãos m² (nº)	Grãos Espiga (nº)	Fileira espiga (nº)	Grãos Fileira (nº)	Espigas Planta (nº)
UC[1]	10.711*	361*	2438*	541*	14,8*	30*	0,92*
UP	10.383*	366*	1960*	421*	14,7*	28*	0,95*
UIN	10.436*	358*	1973*	411*	14,4*	27*	0,98*
cv%	8,8	5,84	12,48	38,24	9,6	16,2	7,3
2017/18	Rendimento (kg ha^{-1})	Massa 1000 Grãos (g)	Grãos m² (nº)	Grãos Espiga (nº)	Fileira espiga (nº)	Grãos Fileira (nº)	Espigas Planta (nº)
UC	8.360*	285*	1765*	379*	14,12*	31*	0,95*
UP	8.825*	292*	1683*	354*	15,14*	32*	0,97*
UIN	9.160*	295*	1988*	394*	15,07*	33*	1,03*
UIU	9.760*	298*	1999*	425*	14,78*	33*	0,96*
cv%	22,26	4,38	25,62	25,98	15,2	15,09	12,07

*ns – Diferenças não foram significativas ao nível de significância de 5% (P=0,05).
[1] UC= ureia convencional, UP= Ureia protegida, UIN= ureia com inibidor de nitrificação, UIU= ureia com inibidor de urease. Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

O uso de diferentes fontes nitrogenadas como estratégia para otimizar a utilização do N não apresentou diferenças na produtividade, nos dois anos agrícolas. Também não houve interação significativa entre fontes e doses. Isto indica que a oferta de nitrogênio das diferentes fontes manteve-se equitativa quanto a disponibilidade de N-nítrico e o N-amoniacal para as plantas, comportamento também observado por MOTA *et al*. (2015), MAESTRELO *et al*., (2014) e DUETE *et al*., (2009).

A eficiência similar dos fertilizantes com inibidores de nitrificação, em relação a ureia convencional, pode ser explicada pelo fato da região de Campos Novos apresentar um Nitossolo Vermelho com textura argilosa. Segundo Ernani et al. (2008), solos argilosos são solos pouco propícios às perdas de N por lixiviação de NO^{-}_{3}. Associado a textura argilosa, as condições climáticas ocorridas após a aplicação do fertilizante nitrogenado também não favoreceram às perdas por lixiviação de nitrato, pois não houve excesso de chuvas (Figura 4). Estas condições mitigaram os possíveis efeitos positivos da ureia com inibidor de nitrificação. O DMPP visa desacelerar o processo de transformação do amônio em nitrato pela inibição da enzima amônia

monoxigenase (TRENKEL, 2010), evitando a lixiviação do nitrato. Segundo Sangoi et al. (2016), existem poucos trabalhos no Brasil que descrevem o comportamento dos inibidores de nitrificação, não se conhecendo efetivamente o comportamento deste inibidor nos solos brasileiros.

A eficiência da ureia protegida (encapsulada) foi similar a eficiência da ureia convencional. Este efeito possivelmente está associado ao fato deste fertilizante ainda não apresentar um método padronizado de liberação do N. Além disso, possíveis falhas no revestimento dos grânulos de ureia podem comprometer a velocidade de liberação do nitrogênio, Com isto, o N é disponibilizado em momentos nos quais a demanda e a capacidade de absorção da planta não são os mais adequados (SANGOI *et al*., 2016).

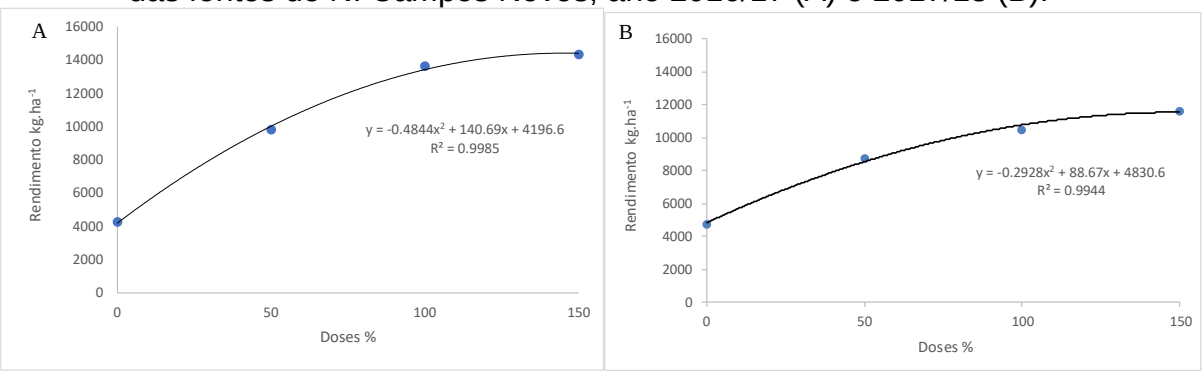
A ureia contendo inibidor de urease visa a diminuir as perdas por volatilização de amônia (MENEZES, 2015). No entanto, este fertilizante não proporcionou o melhor aproveitamento do N pelas plantas de milho, apresentando respostas de produtividade similares às demais fontes testadas. A eficácia na redução da volatilização do NH_3 está bem documentada em relação a este fertilizante. Contudo, existem algumas limitações no seu uso. A principal delas é o pequeno período de inibição da urease e da volatilização (3 a 15 dias), o que não elimina completamente este tipo de perda de N (CANTARELLA *et al*., 2018). Desta forma, a retenção de quantidade superior de N no solo é conhecida, porém sem respostas efetivas na produtividade de grãos quando utilizada em solos argilosos, como os da região de Campos Novos. Isto foi comprovado por Fontoura *et al*., (2015) através da realização de experimentos conduzidos no estado do Paraná, utilizando fontes nitrogenadas com inibidores de urease em solos argilosos. Estes autores também não identificaram aumento da produtividade de grãos de milho, mesmo com a redução de 15% nas perdas por volatilização de amônia.

As variáveis massa de 1000 grãos, número de grão m^2, número de grãos por espiga, número de fileiras por espiga e número de espigas por planta não apresentaram diferenças entres as fontes nitrogenadas, corroborando o comportamento apresentado pelo rendimento de grãos (Tabela 1). Da mesma forma o número de grãos por fileira não foi afetado pelas diferentes fontes testadas nos dois anos de cultivo.

As doses de nitrogênio afetaram significativamente o rendimento de grãos e os seus componentes. Houve um ajuste quadrático do rendimento às doses aplicadas,

nos dois anos agrícolas (Figura 5). As doses de 0, 140, 280 e 420 kg N ha^{-1} propiciaram produtividades de 4.266, 9.812, 13.630 e 14.332 kg ha^{-1} no ano de 2016/17 e 4.743, 8793, 10.508 e 12.068 kg ha^{-1} no ano de 2017/18, na média das fontes de N. De acordo com a primeira derivada das equações quadráticas, as doses em que foram registradas as máximas produtividades equivaleram a 145% e 170% da dose recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo do RS e SC (2016) para obtenção da produtividade de 18.000 kg ha^{-1}. Quantitativamente, estas doses equivalem a aplicação de 406 e 476 kg de N ha^{-1}, em 2016/17 e 2017/18, respectivamente. Esses resultados corroboram com os dados apresentados por Sangoi *et al*., (2019), Muller *et al.,* (2016), Menezes (2015) e Mota *et al*., (2015). Estes autores evidenciam o incremento da produtividade de grãos do milho em função do aumento das doses de nitrogênio. O ganho de produtividade provocado pelo aumento das doses de nitrogênio está relacionado ao fato de o nitrogênio proporcionar melhor desenvolvimento de folhas, otimizando o índice de área foliar e a concentração de clorofila nas folhas (MULLER *et al.,* 2016). Isto aumenta a eficiência de uso da radiação, as taxas fotossíntéticas e, consequentemente, o rendimento de grãos. Além disso, o rendimento de grãos é resultante do número de grãos m² e da massa de 1000 grãos que também tiveram um aumento significativo em função das doses de N (Figura 6).

Figura 5: Rendimento de grãos do milho em funçao das doses de nitrogênio, na média das fontes de N. Campos Novos, ano 2016/17 (A) e 2017/18 (B).



Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

A massa de 1000 grãos, número de grãos m² e número de grãos por espigas apresentaram diferenças significativas entre as doses de N aplicado em cobertura. A massa de 1000 grãos teve um aumento linear em relação as doses aplicadas, enquanto o número de grãos m² e número de grãos por espiga apresentaram um

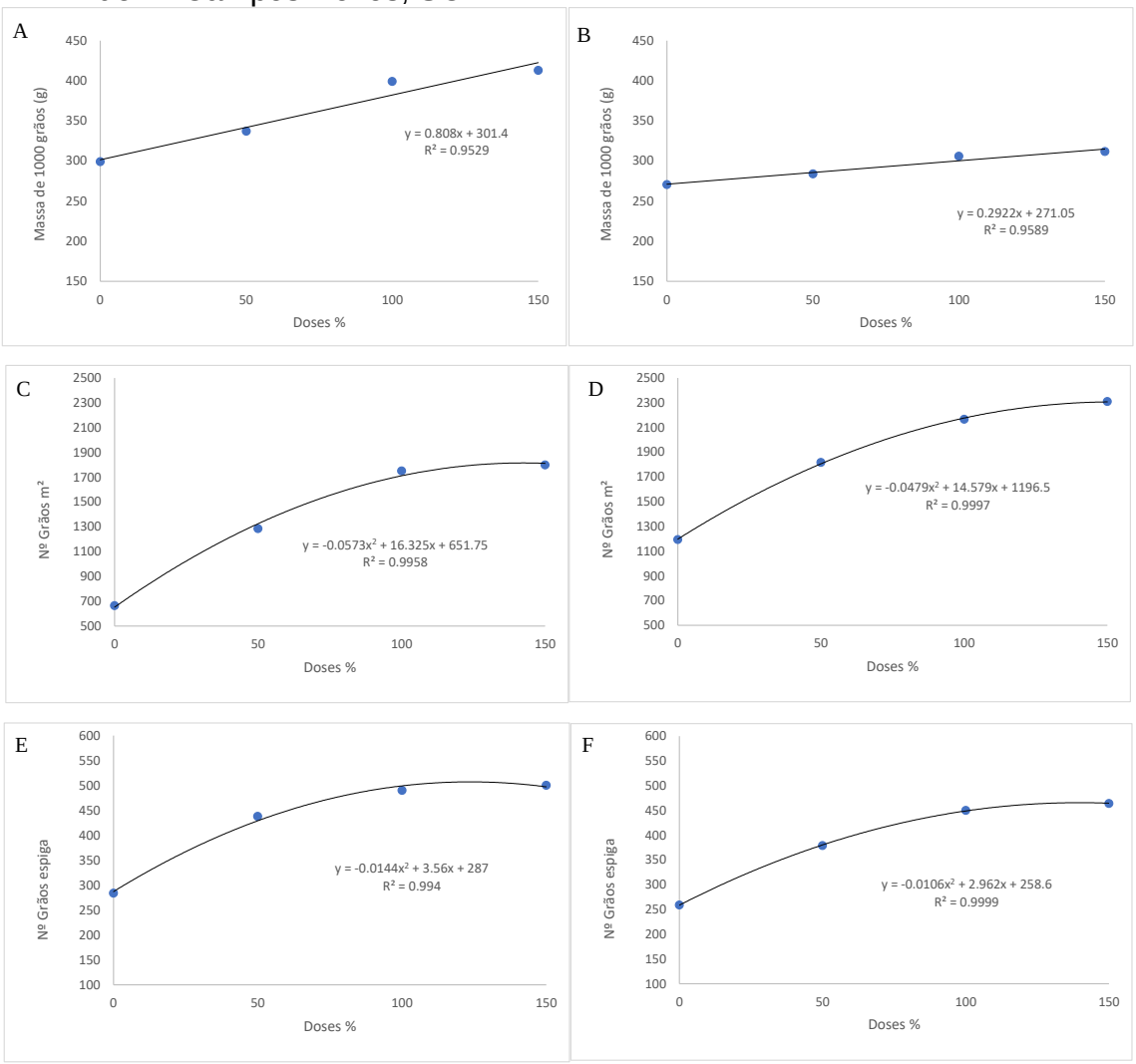
comportamento quadrático (Figura 6A e 6B). Para cada 1% de aumento na dose de N aplicada, houve um incremmento de 0,80 g e 0,29 g na massa de 1.000 grãos em 2016/17 e 2017/18, respectivamente.

A suplementação das plantas com doses mais elevadas de N prolonga a atividade fisiológica das folhas, mantendo-as ativas por mais tempo. Isto favorece o aumento na duração do período de enchimento dos grãos e, consequentemente, a produção de grãos mais pesados (SILVA *et al*., 2005).

Da mesma forma, o número de grãos por m² e o número de grãos espiga^{-1} apresentaram diferenças sigificativas entre as doses estudadas. Entretanto, estas variáveis apresentaram comportamentos quadráticos em relação as doses de 0, 140, 280 e 420 kg N ha^{-1}, com número médio de grãos m² de 665, 1.285, 1.751 e 1.798 grãos em 2016/17 e de 1.193, 1.816, 2.165 e 2.309 grãos em 2017/18, respectivamente (Figura 6C e 6D). O número de grãos por espiga no primeiro ano foi de 284, 438, 490 e 500 grãos, enquanto no segundo ano foi de 259, 379, 450 e 464 grãos, respectivamente (Figura 6E e 6F).

O aumento do número de grãos m² e do número de grãos por espiga em função do incremento das doses de N ocorre devido a elevação dos teores de clorofila nas folhas. Isto fomenta as taxas fotossintéticas e, consequentemente, a quantidade de carboidratos produzidos pela fonte, permitindo que drenos como a espiga em formação recebam mais fotossintatos e diferenciem maior número de espiguetas e de grãos por espiga (MOTA *et al*., 2015).

Figura 6: A- Massa de 1000 grãos em 2016/17. B- Massa de 1000 grãos em 2017/18. C- Número de grãos m² em 2016/17. D- Número de grãos m² em 2017/18. E- Número de grãos espiga^{-1} em 2016/17. F- Número de grãos espiga^{-} em 2017/18 de milho em função das doses de nitrogênio, na média das fontes de N. Campos Novos, SC.

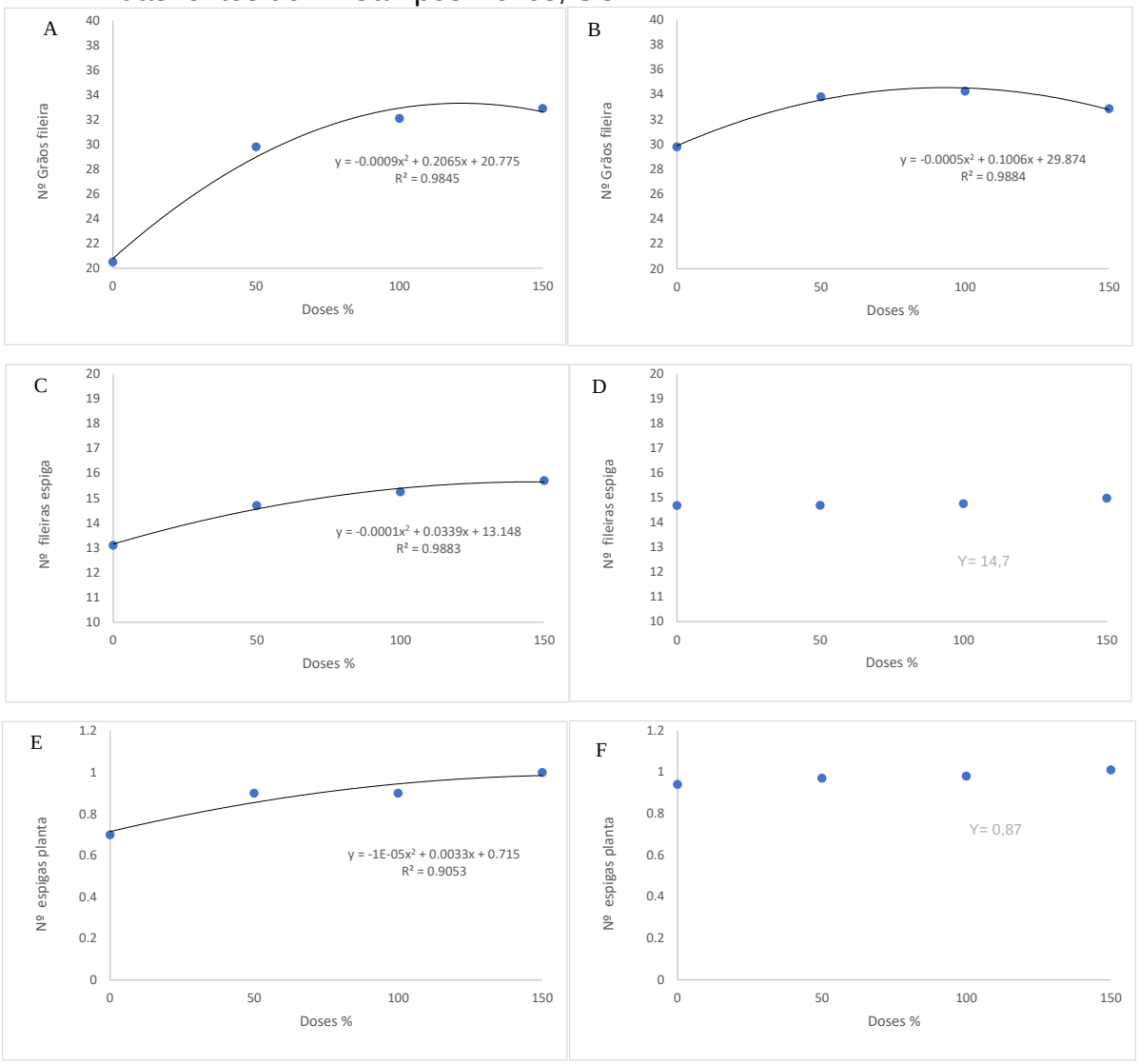


Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

A quantidade de espiguetas formadas define o número de fileiras por espiga e do número de óvulos por fileira, que resultará no número potencial de grãos de cada espiga. Essa definição ocorre quando as plantas estão nos estágios iniciais de desenvolvimento entre sete e nove folhas expandidas (FANCELLI, 2000). O número de grãos por fileira apresentou diferenças significativas entre as doses de 0, 140, 280 e 420 kg N ha^{-1}, nas quais foram produzidos 20, 29, 32 e 32 grãos por fileira no ano de 2016/17 e 29, 33, 34 e 32 grãos por fileira no ano de 2017/18, respectivamente (Figura 3A e 3B).

O número de fileiras por espiga e o número de espigas por planta apresentaram diferenças significativas entre as doses de N em 2016/17, onde a ausência de nitrogênio reduziu significativamente o número de fileiras e o número de espigas por planta. A testemunha produziu 13 fileiras por espiga, enquanto nas doses de 140, 280 e 420 kg N ha^{-1} foram obtidas 14, 15 e 15 fileiras por espiga e 0,7, 0,9, 0,9, e 1,0 espigas por planta, respectivamente (Figura 3C e 3E). No segundo ano não houve diferenças entre os tratamentos para estas variáveis, que apresentaram em média 14 fileiras por espiga e 0,87 espigas por planta (Figura 7D e 7F).

Figura 7: A- Número de grãos fileira em 2016/17. B- Número de grãos fileira em 2017/18. C- Número fileiras espiga em 2016/17. D- Número fileiras espiga em 2017/18. E- Número espigas planta em 2016/17. F- Número de espigas planta em 2017/18 de milho em função das doses de nitrogênio, na média das fontes de N. Campos Novos, SC.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

O índice de lucratividade (IL), resultante do lucro após o pagamento de todos os custos operacionais, apresentou variação em relação as fontes e doses utilizadas, corroborando com a descrição realizada por Souza et al., (2012). Em 2016/17, o uso da ureia convencional na dose de 420 kg N ha^{-1} se destacou, proporcionando uma produtividade de 14.457 kg ha^{-1} que gerou uma rentabilidade de R$ 1.994,84 por hectare e um IL de 35,28% (Tabela 3).

É importante destacar que o uso da ureia convencional aplicada em cobertura proporcionou benefícios líquidos positivos, independentemente da dose de N utilizada. Comportamento similar foi reportado por FILHO et al. (2010) e HANEKO et al. (2010). Em 2017/18, o maior índice de lucratividade foi obtido com o uso da ureia estabilizada contendo inibidor de urease (IL 51,17%), na dose de 140 kg N ha^{-1}. Esta combinação de fonte e dose proporcionou uma produtividade de 10.093 kg ha^{-1}, que gerou uma rentabilidade de R$ 3.073,06 por hectare. Entre o primeiro e o segundo ano houve uma redução de 30% na produtividade ocasionada pela estiagem sofrida pelo milho durante a fase vegetativa da cultura (Figura 4). Apesar deste decréscimo, houve um incremento de 34% no preço do saco de milho no segundo ano agrícola e menor custo operacional associado a menor utilização de N (140 kg ha^{-1}). Isto proporcionou o melhor índice de lucratividade dos dois anos agrícolas.

Tabela 3: Retorno financeiro das diferentes fontes e doses de N utilizadas para a produção de grãos de milho, nos Anos agrícolas de 2016/17 e 2017/18 no município de Campos Novos/SC. Percentual de nitrogênio (%N), Cotação mês abril de 2017 e 2018 (Cot Abr), Custo operacional do cultivo do milho (C.O), Receita bruta (RB), Receita líquida (RL), Índice de lucratividade (IL).

Fontes	Doses	%N	R$ N ha	Prd ha	Sac ha	Cot Abr 2017/18	C.O.	RB R$ ha	RL R$ ha	IL (%)
2016/17										
UC	0	0	0	4162	69	23,47	2657,21	1628,04	-1029,17	-63,22
UC	140	50	334	11038	184	23,47	2657,21	4317,70	1326,49	30,72
UC	280	100	669	13099	218	23,47	2657,21	5123,89	1797,68	35,08
UC	420	150	1003	14457	241	23,47	2657,21	5655,10	1994,89	35,28
UP	0	0	0	4453	74	23,47	2657,21	1741,87	-915,34	-52,55
UP	140	50	840	8700	145	23,47	2657,21	3403,15	-94,06	-2,76
UP	280	100	1680	14058	234	23,47	2657,21	5499,02	1161,81	21,13
UP	420	150	2520	14319	239	23,47	2657,21	5601,12	423,91	7,57
UIN	0	0	0	4183	70	23,47	2657,21	1636,25	1020,96	-62,40
UIN	140	50	642	9699	162	23,47	2657,21	3793,93	494,72	13,04
UIN	280	100	1285	13731	229	23,47	2657,21	5371,11	1428,90	26,60
UIN	420	150	1927	14132	236	23,47	2657,21	5527,97	943,76	17,07
2017/18										
UC	0	0	0	4183	70	35,70	2497,28	2488,89	-8,39	-0,34
UC	140	50	334	7608	127	35,70	2497,28	4526,76	1695,48	37,45
UC	280	100	669	10216	170	35,70	2497,28	6078,52	2912,24	47,91
UC	420	150	1003	11432	191	35,70	2497,28	6802,04	3301,76	48,54
UP	0	0	0	4026	67	35,70	2497,28	2395,47	-101,81	-4,25
UP	140	50	840	7885	131	35,70	2497,28	4691,58	1354,30	28,87
UP	280	100	1680	11355	189	35,70	2497,28	6756,23	2578,95	38,17
UP	420	150	2520	11219	187	35,70	2497,28	6675,31	1658,03	24,84
UIN	0	0	0	4507	75	35,70	2497,28	2681,67	184,39	6,88
UIN	140	50	642	9587	160	35,70	2497,28	5704,27	2564,99	44,97
UIN	280	100	1285	9026	150	35,70	2497,28	5370,47	1588,19	29,57
UIN	420	150	1927	13819	230	35,70	2497,28	8222,31	3798,03	46,19
UIU	0	0	0	6076	101	35,70	2497,28	3615,22	1117,94	30,92
UIU	140	50	435	10093	168	35,70	2497,28	6005,34	3073,06	51,17
UIU	280	100	871	11433	191	35,70	2497,28	6802,64	3434,36	50,49
UIU	420	150	1306	11465	191	35,70	2497,28	6821,68	3018,40	44,25

UC= ureia convencional, UP= Ureia protegida, UIN= ureia com inibidor de nitrificação, UIU= ureia com inibidor de urease.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

A análise econômica permite inferir que o uso da ureia convencional e da ureia com inibidor de urease, ambos com os menores preços de mercado na região de Campos Novos, apresentaram as melhores respostas em relação ao índice de lucratividade. Um ponto importante a destacar é que em anos com restrição hídrica durante o desenvolvimento vegetativo da cultura, como foi 2017/18, a ureia com inibidor de uréase é uma alternativa interessante economicamente. Mesmo que os rendimentos de grãos dos tratamentos com UC e UIN tenham sido estatisticamente semelhantes, na média das quatro doses houve diferença a favor da ureia estabilizada com NBPT de 1.407 kg ha^{-1} (Tabela 2). Como a diferença de preço entre os dois fertilizantes é pequena (Ureia: R$ 1,30 kg e UIU: R$ 1,43 kg) e ambos apresentam a mesma concentração de N na sua composição, o uso da ureia com inibidor de urease pode ser economicamente viável sob condições de temperatura elevada e baixa umidade, as quais favorecem as perdas por volatilização de amônia.

Nos tratamentos em que não houve aplicação de nitrogênio em cobertura o índice de lucratividade foi nulo ou negativo. Isso se deve à ausência de N reduzir significativamente a produtividades do milho, pois esta variável está diretamente relacionada à obtenção dos lucros (SOUZA et al., 2012).

A ureia protegida e a ureia com inibidor de nitrificação foram eficientes para obtenção de boas produtividades de grãos na dose de 420 kg ha^{-1}, alcançando em 2016/17 14.319 kg ha^{-1} e 14.132 kg ha^{-1}, respectivamente. Apesar das produtividades elevadas, o índice de lucratividade destas fontes foi inferior ao da ureia comum, nos dois anos agrícolas. Esta condição é ocasionada pelos valores elevados (ureia protegida: R$ 2,72 kg; ureia com inibidor de nitrificação: R$ 2,88 Kg) de comercialização destas fontes, que são muito superiores aos valores comerciais dos fertilizantes nitrogenados convencionais.

3.6 CONCLUSÕES

O uso de fontes estabilizadas e protegidas de ureia proporciona rendimentos de grãos semelhantes à ureia convencional, no Nitossolo Vermelho Distrófico da região de Campos Novos/SC

A média das fontes de N incrementa o rendimento de grãos em função do aumento das doses recomendadas para atingir a produtividade de 18.000 kg ha^{-1} até 145 % em 2016/17 e 170 % em 2017/18.

Os maiores índices de lucratividade são obtidos com a aplicação de ureia convencional e ureia estabilizada com inibidor de uréase;

A ureia com inibidor de nitrificação e a ureia protegida aumentam o rendimento de grãos do milho, em relação a testemunha, mas não são economicamente viáveis, em função do alto custo dos fertilizantes quando comparados aos demais fertilizantes.

4. ARTIGO 2: CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO DO MILHO SUBMETIDO A FONTES E DOSES DE N EM COBERTURA

4.1 RESUMO

A ureia convencional é o fertilizante nitrogenado mais utilizado na cultura do milho. Contudo, ela é muito sensível a perdas por volatilização de amônia. Novas fontes de N estão presentes no mercado, visando reduzir perdas e promover maior retenção do nitrogênio no solo. Este trabalho foi conduzido objetivando avaliar o efeito de diferentes fontes e doses de fertilizantes nitrogenados sobre características morfofisiológicas e eficiência de uso do N pelo milho. O experimento foi implantado em Campos Novos, SC, durante os anos agrícolas de 2016/17 e 2017/18. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, dispostos em parcelas subdivididas. Na parcela principal foram testadas quatro fontes de fertilizantes nitrogenados: ureia convencional, ureia protegida, ureia com inibidor de nitrificação e ureia com inibidor de uréase (somente segundo ano). Nas subparcelas foram avaliadas quatro doses de nitrogênio em cobertura: testemunha sem N, 140 kg de N ha^{-1}, 280 kg de N ha^{-1} e 420 kg de N ha^{-1}. Foram avaliadas a estatura de plantas, altura de inserção da espiga, diâmetro do colmo, o número de folhas totais e senescidas, IAF, teor de nitrogênio no grão e eficiência do uso do nitrogênio. As fontes de N não afetaram a estatura de plantas, a altura de inserção de espiga, o IAF e o número de folhas totais/senescidas da cultura. O incremento da dose de N aumentou a estatura de plantas, a altura de inserção de espigas, o diâmetro do colmo e o teor de N nos grãos, reduzindo, no entanto, a eficiência agronômica de uso do nitrogênio à produção de grãos. A utilização de fontes estabilizadas (com inibidor de nitrificação/uréase) e protegidas de N não altera significativamente as características morfológicas do milho e nem aumenta a eficiência agronômica de uso do nitrogênio, em relação à ureia convencional.

Palavras-chave: *Zea mays*. Fertilizantes nitrogenados. Ureia. Área foliar

4.2 ABSTRACT

Conventional urea is the most used nitrogen fertilizer in maize crop. However, it is very sensible to N losses by ammonia volatilization. New sources of nitrogen fertilizers are being released in the market, aiming to reduce losses and to promote greater nitrogen retention in the soil. The objective of this work was to evaluate the effect of different sources and rates of nitrogen fertilizers on the morphophysiological characteristics and nitrogen efficiency use of maize. The experiment was set in Campos Novos, SC, during the 2016/17 and 2017/18 growing seasons. The experimental design was a randomized block with treatments arranged in split plots. Four nitrogen sources were tested in the main plots: conventional urea, protected urea, nitrate inhibitor urea and urease inhibitor urea (only second crop). Four nitrogen rates were assessed in the split plots: control without N, 140 kg N ha^{-1}, 280 kg N ha^{-1} and 420 kg N ha^{-1}. Plant height, ear insertion height, stem diameter, number of total and senescent leaves, LAI and nitrogen use efficiency (EA) were evaluated. Nitrogen sources did not affect plant height, ear insertion height, LAI and the number of senesced leaves. The increment of N rate increased plant height, ear insertion height, stem diameter and grain nitrogen contend, but it decreased EA. The use of stabilized (with nitrification/urease inhibitors) or protected N sources did not alter significantly maize morphophysiological traits. It also did not improve the crop nitrogen efficiency use, when compared to the conventional urea.

Keywords: *Zea mays*. Nitrogen fertilizers. Urea. Leaf area

4.3 INTRODUÇÃO

O nitrogênio possui grande importância para a cultura do milho, pois está presente em componentes celulares fundamentais as plantas. Este elemento químico compõe 78% do total de gases presentes na atmosfera, estando na forma de N_2. Apesar da abundância das moléculas de N_2, esta reserva é indisponível às plantas. Desta forma, é necessário que as moléculas de nitrogênio (N_2) sejam convertidas nas moléculas de amônia (NH_3) e nitrato (NO_3) (TAIZ & ZEIGER, 2017).

O nitrato e o amônio são as formas moleculares que o nitrogênio pode ser absorvido pelos vegetais. Entretanto, estas moléculas podem ser perdidas do solo através da lixiviação do nitrato ou volatilização da amônia. A lixiviação consiste no movimento vertical de moléculas de nitrato no perfil do solo chegando a profundidades das quais as raízes das plantas não podem alcançar (ERNANI, 2008). A volatilização consiste na perda do nitrogênio a partir da molécula de ureia onde o nitrogênio permanece na forma de amônia (TAIZ & ZEIGER, 2017) que apresenta uma característica de alta volatilidade.

Entre as formas de otimizar a eficiência agronômica de uso do nitrogênio está o uso de fontes de fertilizantes nitrogenados contendo inibidores de uréase e inibidores de nitrificação. Outra alternativa para alcançar este objetivo é o uso de fertilizantes com uma capsula protetora envolvendo os grânulos de ureia, de forma a minimizar as perdas por lixiviação e volatilização. Segundo Amado et al., (2013), se as condições climáticas forem favoráveis o uso do nitrogênio tende a ser maior do que quando as condições climáticas são desfavoráveis.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar efeito de diferentes fontes e doses de fertilizantes nitrogenados sobre características morfofisiológicas e eficiência de uso do N pelo milho.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado na área experimental da Universidade do Oeste de Santa Catarina, campus de Campos Novos, nos Anos agrícolas de 2016/17 e 2017/18. O município de Campos Novos está situado a uma altitude de 934 metros acima do nível do mar, a 27º 24´ 0´´ de latitude sul e 51º 13´ 30´´ de longitude oeste (CIASC, 2019). O clima é classificado segundo Köeppen como Cfb temperado

(PANDOLFO et al., 2002). O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho distrófico (LAUS NETO et al., 1999). A camada de 0-20 cm do solo apresentava as seguintes características em agosto de 2016: 60% de argila, pH (H_2O) de 5,6, matéria orgânica de 3,8%, índice de SMP de 5,6, 16,3 mg dm^{-3} de P, 91 mg dm^{-3} de K, 9,9 $cmol_c$ dm^{-3} de Ca^{2+}, 4,3 $cmol_c$ dm^{-3} de Mg^{2+}, 0 $cmol_c$ dm^{-3} de Al^{3+} e 21,3 $cmol_c$ dm^{-3} de CTC.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, dispostos em parcelas subdivididas. No ano 2016/17 foram avaliados 12 tratamentos. Na parcela principal foram testadas três fontes de nitrogênio: ureia convencional, ureia com inibidor de nitrificação - DMPP e ureia protegida. Nas subparcelas foram avaliadas quatro doses de nitrogênio: 0 (testemunha), 50% (140 kg de N ha^{-1}), 100% (280 de N ha^{-1}) e 150% (420 de N ha^{-1}) da dose de N recomendada pela comissão de Química e Fertilidade do Solo do RS-SC (2016) com objetivo de produzir 18.000 $kg.ha^{-1}$ de grãos. No ano 2017/18 foram avaliados 16 tratamentos, utilizando nas parcelas quatro fontes de nitrogênio (ureia convencional, ureia protegida, ureia com inibidor de nitrificação - DMPP e ureia com inibidor de urease – NBPT) e nas subparcelas as mesmas doses de N do ANO anterior. A aplicação da ureia convencional, ureia com inibidor de nitrificação e ureia com inibidor de urease foram realizadas quando as plantas apresentavam seis, três e três folhas expandidas, respectivamente, conforme escala de Ritchie *et al.,* (1993). A ureia protegida foi aplicada no dia seguinte a semeadura do milho. Cada subparcela foi constituída por seis linhas de seis metros de comprimento e espaçamento entrelinhas de 0,7 m.

O híbrido utilizado foi o P30F53VYH com população de 70.000 plantas ha^{-1}. Foram aplicados 30 kg de nitrogênio na semeadura e o restante da dose prevista no tratamento em cobertura, fósforo (Supertriplo - 512 kg ha^{-1}) e potássio (Cloreto de potássio – 233 kg ha^{-1}). No mês de maio de cada ano foi realizada a semeadura de aveia preta (*Avena strigosa*) com 80 kg ha^{-1} de sementes como cobertura de inverno e posteriormente dessecada na metade de agosto, utilizando os herbicidas glifosato e 2,4 D.

A semeadura foi realizada nos dias 13 de outubro de 2016 e 23 de outubro de 2017, com o uso de semeadoras manuais. Em cada cova foram lançadas três sementes para evitar falha na densidade populacional do estande. Quando as plantas estavam com aproximadamente três folhas expandidas foi realizado o desbaste manual para ajuste da densidade populacional almejada.

As características morfofisiológicas de estatura de plantas, altura de inserção das espigas número de folhas verdes, número de folhas senescidas, índice de área foliar, clorofila total e teor de nitrogênio na folha índice foram coletadas durante a fase do florescimento masculino (pendoamento) da cultura. As variáveis eficiência agronômica de uso do nitrogênio (EA) e concentração de nitrogênio no grão foram coletadas na fase de colheita do milho.

A estatura de plantas foi avaliada através da distância entre o colo da planta e a extremidade de pendão. Para obtenção desta variável foi necessário o auxílio de uma régua com 400 cm. A altura da inserção da espiga foi medida através da distância existente entre o colo da planta e o nó do colmo em que estava inserida a espiga principal com auxílio de uma régua graduada. O diâmetro do colmo foi estimado a uma altura média de 5 cm acima do nível do solo com auxílio de um paquímetro digital. Os números de folhas verdes e senescentes foram computados através da contagem das mesmas, sendo que em cada planta avaliada as folhas 5, 10 e 15 foram marcadas para auxiliar na contagem. O índice de área foliar (IAF) foi obtido através da fórmula descrita por Almeida *et al*. (2003) onde: IAF = AVPP/ASP, em que AVPP refere-se a área verde por planta e ASP a área de solo ocupada por cada planta. A eficiência agronômica de uso do nitrogênio foi calculada segundo metodologia proposta por Fageria & Baligar (2005), onde EA = (PGcf - PGsf)/(QNa), expressa em kg kg^{-1}, PGcf é a produção de grãos com fertilizante nitrogenado, PGsf é a produção de grãos sem fertilizante nitrogenado e QNa é a quantidade em kg de nitrogênio aplicado no tratamento. O teor de nitrogênio da folha índice no estádio R1 (emissão dos estilo-estigmas na espiga), foi determinado segundo recomendações de Malavolta *et al*. (2006). Foi retirada para esta determinação a folha índice, que consiste na primeira folha fisiologicamente madura, oposta e abaixo à espiga para cada planta, sendo o teor de nitrogênio determinado pelo método semi-micro-Kjeldahl. O teor relativo de clorofila na folha índice foi realizado com clorofilômetro modelo *ClorofiLOG CFL1030* (FALKEN). Sua estimativa foi feita no espigamento (R1), utilizando-se cinco folhas por subparcela.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (Teste F) ao nível de significância de 5%. Quando os valores de F foram significativos, as médias dos fatores qualitativos (fontes de N) foram comparadas pelo teste de Tukey e do fator quantitativo (doses de N) por análise de regressão. As duas comparações foram feitas

ao nível de significância de 5%. O resumo da análise de variância encontra-se nos Apêndices desta tese.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O uso das fontes de fertilizantes nitrogenados apresentou diferenças significativas para as variáveis teor relativo de clorofila e estatura de plantas no ano agrícola de 2016/17 (Tabela 4). O maior teor relativo de clorofila foi obtido com o uso da ureia convencional (51,02), seguido da ureia com inibidor de nitrificação (49,85) e da ureia protegida (48,70). Estes dados corroboram com Mota *et al*., (2015) que também observaram diferenças significativas entre as fontes de fertilizantes testadas.

Para a estatura de plantas, a ureia protegida proporcionou o maior incremento na estatura de plantas (243 cm) diferindo da ureia estabilizada (inibidor nitrificação) que condicionou a menor estatura (236 cm) (Tabela 4). No segundo ano de cultivo, estas duas variáveis não apresentaram diferenças entre as fontes utilizadas.

Informações referentes a concentração de clorofila na folha são relevantes para um bom monitoramento das lavouras. Quando os valores registrados no clorofilômetro são superiores a 58, o nível de N está adequado, possibilitando um elevado potencial produtivo para o milho, independentemente do híbrido utilizado (ARGENTA *et al*., 2003). Dessa forma, no primeiro ano de cultivo os teores de clorofila na folha ficaram abaixo do recomendado. JÁ no segundo ano, esses teores foram ajustados com a média entre as fontes de 58,22.

As análises das variáveis altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro do colmo (DC), número total de folhas (NTF), número de folhas senescente (NFS), área foliar verde por planta (AFVP), índice de área foliar (IAF), eficiência agronômica de uso do nitrogênio (EA) e o teor de N no grão (TNG) demonstraram que o uso de fontes estabilizadas e protegidas não apresentam diferenças em relação a ureia convencional (Tabela 4).

Tabela 4: Estatura de plantas (EP), altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro de colmo (DC), número total de folhas (NTF), número de folhas senescentes (NFS), índice de área foliar (IAF), índice de clorofila falker (ICF), eficiência agronômica de uso do nitrogênio (EA) e teor de N no grão (TNG), em função das fontes de N utilizadas nos anos agrícolas de 2016/17 e 2017/18, na média de quatro doses de N. Campos Novos, SC.

2016/17										
Fontes	EP (cm)	AIE (cm)	DC (mm)	NTF (nº)	NFS (nº)	AFVP (cm²)	IAF	ICF	EA	TNG (%)
UC[1]	241ab	107*	22,27*	19,68*	8,08*	5696*	5,5*	51,02ª	23,00*	11,50*
UP	243b	109*	22,11*	19,48*	8,67*	5613*	5,5*	48,70c	19,18*	11,82*
UIN	236a	104*	21,48*	19,85*	8,48*	5584*	5,4*	49,85b	21,13*	11,86*
cv%	5,9	5,9	8,3	2,05	6,73	9,91	10,2	4,77	27,46	4,85
2017/18										
Fontes	EP (cm)	AIE (cm)	DC (mm)	NTF (nº)	NFS (nº)	AFVP (cm²)	IAF	ICF	EA	TN (%)
UC	240*	109*	19,33*	20,68*	7,64*	4959*	4,8*	57,22*	13,76*	9,08*
UP	243*	109*	20,53*	21,12*	7,92*	5162*	5,3*	55,45*	13,40*	6,81*
UIN	245*	110*	20,74*	20,75*	7,62*	5467*	5,1*	59,71*	19,31*	9,69*
UIU	248*	112*	20,18*	20,62*	7,50*	5281*	5,3*	60,52*	13,19*	9,58*
cv%	18,16	19,79	6,3	4,54	8,60	14,68	14,68	22,09	60,85	35,70

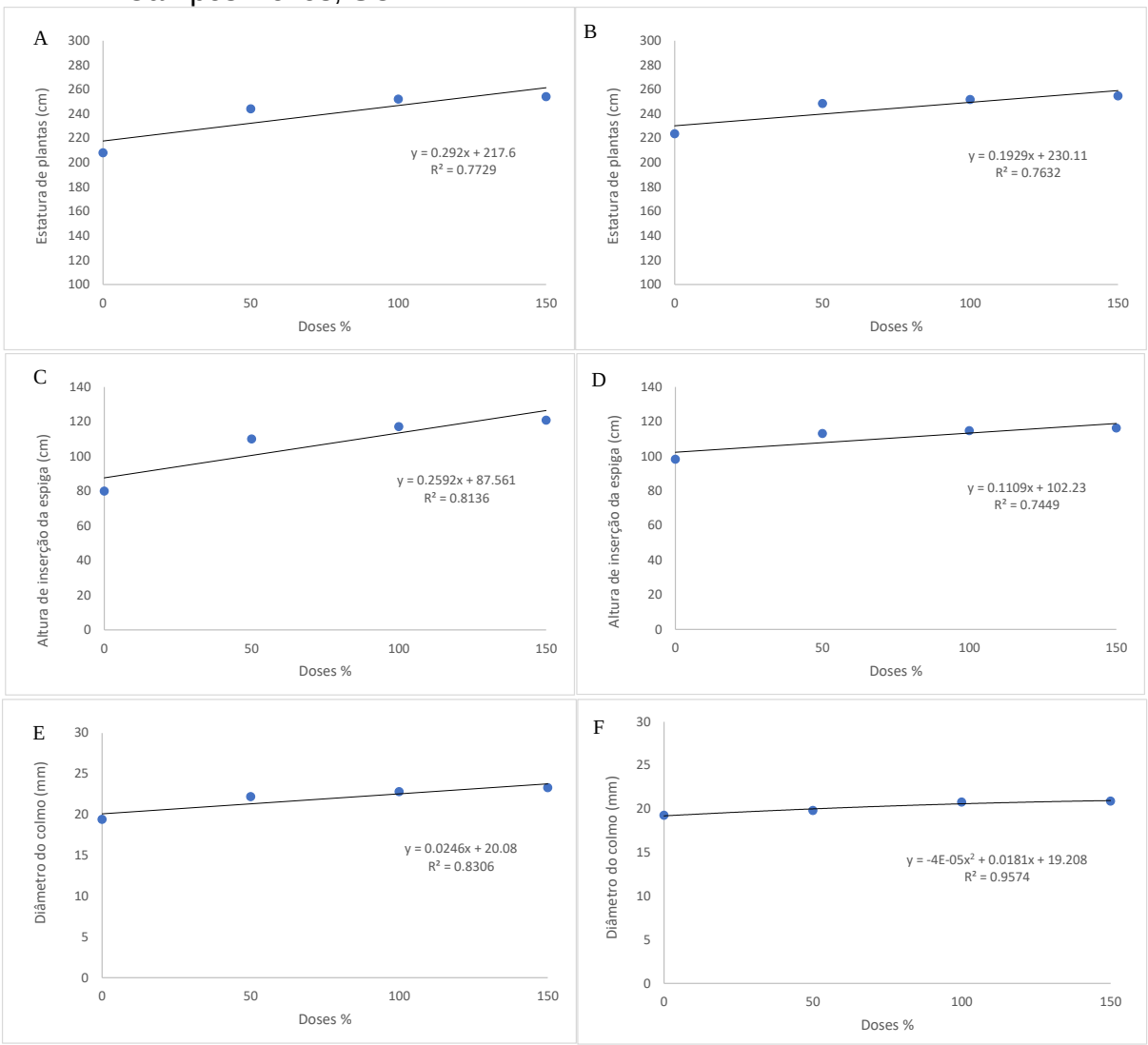
*ns – Diferenças não foram significativas ao nível de significância de 5% (P=0,05). Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05). UC= ureia convencional, [1] [1] UP= Ureia protegida, UIN= ureia com inibidor de nitrificação, UIU= ureia com inibidor de urease. Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

A estatura de plantas foi afetada pela dose de N aplicada em cobertura. Para cada 1% de incremento na dose recomendada de N houve um incremento de 0,29 cm e 0,19 cm, nos anos agrícolas de 2016/17 e 2017/18, respectivamente (Figuras 8A e 8B). Esses incrementos resultaram em plantas com 254 e 255 cm de estatura máxima, sendo de 0,39% a diferença de um ano para o outro. Esse comportamento de elevação da estatura de plantas frente ao incremento de doses de nitrogênio também foi descrito por Buratto et al*.,* (2017), Petter et al., (2016), Gazola et al., (2014) e Goes et al., (2013). Ele se deve ao fato de o N atuar diretamente no meristema apical caulinar da planta, estimulando a divisão celular (SANGOI et al., 2016) e promovendo o crescimento longitudinal (TAIZ & ZEIGER, 2017) das plantas de milho.

De maneira semelhante a estatura de plantas, a altura de inserção da espiga e o diâmetro do colmo apresentaram diferenças significativas entre as doses de N. Para altura de inserção da espiga houve uma tendência de aumento linear em função das doses de nitrogênio, nos dois anos agrícolas, de forma similar ao resultado reportado por Goes et al., (2013). Para cada incremento percentual na dose de N aplicado houve um aumento médio de 0,26 cm e 0,11 cm, nos Anos agrícolas de 2016/17 e 2017/18

(Figura 8C e 8D), até a doses 420 kg ha^{-1} de N. Isso posicionou as espigas a uma altura média de 120 e 116 cm acima do colo das plantas respectivamente, havendo uma redução de 3,3% do primeiro para o segundo ano de cultivo. Da mesma forma, o diâmetro de colmo apresentou uma tendência de aumento da circunferência de 0,02mm e 0,01 mm em 2016/17 e 2017/18 a cada aumento percentual na dose de N aplicado em cobertura, corroborando com os dados descritos por Gazola et al., (2014), Kappes et al., (2014) e Goes et al., (2013).

Figura 8. Estatura de plantas 2016/17 (A) e 2017/18 (B), altura de inserção da espiga 2016/17 (C) e 2017/18 (D), diâmetro do colmo 2016/17 (E) e 2017/18 (F) de milho, em função das doses de nitrogênio, na média das fontes de N. Campos Novos, SC.



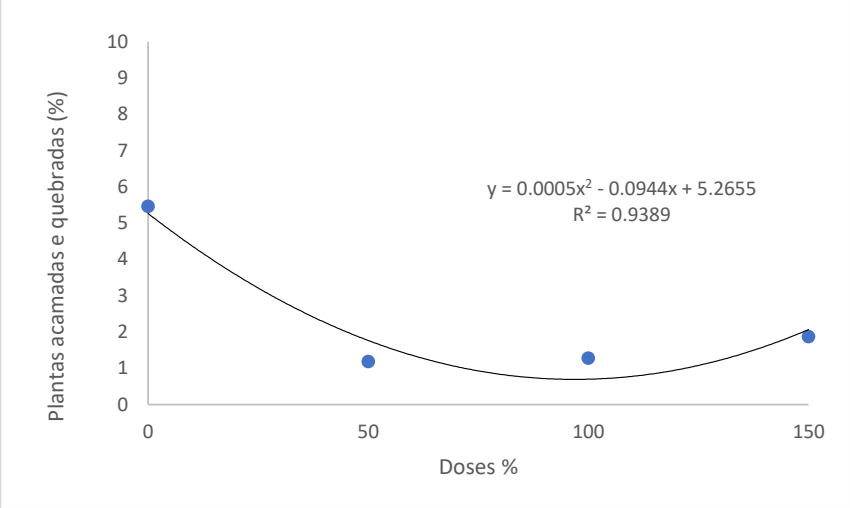
Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

Plantas cultivadas sobre doses mais elevadas de nitrogênio possuem espigas posicionadas a uma altura superior quando comparadas às plantas cultivadas sob

doses menores de N. Espigas nestas condições aumentam o efeito de pêndulo invertido, elevando as tensões sobre a base do colmo e raízes. Isto pode tornar as plantas mais susceptíveis ao acamamento e quebra. Contudo, a elevação das doses de nitrogênio também torna os colmos mais espessos, evitando o aumento da incidência de acamamento e quebra de plantas. Segundo Kappes et al., (2011), colmos mais espessos também são vantajosos porque possuem maior capacidade de acumular fotoassimilados, os quais contribuem com o enchimento de grãos.

No primeiro ano agrícola não foram identificadas plantas acamadas e quebradas entre as fontes e doses de N utilizadas. No segundo ano agrícola a testemunha apresentou um percentual de plantas acamadas e quebradas de 5,46% diferindo estatisticamente das demais doses que apresentaram 1,18; 1,28 e 1,87% de plantas acamadas e quebradas respectivamente (Figura 9).

Figura 9. Acamamento e quebra de plantas de milho no ano agrícola de 2017/18, em função das doses de nitrogênio, na média das fontes de N. Campos Novos, SC.

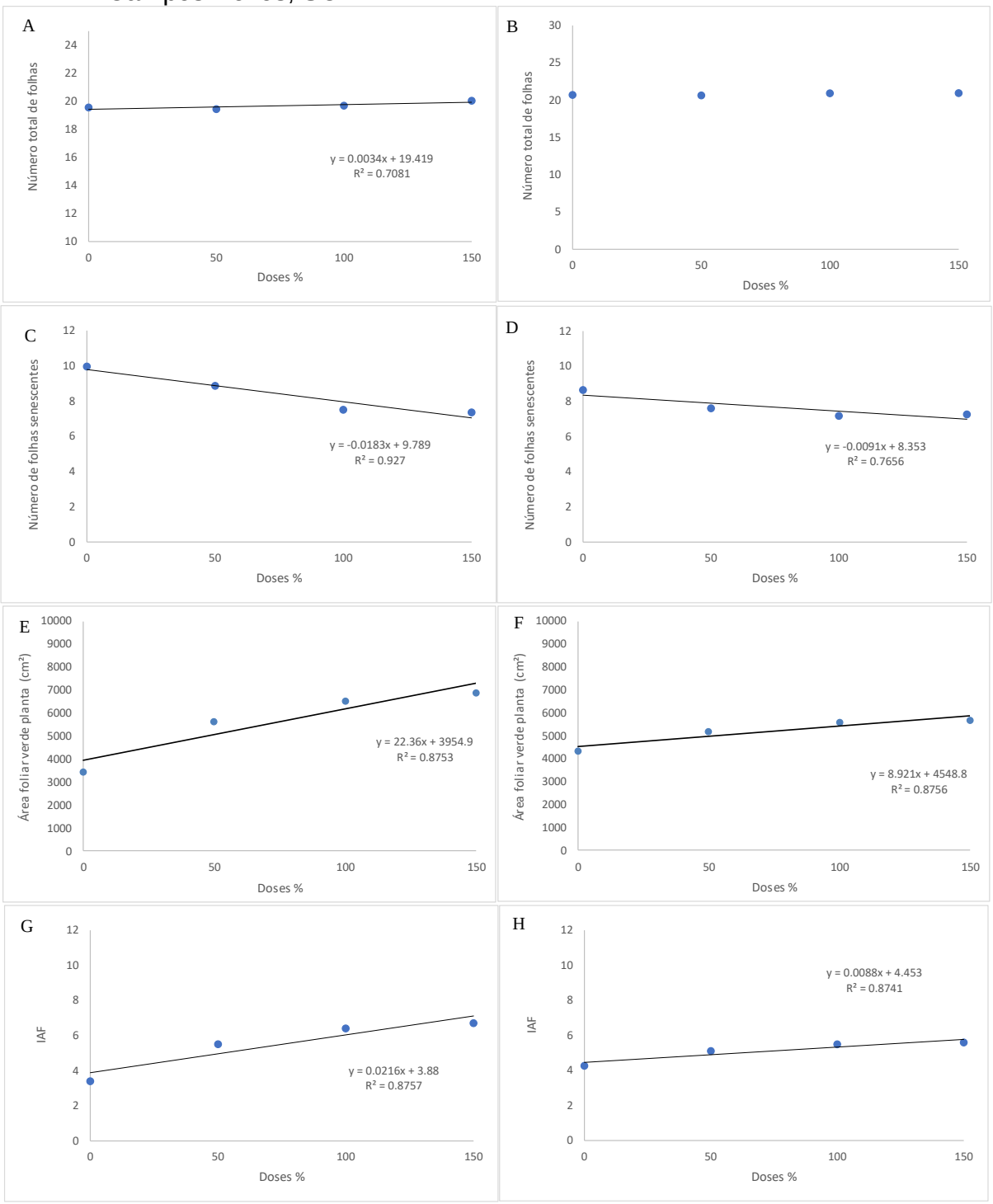


O número total de folhas por planta apresentou diferenças entre as doses utilizadas no primeiro ano agrícola (Figura 10A e 10B). A dose de 150% (420 kg N) gerou o maior número de folhas por planta (20,03). As demais doses não apresentaram diferenças entre si. No segundo ano não houve diferenças entres as doses utilizadas com número médio de folhas por planta de 20,78. O número de folhas senescentes apresentou diferenças significativas entre as doses utilizadas apresentando uma tendência de redução do número de folhas senescentes com o aumento das doses de nitrogênio. A testemunha apresentou a maior quantidade de

folhas senescentes (Figura 10C e 10D). O nitrogênio apresenta papel relevante sobre o número de folhas senescentes, pois afeta a longevidade das folhas mais velhas (FRANÇA et al., 2011). Plantas com deficiência de nitrogênio frequentemente remobilizam esse elemento das folhas mais velhas e basais para as folhas mais jovens. Isso ocorre pela intensa demanda por N nas folhas que estão em expansão, pois o nitrogênio é constituinte de proteínas como a clorofila que participam intensamente na fotossíntese das folhas (SANGOI et al., 2016). Mantendo-se o número de folhas e reduzindo-se o número de folhas senescentes com o aumento das doses de N, tem-se um aumento da área foliar verde por planta (Figura 10E e 10F).

O IAF apresentou uma tendência de aumento em função do aumento das doses de nitrogênio. A cultura alcançou IAF máximo de 6,7 e 5,5, nos Anos agrícolas de 2016/17 e 2017/18, respectivamente (Figura 10G e 10H). No primeiro ano de cultivo, cada aumento de 1% na dose de N aplicado propiciou um incrementou 0,02 no IAF, enquanto no segundo ano esse incremento foi de 0,01. Esta tendência de aumento do IAF, em função do incremento das doses de N, também foi observada por Quevedo et al. (2018) e Goes et al., (2013). O aumento do IAF pode ser explicado pelo fato do número total de folhas por planta ter-se mantido igual entre os tratamentos e o número de folhas senescentes ter decrescido.

Figura 10. Número total de folhas em 2016/17 (A) e 2017/18 (B), número de folhas senescentes de 2016/17 (C) e 2017/18 (D); área foliar verde por planta de 2016/17 (E) e 2017/18 (F) e índice de área foliar de 2016/17 (G) e 2017/18 (H) de milho, em função das doses de nitrogênio, na média das fontes de N. Campos Novos, SC.



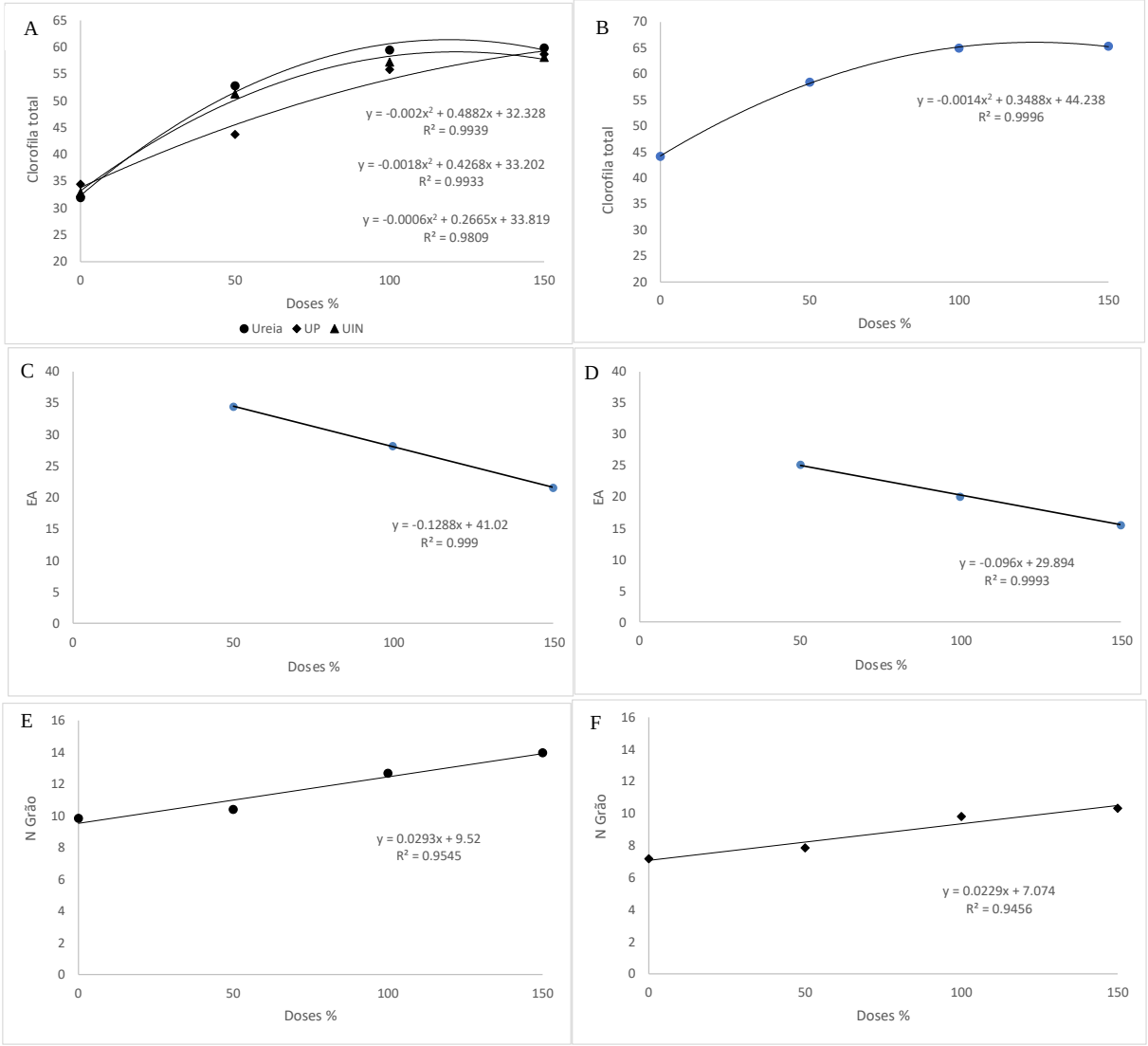
Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

O teor relativo de clorofila apresentou uma tendência significativa de aumento em função do incremento das doses de nitrogênio (Figura 11). Para Biscaro et al. (2012), o aumente das doses de nitrogênio é fundamental para obtenção de

quantidade significativas de clorofila nas folhas das plantas. Com o aumento da disponibilidade e assimilação do nitrogênio, há elevação na quantidade de moléculas de clorofila nas folhas. Esta relação ocorre pelo fato de o nitrogênio ser constituinte de 1,5% da matéria seca total de plantas, sendo classificado como o elemento químico obtido do solo mais abundante nas plantas (TAIZ & ZEIGER, 2017). O segundo ano de cultivo apresentou maiores teores de clorofila total em relação ao primeiro ano. Isto se deve a estiagem ocorrida no segundo ano ter provocado uma redução na área foliar verde por planta da mesma forma como descrito por Shao et al., (2008), promovendo o efeito de concentração da clorofila nas folhas.

A EA foi similar entre as fontes de fertilizantes nitrogenados utilizadas nos dois anos agrícolas (Tabela 4). As perdas sofridas pelo nitrogênio por lixiviação de nitrato, volatilização de amônia, emissão de N_2 e óxido nitroso O_2N (ANGHINONI, 1986) podem ser minimizadas com o uso de fontes nitrogenadas contendo inibidores de uréase, de nitrificação e ureias protegidas, aumentando a permanência desse elemento no solo (DALL'ORSOLETTA et al., (2017); SCHEER et al., 2014). Entretanto, a permanência de maior quantidade do nitrogênio no solo não significa obrigatoriamente que esse elemento será utilizado de forma mais apropriada pelas plantas. Os dados reportados na tabela 4 corroboram esta afirmação.

Figura 11. Índice de clorofila falker em 2016/17 (A) e 2017/18 (B), eficiência agronômica de uso do nitrogênio em 2016/17 (C) e 2017/18 (D), teor de nitrogênio no grão em 2016/2017 (E) e 2017/18 (F) de milho, em função das doses de nitrogênio, na média das fontes de N. Campos Novos, SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A capacidade de absorção do nitrogênio pelo milho está relacionada a dois fatores. O primeiro deles refere-se à competência do sistema radicular em realizar a garimpagem do nitrogênio do solo. Esta competência está associada diretamente ao número de raízes que constituem o sistema radicular da planta, bem como o tamanho com que estas raízes irão alcançar, principalmente durante a fase vegetativa de crescimento e desenvolvimento das plantas, entre V6 e VT (pendoamento), período em que a demanda de nitrogênio é maior (SANGOI et al., 2016). Outro fator importante é a capacidade de passagem do nitrogênio pela membrana plasmática das células do sistema radicular. Na membrana plasmática das células existem receptores de

nitrogênio que regulam a entrada do NO^-_3 principalmente pela diferença de concentração do meio intracelular e extracelular.

Segundo Moll et al. (1982) a eficiência nutricional é constituída por dois componentes: O primeiro componente refere-se à eficiência na absorção, mensurado pela relação entre a quantidade total de nutriente extraído pela planta e a quantidade desse nutriente disponível no solo. O segundo componente refere-se à eficiência na utilização, obtida pela razão entre a massa de grãos ou de parte aérea e a quantidade total de nutriente extraído pela planta. Dessa forma, ganhos na eficiência nutricional podem ser alcançados por meio de aumento da eficiência na absorção e, ou, da eficiência na utilização. Apesar da redução da eficiência agronômica de uso do nitrogênio que ocorreu em função do aumento das doses de N (Figura 11C e 11D), o teor de N contido nos grãos apresentou uma tendência significativa de aumento para as fontes testadas (Figura 11E e 11F).

4.6 CONCLUSÕES

A utilização de fontes estabilizadas ou protegidas de N não altera a estatura da planta, a altura de inserção de espigas, o IAF na floração e a percentagem de nitrogênio no grão, em relação à ureia convencional.

Independentemente da fonte, o incremento da dose de N aumenta a estatura da planta, a altura de inserção de espiga, o diâmetro do colmo, o IAF na floração e reduz a eficiência agronômica de uso do nitrogênio a produção de grãos.

A utilização de fontes estabilizadas ou protegidas de N não aumenta a eficiência de uso do N, em relação à ureia convencional, no Nitossolo Vermelho de textura argilosa em que o trabalho foi conduzido.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho foi concebido com base em três hipótese. A primeira era de que a resposta do rendimento de grãos do milho ao nitrogênio aplicado em cobertura é maior quando se utilizam fontes estabilizadas e de liberação lenta. Esta hipótese não foi confirmada, pois não houve efeito significativo do fator fonte e nem da sua interação com a dose de N sobre o rendimento de grãos (Tabela 2, Apêndices 1 e 18). Isto indica que a resposta da cultura às doses de N aplicadas em cobertura foi similar entre as fontes avaliadas.

A segunda hipótese era de que a dose de N necessária para otimizar o rendimento de grãos do milho é menor quando são utilizadas fontes estabilizadas ou de liberação lenta. Esta hipótese também não foi validada pelos dados obtidos, pois a dose teórica que otimizou a produtividade do milho foi similar para as fontes testadas, equivalendo a 145% e 170% da dose de N recomendada para obtenção de 18.000 kg ha^{-1}, em 2016/17 e 2017/18 (Figura 5).

A terceira hipótese preconizava que as fontes estabilizadas e de liberação lenta são estratégias que aumentam a eficiência agronômica de uso do nitrogênio à produção de grãos de milho. Esta hipótese também não foi corroborada pelos dados do trabalho, pois a EA obtida pela aplicação de ureia convencional foi semelhante a registrada com o uso de fontes estabilizadas e de liberação lenta (Tabela 4). Além disto, independentemente da fonte, a EA reduziu com o incremento da dose (Figura 11).

Alguns fatores são importantes para justificar a discrepância entre as hipóteses e os resultados obtidos. O primeiro deles está relacionado com as características químicas e de textura do solo da área experimental. O Nitossolo Vermelho onde o ensaio foi implantado possui alto teor de argila e CTC elevada. A textura argilosa do solo possivelmente limitou as perdas de nitrato por lixiviação, mitigando os efeitos benéficos da fonte estabilizada com inibidor de nitrificação. A sua CTC elevada também pode ter auxiliado na retenção do amônio, diminuindo os benefícios potenciais das fontes estabilizadas com inibidor de uréase.

Um segundo fator importante foram as características meteorológicas registradas na região de Campos Novos em 2016/17 e 2017/18. Nos dois anos agrícolas em que se conduziu o trabalho não houve excesso hídrico (Figura 1). Portanto, o regime pluviométrico não foi favorável à perdes de N por lixiviação de

nitrato. Além disto, Campos Novos é um município que se situa a 934 m acima do nível do mar. Sua altitude elevada faz com as temperaturas atmosféricas durante os meses de primavera, quando a cobertura nitrogenada é feita, não seja muito alta. Isto diminui a possiblidade de perdas por volatilização de amônia.

O terceiro aspecto importante foram as produtividades obtidas no ensaio. As doses mais altas de N (280 e 420 kg de N ha^{-1}) foram definidas para alcançar tetos produtivos de 18.000 kg ha^{-1}. No entanto, o maior rendimento de grãos alcançado no trabalho foi de 14.332 kg ha^{-1}. Isto é uma evidência que houve um excesso de nitrogênio no sistema, que pode ter mitigado possíveis perdas por lixiviação de nitrato e volatilização de amônia.

Elevar a eficiência agronômica de uso do nitrogênio à produção de grãos é importante para reduzir perdas, preservar o ambiente, aumentar o rendimento e a rentabilidade da cultura do milho. A análise econômica feita no ano de 2017/18 demonstra que as fontes estabilizadas com inibidores da enzima uréase têm potencial para alcançar este objetivo (Tabela 3). A diferença de preço desta fonte, em relação a ureia comum, é pequena. Portanto, sob condições de estiagem e temperaturas altas que favorecem às perdas por volatilização de amônia, elas podem ser economicamente vantajosas. Já as fontes estabilizadas com inibidores de nitrificação e as fontes de liberação lenta tem poucas perspectivas de serem economicamente viáveis ao produtor de milho. Seu preço é mais do que o dobro da ureia convencional. Isto faz com que as perdas de N por lixiviação de nitratos e volatilização de amônia tenham que ser excepcionalmente altas para que seu uso seja viável.

6. **REFERÊNCIAS**

ALBUQUERQUE, A. W et al. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. v.17, n.7, p.721–726, 2013.

ALMEIDA, M. L. et al. Crescimento inicial de milho e sua relação com o rendimento de grãos. **Ciência rural**. v. 33, p.189-194, 2003.

AMADO, T. J. C. et al. Efficiency of nitrogen fertilizer applied at corn sowing in contrasting grown seasons in Paraguay. **Revista brasileira de ciências do solo**, v.37, 2013.

AMADO, T. J. C. et al. Nova recomendação de adubação nitrogenada para o milho sob plantio direto no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo. **Revista plantio direto**, v.32, n.68, p.30-35, 2002.

ANGHINONI, I. Adubação nitrogenada nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: SANTANA, M.B.M. **Adubação nitrogenada no Brasil**. Ilhéus: CEPLAC/SBCS, p.1-18. 1986.

ARGENTA, G. et al. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **Revista brasileira de ciências do solo**, v.27 p.109-19. 2003.

BISCARO, G. A. et al. Chicory yield under levels of nitrogen fertirrigation and position of drip hoses on the ridge. **Ciência rural**, v.42, n.10, 2012.

BORÉM, A.; GALVÃO, J. C. C.; PIMENTEL, M. A. **Milho: do plantio a colheita.** Viçosa, MG. Editora UFV. 2015. 351p.

BURATTO, W., FUMAGALLI, J., MACHADO, R. A. F. Características morfológicas e produtividade de milho safrinha em função de doses de nitrogênio e potássio em cobertura. **Anais do XIV seminário nacional de milho safrinha**. Cuiabá, MT. 2017.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciências do solo, 2007. 1017p.

CANTARELLA, H. et al. Agronomic efficiency of NBPT as a urease inhibitor: A review. **Journal of advanced research**. v.13 p.19–27, 2018.

CIASC. **Centro de Informática e Automação de Santa Catarina**. Disponível em: www.mapainterativo.ciasc.gov.br/sc. Acesso em: 14 de setembro de 2019.

CIB. **Guia do milho: Tecnologia do campo a mesa**. Conselho de informações sobre biotecnologia. 2006. 16p.

CIRAM 2016. www.ciram.epagri.sc.gov.br/ Acesso em10/2019.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; **Seja o doutor do seu milho – Nutrição e adubação**. Arquivo do agrônomo. Potafos. Nº2, 1995.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11ªed. Porto Alegre, 2016. 404p.

CONAB – Companhia nacional de abastecimento. www.conab.gov.br/. Acesso em 01/2020.

CRAWFORD, N. M. Nitrate: Nutrient and signal for plant growth. **Plant cell**, v.71, 1995.

DALL'ORSOLETTA, D. J. et al. Urea coated with poultry litter as an option in the control of nitrogen losses **Revista brasileira de engenharia agrícola ambiental**, v.21, n.6, p.398-403, 2017.

EMBRAPA MILHO E SORGO. **Centro nacional de pesquisa de milho e sorgo**. Disponível em: www.cnpms.embrapa.br. Acesso em: 09/2018.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FARIA, L. A. **Dinâmica do nitrogênio proveniente da ureia combinada a tecnologias redutoras de volatilização**. Dissertação de mestrado. Usp Esalq. Piracicaba. 2013, 102p.

FONTOURA, S. M. V. et al. **Fertilidade do solo e seu manejo em plantio direto do centro sul do Paraná**. 1ed. Fundação agrária de pesquisa agropecuária, 2015. 146p

DUETTE, R. R. C. et al. Acúmulo de nitrogênio (15N) pelos grãos de milho em função da fonte nitrogenada em latossolo vermelho. **Revista bragantia**, v.68, n.2, p.463-472, 2009.

ERNANI, P. R.; SANGOI, L.; RAMPAZZO, C. **Química do solo e disponibilidade de nutriente**. Lages, 2008. 230p.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in agronomy**, v.88, p.97-185, 2005.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 360p. 2000.

FILHO, M. C. M. T. et al. Análise econômica da adubação nitrogenada em trigo irrigado sob plantio direto no cerrado. **Revista ceres**, v. 57, n.4, 2010.

FRANÇA, S. et al. Nitrogênio disponível ao milho: Crescimento, absorção e rendimento de grãos. **Revista brasileira de engenharia agrícola ambiental**, v.15, n.11, p.1143–1151, 2011.

FRAZÃO, J. J. et al. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. **Revista brasileira de engenharia agrícola ambiental**, v.18, n.12, p. 1262-1267, 2014.

GALINAT, W. C. **The Origin of Corn.** Corn and Corn Improvement-Agronomy Monograph n.8, 3 ed. 1988. 31p.

GAZOLA, D. et al. Aplicação foliar de aminoácidos e adubação nitrogenada de cobertura na cultura do milho safrinha. **Revista brasileira de engenharia agrícola ambiental**, v.18, n.7, p.700–707, 2014.

GOES, R. J. et al. Características agronômicas e produtividade do milho sob fontes e doses de nitrogênio em cobertura no inverno. **Revista brasileira de milho e sorgo**, v.12, n.3, p. 250-259, 2013.

KANEKO, F. H. et al. Manejo do solo e do nitrogênio em ilho cultivado em espaçamento reduzido e tradicional. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p677-686, 2010

JAEGER, I. R. et al. **Eficiência no uso de fertilizantes estabilizados em milho**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MILHO E SORGO, 31, 2016, Bento Gonçalves. Resumos expandidos. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 2016.

KANEKO, F. O. et al. Custos e rentabilidade do milho em função do manejo do solo e da adubação nitrogenada. **Pesquisa agropecuária tropical,** v. 40, n. 1, p. 102-109, jan./mar. 2010.

KAPPES, C. et al. Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas. **Bragantia**, v. 70, p. 334-343, 2011.

KAPPES, C. et al. Manejo do nitrogênio em cobertura na cultura do milho em sistema de plantio direto. **Revista brasileira de milho e sorgo**, v.13, n.2, p. 201-217, 2014

LAUS NETO, J. A. et al. **Inventário das terras da estação experimental de Campos Novos**. Florianópolis. Epagri, 58p, 1999.

LEHNINGER, Albert L., NELSON, David L. (David Lee), COX, Michael M. **Bioquímica.** 2. ed. São Paulo: Sarvier, 2004. 839 p.

LOS FERTILIZANTES Y SU USO. 4ªed. Roma: FAO/IFA. 2002. Disponível em: www.fertilizer.org

MAESTRELO, P R. et al. Aplicação de ureia revestida em cobertura no milho irrigado sob sistema de semeadura direta**. Revista brasileira de ciências agrárias**, v.9, n.2, 2014.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p

MARIANO, E. et al. **Adubos e adubação**. Revisão de literatura. Esalq/Usp. São Paulo. 2011.

MARTIN, N. B. et al. **Sistema "CUSTAGRI"**: sistema integrado de custos agropecuários informações Econômicas, Piracicaba, v. 28, n. 1, p. 4-7, 1997.

MCCARTY, G. W. Mode of action of nitrification inhibitors. **Biology and fertility of soils**. Berlin, v.29, p.1-9, 1999.

MOLL, R.; KAMPRATH, E.; JACKSON, W. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy journal**. V.74, 1982.

MOTA, M. R. et al. Fontes estabilizadas de nitrogênio como alternativa para aumentar o rendimento de grãos e a eficiência agronômica de uso do nitrogênio pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V.39, 2015.

MENEZES, B. G. **Estratégias de manejo para minimizar perdas de N por volatilização e aumentar o rendimento de grãos de milho irrigado**. Dissertação de mestrado. UFRGS, Porto Alegre, 2015

MUELLER, S. M.; MESSINA, C. D.; VYN, T. J. Simultaneous gains in grain yield and nitrogen efficiency over 70 years of maize genetic improvement. **Nature/Scientific Reports**. V.9, 2019.

MÜLLER, T. M. et al. Combination of inoculation methods of *Azospirilum brasilense* with broadcasting of nitrogen fertilizer increases corn yield. **Ciência Rural**, v.46, n.2, 2016.

OTEGUI, M.; SLAFER, G. A. Increasing cereal yield potential by modifying developmental traits. **Crop Science Congress.** Brisbane, Austrália. 2004.

PAES, M. C. D. **Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho**. nutrição humana e ciência dos alimentos embrapa milho e sorgo. Sete Lagoas, Circular técnica 75, dez. 2006.

PANDOLFO, C. et al. **Atlas climáticos digital do Estado de Santa Catarina** (CR – Rom). Epagri. Florianópolis, 2002.

PAPALIA, I. S.; LONDERO, P. M. G. Extração de zeína e sua aplicação na Conservação dos alimentos. **Ciência rural**, v.45, n.2, 2015.

PETTER, F. A. et al. Doses e épocas de aplicação de potássio no desempenho agronômico do milho no cerrado piauiense. **Comunicata scientiae,** v.7, p: 372-382, 2016.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo. Editora Unesp, 2008.

QUEVEDO, Y. M., BELTRÁN, J. I., QUIJANO, E. B. Effect of sowing density on yield and profitability of a hybrid corn under tropical conditions. **Agronomía colombiana**, v.36, p. 248-256, 2018.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. International plant nutrition institute/IPNI Brasil. Piracicaba, 2011. 420p.

RAUBER, L. P. **Teores de nitrogênio no solo e volatilização de amônia após injeção de dejeto líquido de suínos e uso de inibidor de nitrificação.** Tese de doutorado, CAV Udesc, Lages, 2015. 115 p.

REIS, V. M.; TEIXEIRA, K. R. S. Teixeira. **Fixação biológica de nitrogênio** - Estado da arte p. 152 – 180, 2006

RITCHIE, S.W, BENSON, G.O, LUPKES, S.J, **How a corn plant develops**? Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1993. p.21.

SANGOI, L. et al. Maize response to trinexapac-ethyl and nitrogen fertilization. **Planta Daninha,** v37, p. 140-148, 2019

SANGOI, L, SILVA, P. R. F, PAGLIARINI, N. H. F. **Estratégias de manejo da adubação nitrogenada em milho na região sul do Brasil**. Lages. 2016. 119p.

SANGOI, L. et al. Desempenho agronômico do milho em razão do tratamento de sementes com *Azospirillum sp*. E da aplicação de doses de nitrogênio mineral. **Revista brasileira de ciência do Solo**, v.39, p. 180-188, 2015.

SANGOI, L. et al. Nitrogen leaching as affected by urea aplication method and oat residue management in soils with contrasting textures. **Ciência rural**, v. 33, p. 18-25, 2003.

SCHEER, C. et al. Impact of nitrification inhibitor (DMPP) on soil nitrous oxide emissions from an intensive broccoli production system in sub-tropical Australia. **Soil biology & biochemistry** v.77, p.243-251, 2014.

SHAO, H. et al. Water-deficit stress induced anatomical changes in higher plants. **Comptes rendus biologies**, v. 331, p. 215-225, 2008.

SILVA, P. R. F. et al. Grain yield and kernel crude protein contente increases of maize hybrids with late nitrogen side-dressing. **Scientia agricola**, v.62, p. 235-243, 2005.

SINTESE.... **SÍNTESE ANUAL DA AGRICULTURA DE SANTA CATARINA** 2017-2018. Florianópolis: Epagri/CEPA, 2018. 204p.

SOUZA, J. A. et al. Lucratividade do milho em razão das fontes, doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Revista Ceres**, v.59, n.3, 2012.

STEINMACHER, N. C. **Caracterização físico-química, das propriedades reológicas e das proteínas de milho crioulo**. Dissertação Mestrado. 2005, 128p.

TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª edição. Editora ArtMed. 2017, 858p.

TROEH F. R; THOMPSON, L. M. **Solos e fertilidade dos solos**. São Paulo (SP). Andrei Editora, 2007.

TRENKEL, M. E. Slow and controlled release and stabilized: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture. **Paris international fertilizer industry association**, Paris, 2010. 167p.

UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Características botânicas do milho**. Disponível em: http://www.ufrgs.br/afeira/materias primas/cereais/milho/características-botânicas. Acesso em: 19/01/2020.

VITTI, G.C.; LUZ, P.H.C. & ALTRAN, W.S. **Nutrição e adubação**. In: BORÉM, A. & SANTOS, F., eds. Cana-de-Açúcar - Do plantio à colheita. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2013. p.49-75.

WEISMANN, M. **Fases do desenvolvimento da cultura do milho**. Tecnologia e produção: Milho safrinha e culturas de inverno. 2008.

YAMADA, T.; STIPP, S. R.; VITTI, A. G. C. **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. International plant nutrition institute/IPNI Brasil. Piracicaba, 2007. 722p.

ZANNAN, M. et al. **Nitrogen mineralization, N_2O production and soil microbiological properties as affeICFed by long-term applications of sewage sludge composts.** Biology and Fertility of Soils, 40:101–109, 2004.

APÊNDICES

Apêndice 1: Análise de variância do rendimento de grãos em 2016/17.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	5203252.617028	1734417.539009	4.058	0.0682
FONTE	2	996119.835245	498059.917623	1.165	0.3736
erro 1	6	2564556.523612	427426.087269		
DOSE	3	765780405.361979	255260135.120660	283.566	0.0000
FONTE*DOSE	6	12466769.863883	2077794.977314	2.308	0.0629
erro 2	27	24304864.118058	900180.152521		
Total corrigido	47	811315968.319806			

CV 1 (%) = 6.22
CV 2 (%) = 9.03
Média geral: 10510.5648646 Número de observações: 48

Apêndice 2: Análise de variância da Massa de 1000 grãos em 2016/17.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	2527.560342	842.520114	3.584	0.0858
FONTE	2	534.230450	267.115225	1.136	0.3815
erro 1	6	1410.414733	235.069122		
DOSE	3	101972.717492	33990.905831	66.866	0.0000
FONTE*DOSE	6	2455.249583	409.208264	0.805	0.5749
erro 2	27	13725.278325	508.343642		
Total corrigido	47	122625.450925			

CV 1 (%) = 4.23
CV 2 (%) = 6.21
Média geral: 362.7837500 Número de observações: 48

Apêndice 3: Análise de variância do número de grãos m² em 2016/17.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	544618.827533	181539.609178	5.745	0.0338
FONTE	2	71707.522004	35853.761002	1.135	0.3820
erro 1	6	189595.099779	31599.183297		
DOSE	3	11695644.198083	3898548.066028	122.278	0.0000
FONTE*DOSE	6	278870.969079	46478.494847	1.458	0.2300
erro 2	27	860834.753488	31882.768648		
Total corrigido	47	13641271.369967			

CV 1 (%) = 10.70
CV 2 (%) = 10.75
Média geral: 1660.9358333 Número de observações: 48

Apêndice 4: Análise de variância do número de grãos por espiga em 2016/17.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	13234.011306	4411.337102	3.395	0.0946
FONTE	2	9544.226904	4772.113452	3.673	0.0909
erro 1	6	7796.240013	1299.373335		
DOSE	3	339817.713423	113272.571141	80.783	0.0000
FONTE*DOSE	6	9782.384846	1630.397474	1.163	0.3548
erro 2	27	37858.793606	1402.177541		
Total corrigido	47	418033.370098			

CV 1 (%) = 10.18
CV 2 (%) = 10.58
Média geral: 354.0502083 Número de observações: 48

Apêndice 5: Análise de variância do número de fileiras por espiga em 2016/17.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	48.093135	16.031045	2.314	0.1756
FONTE	2	6.961226	3.480613	0.502	0.6284
erro 1	6	41.564544	6.927424		
DOSE	3	113.666501	37.888834	11.851	0.0000
FONTE*DOSE	6	15.827177	2.637863	0.825	0.5516
erro 2	219	700.183716	3.197186		
Total corrigido	239	926.296300			

CV 1 (%) = 17.97
CV 2 (%) = 12.21
Média geral: 14.6479583 Número de observações: 240

Apêndice 6: Análise de variância do número de grãos por fileira em 2016/17.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	361.218615	120.406205	1.160	0.3995
FONTE	2	228.163521	114.081760	1.099	0.3921
erro 1	6	623.027229	103.837872		
DOSE	3	6143.947781	2047.982594	65.501	0.0000
FONTE*DOSE	6	338.240562	56.373427	1.803	0.0996
erro 2	219	6847.390531	31.266623		
Total corrigido	239	14541.988240			

CV 1 (%) = 35.46
CV 2 (%) = 19.46
Média geral: 28.7389583 Número de observações: 240

Apêndice 7: Análise de variância do número de espigas por planta em 2016/17.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	0.021773	0.007258	2.943	0.1207
FONTE	2	0.015638	0.007819	3.171	0.1149
erro 1	6	0.014796	0.002466		
DOSE	3	0.341573	0.113858	39.740	0.0000
FONTE*DOSE	6	0.006496	0.001083	0.378	0.8866
erro 2	27	0.077356	0.002865		
Total corrigido	47	0.477631			

CV 1 (%) = 5.30
CV 2 (%) = 5.71
Média geral: 0.9368750 Número de observações: 48

Apêndice 8: Análise de variância da estatura de plantas em 2016/17.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	8283.650000	2761.216667	18.809	0.0019
FONTE	2	1652.633333	826.316667	5.629	0.0420
erro 1	6	880.800000	146.800000		
DOSE	3	81200.350000	27066.783333	222.425	0.0000
FONTE*DOSE	6	488.500000	81.416667	0.669	0.6748
erro 2	219	26650.050000	121.689726		
Total corrigido	239	119155.983333			

CV 1 (%) = 5.04
CV 2 (%) = 4.59
Média geral: 240.4083333 Número de observações: 240

Apêndice 9: Análise de variância da altura de inserção da espiga de plantas em 2016/17.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	4236.812500	1412.270833	8.413	0.0143
FONTE	2	1097.858333	548.929167	3.270	0.1095
erro 1	6	1007.175000	167.862500		
DOSE	3	59384.712500	19794.904167	233.917	0.0000
FONTE*DOSE	6	1031.875000	171.979167	2.032	0.0626
erro 2	219	18532.562500	84.623573		
Total corrigido	239	85290.995833			

CV 1 (%) = 12.09
CV 2 (%) = 8.58
Média geral: 107.2041667 Número de observações: 240

Apêndice 10: Análise de variância do diâmetro do colmo de plantas em 2016/17.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	80.436333	26.812111	2.271	0.1805
FONTE	2	28.070083	14.035042	1.189	0.3674
erro 1	6	70.836917	11.806153		
DOSE	3	545.977667	181.992556	35.185	0.0000
FONTE*DOSE	6	24.402583	4.067097	0.786	0.5815
erro 2	219	1132.763750	5.172437		
Total corrigido	239	1882.487333			

CV 1 (%) = 15.63
CV 2 (%) = 10.35
Média geral: 21.9783333 Número de observações: 240

Apêndice 11: Análise de variância do NTF de plantas em 2016/17.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	22.083333	7.361111	9.029	0.0121
FONTE	2	5.275000	2.637500	3.235	0.1114
erro 1	6	4.891667	0.815278		
DOSE	3	12.150000	4.050000	4.264	0.0060
FONTE*DOSE	6	40.225000	6.704167	7.058	0.0000
erro 2	219	208.025000	0.949886		
Total corrigido	239	292.650000			

CV 1 (%) = 4.59
CV 2 (%) = 4.95
Média geral: 19.6750000 Número de observações: 240

Teste de Tukey para o desdobramento de FONTE dentro da dose de 50%.

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Poliblen	18.900000	a1
Novatec	19.600000	a1 a2
ureia	19.800000	a2

Apêndice 12: Análise de variância do NFS de plantas em 2016/17.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	8.500000	2.833333	1.766	0.2532
FONTE	2	14.408333	7.204167	4.491	0.0642
erro 1	6	9.625000	1.604167		
DOSE	3	271.900000	90.633333	168.674	0.0000
FONTE*DOSE	6	6.225000	1.037500	1.931	0.0770
erro 2	219	117.675000	0.537329		
Total corrigido	239	428.333333			

CV 1 (%) = 15.05
CV 2 (%) = 8.71
Média geral: 8.4166667 Número de observações: 240

Apêndice 13: Análise de variância da AFVP de plantas em 2016/17.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	1123516.384513	374505.461504	1.203	0.3859
FONTE	2	107839.487860	53919.743930	0.173	0.8450
erro 1	6	1867688.808377	311281.468063		
DOSE	3	85681365.513352	28560455.171117	69.183	0.0000
FONTE*DOSE	6	4025824.598756	670970.766459	1.625	0.1786
erro 2	27	11146193.094840	412821.966476		
Total corrigido	47	103952427.887697			

CV 1 (%) = 9.91
CV 2 (%) = 11.41
Média geral: 5631.8196094 Número de observações: 48

Apêndice 14: Análise de variância da IAF do milho em 2016/17.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	1.079025	0.359675	1.203	0.3859
FONTE	2	0.103569	0.051785	0.173	0.8450
erro 1	6	1.793728	0.298955		
DOSE	3	82.288383	27.429461	69.183	0.0000
FONTE*DOSE	6	3.866402	0.644400	1.625	0.1786
erro 2	27	10.704804	0.396474		
Total corrigido	47	99.835912			

CV 1 (%) = 9.91
CV 2 (%) = 11.41
Média geral: 5.5191832 Número de observações: 48

Apêndice 15: Análise de variância da clorofila total em 2016/17.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	74.885667	24.961889	4.449	0.0571
FONTE	2	328.300333	164.150167	29.257	0.0008
erro 1	6	33.664333	5.610722		
DOSE	3	25339.386333	8446.462111	674.961	0.0000
FONTE*DOSE	6	845.813667	140.968944	11.265	0.0000
erro 2	219	2740.567000	12.514005		
Total corrigido	239	29362.617333			

CV 1 (%) = 4.77
CV 2 (%) = 7.12
Média geral: 49.6866667 Número de observações: 240

Teste Tukey para a FV FONTE

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Poliblen	48.177500	a1
Novatec	49.855000	a2
ureia	51.027500	a3

Teste de Tukey para o desdobramento de 50%

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Poliblen	43.740000	a1
Novatec	51.275000	a2
ureia	52.820000	a2

Teste de Tukey para o desdobramento de 100%

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Poliblen	55.850000	a1
Novatec	57.215000	a1 a2
ureia	59.470000	a2

Apêndice 16: Análise de variância da EUN no milho em 2016/17.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	120.261073	40.087024	1.193	0.3890
FONTE	2	116.569579	58.284790	1.735	0.2543
erro 1	6	201.569521	33.594920		
DOSE	3	8124.022323	2708.007441	139.269	0.0000
FONTE*DOSE	6	435.566921	72.594487	3.733	0.0078
erro 2	27	525.001031	19.444483		
Total corrigido	47	9522.990448			

CV 1 (%) = 27.46
CV 2 (%) = 20.89
Média geral: 21.1077083 Número de observações: 48

Teste de Tukey para o desdobramento de FONTE dentro da dose de 50%.

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Poliblen	26.390000	a1
Novatec	34.275000	a1
ureia	42.725000	a2

Apêndice 17: Análise de variância da Teor de nitrogênio nos grãos de milho em 2016/17.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	0.030225	0.010075	3.159	0.1072
FONTE	2	0.010213	0.005106	1.601	0.2772
erro 1	6	0.019138	0.003190		
DOSE	3	1.342875	0.447625	55.127	0.0000
FONTE*DOSE	6	0.046837	0.007806	0.961	0.4695
erro 2	27	0.219238	0.008120		
Total corrigido	47	1.668525			

CV 1 (%) = 4.82
CV 2 (%) = 7.69
Média geral: 1.1712500 Número de observações: 48

Apêndice 18: Análise de variância do rendimento de grãos em 2017/18.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	16837999.796875	5612666.598958	1.390	0.3077
FONTE	3	16809750.671875	5603250.223958	1.388	0.3083
erro 1	9	36336387.015625	4037376.335069		
DOSE	3	477531404.796875	159177134.932292	56.608	0.0000
FONTE*DOSE	9	42931995.515625	4770221.723958	1.696	0.1259
erro 2	36	101229257.437500	2811923.817708		
Total corrigido	63	691676795.234375			

CV 1 (%) = 22.26
CV 2 (%) = 18.57
Média geral: 9028.3906250 Número de observações: 64

Apêndice 19: Análise de variância da Massa de 1000 grãos em 2017/18.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	1602.875000	534.291667	3.243	0.0743
FONTE	3	1584.375000	528.125000	3.206	0.0762
erro 1	9	1482.750000	164.750000		
DOSE	3	17929.375000	5976.458333	26.618	0.0000
FONTE*DOSE	9	1306.750000	145.194444	0.647	0.7498
erro 2	36	8082.875000	224.524306		
Total corrigido	63	31989.000000			

CV 1 (%) = 4.38
CV 2 (%) = 5.12
Média geral: 292.8750000 Número de observações: 64

Apêndice 20: Análise de variância do número de grãos m² em 2017/18.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	539957.359169	179985.786390	0.783	0.5328
FONTE	3	1022905.824669	340968.608223	1.483	0.2838
erro 1	9	2068883.771156	229875.974573		
DOSE	3	11858063.281181	3952687.760394	19.130	0.0000
FONTE*DOSE	9	2594097.116394	288233.012933	1.395	0.2268
erro 2	36	7438492.561175	206624.793366		
Total corrigido	63	25522399.913744			

CV 1 (%) = 25.62
CV 2 (%) = 24.29
Média geral: 1871.3290625 Número de observações: 64

Apêndice 21: Análise de variância do número de grãos por espiga em 2017/18.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	31597.739250	10532.579750	1.034	0.4229
FONTE	3	42747.695113	14249.231704	1.399	0.3053
erro 1	9	91659.904443	10184.433827		
DOSE	3	421559.268015	140519.756005	16.535	0.0000
FONTE*DOSE	9	118516.984894	13168.553877	1.550	0.1683
erro 2	36	305947.191052	8498.533085		
Total corrigido	63	1012028.782766			

CV 1 (%) = 25.98
CV 2 (%) = 23.73
Média geral: 388.4535938 Número de observações: 64

Apêndice 22: Análise de variância do número de fileiras por espiga em 2017/18.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	17.156250	5.718750	1.131	0.3873
FONTE	3	41.468750	13.822917	2.734	0.1058
erro 1	9	45.500000	5.055556		
DOSE	3	3.789187	1.263062	0.742	0.5279
FONTE*DOSE	9	25.742063	2.860229	1.680	0.0947
erro 2	228	388.093750	1.702166		
Total corrigido	255	521.750000			

CV 1 (%) = 15.21
CV 2 (%) = 8.83
Média geral: 14.7812500 Número de observações: 256

Apêndice 23: Análise de variância do número de grãos por fileira em 2017/18.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	76.390625	25.463542	1.054	0.4151
FONTE	3	207.640625	69.213542	2.866	0.0963
erro 1	9	217.328125	24.147569		
DOSE	3	830.301339	276.767113	10.897	0.0000
FONTE*DOSE	9	1556.896577	172.988509	6.811	0.0000
erro 2	228	5790.677083	25.397707		
Total corrigido	255	8679.234375			

CV 1 (%) = 15.09
CV 2 (%) = 15.48
Média geral: 32.5546875 Número de observações: 256

Teste de Tukey para o desdobramento de FONTE dentro da dose de 100%.

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
UREIA	30.375000	a
SUPER N	34.062500	a b
NOVATEC	36.000000	b
POLIBLEN	36.625000	b

Teste de Tukey para o desdobramento de FONTE dentro da dose de 150%.

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
POLIBLEN	27.562500	a1
UREIA	31.875000	a1 a2
SUPER N	34.500000	a2 a3
NOVATEC	37.500000	a3

Apêndice 24: Análise de variância do número de espigas por planta em 2017/18.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	0.025138	0.008379	0.556	0.6568
FONTE	3	0.059862	0.019954	1.325	0.3258
erro 1	9	0.135550	0.015061		
DOSE	3	0.034163	0.011388	1.821	0.1608
FONTE*DOSE	9	0.090575	0.010064	1.609	0.1497
erro 2	36	0.225113	0.006253		
Total corrigido	63	0.570400			

CV 1 (%) = 12.52
CV 2 (%) = 8.07
Média geral: 0.9800000 Número de observações: 64

Apêndice 25: Análise de variância da estatura de plantas em 2017/18.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	29425.730469	9808.576823	4.969	0.0265
FONTE	3	2149.761719	716.587240	0.363	0.7814
erro 1	9	17764.097656	1973.788628		
DOSE	3	39016.480469	13005.493490	59.507	0.0000
FONTE*DOSE	9	12052.222656	1339.135851	6.127	0.0000
erro 2	228	49829.984375	218.552563		
Total corrigido	255	150238.277344			

CV 1 (%) = 18.16
CV 2 (%) = 6.04
Média geral: 244.5820313 Número de observações: 256

Apêndice 26: Análise de variância da altura de inserção da espiga de plantas em 2017/18.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	10324.449219	3441.483073	7.194	0.0092
FONTE	3	283.167969	94.389323	0.197	0.8957
erro 1	9	4305.660156	478.406684		
DOSE	3	13194.636719	4398.212240	41.194	0.0000
FONTE*DOSE	9	4000.347656	444.483073	4.163	0.0001
erro 2	228	24343.078125	106.767887		
Total corrigido	255	56451.339844			

CV 1 (%) = 19.79
CV 2 (%) = 9.35
Média geral: 110.5507813 Número de observações: 256

Apêndice 27: Análise de variância do diâmetro do colmo de plantas em 2017/18.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	50.139219	16.713073	1.114	0.3935
FONTE	3	73.809531	24.603177	1.639	0.2483
erro 1	9	135.066094	15.007344		
DOSE	3	117.129531	39.043177	11.982	0.0000
FONTE*DOSE	9	148.984531	16.553837	5.080	0.0000
erro 2	228	742.949688	3.258551		
Total corrigido	255	1268.078594			

CV 1 (%) = 19.18
CV 2 (%) = 8.94
Média geral: 20.1976562 Número de observações: 256

Teste de Tukey para o desdobramento de FONTE dentro da dose de 50%.

Tratamentos	Médias	Resultados do teste	
Ureia	17.475000	a1	
PolibleN	19.743750	a1	a2
SUPer N	20.843750		a2
Novatec	21.250000		a2

Apêndice 28: Análise de variância do NTF de plantas em 2017/18.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	2.671875	0.890625	1.000	0.4363
FONTE	3	2.421875	0.807292	0.906	0.4754
erro 1	9	8.015625	0.890625		
DOSE	3	1.296875	0.432292	1.107	0.3591
FONTE*DOSE	9	1.890625	0.210069	0.538	0.8371
erro 2	36	14.062500	0.390625		
Total corrigido	63	30.359375			

CV 1 (%) = 4.54
CV 2 (%) = 3.01
Média geral: 20.7968750 Número de observações: 64

Apêndice 29: Análise de variância do NFS de plantas em 2017/18.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	6.757813	2.252604	5.169	0.0238
FONTE	3	1.523438	0.507813	1.165	0.3755
erro 1	9	3.921875	0.435764		
DOSE	3	21.718750	7.239583	22.834	0.0000
FONTE*DOSE	9	1.648438	0.183160	0.578	0.8063
erro 2	36	11.414063	0.317057		
Total corrigido	63	46.984375			

CV 1 (%) = 8.60
CV 2 (%) = 7.34
Média geral: 7.6718750 Número de observações: 64

Apêndice 30: Análise de variância da AFVP de plantas em 2017/18.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	3897694.096924	1299231.365641	2.214	0.1560
FONTE	3	2178798.523314	726266.174438	1.237	0.3521
erro 1	9	5282456.888941	586939.654327		
DOSE	3	18177595.013831	6059198.337944	18.207	0.0000
FONTE*DOSE	9	5436753.290931	604083.698992	1.815	0.0992
erro 2	36	11980514.624623	332792.072906		
Total corrigido	63	46953812.438564			

CV 1 (%) = 14.68
CV 2 (%) = 11.06
Média geral: 5217.8915039 Número de observações: 64

Apêndice 31: Análise de variância da IAF do milho em 2017/18.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	3.743338	1.247779	2.214	0.1560
FONTE	3	2.092606	0.697535	1.237	0.3521
erro 1	9	5.073329	0.563703		
DOSE	3	17.457604	5.819201	18.207	0.0000
FONTE*DOSE	9	5.221458	0.580162	1.815	0.0993
erro 2	36	11.506221	0.319617		
Total corrigido	63	45.094556			

CV 1 (%) = 14.68
CV 2 (%) = 11.06
Média geral: 5.1135328 Número de observações: 64

Apêndice 32: Análise de variância da índice de clorofila falker em 2017/18.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	385.653004	128.551001	0.777	0.5359
FONTE	3	1033.372282	344.457427	2.081	0.1731
erro 1	9	1489.667179	165.518575		
DOSE	3	18801.153539	6267.051180	145.265	0.0000
FONTE*DOSE	9	1833.977019	203.775224	4.723	0.0000
erro 2	228	9836.426536	43.142222		
Total corrigido	255	33380.249559			

CV 1 (%) = 22.09
CV 2 (%) = 11.28
Média geral: 58.2292578 Número de observações: 256

Teste de Tukey para o desdobramento de FONTE dentro da dose de 50%.

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
PolibleN	52.715000	a1
Ureia	57.075625	a1 a2
Novatec	61.003750	a1 a2
SUPer N	62.950000	a2

Teste de Tukey para o desdobramento de FONTE dentro da dose de 150%.

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
PolibleN	59.800625	a1
Ureia	66.004375	a1 a2
SUPer N	66.503125	a1 a2
Novatec	69.038750	a2

Apêndice 33: Análise de variância da EA no milho em 2017/18.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	130.835801	43.611934	0.529	0.6734
FONTE	3	414.619459	138.206486	1.677	0.2406
erro 1	9	741.812070	82.423563		
DOSE	3	5684.335075	1894.778358	84.862	0.0000
FONTE*DOSE	9	309.492664	34.388074	1.540	0.1715
erro 2	36	803.802708	22.327853		
Total corrigido	63	8084.897778			

CV 1 (%) = 60.85
CV 2 (%) = 31.67
Média geral: 14.9200824 Número de observações: 64

Apêndice 34: Análise de variância da Teor de nitrogênio nos grãos de milho em 2017/18.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	24.323331	8.107777	0.821	0.5144
FONTE	3	87.305681	29.101894	2.947	0.0910
erro 1	9	88.887981	9.876442		
DOSE	3	110.553469	36.851156	13.509	0.0000
FONTE*DOSE	9	39.362644	4.373627	1.603	0.1515
erro 2	36	98.206437	2.727957		
Total corrigido	63	448.639544			

CV 1 (%) = 35.74
CV 2 (%) = 18.78
Média geral: 8.7940625 Número de observações: 64

Apêndice 35: Análise de variância de plantas acamadas e quebradas de milho em 2017/18.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	96.718983	32.239661	3.790	0.0523
FONTE	3	54.884126	18.294709	2.151	0.1638
erro 1	9	76.555478	8.506164		
DOSE	3	198.558258	66.186086	7.703	0.0004
FONTE*DOSE	9	41.946282	4.660698	0.542	0.8336
erro 2	36	309.335918	8.592664		
Total corrigido	63	777.999045			

CV 1 (%) = 118.89
CV 2 (%) = 119.49
Média geral: 2.4531224 Número de observações: 64