



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CHRISTIAN RONES WRUCK DE SOUZA OSÓRIO

**RESPOSTA DO MILHO A ADUBAÇÃO COM NÍQUEL E NITROGÊNIO**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CHRISTIAN RONES WRUCK DE SOUZA OSÓRIO

**RESPOSTA DO MILHO A ADUBAÇÃO COM NÍQUEL E NITROGÊNIO**

Orientador: Prof. Dr. Aginaldo José Freitas Leal

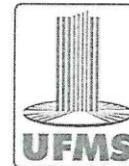
Defesa apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Agronomia área de concentração: Produção vegetal.

CHAPADÃO DO SUL – MS

2016



Serviço Público Federal  
Ministério da Educação  
**Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul**  
Câmpus de Chapadão do Sul



## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**DISCENTE: Christian Rones Wruck de Souza Osório**

**ORIENTADOR (A): Prof. (a) Dr. (a) Aguinaldo Jose Freitas Leal**

### COMPORTAMENTO DO MILHO EM RESPOSTA A NÍQUEL E NITROGÊNIO

Prof.(a) Dr.(a) Presidente Aguinaldo Jose Freitas Leal

Prof.(a) Dr.(a) Cassiano Garcia Roque

Prof.(a) Dr.(a) Helder Barbosa Paulino

Chapadão do Sul, 24 de Fevereiro de 2017.

**DEDICATÓRIA**

Ao senhor Deus pela oportunidade. A minha mãe Izaura de Souza a minha irmã Keyla Cristina, e a minha noiva Giselle Batista pelo apoio e confiança In memorian de meu pai Rober Rones por me depositar seus sonhos e permitir a realização deles.

Dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela sabedoria, experiências de vida, conhecimento, companheiros, e parcerias adquiridas durante o período de condução do mestrado.

A minha mãe Izaura de Souza e minha irmã Keyla Cristina e meu padastro Vilmar Martins por toda a paciência, motivação e apoio que me forneceram durante este período.

Ao meu pai Rober Rones Osório, por ter sido um belo exemplo de pai, e que estará sempre, em meu coração, e pelo apoio que me deu durante minha formação acadêmica.

Ao professor Dr. Aguinaldo José Freitas Leal, por ter sido um ótimo orientador e amigo, dando motivação em épocas difíceis.

Ao professor André Rodrigues dos Reis, por toda paciência, ideias, conhecimento, e experiência no qual dispôs durante a condução e escrita deste trabalho, além da amizade.

Aos amigos companheiros de mestrado Hugo Manoel de Souza, Eduardo Denadai Neves, Gabriel Luis Piat, Cátia Simom e Osvaldo Feliciano pela parceria, e amizade durante este período.

Ao colírio dos meus olhos minha noiva Giselle Pereira Batista, por toda a paciência, amizade, ensinamento e amor.

Aos amigos que me acolheram e me apoiaram Rafael da Costa Leite, Guilherme Fabres de Almeida Gomes, Everton Igor Severino de Souza, Tiago da Silva Rodrigues.

Aos professores Doutores Cassiano Garcia Roque, Cid Campos, Sebastião Lima, e aos técnicos Mônica Zuffo, Tiago Taira pelo apoio amizade e conhecimento. Ao seu Nery por todo apoio e pela ajuda.

Aos meus Sogros José Batista Sobrinho e Aparecida Pereira pelo acolhimento, e ajuda na nova fase de minha vida, além de minha cunhada e seu noivo, Francisc Laura Batista, e Sérgio Zocal

**EPIGRAFE**

"O segredo da mudança está não em lutar com o antigo, mas em  
construir o novo."

**Sócrates**

## 1. RESUMO

O níquel (Ni) foi um dos últimos elementos aceitos como nutriente vegetal, e pouco se sabe sobre ele e suas interações com outros nutrientes em experimentos de campo. Nesse sentido objetivou-se avaliar o comportamento da cultura do milho submetido a doses de nitrogênio e níquel. O delineamento experimental adotado foi disposto em esquema fatorial (4x5), quatro doses de N (0, 70, 140 e 210 kg de N ha<sup>-1</sup>) e cinco doses de Ni (0, 20, 40, 60 e 80 g de Ni ha<sup>-1</sup>), com 4 repetições. Avaliou-se os parâmetros fotossintéticos, índice de clorofila (Chl) A, Chl B, Chl total, relação Chl a/b, teor de nitrogênio, fósforo (P) e potássio (K) foliar e no grão, parâmetros fitotécnicos, e a produtividade. Houve elevação na transpiração, condutância estomática, Chl A, Chl B, Chl total de acordo com o aumento das doses de N, a relação Chl A/B apresentou queda com o aumento das doses de N. Os teores de N no grão apresentaram interação entre as doses de Ni se notando redução de 9% no teor de N quando se utilizou a dose mais elevada de Ni. Os teores foliares de N, P e K, e no grão de P e K, apresentaram elevação conforme o aumento das doses de N. A produtividade foi influenciada positivamente pelas doses de N e Ni. A suplementação via foliar deste elemento pode ser alternativa para maior produtividade de milho

**ABSTRACT**

Nickel (Ni) was one of the last accepted elements as a plant nutrient, and little is known about it and its interactions with other nutrients in field experiments. The objective of this work was to evaluate the behavior of the maize crop at doses of nitrogen and nickel. The experimental design was arranged in a factorial scheme (4x5), four doses of N (0, 70, 140 and 210 kg of N ha<sup>-1</sup>) and five Ni doses (0, 20, 40, 60 and 80 g Ni ha<sup>-1</sup>), with 4 replicates. Chlorophyll content (Chl) A, Chl B, Chl total, Chl a / b ratio, nitrogen content, phosphorus (P) and potassium (K) leaf, grain yield, and mass of 100 Grains. There was elevation in transpiration, stomatal conductance, Chl A, Chl B, total Chl according to increases in N doses, Chl A / B ratio decreased with increasing N doses. N levels in the grain presented interaction Between Ni doses and a reduction of 9% in N content was observed when the highest dose of Ni was used. The N, P and K leaf contents and the grain of P and K presented elevation as the N doses increased. The yield was positively influenced by N and Ni doses. Supplementing the leaves of this element may be alternative for better yields on maize.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Precipitação, temperaturas máximas e mínimas registradas durante o experimento, e época de aplicação dos tratamentos.	6
2	Condutância estomática (Gs) (A) e Transpiração (E) (B)	10
3	Índice de cor verde para clorofila A (Chl <sub>a</sub> ) (A), Clorofila B (Chl <sub>b</sub> )(B), Clorofila total (Chl <sub>T</sub> )(C); e Relação dos índices de cor verde clorofila A/ clorofila B (Chl <sub>a</sub> /Chl <sub>b</sub> ) (D).	12
4	Altura de plantas (A) e diâmetro de colmo (B) de acordo com as doses de N	13
5	Massa de cem grãos de acordo com as doses de N (A); Produtividade de acordo com a doses de nitrogênio (N) (B) e níquel (Ni)(C)	14
6	Interação entre doses de N dentro de Ni (A) e doses de Ni dentro de N (B), para o teor de N no grão, teor de N foliar	15
7	Teor de fósforo (P) foliar (A), e grão (B), teor de potássio (K) foliar (C) e grão (D), de acordo com as doses de nitrogênio.	16

**Sumário**

1.Introdução .....	1
2. Revisão de literatura .....	2
2.1 Níquel Essencialidade & toxicidade .....	2
2.2 Níquel e outras enzimas.....	3
2.3 Uso de níquel na agricultura.....	3
2.4 Aspectos da produção do milho .....	4
2.5 Eficiência da adubação nitrogenada .....	5
3. Material e Métodos.....	6
3.1 Características da área .....	6
3.2 Tratamentos .....	7
3.3 Avaliações Fisiológicas .....	7
3.3.1 Trocas gasosas .....	7
3.3.2 Índice de cor verde.....	8
3.3.3 Avaliação do estado nutricional.....	8
3.4 Variáveis fitotécnicas e produtividade .....	8
3.5 Análise estatística .....	9
4. Resultados & discussão .....	9
4.1 Análises fisiológicas .....	9
4.2 Análises fitotécnicas .....	11
4.3 Produtividade e massa de 100 grãos .....	12
4.4 Teores nutricionais .....	14
5. Conclusões.....	16
6.Referência.....	17

## 1.Introdução

Os genótipos de milho apresentam uma constante evolução em relação à produtividade isso gera elevação na exportação de nutrientes, e no consumo de fertilizantes por hectare (CHEN et al., 2013b; SUNOJ et al., 2016). Segundo FAO, (2015) o aumento na demanda mundial destes insumos é de aproximadamente 1,8% ao ano, sendo os adubos nitrogenados cerca de 60% do total consumido.

Biswas e Ma, (2016) destacam que alternativas que possam mitigar a necessidade de N pelas plantas ou elevar a eficiência da adubação nitrogenada são de grande relevância. Diversas técnicas já são adotadas nos dias de hoje como o uso de diferentes fontes, métodos de aplicação que reduzam a perda por volatilização ou lixiviação (ZHAO et al., 2016), além dessas tecnologias a redução de N que possa estar imobilizado na planta são de grande importância.

A imobilização de N ocorre durante o metabolismo em vegetais devido a formação de ureia durante o catabolismo da arginina pela enzima arginase. Em tecidos senescentes esta elevação chega a 50% (LI et al., 2015; WANG et al., 2008), e a reciclagem deste elemento caracteriza uma grande vantagem ecológica para as plantas, devido a maior eficiência do uso deste elemento (SCHÄFER, 2014).

A ureia em condições ideais é rapidamente degradada no citosol, pela enzima urease (EC 3.5) a qual origina  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{CO}_2$ . No sítio ativo da urease encontra-se como parte essencial o níquel (Ni), e a disponibilidade deste elemento apresenta relação direta com a atividade desta enzima (GHEIBI et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2013) .

Contudo mesmo sendo comprovada a sua atividade no metabolismo, o fornecimento de Ni deve ser realizado com grande cautela. Pois sua exigência pelas culturas é pouco conhecida, não havendo recomendações para a aplicação deste nutriente, e o seu fornecimento em excesso pode ocasionar fitotoxicidade (BAI; REILLY; WOOD, 2006).

Não há relatos na literatura de trabalhos relacionados ao uso do fornecimento do Ni à nível de campo para a cultura do milho. Desta forma este trabalho buscou realizar ajustes a dosagens de Ni aplicados via foliar na cultura

do milho em diferentes níveis de disponibilidades de N. Visando avaliar a hipótese que o fornecimento de Ni no cultivo de milho pode elevar a eficiência da adubação nitrogenada, principalmente em doses elevadas de N, por reduzir a quantidade de N imobilizado na forma de ureia na folha. Objetivou-se avaliar a interação entre doses de nitrogênio e níquel na capacidade produtiva e fisiológica da cultura do milho.

## **2. Revisão de literatura**

### **2.1 Níquel Essencialidade & toxicidade**

O níquel (Ni) é o vigésimo terceiro elemento de maior concentração na crosta terrestre, sendo inserido recentemente a lista dos nutrientes vegetais, os primeiros relatos de deficiência deste nutriente foram descritos no ano de 1918, na cultura da Pecan (*Carya illinoensis*) nos Estados Unidos. O sintoma visual foi comparado a uma “orelha de rato”, devido ao arredondamento das folhas novas, acompanhadas de pontos escuros, e o encurvamento do limbo (Malavolta e Moraes, 2005).

Contudo o primeiro relato de essencialidade por critério direto foi descrito por (DIXON et al., 1975) no qual ele reportou o Ni como constituinte da metaloenzima urease (EC3.5), enzima responsável pelo desdobramento da ureia em  $\text{CO}_2$  e  $\text{NH}_4^+$ , a qual está presente em plantas, bactérias, fungos, algas e invertebrados, apresentando grande semelhança entre os organismos sugerindo que todas suas formas são variáveis evolucionárias de um ancestral comum (SCHÄFER, 2014).

Em plantas com atividade deficiente desta enzima, ocorre o acúmulo da ureia nos tecidos vegetais, e o agravamento dos sintomas gera necroses na extremidade dos folíolos (KUTMAN; KUTMAN; ÇAKMAK, 2013).

Contudo em concentrações tóxicas o Ni reduz as trocas gasosas, atividade de enzimas ligadas a fotossíntese, modifica o ciclo do N na raiz reduzindo a atividade da redutase do nitrato, redutase do nitrito, sintetase da glutamina, glutamina2-oxoglutarato aminotransferase (GOGAT) e desidrogenase do glutamato (GDH). Além de inibir a síntese de DNA e da divisão celular, reduz alongação das células radiculares, levando a senescência dos tecidos e morte da planta (GAJEWSKA et al., 2013;

GAJEWSKA; SKŁODOWSKA, 2009).

## **2.2 Níquel e outras enzimas**

Em plantas a única enzima que se sabe que o Ni possui atividade é a urease, contudo ele é descrito em sete enzimas de bactérias (KRETSINGER; UVERSKY; PERMYAKOV, 2013). Recentemente constatou-se que o Ni possui relação com a atividade da superóxido dismutase (SOD), devido ao seu potencial de oxirredução. Pesquisas com Ni também vem envolvendo a saúde humana, sendo analisados alguns efeitos como antiepiléptico, agente anticonvulsivo, ligado a vitaminas, antifúngico e antibacteriano, além de apresentar atividade anticancerígena (WEI et al., 2016).

(MISHRA; KAR, 1966) estudando a atividade do Ni em microorganismos notou que seu uso pode reduzir a severidade do ataque de doenças, atuando como um fungicida sistêmico, no qual apresenta efeito residual e boa eficiência.

## **2.3 Uso de níquel na agricultura**

O Ni atua na fixação biológica como constituinte da enzima hidrogenase. Esta enzima age na fixação biológica de nitrogênio (FBN), no momento em que ocorre a quebra da ligação tripla de nitrogênio atmosférico ( $N_2$ ) e a formação de ( $NH_4^+$ ), ocorre a liberação de hidrogênio molecular ( $H_2$ ), que seria perdido para o ambiente. A hidrogenase realiza a clivagem do  $H_2$ , liberando elétrons para o centro de reação da enzima nitrogenase, isto representa uma economia de 30 a 60% do gasto energético para a FBN, a hidrogenase representa um otimizador do gasto energético na FBN (FRANCO, 2016; KLUCAS et al., 1983).

Alibakhshi e Khoshgoftarmanesh (2015), trabalhando com a cultura da cebola em casa de vegetação, fornecendo Ni através de fertirrigação, notou que o fornecimento de Ni elevou a produtividade, acúmulo de N no bulbo, além de elevar a atividade da enzima sintetase do glutamato (GS), refletindo assim na maior produção de aminoácidos, e redução no teor de nitrato ( $NO_3^-$ ) no bulbo.

O excesso de  $NO_3^-$  nos alimentos, é descrito como uma grande preocupação para mamíferos, estando relacionado a diversas desordens no corpo humano sendo apontado como causa de vários tipos câncer e síndrome do “bebê azul” (ALIBAKHSH; KHOSHGOFTARMANESH, 2015).

(NYITRAI et al., 2003) avaliando o efeito da aplicação foliar de metais pesados (cádmio, chumbo, titânio e níquel) em casa de vegetação sob doses baixas, na cultura do milho, observou que as plantas que receberam tratamento com Ni, apresentaram maior crescimento radicular elevando o comprimento e massa. Notando também incremento na quantidade de clorofila e atividade fotossintética. Estes efeitos de estimulação foram persistentes por 2 a 3 semanas após aplicação dos tratamentos.

Em concentrações de 5 mg L<sup>-1</sup> o níquel provoca estímulos ao desenvolvimento radicular em *Lactuca sativa*, além de ocasionar efeitos positivos para as concentrações de Ni, em bactérias simbiotes como o *Bradirizhobium japonicum* se observou um aumento na produção de ácido indol acético (AIA) (Seneviratne et al., 2016).

A adição Ni ao tratamento de sementes de soja, promoveu elevação do número de nódulos, além de uma maior fixação de N atmosférico, saltando de 77% de N obtido através da FBN para 99% com a adição de Ni (FRANCO, 2016).

#### **2.4 Aspectos da produção do milho**

O milho é considerado o principal cereal produzido no Brasil, sendo a segunda cultura mais plantada em extensão no Brasil, com uma produção estimada de 83 milhões de toneladas na safra (CONAB: COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2016), e uma área total de aproximadamente 16,1 milhões ha<sup>-1</sup>.

Esta cultura apresenta constante avanço em sua qualidade genética, em relação a seu potencial produtivo, Chen et al., (2013), notou grandes avanços em materiais lançados nos anos 2000 comparados a híbridos lançados nos anos 1970, observando elevação de aproximadamente 50% na produtividade, além de se notar avanços em relação a eficiência do uso de nutrientes.

Contudo a exportação de nutrientes tende a se tornar cada vez mais elevada, com o aumento constante da produtividade, elevando constantemente a quantidade de fertilizantes aplicado por área. Segundo FAO, (2015) a previsão de aumento no consumo de fertilizantes (N, P e K) é de 1,6 % ao ano, atingindo a marca de 200 milhões de toneladas em 2018, sendo que os adubos nitrogenados representam cerca de 60% do mercado mundial de fertilizantes.

## **2.5 Eficiência da adubação nitrogenada**

A adubação representa um dos maiores custos na produção do milho, onde é responsável por aproximadamente 30% do custo total de insumos (IMEA, 2016), sendo o N responsável por metade deste custo. O uso de materiais com alta eficiência produtiva, em relação ao uso de fertilizantes são de grande valia devido a grande quantidade de perdas ocorridas na adubação nitrogenada, podendo ocorrer por lixiviação ou de forma gasosa (WEZEL et al., 2014; ZHAO et al., 2016).

As perdas de N apenas por lixiviação podem chegar a representar 40 kg de N ha<sup>-1</sup> (ZHAO et al., 2016). A principal fonte de N utilizada é a ureia, devido a sua alta concentração de N, facilidade no transporte e aplicação, contudo sua eficiência em sistemas de plantio direto é menor do que outras fontes como nitrato de amônio (BISWAS; MA, 2016).

O consumo inconsciente de fertilizantes na agricultura pode gerar grandes impactos em toda a biosfera e impactos negativos sobre a diversidade da fauna e flora exemplos típicos de tal impacto são a eutrofização de água doce, ocorrendo com a lixiviação de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (HIREL et al., 2007). Em solos arenosos e com lençóis freáticos rasos a contaminação da água ocorre de maneira frequente chegando a atingir teores de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> duas vezes mais que o limite permitido pela legislação (ANDRADE et al., 2009).

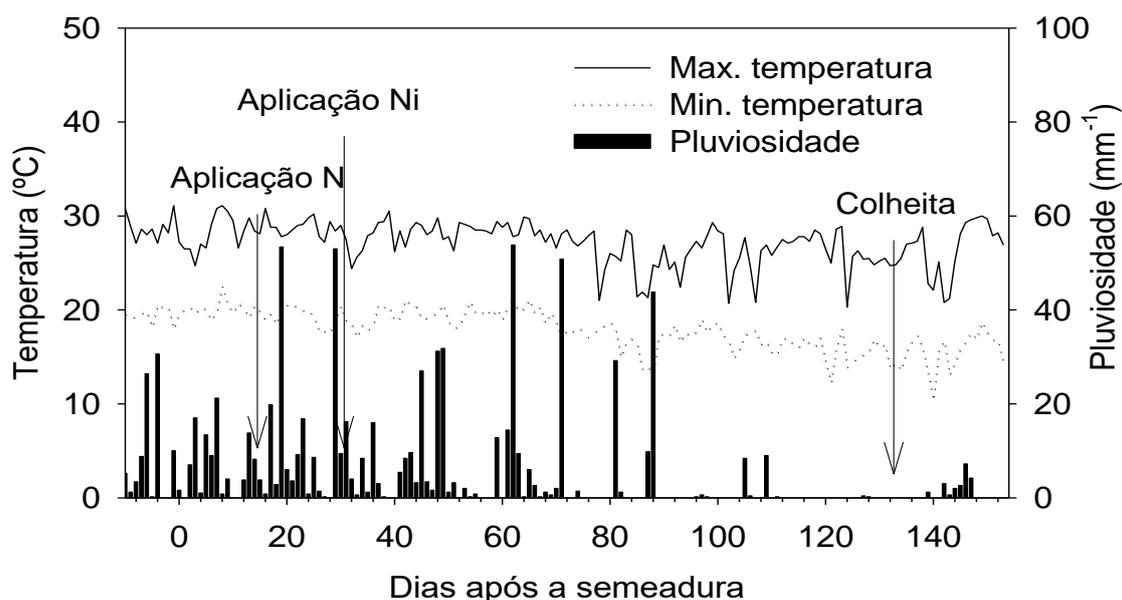
Entre 45-65% do N é absorvido pela cultura do milho até o período que antecede o pendoamento. O milho apresenta potenciais de respostas para a adição de N entre 100-240 kg N ha<sup>-1</sup>, realizando-se a adubação nitrogenada parcelada no momento do plantio e quando a cultura apresenta entre 4-6 folhas desenvolvidas (HIREL et al., 2007).

Sob condições de N limitantes, as plantas de milho aumentam a eficiência de uso do N, aumentando à eficiência de absorção e/ou a eficiência de utilização. A aquisição eficiente do N depende de uma raiz grande e profunda, aumentando a quantidade de solo explorada pela raiz. Ocorre redistribuição de N da parte aérea, reduzindo a área foliar e aumento na taxa fotossintética por área (CHEN, et al., 2013; MU et al., 2016), reduzindo assim os sintomas de deficiência.

### 3. Material e Métodos

O trabalho foi realizado no município de Chapadão do Sul, MS em Lat. 18°46'24.38"S e Long. 52°37'23.75"O e altitude de 820 m. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (Lvd), com textura argilosa (SANTOS et al., 2013).

**Figura 1.** Precipitação, temperaturas máximas e mínimas registradas durante o experimento, e época de aplicação dos tratamentos.



#### 3.1 Características da área

O experimento foi instalado em sistema de semeadura direta no dia 20/02/15, sendo instalado em segunda safra após a cultura da soja. O híbrido utilizado foi o DKB 310 PRO2, instalado com população de 60 mil sementes  $\text{ha}^{-1}$ . A adubação para instalação do experimento consistiu de 150  $\text{kg ha}^{-1}$  de KCl (00-00-60) aplicado em pré-semeadura e 100  $\text{kg ha}^{-1}$  de MAP aplicado durante a semeadura.

O solo da área apresentou as seguintes características químicas e texturais: fósforo (mehlich 1) 6  $\text{mg dm}^{-3}$ ; matéria orgânica 25,4  $\text{g dm}^{-3}$ ; pH ( $\text{CaCl}_2$ ) 4,7; potássio 0,15  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; cálcio 2,6  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; magnésio 0,5  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; alumínio 0,18  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; capacidade de troca catiônica (CTC) 9,9  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . 610, 50 e 340  $\text{g dm}^{-3}$  de argila, silte e areia, respectivamente.

### **3.2 Tratamentos**

O experimento foi conduzido em condições de campo em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições, disposto em esquema fatorial (4x5), tendo quatro doses de N (0, 70, 140 e 210 kg de N ha<sup>-1</sup>) e cinco doses de Ni aplicadas via foliar (0, 20, 40, 60 e 80 g de Ni ha<sup>-1</sup>). As parcelas foram compostas por seis linhas espaçadas em 0,8 m com 6 metros de comprimento, totalizando uma área de 28,8 m<sup>2</sup>. A área útil da parcela foi composta pelas duas linhas centrais, se excluindo um metro das extremidades da parcela, totalizando 6,4 m<sup>2</sup>.

A adubação nitrogenada foi realizada quando a cultura apresentou quatro folhas expandidas (V4), utilizando como fonte a ureia (45-00-00), o tratamento foi aplicado próximo as 17:00h, após a aplicação dos tratamentos houve uma precipitação de 10 mm. Os tratamentos com níquel foram aplicados 15 dias após a adubação nitrogenada (estádio V7), utilizando-se como fonte o sulfato de níquel hexahidratado NiSO<sub>4</sub> (H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub>, aplicado através de pulverizador costal pressurizado por CO<sub>2</sub>, calibrado para a vazão de 150 L ha<sup>-1</sup>.

### **3.3 Avaliações Fisiológicas**

#### **3.3.1 Trocas gasosas**

Quando pelo menos 50% das plantas estavam em florescimento (estádio R1) realizou-se a avaliação das trocas gasosas através do aparelho "infrared gas analyzer" (IRGA) modelo Lycom®-Li 6400 XT. As avaliações das trocas gasosas foram realizadas a partir da mensuração da taxa de fotossíntese líquida (A) ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), transpiração (E) ( $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) e Eficiência instantânea do uso da água (EUIA) ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) durante o período da manhã entre 8:00 e 11:00 AM, em um dia com poucas nuvens, com temperatura variando entre 22-27°C.

### 3.3.2 Índice de cor verde

A leitura do índice de cor verde (ICV) foi realizada por meio do aparelho ClorofiLOG<sup>®</sup> modelo CFL 1030. Este aparelho realiza a análise através de três comprimentos de onda, dois dentro da banda do vermelho, próximos aos picos de cada tipo de clorofila ( $\lambda = 635$  e  $660\text{nm}$ ), permitindo assim calcular de forma indireta o índice de clorofila “A” e “B” e outro no infravermelho próximo ( $\lambda = 880\text{nm}$ ). Um sensor inferior recebe a radiação transmitida através da estrutura foliar (BARBIERI JÚNIOR et al., 2012). A partir desses dados, o aparelho fornece resultados em unidades adimensionais chamados de índice de cor falker (ICF). Realizou-se a leitura dos ICV clorofila A ( $\text{Chl}_a$ ) e ICV clorofila B ( $\text{Chl}_b$ ), relação da clorofilas  $\text{Chl}_a/\text{Chl}_b$  determinada através equação (relação= $\text{Chl}_a/\text{Chl}_b$ ) e clorofila total ( $\text{Chl}_T$ ).

### 3.3.3 Avaliação do estado nutricional

Os teores nutricionais foram analisados em duas ocasiões: I) em R1, coletando-se o terço médio da folha abaixo e oposta a inserção da espiga principal ; II) realizada após a colheita do experimento, analisando-se os teores nutricionais nos grãos, os nutrientes mensurados foram o nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K).

Para a determinação nutricional as amostras foram secas por 72 horas a  $60^\circ\text{C}$ , sendo moídas em moinhos tipo Willey. A digestão e determinação dos teores de P e K foram determinados de acordo com metodologia proposta por SILVA, (2009). Já as amostras para determinação de N foram digeridas via ácida, utilizando metodologia proposta por MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, (1997).

### 3.4 Variáveis fitotécnicas e produtividade

Quando a cultura atingiu o estágio R6 (maturidade fisiológica), aferiu-se a altura de planta (AP) e altura de inserção da espiga principal (AIE) com auxílio de uma régua avaliando-se a distância entre o solo e a inserção da última folha. A mensuração do diâmetro de colmo (DC) foi realizada com paquímetro digital, a uma altura de 5 cm do solo. Estas determinações foram realizadas utilizando-se 5 plantas escolhidas de modo aleatório dentro da área útil da parcela.

A colheita da área útil da parcela e as espigas foram trilhadas e o teor de umidade foi corrigido para 13%. Avaliou-se a produtividade expressa em  $\text{kg ha}^{-1}$ , e massa de 100 grãos expressa em gramas.

### **3.5 Análise estatística**

Em todos os conjuntos de dados considerados, foi analisada a normalidade dos dados, utilizando-se o teste de Anderson-Darling e verificando-se a homocedasticidade dos dados com o teste da equação da variância (ou teste de Levenn's). Os dados foram submetidos à análise de variância, com níveis de significância de 0,05 de probabilidade, pelo teste F. Quando significativas, as médias foram submetidas a regressão em nível de 0,05 de probabilidade utilizando-se o programa estatístico Sisvar e plotando os gráficos pelo software Sigmaplot.

## **4. Resultados & discussão**

### **4.1 Análises fisiológicas**

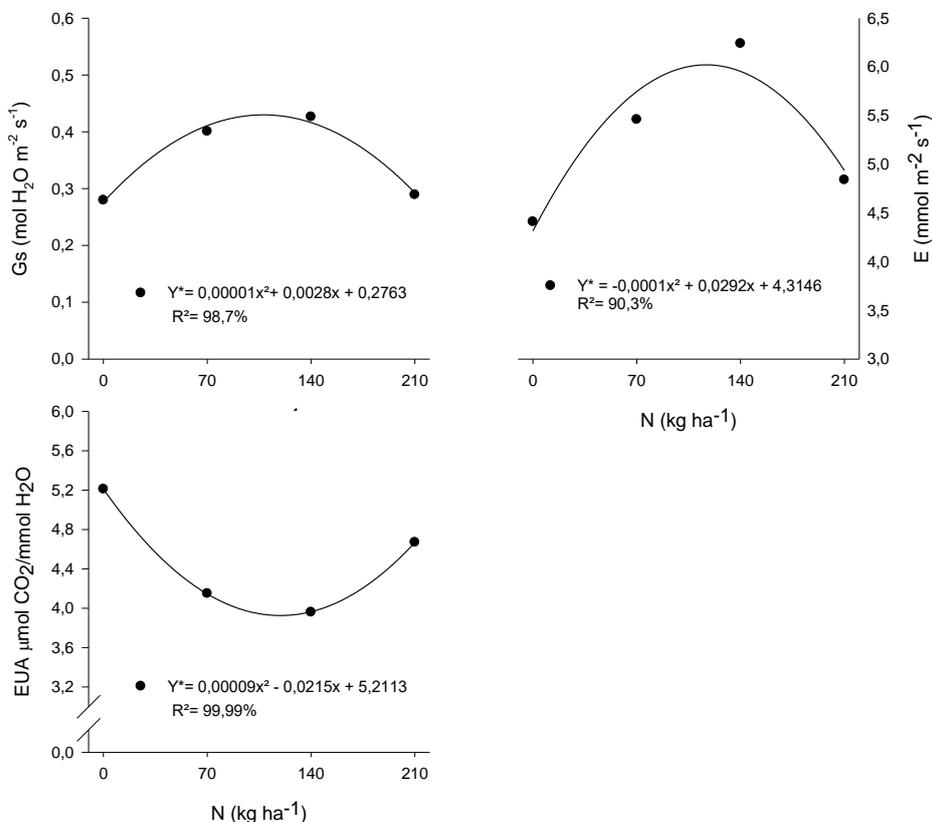
As doses de N não influenciaram a taxa de fotossíntese líquida, resultados discordantes de Akram et al. (2011); Chen et al.(2013) . A ausência de resposta a adubação nitrogenada para a fotossíntese líquida, pode ser em resposta a três fatores: I) alta eficiência do uso de N pelo genótipo escolhido II); a instalação do experimento imediatamente após o cultivo da soja, a qual forneceria um aporte de N ao milho, evitando o aparecimento de sintomas severos de deficiência de N; III) redução na área foliar, contudo mantendo a mesma taxa fotossintética por área, um dos mecanismos que a cultura do milho apresenta em busca de maximizar a utilização de N (MU et al., 2016).

A condutância estomática e a transpiração apresentaram respostas semelhantes em resposta a aplicação de N. A condutância estomática apresentou aumento até a dose de  $108 \text{ kg de N ha}^{-1}$ , a transpiração apresentou elevação até a dose de  $122 \text{ kg de N ha}^{-1}$  (Figura 2A e B), ambas apresentaram incremento de até 30% em relação a dose  $0 \text{ kg N ha}^{-1}$ . As respostas ocorrentes nestas avaliações ligadas as doses de N, são ocasionados pelo fornecimento de N reduzir as limitações estomáticas e não estomáticas, desta forma influenciando

positivamente sobre as trocas gasosas da planta (AKRAM et al., 2011; ZHANG; YU; MA, 2013).

A EUA apresentou ponto de mínima, na dose de 119 kg de N ha<sup>-1</sup> (Figura 2C), esta variável analisa o quociente entre a fotossíntese e a transpiração, como a A não apresentou alterações significativas, de acordo com a elevação das doses de N, e a E apresentou elevação, devido a maior condutância estomática (KEULEN, 1981). Por ser um experimento de campo, no qual houve uma precipitação próxima a 800 mm durante o ciclo, enquanto a necessidade da cultura do milho é de aproximadamente 600 mm (CRUZ et al., 2010) haverá uma quantidade maior de água disponível e ocasionalmente elevação na transpiração, além disso, pelo fato de se utilizar apenas um híbrido no experimento, possivelmente, pelos mecanismos da plantas com menor disponibilidade N manter a mesma taxa fotossintética por área, provavelmente as plantas estavam próximas ao limite de A (CHEN et al., 2013a).

**Figura 2.** Condutância estomática (Gs) (A), Transpiração (E) (B) e eficiência instantânea de uso da água (EUA) (C).



A  $Chl_a$ ,  $Chl_b$ ,  $Chl_T$  e relação  $Chl_a/Chl_b$  apresentaram alterações significativas para as doses de N, sem apresentar alterações para as doses de Ni. A  $Chl_a$  apresentou o ponto máximo na dose de  $185 \text{ kg N ha}^{-1}$ , enquanto a  $Chl_b$  e a  $Chl_T$ , apresentaram aumentos lineares de acordo com o aumento das doses de N. E as relações entre a  $Chl_a/Chl_b$ , apresentou queda até a dose de  $202 \text{ kg de N ha}^{-1}$  (Figuras 3A, B, C e D).

Esta elevação para as clorofilas ocorre quando o N se encontra em baixa disponibilidade para a planta, nesta situação ele será preferencialmente utilizado em processos e enzimas ligadas a cadeias transportadoras de elétrons, como o Cytocromo b6f (MU et al., 2016) acarretando uma menor concentração de clorofila. E com o aumento da disponibilidade de N ocorre maior síntese de enzimas e compostos ligados a captação de elétrons, e a carboxilação como as clorofilas, Rubisco e a PEPCase.

Os valores encontrados neste trabalho para a relação  $Chl_a/Chl_b$  variaram entre 2,2 e 3,2 estando abaixo dos apontados por ,(PARRY; BLONQUIST; BUGBEE, 2014) no qual as plantas de milho apresentariam uma relação  $Chl_a/Chl_b$  próximo de 5,7. O aumento das doses de N ocasionaram redução na relação  $Chl_a/Chl_b$  a redução nesta relação pode ser benéfico para o milho retardando a senescência foliar, através da redução da atividade de enzimas ligadas a senescência, e uma posterior elevação da atividade de enzimas ligadas a fotossíntese (SAKURABA et al., 2012).

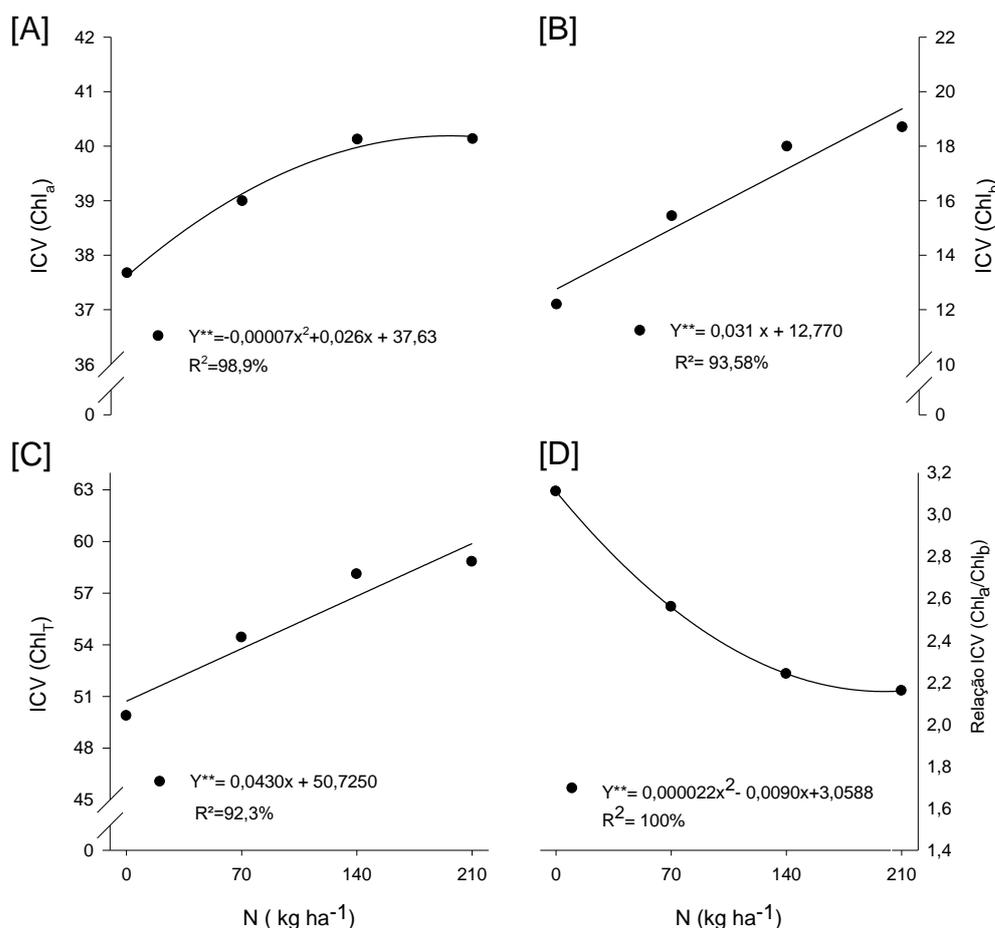
#### **4.2 Análises fitotécnicas**

Não houve interação entre as doses de Ni e N para as análises fitotécnicas, no entanto as doses de N influenciaram individualmente a altura de plantas e o diâmetro de colmo (Figura 4A e B). Já a AIE não sofreu influência dos tratamentos.

O DC apresentou incremento com o aumento das doses de N, a mensuração do diâmetro de colmo apresenta importância especial, pois reflete de forma indireta a quantidade de carboidratos, nutrientes armazenados na planta, e que poderão ser direcionados para a espiga e enchimento de grãos (OLIVEIRA et al., 2016). Segundo YANG et al., (2016) cerca de 55% do N translocado para a espiga provém do colmo, assim com o aumento no

fornecimento de N eleva a formação de fotoassimilados, a elevação no diâmetro de colmo será diretamente relacionada com o fornecimento de N.

**Figura 3.**Íncide de cor verde para clorofila A (Chl<sub>a</sub>) (A), Clorofila B (Chl<sub>b</sub>)(B), Clorofila total (Chl<sub>T</sub>)(C); e Relação dos índices de cor verde clorofila A/ clorofila B (Chl<sub>a</sub>/Chl<sub>b</sub>) (D).



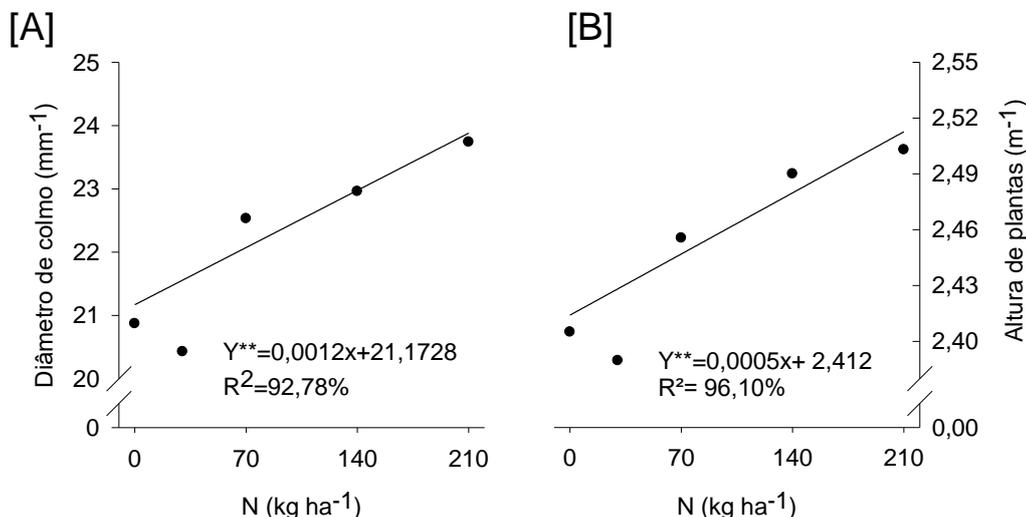
A AP apresentou incrementos para as doses de N. A AP é uma característica genética contudo podendo ser influenciada pelo ambiente como por exemplo a disponibilidade de N.

#### 4.3 Produtividade e massa de 100 grãos

A massa de 100 grãos e a produtividade não apresentaram interações para as doses de N e Ni, contudo ambas foram influenciadas individualmente pelas doses de N (Figura 5A e B)., apresentando incremento para a produtividade até as doses de 176,5 kg ha<sup>-1</sup>, com rendimento máximo de 8.231

kg ha<sup>-1</sup>, e a massa de 100 grãos apresentou aumento linear, conforme o fornecimento de N

**Figura 4.** Diâmetro de colmo (A) e altura de plantas (B).



As doses de Ni proporcionaram aumento linear na produtividade (Figura 5C), chegando a uma elevação de até 630 kg ha<sup>-1</sup> para a dose de 80 g ha<sup>-1</sup> de Ni, em relação ao tratamento 0 g Ni ha<sup>-1</sup>, ocorrendo uma elevação na produtividade de 8 kg para cada g de Ni aplicado por hectare.

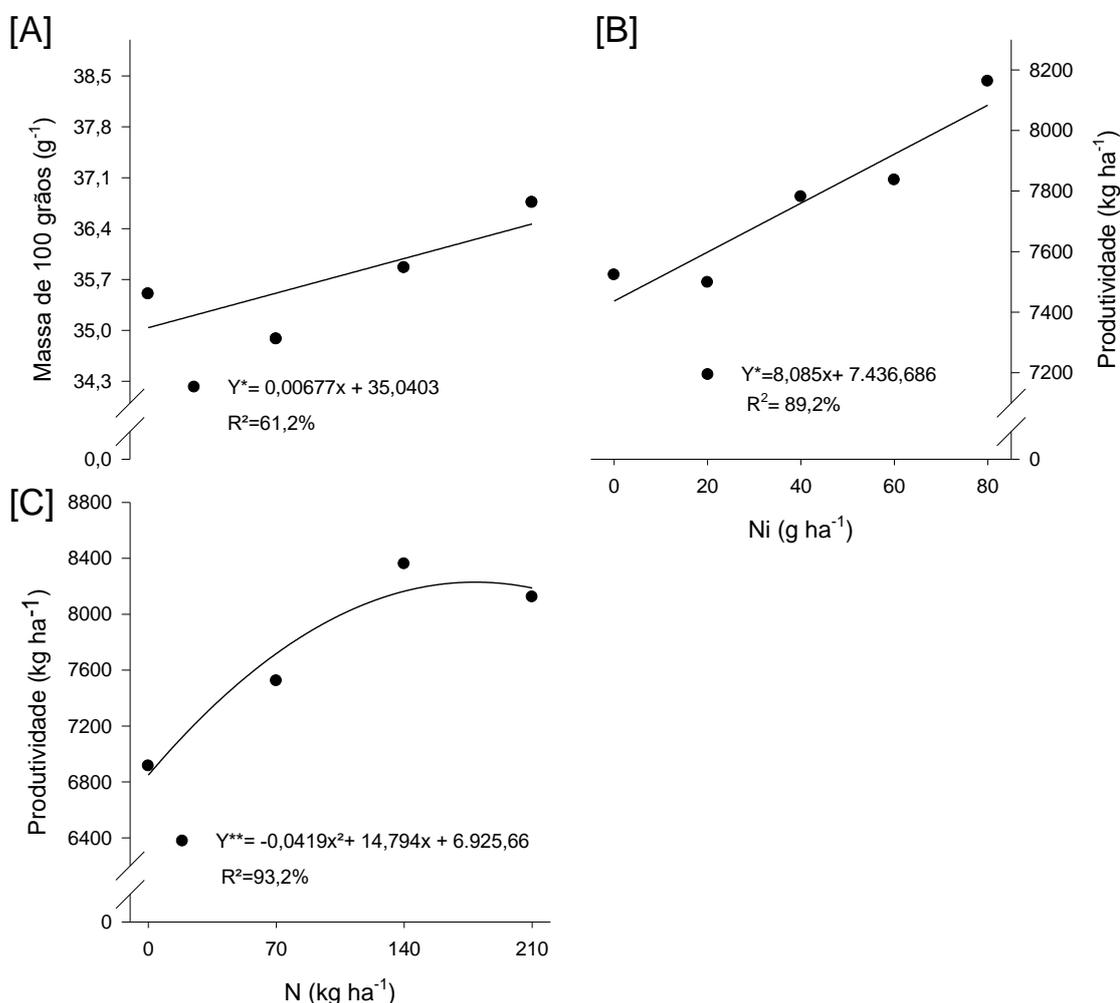
As respostas ocasionadas pelo fornecimento de N a cultura do milho são relatados por BISWAS; MA, (2016); CHEN, *et al.*, (2013). O N é o nutriente requerido em maior quantidade pela cultura do milho sendo necessário em diversos processos fisiológicos, como constituinte da clorofila, aminoácidos, ácidos nucleicos e formação de proteínas. O fornecimento do N pela aplicação do fertilizante nitrogenado eleva a atividade metabólica, translocação de fotoassimilados da folha para os (ALIBAKHSH; KHOSHGOFTARMANESH, 2015) grãos, elevando a massa de grãos, e a produtividade além de aumentar a tolerância da planta a estresses bióticos e abióticos (AKRAM *et al.*, 2011; ZHANG; YU; MA, 2013).

As doses de Ni ocasionaram aumentos para a produtividade de grãos da cultura do milho (Figura 5B). Resultados similares foram observados no rendimento da cebola (ALIBAKHSH; KHOSHGOFTARMANESH, 2015) e alface (ANTONKIEWICZ; JASIEWICZ, 2016).

Nesse estudo, o uso da dose de 80 g Ni ha<sup>-1</sup> aplicados via foliar resultou em benefícios para a produtividade da cultura do milho. É importante destacar

que a pulverização do Ni realizada no estágio fenológico V7, pode se sugerir que esta época seria ideal para o fornecimento de Ni, pois a planta apresenta o grande aumento de área foliar, acúmulo de massa seca, definição de seu potencial produtivo e absorção de N (CIAMPITTI; VYN, 2011). O fornecimento deste elemento via foliar em estádios iniciais pode ser adotado devido a alta taxa de translocação deste elemento no floema de gramíneas (RIESEN; FELLER, 2005).

**Figura 5.** Massa de cem grãos de acordo com as doses de N (A); Produtividade de acordo com a doses de nitrogênio (N) (B) e níquel (Ni)(C)



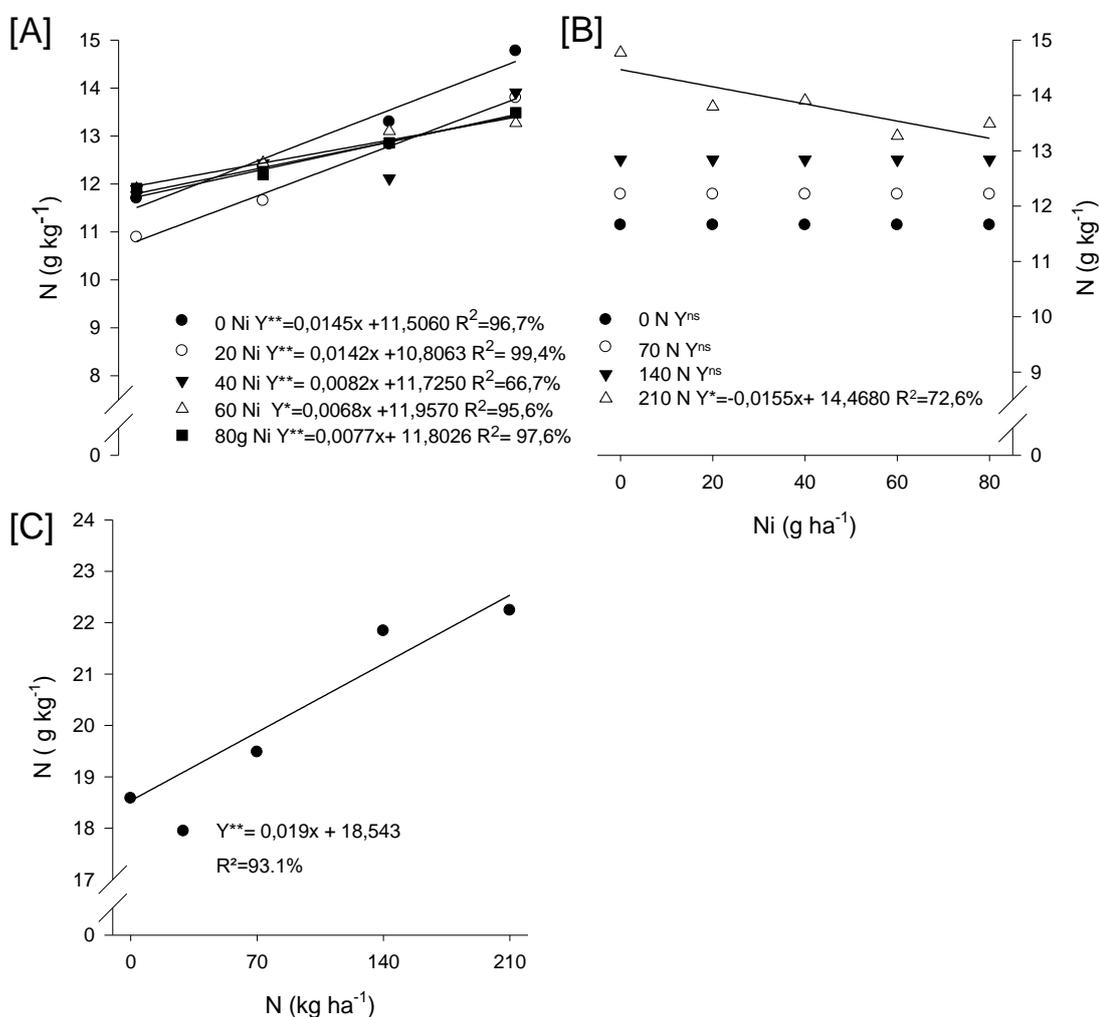
#### 4.4 Teores nutricionais

O teor de N no grão apresentou interação para as doses de N e Ni (Figura 6A). O aumento das doses de Ni, reduziu o acúmulo de N no grão o que representa uma redução de até 8% no teor de N da dose  $80\ g\ Ni\ ha^{-1}$  em

relação a dose 0. O aumento das doses de Ni dentro da dose mais elevada de N ocasionou uma redução de até 9% do teor de N no grão (Figura 6B).

As doses de N influenciaram individualmente os teores de N, P e K foliar e de P e K no grão. Os teores de N apresentaram incrementos lineares com o aumento das doses de N. Os teores de P apresentaram elevações até 204 kg ha<sup>-1</sup> de N para teores foliares e acréscimo linear de P no grão. Contudo, os teores de K foliar apresentaram incremento até a dose de 153 kg de N ha<sup>-1</sup> (Figuras 7A, B, C e D).

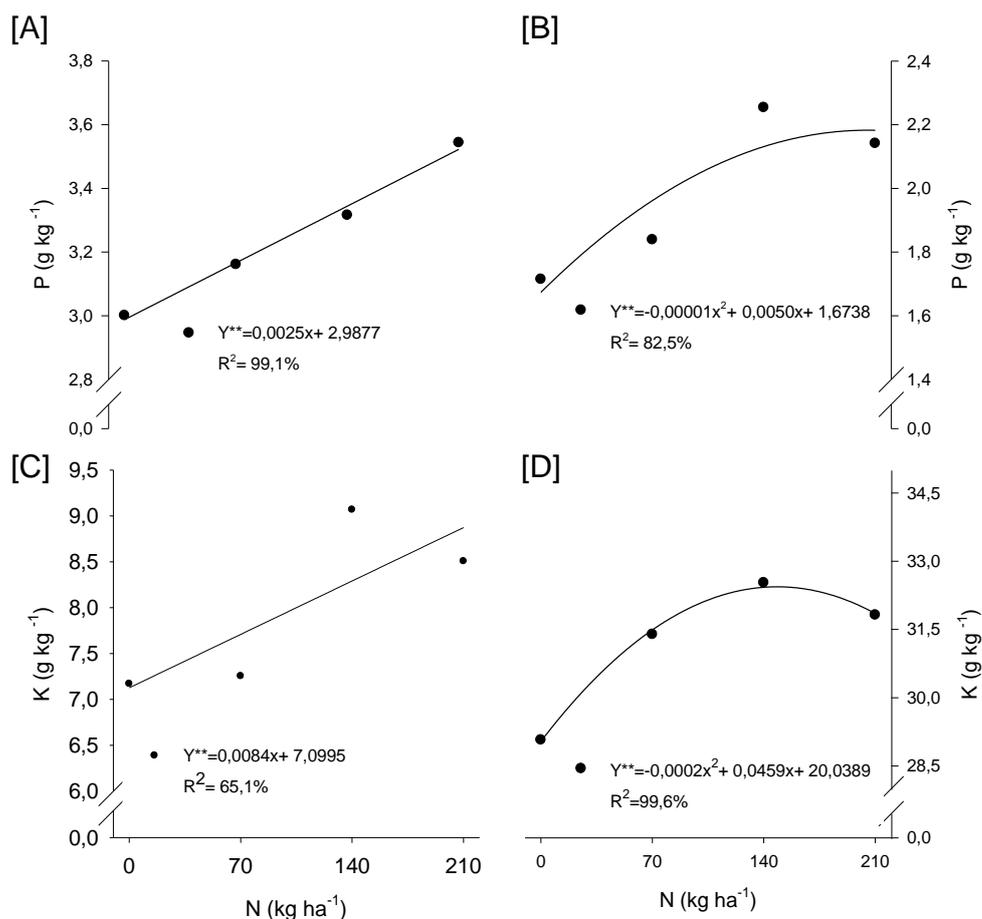
**Figura 6.** Interação entre doses de N dentro de Ni (A) e doses de Ni dentro de N (B), para o teor de N no grão, teor de N foliar



A interação entre as doses de N e Ni, pode estar ligada a uma maior diluição da concentração de N no grão devido ao aumento na produtividade ocasionado pela adubação deste elemento.

Os aumentos ocorridos para os teores de K e P, tanto foliar quanto no grão ocorre pelos efeitos sinérgicos que o N apresenta com estes elementos, elevando assim a concentração destes elementos na planta (NEUGSCHWANDTNER; KAUL, 2016).

**Figura 7.** Teor de fósforo (P) foliar (A), e grão (B), teor de potássio (K) foliar (C) e grão (D), de acordo com as doses de nitrogênio.



## 5. Conclusões

A suplementação foliar de Ni é uma alternativa para a nutrição do milho influenciando positivamente a produtividade;

Houve resposta ao aumento da dose de N;

Nas condições do experimento o Ni e N não apresentaram interações.

## 6.Referência

- AKRAM, M. et al. Nitrogen application improves gas exchange characteristics and chlorophyll fluorescence in maize hybrids under salinity conditions. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 58, n. 3, p. 394–401, 2011.
- ALIBAKHSH, M.; KHOSHGOFTARMANESH, A. H. Effects of nickel nutrition in the mineral form and complexed with histidine in the nitrogen metabolism of onion bulb. **Plant Growth Regulation**, v. 75, p. 733–740, 2015.
- ANDRADE, E. M. DE et al. Impacto da lixiviação de nitrato e cloreto no lençol freático sob condições de cultivo irrigado. **Ciência Floresta**, v. 39, n. 1, p. 88–95, 2009.
- ANTONKIEWICZ, J.; JASIEWICZ, C. Nickel bioaccumulation by the chosen plant species. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 38, n. 40, p. 1–11, 2016.
- BAI, C.; REILLY, C. C.; WOOD, B. W. Nickel Deficiency Disrupts Metabolism of Ureides , Amino Acids , and Organic Acids of Young Pecan Foliage. v. 140, n. February, p. 433–443, 2006.
- BARBIERI JÚNIOR, É. et al. Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85. **Ciência Rural**, v. 42, n. 12, p. 2242–2245, 2012.
- BISWAS, D. K.; MA, B. Effect of nitrogen rate and fertilizer nitrogen source on physiology , yield , grain quality , and nitrogen use efficiency in corn. **Canadian journal plant science**, v. 403, n. October 2015, p. 392–403, 2016.
- CHEN, J. W. et al. Biomass accumulation and partitioning, photosynthesis, and photosynthetic induction in field-grown maize (*Zea mays* L.) under low- and high-nitrogen conditions. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, n. 1, p. 95–105, 2013a.
- CHEN, X. et al. Modern maize hybrids in Northeast China exhibit increased yield potential and resource use efficiency despite adverse climate change. **Global Change Biology**, v. 19, n. 3, p. 923–936, 2013b.
- CIAMPITTI, I. A.; VYN, T. J. A comprehensive study of plant density consequences on nitrogen uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stages. **Field Crops Research**, v. 121, n. 1, p. 2–18, 2011.
- CONAB: COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. **Monitoramento agrícola- Safra 2015/2016**, v. 3,

n. 9, p. 1–174, 2016.

CRUZ, J. C. et al. **Cultivo do Milho**. 6. ed. [s.l: s.n.].

DIXON, N. E. et al. Jack Bean Urease (EC 3.5.1.5). A Metalloenzyme. A Simple Biological Role for Nickel? **Journal of the American Chemical Society**, v. 1, n. 97, p. 4131–4133, 1975.

FAO. **World fertilizer trends and outlook to 2018**. Rome: [s.n.].

FRANCO, G. C. **Tratamento de sementes de soja com níquel para o aumento da fixação biológica e atividade da urease**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2016.

GAJEWSKA, E. et al. Nickel-induced changes in carbon metabolism in wheat shoots. **Journal of Plant Physiology**, v. 170, n. 4, p. 369–377, 2013.

GAJEWSKA, E.; SKŁODOWSKA, M. Nickel-induced changes in nitrogen metabolism in wheat shoots. **Journal of Plant Physiology**, v. 166, p. 1034–1044, 2009.

GHEIBI, M. N. et al. UREASE ACTIVITY IN MAIZE ( ZEA MAIZE L . CV . 704 ) AS AFFECTED BY NICKEL AND NITROGEN SOURCES \*. **Iranian journal of science & technology**, v. 33, p. 299–307, 2010.

HIREL, B. et al. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: Towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 9, p. 2369–2387, 2007.

IMEA. **Custo de produção de milho - safra 2015/2016**.

KEULEN, H. VAN. Modeling the Interaction of Water and Nitrogen. **Plant and Soil**, v. 58, n. 1–3, p. 205–229, 1981.

KLUCAS, R. V et al. Nickel : A micronutrient element for hydrogen-dependent growth of Rhizobium japonicum and for expression of urease activity in soybean leaves. v. 86, n. April, p. 2253–2257, 1983.

KRETSINGER, R. H.; UVERSKY, V. N.; PERMYAKOV, E. A. **Enclopedia of Metalloproteins**. 1. ed. [s.l: s.n.].

KUTMAN, B. Y.; KUTMAN, U. B.; ÇAKMAK, I. Nickel-enriched seed and externally supplied nickel improve growth and alleviate foliar urea damage in soybean. **Plant Soil**, v. 363, p. 61–75, 2013.

LI, Q. et al. Effect of a new urease inhibitor on ammonia volatilization and nitrogen utilization in wheat in north and northwest China. **Field Crops**

**Research**, v. 175, p. 96–105, 2015.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997.

MISHRA, D.; KAR, M. Laboratory of Plant Biochemistry and Enzymology Botany Department, Utkal University Bhubaneswar 751004, Orissa, India. v. 4, p. 395–452, 1966.

MU, X. et al. Within-Leaf Nitrogen Allocation in Adaptation to Low Nitrogen Supply in Maize during Grain-Filling Stage. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. May, p. 1–11, 2016.

NEUGSCHWANDTNER, R. W.; KAUL, H.-P. Concentrations and uptake of macronutrients by oat and pea in intercrops in response to N fertilization and sowing ratio. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 62, n. 9, p. 1236–1249, 2016.

NYITRAI, P. et al. Characterization of the stimulating effect of low-dose stressors in maize and bean seedlings. **Journal of plant physiology**, v. 160, p. 1175–1183, 2003.

OLIVEIRA, C. T. et al. EFFECTS OF NICKEL AND NITROGEN SOIL FERTILIZATION ON LETTUCE GROWTH AND UREASE ACTIVITY. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 37, n. 1, p. 698–706, 2013.

OLIVEIRA, F. C. et al. CORN DEVELOPMENT AND PRODUCTION IN FUNCTION OF SOURCES OF NITROGEN FERTILIZERS AND DOSES 1. v. 2125, p. 812–821, 2016.

PARRY, C.; BLONQUIST, J. M.; BUGBEE, B. In situ measurement of leaf chlorophyll concentration: Analysis of the optical/absolute relationship. **Plant, Cell and Environment**, v. 37, n. 11, p. 2508–2520, 2014.

RIESEN, O.; FELLER, U. Redistribution of Nickel , Cobalt , Manganese , Zinc , and Cadmium via the Phloem in Young and Maturing Wheat. **Journal of Plant Nutrition**, n. April 2004, p. 421–430, 2005.

SAKURABA, Y. et al. Overproduction of Chl b retards senescence through transcriptional reprogramming in arabidopsis. **Plant and Cell Physiology**, v. 53, n. 3, p. 505–517, 2012.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

SCHÄFER, K. **Role of urease in pH modulation and virulence of Fusarium oxisporum.** [s.l.] Universidad d córdoba, 2014.

SENEVIRATNE, M. et al. Plant growth promotion by Bradyrhizobium japonicum under heavy metal stress. **South African Journal of Botany**, v. 105, p. 19–24, 2016.

SILVA, F. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2<sup>a</sup> ed. [s.l.] Embrapa: Informação tecnológica, 2009.

SUNOJ, V. S. J. et al. Diurnal temperature amplitude alters physiological and growth response of maize (Zea mays L.) during the vegetative stage. **Environmental and Experimental Botany**, v. 130, p. 113–121, 2016.

WANG, W. et al. Molecular and physiological aspects of urea transport in higher plants. **Plant Science**, v. 175, p. 467–477, 2008.

WEI, Q. et al. Journal of Photochemistry & Photobiology , B : Biology DNA binding , BSA interaction and SOD activity of two new nickel ( II ) complexes with glutamine Schiff base ligands. **JPB**, v. 161, p. 355–367, 2016.

WEZEL, A. et al. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, n. 1, p. 1–20, 2014.

YANG, L. et al. Use of the Stable Nitrogen Isotope to Reveal the Source-Sink Regulation of Nitrogen Uptake and Remobilization during Grain Filling Phase in Maize. p. 1–16, 2016.

ZHANG, X. C.; YU, X. F.; MA, Y. F. Effect of nitrogen application and elevated CO<sub>2</sub> on photosynthetic gas exchange and electron transport in wheat leaves. **Photosynthetica**, v. 51, n. 4, p. 593–602, 2013.

ZHAO, X. et al. Field Crops Research Assessment of drainage nitrogen losses on a yield-scaled basis. **Field Crops Research**, v. 199, p. 156–166, 2016.