



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/PRODUÇÃO VEGETAL**

**HYGOR MARTINS BARREIRA**

**INOCULAÇÃO FOLIAR E ADUBAÇÃO NITROGENADA**  
**NA CULTURA DO MILHO**

**TERESINA**

**2015**

**HYGOR MARTINS BARREIRA**

Engenheiro Agrônomo

**INOCULAÇÃO FOLIAR E ADUBAÇÃO NITROGENADA  
NA CULTURA DO MILHO**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Agronomia/Produção Vegetal da Universidade Federal do Piauí, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Agronomia, Área de concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Edinaldo Pinto Mousinho  
Co-orientador: Prof. Dr. Carlos José Gonçalves de Sousa Lima

TERESINA

2015

**INOCULAÇÃO FOLIAR E ADUBAÇÃO NITROGENADA  
NA CULTURA DO MILHO**

Hygor Martins Barreira

APROVADO em 05 / agosto / 2015

Comissão Julgadora:



\_\_\_\_\_  
Orientador: Prof. Dr. Francisco Edinaldo Pinto Mousinho – Presidente  
CTT/CCA/UFPI



\_\_\_\_\_  
Co-Orientador: Prof. Dr. Carlos José Gonçalves de Sousa Lima – Membro Interno  
DEAS/CCA/UFPI



\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Dra. Artenisa Cerqueira Rodrigues – Membro Interno  
DEAS/CCA/UFPI



\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Dra. Luzineide Fernandes de Carvalho – Membro Externo  
CTT/CCA/UFPI

*Aos guerreiros da vida na agropecuária,  
À minha família.*

**DEDICO**

**E não nos cansemos de fazer o bem, porque a seu tempo colheremos, se não  
houvermos desanimado.**

**Gálatas 6:9**

**Bíblia Sagrada**

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, pelo dom da vida;

À família, pelo apoio e incentivo sempre, especialmente aos meus pais José Barreira e Zenaide;

Ao Professor Francisco Edinaldo Pinto Mousinho, pela orientação desse trabalho e por fazer jus a sua profissão, com conhecimento, disposição e transparência para ensinar e acima de tudo pela simplicidade;

A todos os professores que tive o privilégio de absorver o mínimo de conhecimento necessário para chegar até aqui;

A UFPI como um todo, pela grande contribuição para o meu enriquecimento intelectual e, principalmente, por permitir que eu alcançasse mais um degrau na vida acadêmica;

A todos os docentes, técnicos e demais funcionários de que fazem essa instituição, especialmente aos Professores Manim, Almir, Alfredo, Regina, Arnaud, Elivalto, Eriosvaldo, Alcântara, Manoel Ferreira, e aos funcionários Hélio *in memória*, Caxias, Raimundo, Zé da Burra, Fernando, Chico;

Ao Colégio Técnico de Teresina – CTT, pela incontestável contribuição à minha vida, desde a moradia, alimentação, apoio ao desenvolvimento desse trabalho e acima de tudo, às inesquecíveis pessoas que pude subtrair aprendizado para a vida como Prof. Martinho, Zé Bento, Sinimbu, Chicão, Júnior, Isolda, Luzineide, Pacheco, Rai, Ronaldo, Sr. Zé Pereira, Babi, Baixinho, Paulinho, Celso, André;

A todos os amigos do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, em especial os amigos André Rocha, Paulo Henrique, Raimundo Brito, Guaraná Mendes, Francisco Porto, João Silvestre, Manoel, Aurélio, Zé Eduardo, Girão Filho, Mirya Grazielle, Keyla, Carol, Mônica, Francinalva, Nayara, além dos Companheiros e amigos Valbério, Adailton, Marco, Miguel, Willian, Izaquiel, Domingos, Valdo, Abdias, Conrado, José Augusto, Cássio, Elton e Lucas pelo convívio harmonioso e produtivo ao longo desta caminhada e pela imensa ajuda e esforço na implantação e condução do experimento;

A meus tios Lourival e Teresinha Miranda e família, pelo fortalecimento dos laços familiares;

A Sr. Walter e Sra. Ana Maria por me tratarem como filho em todos os aspectos;

E em especial, à Minha esposa Rafaela Barreira, por ser o pivô de toda essa trajetória.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	<del>13</del> <sup>12</sup>
2.1 A cultura do milho .....	13
2.2 Importância socioeconômica .....	13
2.3 Clima .....	<del>14</del> <sup>13</sup>
2.5 Adubação nitrogenada .....	16
2.6 <i>Azospirillum brasiliense</i> como fonte alternativa de nitrogênio .....	17
2.8 Índice de área foliar .....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	21
3.1 Localização .....	21
3.2 Função de produção .....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	28
4.1 Rendimentos do Milho .....	28
4.3 Índice de área foliar do milho .....	31
4.4 Altura de inserção da espiga .....	34
3. CONCLUSÕES .....	38
5. REFERÊNCIAS .....	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Dados climáticos para o município durante o experimento - INMET. ....	22
Figura 2 – Croqui da área experimental. ....	24
Figura 3 – Área experimental antes e depois da aplicação do herbicida .....	24
Figura 4 – Modelo estatístico proposto por Frizzone (1986). ....	<del>26</del> <sup>27</sup>
Figura 5 – Superfície de resposta do rendimento do milho $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em função das doses de adubação nitrogenada (N, em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) e doses de inoculante (I, em $\text{mL}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). ....	29
Figura 6 – Rendimento do milho grão ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) em função das doses de adubação nitrogenada (N, em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). ....	30
Figura 7 - Superfície de resposta do índice de área foliar IAF em função das doses de adubação nitrogenada (N, em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) e doses de inoculante (I, em $\text{mL}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). ....	33
Figura 8 - Superfície de resposta da altura de inserção da espiga (cm) em função das doses de adubação nitrogenada (N, em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) e doses de inoculante (I, em $\text{mL}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). ....	35
Figura 9 – Altura de inserção da espiga (AIE) em função das doses de adubação nitrogenada (N, em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). ....	36
Figura 10 – Altura de inserção da espiga (AIE) em função das doses de inoculante (I, em $\text{mL}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). ....	37



## INOCULAÇÃO FOLIAR E ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO MILHO

**Autor:** Hygor Martins Barreira

**Orientador:** Prof. Dr. Francisco Edinaldo Pinto Mousinho

**Co-orientador:** Prof. Dr. Carlos José Gonçalves de Sousa Lima

**RESUMO** – O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho agrônômico da cultura do milho grão semeado sob sistema de plantio direto em estabelecimento com diferentes doses de inoculante contendo *Azospirillum brasiliense* aplicado via foliar associado com doses de nitrogênio fóssil nas condições edafoclimáticas de Teresina, estado do Piauí. O experimento foi conduzido de fevereiro a junho de 2014, em um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico na área experimental do Colégio Técnico de Teresina (CTT), da Universidade Federal do Piauí (UFPI), em Teresina-PI. Foi utilizado o híbrido de Milho PIONEER 35F53H, com o stand de 66.667 plantas por hectare. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com arranjo fatorial 5x4, constituídos de cinco doses de Nitrogênio (0, 75, 150, 225, 300 kg ha<sup>-1</sup>) e quatro doses de inoculante (0; 0,1; 0,15; 0,2 L ha<sup>-1</sup>), com quatro repetições, totalizando 80 parcelas. Foram avaliados o rendimento de grãos, o índice de área foliar e a altura de inserção da espiga. Houve efeito significativo das doses de nitrogênio e inoculante sobre o rendimento, índice de área foliar e altura de inserção da espiga do milho, porém sem interação entre os dois fatores. O rendimento máximo de milho estimado foi de 12.123,97 kg ha<sup>-1</sup> obtido com as doses 265,61 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio associado a 197,34 mL ha<sup>-1</sup> do inoculante. A aplicação foliar do *Azospirillum brasiliense* independentemente da adubação nitrogenada, não proporcionou aumento no rendimento do milho. O maior índice de área foliar estimado foi 2,69 com a dose 266,75 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio e 300,2 mL ha<sup>-1</sup> de inoculante. A maior altura de inserção da espiga foi obtida com a dose 186 mL de inoculante com 243,39 kg ha<sup>-1</sup> de Nitrogênio.

**Palavras chave:** *Zea mays* L, bactérias, produção.

## LEAF INOCULATION AND NITROGEN FERTILIZATION IN THE CORN CROP

**Author: Hygor Martins Barreira**

**Adviser: Prof. Dr. Francisco Pinto Edinaldo Mousinho**

**Co-adviser: Prof. Dr. Carlos José Gonçalves de Sousa Lima**

**ABSTRACT:** The objective of this study was to evaluate the agronomic performance of the grain maize sown under no-tillage system establishment with different doses of inoculant containing *Azospirillum brasiliense* applied foliar associated with fossil nitrogen levels in the soil and climate conditions of Teresina, state of Piauí. The experiment was conducted from february to june 2014, in a Red-Yellow Dystrophic Ultisol in the experimental area of Technical College of Teresina (CTT), Federal University of Piauí (UFPI), in Teresina-PI. It was used Pioneer corn hybrid 35F53H, with the stand of 66,667 plants per hectare. The experimental design was a randomized block with factorial arrangement 5x4, made up of five doses of nitrogen (0, 75, 150, 225, 300 kg ha<sup>-1</sup>) and four doses of inoculant (0, 0.1, 0.15 , 0.2 L ha<sup>-1</sup>), with four repetitions, totaling 80 plots. They were evaluated grain yield, leaf area index and the ear height. There was a significant effect of nitrogen and inoculant on income, leaf area index and height of the corn cob insertion, but no interaction between the two factors. The maximum yield of corn was estimated to 12123.97 kg ha<sup>-1</sup> obtained with doses 265.61 kg ha<sup>-1</sup> of nitrogen associated with 197.34 ml.ha<sup>-1</sup> inoculant. The foliar application of *Azospirillum brasiliense* irrespective of nitrogen fertilization didn't improve the yield of maize. The a better leaf area index was estimated 2.69 to 266.75 kg ha<sup>-1</sup> dose of nitrogen and 300.2 ml ha<sup>-1</sup> inoculant. The greater height of ear insertion was obtained with the dose 186 ml of inoculant with 243.39 kg ha<sup>-1</sup> of nitrogen.

**Keywords:** *Zea mays*, bacterium, production.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos dez anos a produção do milho no Brasil, chegou a 45 milhões de toneladas, aumentou nesse período 3,6 milhões de hectares, e obteve um aumento na produtividade de 176%. Esse aumento em parte se deve ao crescimento da área plantada que foi de 25 % quando comparado com a área em 2005 (CONAB, 2014). Embora com um grande potencial produtivo, o Brasil tem seu rendimento médio aproximadamente de 5 toneladas por hectare, ainda inferior aos Estados Unidos e China 9.6 e 5.5 Ton ha<sup>-1</sup> respectivamente, segundo Agriannual (2011). Já no Nordeste brasileiro cuja participação na safra 2013/2014 foi de 9,5 % da produção nacional, o aumento da produtividade foi acima da média nacional chegando a 248 %. (CONAB, 2014).

O estado do Piauí considerado uma das últimas fronteiras agrícolas do Brasil, apresentou um significativo aumento da produção de milho na última década com 834 mil toneladas de grãos. Parte desse aumento foi obtido com a abertura de novas áreas que chegou a 110 mil hectares, representando 31% do total das áreas cultivadas no estado. Segundo dados de levantamento da CONAB (2014), a área cultivada no Piauí em 2014 foi de 372 mil hectares de milho, com uma produção de 959 mil toneladas, resultando uma produtividade de 2,5 ton ha<sup>-1</sup>.

O emprego de tecnologias como manejo adequado do solo, zoneamento agroclimático, máquinas de alto desempenho e precisão, monitoramento e controle de pragas e doenças, cultivares de alta produtividade, uso de fontes alternativas de nitrogênio, entre outras, possibilitou um incremento médio de 1,8 ton ha<sup>-1</sup> na produtividade. Nesse período, o estado do Piauí aumentou a produtividade em 383 %, muito superior à média nacional e ultrapassou a média da região nordeste, colocando-se em segundo lugar entre os estados com maior crescimento da produtividade de todo o Brasil, atrás apenas do Rio Grande do Sul que obteve 437%.

Boa parte do sistema de plantio de milho no Brasil, sobretudo no Nordeste ainda é convencional, haja vista algumas particularidades de infraestrutura (MATIAS, 2013) e por haver novas aberturas de áreas. No entanto a utilização do mesmo tem possibilitado produtividades relevantes. Porém, a importância do sistema de plantio direto é uma realidade tecnológica que revolucionou a agricultura no Brasil desde 1970 do ponto de vista da viabilidade econômica no uso do solo e acima de tudo da sustentabilidade da agricultura.

Para um bom desenvolvimento e consequente rendimento do milho, além da correção da acidez do solo, é necessário que haja práticas corretas de adubação para suprir as

exigências nutricionais da cultura (FARINELLI; LEMOS, 2011). Segundo Primo (2012), o nitrogênio é um dos elementos mais exigido pela cultura do milho. O aumento do uso de fertilizantes nitrogenados é o principal fator que tem contribuído para o aumento da produtividade deste cereal.

No Brasil, a quantidade média de nitrogênio usado por hectare em lavouras comerciais é de 60 kg.ha<sup>-1</sup> enquanto nos Estados Unidos e na China é de 150 Kg.ha<sup>-1</sup> e 130 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente (FARINELLI, 2012). A utilização de fontes alternativas de nitrogênio tem sido foco nas pesquisas de diversas instituições públicas e privadas, desde a década de 70 por se tratar de um fator que representa cerca de 40% do custo de produção da cultura (FIORI et al., 2011).

Os microrganismos simbióticos, que tem como função fixar o nitrogênio atmosférico ao solo e posteriormente disponibiliza-lo às plantas, tem-se tornado cada vez mais explorado, na agricultura brasileira, graças aos resultados produtivos ocorridos com a inoculação dos mesmos nas sementes e foliares. A fixação de nitrogênio por bactérias *Azospirillum brasiliense* em gramíneas, sobretudo o milho, tem representado ganhos em produtividades além de tornar-se uma possibilidade de reduzir a utilização da adubação sintética, que por sua vez é esgotável e de alto custo, sobretudo para a agricultura brasileira. Frente a essa realidade, faz-se importante estudar a melhor relação possível entre o nitrogênio fóssil com a fonte biológica desse elemento, que possibilite o aumento no rendimento da cultura do milho além de conhecer as limitações e as possíveis causas do mau uso da mesma e assim interferir de forma adequada no planejamento e execução do uso desse importante nutriente para a cultura do Milho.

Há uma demanda pelo conhecimento dos benefícios do uso de *Azospirillum brasiliense* no milho em clima tropical, em face de realidade na qual se insere como uma planta de cultivo em condições agroclimática diversa e pela importância do seu uso para os interesses do homem desde a alimentação humana e animal até a indústria de alta tecnologia. Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho agrônômico da cultura do milho semeado na palha sob diferentes doses de inoculante contendo *Azospirillum brasiliense* aplicado via foliar associado com nitrogênio fóssil nas condições edafoclimáticas da microrregião do município de Teresina, estado do Piauí.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A cultura do milho

A cultura do Milho *Zea mays* L. tem uma grande importância para o Brasil, sendo uma *commodity* com expressivo valor na balança comercial brasileira, além de servir em diversos setores de interesse para o homem que vai desde a alimentação humana e animal das mais diferentes formas até a indústria de alta tecnologia.

O milho é uma planta monoica, da família Poaceae, de porte ereto, de ciclo anual, classificada no grupo das plantas C4, ou seja, mais econômica quanto ao uso da água, perdendo menor quantidade de água durante a fixação do CO<sub>2</sub> (TAIZ & ZEIGER, 2009), isso a torna mais adaptável às diferentes condições ambientais, sobretudo na região tropical. As raízes são fasciculadas, podem crescer bastante dependendo das condições e tipos do solo e ainda produzir grandes quantidades de matéria seca, de 30 a 40 toneladas por hectare (BARROS et al.,2014).

### 2.2 Importância socioeconômica

Segundo Fancelli (1986), a fenologia da cultura do milho é normalmente caracterizada pelas seguintes fases: fase de emergência (Ve) que compreende o período de exposição do epicótilo aos raios solares para a partir de então, iniciar a autotrofia, seguido da fase de desenvolvimento desde a primeira folha propriamente dita (V1) até a última folha emitida antes do apendoamento. As fases são definidas conforme a formação do colar de inserção da bainha da folha com o colmo contando de cima pra baixo. Inicia-se o pendramento (Vt), fase compreendida até a emissão do último ramo do pendão completamente visível. Daí inicia-se a fase reprodutiva (R1), compreendendo a visualização dos órgãos reprodutivos (estilos e estigmas) fora das brácteas, em seguida as fases são baseadas ao tempo após o florescimento; (R2) 10 a 14 dias após o florescimento grão leitosos; (R3) 18 a 22 dias após o florescimento grão pastosos; (R4) 24 a 28 dias após o florescimento, grão farináceos duros; (R5) 35 a 42 dias após o florescimento e (R6) 55 a 65 dias após o florescimento. Esse padrão de desenvolvimento pode variar entre diferentes híbridos, estações do ano, datas e locais de plantio (OLIVEIRA, 2012).

### 2.3 Clima

Segundo Fornasieri (2007), a maior parte da área mundial cultivada com milho, é conduzida em condições de climas temperado, subtropical e tropical. A temperatura ainda é considerada o principal fator limitante para expansão da cultura no planeta. CHANG (1981), mostra que em latitudes elevadas obtém-se produtividade em nível de campo até quatro vezes maior que nos trópicos. Outro fator importante é a disponibilidade hídrica, segundo Mousinho (2009), nas regiões áridas e semiáridas contribuem para ocorrência de risco devido a irregularidade na distribuição temporal e espacial das chuvas.

A potencialidade na produção da cultura do milho, além das características genéticas está diretamente relacionada com os fatores edafoclimáticos, que por sua vez, requerem um planejamento adequado da produção. O milho é considerado uma cultura de dias curtos ou neutro (CHANG, 1974). Ainda que, dias longos possam influenciar no desenvolvimento vegetativo e propiciar uma maior produtividade, em condições de clima tropical, a cultura do milho apresenta ciclo variável, caracterizando-se como super-precoce, precoce e normal, ocorrendo normalmente entre 110 a 180 dias após a emergência (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000). Em função das variações dos elementos do clima e os fatores que os influenciam em diferentes regiões do Brasil, sobre o rendimento do milho, foram elaborados e disponibilizados pelo MAPA (Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento), mapas do zoneamento agroclimático para o milho, com base na temperatura, disponibilidade hídrica e distribuição da precipitação pluviométrica de cada região de interesse (MEDEIROS, 2004). Com isso o planejamento das atividades para estabelecimento da cultura na região tornou-se mais fácil.

### 2.4 Manejo do solo

Como um importante fator de produção na implantação de qualquer cultura, o preparo do solo está diretamente relacionado ao seu desenvolvimento e produção, uma vez que fornece as condições necessárias à germinação da semente e acesso ao nutriente vital para o crescimento da mesma (ROCHA, 2010). Sobretudo em regiões de solo com baixo teor de argila e alta evapotranspiração, o preparo do solo torna-se um aliado à produtividade, pois a cultura do milho torna-se sensível ao déficit hídrico nessas condições.

A cultura do milho no Brasil e no mundo vem ao longo dos anos, crescendo sua produção e produtividade, graças ao uso de tecnologias como sementes melhoradas geneticamente, utilização de fontes alternativas de nutrientes (nitrogênio através de bactérias

diazotróficas) e metodologias com adensamento do espaçamento, manejo sustentável do solo. Ainda que de maneira geral, o potencial genético da semente é responsável por 50% do rendimento final de uma lavoura de milho (PEREIRA, 2003).

O manejo inadequado do solo é sem dúvidas um dos fatores que tem contribuído para as baixas produtividades na região nordeste. O sistema de plantio direto possui indiscutíveis benefícios à cultura do milho, no entanto é necessário o seu estabelecimento que segundo Bernardes (2003), que ocorre após o 3º ou 4º ano dependendo do histórico da área e atendendo os princípios do SPD (sistema de plantio direto), como cobertura vegetal permanente e rotação de culturas.

A abertura de novas áreas no cerrado piauiense nos últimos anos tem contribuído para o aumento do sistema convencional de manejo do solo no estado, associado aos baixos preços da *commoditie* e ao alto custo de produção, tem levado os produtores a tomar medidas inadequadas quanto ao uso sustentável do solo, como utilização de encostas, ausência de práticas conservacionistas como terraceamento das áreas com tendências a erosão, entre outras.

A movimentação intensiva do solo pelo preparo convencional, ou seja, a retirada da cobertura vegetal original para implantação dos cultivos agrícolas, sob manejo inadequado do solo, vem promovendo o desequilíbrio químico, físico e biológico do meio (CENTURION; CARDOSO; NATALE, 2001; ROSA OLSZEWSKI; MENDOÇA, 2003).

O sistema convencional de preparo do solo é indispensável para a futura instalação do SPD, pois a rapidez do retorno dos benefícios do mesmo tem ligação direta com o preparo bem feito, como aeração do solo com subsolagem ou aração profunda, utilização do controle de tráfego para evitar compactação, além do reflexo direto aos custos de produção.

O sistema de plantio direto no Brasil foi criado com o intuito de controlar a erosão, no entanto, com o passar do tempo e a substituição do plantio convencional pelo SPD, aumentaram o interesse pelas plantas de cobertura que por sua vez contribuía para auxiliar no controle da erosão ao passo que melhoraria os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, refletindo diretamente na produtividade (FORNANSIERI FILHO, 2007).

As gramíneas têm um papel importante no uso conservacionista do solo, sobretudo o plantio direto. O milheto (*Pennisetum clandestinum* L.) segundo Bernardes (2004), é uma gramínea que contribuiu significativamente para a expansão do plantio direto na região dos Cerrados). Sua principal característica é a maior resistência ao déficit hídrico, maior produção de biomassa e um baixo custo das sementes (SILVA et al., 2006).

Já as leguminosas, além de serem culturas de interesse comercial, também possuem sua contribuição aos meios de produção e conservação ambiental, pois propiciam cobertura do solo, fixam o nitrogênio atmosférico através da simbiose com microrganismos do solo, ciclam nutrientes do solo e contribuem para redução da contaminação do lençol freático (BERTIN; ANDRIOLI; CENTURION, 2005).

Bertin, Andrioli e Centurion (2005), em Jaboticabal, observaram que a maior produção de grãos foi obtida pelo cultivo de milho em sucessão à crotalária-juncea do que sobre o milheto, sendo este resultado atribuído ao maior sincronismo na liberação de nutrientes da crotalária com a demanda da cultura do milho, comparado ao milheto. Estudos realizados no cerrado com diferentes coberturas vegetais, principalmente com gramíneas e leguminosas, tem demonstrado existir grande variabilidade de resultados (FABIAN, 2009).

A melhoria da fertilidade do solo através do uso de sistemas conservacionistas, reduz a poluição do meio ambiente e o uso de fertilizantes ao passo que torna o solo um sistema sustentável, (MATIAS, 2013).

O cultivo do milho em rotação com soja tem produzido bons resultados (ARAÚJO et al. 2004). ROCHA (2010) trabalhando com diferentes doses de N em cobertura com uréia e as sequências de culturas milho-milho-milho e milho-soja-milho, observou um aumento em relação à testemunha de 28% na produção de grãos de milho. Apesar das comprovações do incremento na produtividade da cultura do milho, nem todo o N aplicado é efetivamente utilizado pela planta, pois diversos fatores influenciam no aproveitamento do nitrogênio no sistema solo-planta, especialmente o modo de preparo do solo, tipo de adubo utilizado e características de solo e clima (ROCHA, 2010). Nesse sentido, faz-se necessário conhecer a dinâmica de respostas em produtividade nas diferentes regiões produtoras do cereal.

Do ponto de vista ambiental, um fator de grande repercussão mundial, tem sido a emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Segundo Zinn et al. (2005), as maiores taxas de decomposição da MOS (matéria orgânica do solo) observadas em áreas cultivadas são causadas pela perturbação física do solo, rompendo os macroagregados e expondo a MO protegida aos processos microbianos, contribuindo, dessa forma, para aumentar as taxas de emissão de CO<sub>2</sub>.

## **2.5 Adubação nitrogenada**

O nitrogênio é um elemento imprescindível para o metabolismo das espécies vegetais (SANTOS et. al., 2014), como também ao pleno, desenvolvimento e produtividade do milho,



devido a sua presença na estrutura de um grande número de moléculas essenciais às células, como aminoácidos, proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos, citocromo, clorofilas (BULL E CANTARELLA, 1993 citado por GROSS, 2006). Essa importância deve-se ao fato de o mesmo ser requerido em grande quantidade que varia entre 125 e 160 kg.ha<sup>-1</sup> (ROCHA 2010). As doses de N em cobertura promovem acréscimos na altura de inserção de espiga, altura de plantas, diâmetro de espiga, número de grãos por espiga e massa de 100 grãos (GOES et al., 2014).

A intensificação da atividade microbiana para o fornecimento de N às plantas, são promovidos também pelos sistemas agrícolas tais como, plantio direto, áreas com adubo verde, etc., (CANTARELLA, 2007; MATIAS, 2013). Para garantir a produção, utilizam-se altas doses de fertilizantes nitrogenados, gerando grande impacto econômico e ambiental, fazendo com que o gasto com tais suprimentos possa chegar até 40% do custo total (FONSECA et. al., 2014).

O Brasil é um grande produtor de grãos e, portanto, um grande consumidor de fertilizantes nitrogenados e por não ser autossuficiente, importa cerca de 75% do total utilizados na agricultura (ANDA, 2014). A grande maioria desses fertilizantes é proveniente de países como China, Rússia, Ucrânia, que são grandes exploradores desses insumos, destacando-se principalmente a uréia (VILI et al., 2011). Cantarella et al. (1997), Souza et al. (2003), Coelho (2007) e Pavinato et al. (2008), para a obtenção de altas produtividades, a recomendação é utilizar 60-100 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura em cultivo de sequeiro, e 120-160 kg ha<sup>-1</sup> de N, em cultivo irrigado.

Veloso et al. (2006) em sistema de preparo convencional do solo, verificaram produtividade máxima de grãos de milho com 180 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, enquanto Meira et al. (2009) obtiveram maior produtividade com doses de 90 a 120 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Peres et al. (2013), em sistema de preparo convencional do solo, obtiveram maior produtividade de grãos de milho com a aplicação de 30,9 kg ha<sup>-1</sup> de N associado com 400mL ha<sup>-1</sup> de inoculante via foliar. Quanto ao sistema plantio direto, alguns trabalhos de pesquisa também têm demonstrado resposta a doses de N entre 90 kg ha<sup>-1</sup> (SILVA et al., 2005) e 150 kg ha<sup>-1</sup> (GOMES et al., 2007).

## **2.6 *Azospirillum brasiliense* como fonte alternativa de nitrogênio**

O alto custo de produção do milho no Brasil, a ausência de matéria prima suficiente para suprir a demanda onde faz-se necessário a importação da maior parte do nitrogênio, atrelado à falta de subsídios como ocorre nos países maiores produtores da cultura, torna o

uso das fontes alternativas de N, como as bactérias diazotróficas, uma opção viável econômica e ambientalmente. São inúmeros os microrganismos existentes no solo que são benéficos às plantas, no entanto, somente as bactérias ou rizobactérias (KLOEPPER et al., 1989), ou seja, bactérias que vivem na rizosfera e são capazes de colonizar os tecidos de diversos vegetais, beneficiando o desenvolvimento das plantas através da fixação de nitrogênio. Dentre estes, encontram-se as bactérias do gênero *Azospirillum* que tornaram conhecidas a partir dos resultados de pesquisas realizados por DOBEREINER (1966), trabalhando com *Paspalum notatum* (grama batatais).

Uma forma da utilização das bactérias é através de inoculantes, cujo interesse na sua utilização tem crescido bastante nos últimos anos no Brasil, e deve aumentar nos próximos anos devido principalmente ao aumento dos custos de fertilizantes, e preocupação pela agricultura sustentável (HUNGRIA et al., 2010). Dentre os diversos inoculantes no mercado disponíveis para o milho que contém a bactéria do gênero *Azospirillum* tem sido o mais utilizado graças a maior sobrevivência no solo, maior promoção de crescimento das plantas e maior adaptação às tecnologias utilizadas nas culturas do milho e do trigo (HUNGRIA, 2011).

A técnica de inoculação de *Azospirillum brasiliense* pode gerar uma economia de 30 a 50 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrogênio na forma de adubo sintético (FANCELLI, 2010). Essas bactérias rompem a tripla ligação do N<sub>2</sub> atmosférico e o reduz à amônia, melhorando o desenvolvimento das raízes e da parte aérea, incrementando a absorção de água e minerais e as tornando mais tolerantes aos estresses abióticos como a salinidade e déficit hídrico (MIRANDA, 2013).

Os hormônios sintetizados por *Azospirillum* influenciam a taxa de respiração, o metabolismo e a proliferação da raiz, melhorando, portanto, a absorção de minerais e de água em plantas inoculadas (OKON e ITZIGSOHN, 1995). Essas bactérias associadas às plantas não leguminosas podem ser classificadas como bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs), por serem capazes de promover benefícios às plantas, não apenas pela FBN, mas também pela estimulação do desenvolvimento de raízes nos primeiros estádios de crescimento, que pode ser responsável pelo impacto positivo da inoculação (SALA et al., 2007).

Trabalhos realizados em diferentes regiões do país comprovam o uso de promotores de crescimento através de inoculação via foliar na cultura do milho como medida de diminuir custos de produção ao passo que contribui com a conservação ambiental.

Peres et al. (2013), avaliando o uso de bactérias promotoras de crescimento com aplicação via foliar na cultura do milho, associado a adubação nitrogenada em um Latossolo vermelho distrófico típico argiloso em São Paulo, observaram que doses de até 100 ml ha<sup>-1</sup> de inoculante via foliar proporcionaram aumento na produtividade com o aumento linear da dose de nitrogênio em cobertura no milho safrinha e obtiveram a maior produtividade com a dose de 400 ml ha<sup>-1</sup> de inoculante associado com 30,9 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio em cobertura.

Em estudo no Rio de Janeiro-RJ, Busato et al. (2015), observaram que a utilização de bactérias promotoras de crescimento contribuem acima de tudo para a soberania da segurança alimentar e economia do uso da água e dos fertilizantes não renovável, utilização mais eficiente dos fertilizantes e menor contaminação ambiental.

Segundo Bartchechen et al. (2010), a inconsistência dos resultados de pesquisa, sobre a utilização do *Azospirillum* na cultura do milho tem se tornado uma barreira, pois os resultados podem variar de acordo com a cultivar, as condições edafoclimáticas e a metodologia de condução nos campos experimentais.

## 2.7 Altura de inserção da espiga

A altura de inserção da espiga é uma variável morfológica de grande importância para a avaliação do rendimento do milho. Esta variável pode ter relação direta com o índice de acamamento e perdas de grãos na colheita segundo (LI et al., 2007 citado por SILVA, 2014).

Tsujigushi et al. (2014), pesquisando sobre consórcio do milho safrinha com *Brachiaria ruziziensis* no Mato Grosso, observaram uma significativa influência do manejo da adubação sobre a altura de inserção da espiga, sobretudo em deficiência do potássio.

Leite et al. (2014) observaram em trabalho com milho safrinha que a altura de inserção da espiga foi sensível à época de plantio, apresentando maior altura quando semeado no mês de fevereiro segundo em trabalho com milho safrinha.

## 2.8 Índice de área foliar

O índice de área foliar (IAF) é a relação entre a área foliar de uma determinada planta e a área do terreno por ela ocupado (WATSON, 1952), por metro quadrado (SANGOI, 2011). A área foliar é de um modo geral, um importante parâmetro na determinação da capacidade fotossintética, da densidade ótima de plantio, da relação solo-água-planta, ou em investigações sobre nutrição de várias culturas (NASCIMENTO, 2009).

Existe uma grande associação entre a produtividade da cultura e a superfície total fotossinteticamente ativa, representada pelo Índice de Área Foliar (IAF) (IRVINE, 1975).

A produção de grãos é dependente da área foliar fotossinteticamente ativa da planta, sendo que, folhas bem nutridas de N possuem maior capacidade de assimilar CO<sub>2</sub> e sintetizar carboidratos durante a fotossíntese (FANCELLI e DOURADO NETO, 2004; citado por CIVARDI et al., 2011). No caso da cultura do milho, como a área é o produto do espaçamento entre planta e entre fileira, ao passo que a área foliar (AF) aumenta, o índice também aumentará, atingindo um ponto de autosombreamento, que por sua vez torna-se prejudicial, dificultando a penetração da radiação solar até as folhas basais.

O autosombreamento não só diminui o IAF, como também diminui a evapotranspiração, assim, o IAF torna-se bastante difícil de ser definido, por sofrer influência de fatores ambientais que ocorrem durante o crescimento da cultura (BENINCASA, 1988).

Há diversos métodos para determinação da área foliar. Estes são classificados como destrutivos, não destrutivos, diretos ou indiretos. Os métodos diretos ou destrutivos requerem, na sua maioria, o destacamento das folhas, portanto, tornam-se impossíveis em alguns estudos (MARSHALL, 1968). Já o IAF é obtido multiplicando-se a densidade populacional de perfilhos pela área foliar média por perfilho (LEMAIRE E CHAPMAN, 1996; MATTHEW et al., 2000). Essa metodologia requer esforços e tempo para sua realização. Sbrissia et, al. (2008) pesquisando comparação entre diferentes métodos de estimativa do IAF, observaram que o método baseado na multiplicação entre a densidade populacional de perfilhos e a área foliar média por perfilho mostrou-se relativamente adequado, requerendo apenas cuidados na amostragem dos perfilhos, principalmente em dosséis baixos com perfilhos desfolhados.

Lyra et al., (2014), estudando sobre a elevação das doses de nitrogênio observaram que houve a contribuição para o aumento da altura de planta e do índice de área foliar até a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização

O experimento foi conduzido no período de dezembro de 2013 a junho de 2014, na área experimental do Colégio Técnico de Teresina (CTT), no Centro de Ciências Agrárias (CCA), da Universidade Federal do Piauí (UFPI), Campus Socopo, no Município de Teresina, Piauí, 05°05'21"S de Latitude Sul e 42°48'07" W de Longitude Oeste e Altitude média de 74 m. O sistema de cultivo foi sequeiro e o manejo foi o plantio direto (SPD) em estabelecimento.

O clima do local, de acordo com a classificação Thornthwaite e Mather (1955) é C1sA'a', caracterizado como sub úmido seco, megatérmico, com excedente hídrico moderado no verão. A temperatura média durante o experimento foi de 27,4 °C (INMET, 2014), considerado adequado para o bom desenvolvimento da cultura (FORNANSIERI FILHO, 2007) e próximo ao ideal que é 26 graus para a cultura do milho (LANDAU et al., 2009).

A média anual da precipitação é de 1.182,9 mm, concentrada a maior parte nos meses de janeiro a abril, , umidade relativa do ar de 67,6%, velocidade do vento a 2 metros de altura de 1 m s<sup>-1</sup>, insolação de 8,2 h d<sup>-1</sup> e a evapotranspiração de referência pelo método Penman-Monteith de 5,1 mm.d<sup>-1</sup> com maior intensidade entre os meses de setembro e outubro (BASTOS; ANDRADE JÚNIOR, 2013).

A precipitação registrada durante a condução do experimento entre o período da semeadura e a emergência foi de 77,2 mm e na floração foi em média de 10,49 mm (Figura 1).

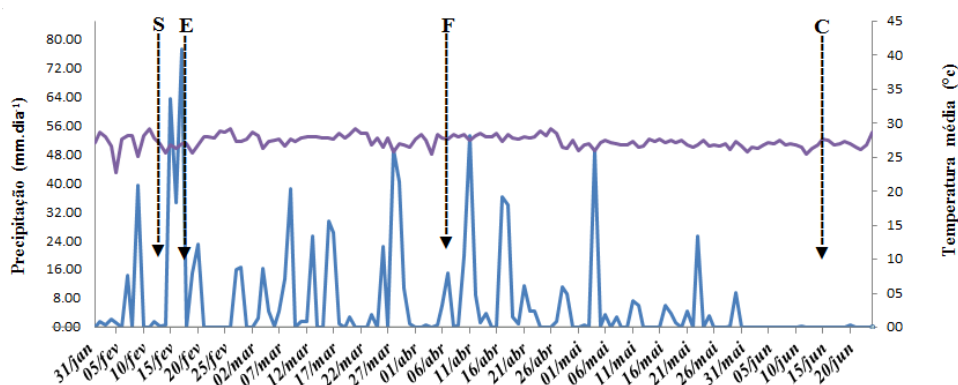


Figura 1. Dados climáticos de Teresina PI ,2014.

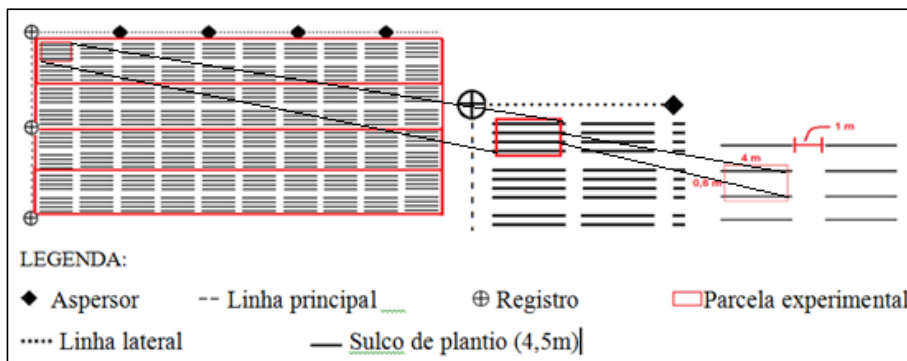
O histórico da área experimental é de cinco anos de pousio com posterior implantação de culturas da família Fabaceae para adubação verde. O solo, segundo metodologia do sistema brasileiro de classificação, é do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, Espessarênico Abruptico. Solos com textura arenosa desde a superfície até uma profundidade superior a 1m e mudança textural abrupta com horizonte B textural dentro de 2 m de profundidade.

Foram coletadas cinco amostras simples nas profundidades de 0-0,1m e 0,1-0,2m com anéis volumétricos que formaram uma amostra composta. As análises foram realizadas no laboratório de análise de solo (LASO) da Universidade Federal do Piauí, cujos resultados estão expressos na Tabela 1. Com base nos resultados da análise, não houve necessidade da calagem do solo.

**Tabela 1.** Caracterização físico-química do solo da área experimental em 2014/Teresina/PI

Prof. (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	MO %	P mg dm <sup>-3</sup>	K <sup>+</sup> -----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H+Al	Areia -----%	Silte	Argila
0-10	6,3	0	0,7	10,3	20,3	1	0,6	1,51	88	10	2
out/20	6,7	1,5	0,83	9,1	21,4	0,92	0,44	1,34	86	13	1

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso DBC, com arranjo fatorial 5x4. Os tratamentos foram constituídos por cinco doses de Nitrogênio da forma de Sulfato de amônio (0, 75, 150, 225, 300 kg ha<sup>-1</sup>) e 04 (quatro) doses de inoculante a base de *Azospirillum brasiliense* (0; 100; 150; 200 mL ha<sup>-1</sup>), com quatro repetições, totalizando 80 parcelas. Cada parcela media 10,8 m<sup>2</sup> de área, composta por quatro linhas com 4,5 metros de comprimento com espaçamento de 0,6 m entre linha e 0,25m entre planta, visando obter uma população total de 66.667 plantas de milho por hectare. O espaçamento entre parcelas foi de 1m, considerando como área útil os 4 m das duas fileiras centrais, ou seja, 4,8m<sup>2</sup> (Figura 2).



**Figura 2.** Croqui da área experimental

Após a marcação das parcelas e abertura dos sulcos de plantio (Figura 3), a adubação fosfatada e potássica foi realizada conforme interpretação da análise do solo para alta produtividade. (RIBEIRO, 1999).



**Figura 3.** Área experimental antes e depois da aplicação de herbicida em Teresina-PI

Foi adicionado ao sulco de plantio o equivalente a 120 kg/ha de fósforo através do adubo mineral superfosfato simples (SS) com dois dias de antecedência à semeadura. A adubação potássica foi realizada usando o Cloreto de Potássio (KCl), equivalente a 90 kg ha<sup>-1</sup> dividido em duas vezes, a primeira com 2 dias de antecedência da semeadura e a segunda 31 DAE (Dias Após a Emergência) das plantas.

A semeadura foi realizada manualmente, após abertura do sulco com auxílio de enxada com aproximadamente 0,1 m de profundidade, de modo a possibilitar que o adubo permanecesse a profundidade de 0,08m e as sementes com 0,05m de profundidade. A adubação nitrogenada foi realizada com sulfato de amônio (S.A.). Dividiu-se em três vezes, a primeira aos dois dias de antecedência à semeadura, a segunda com 15 DAE e a terceira e última com 31 DAE, respeitando as doses referidas na metodologia proposta.

O híbrido de milho utilizado foi o PIONNER 30F53, por ser bastante utilizado na região e apresentar altas produtividades com espaçamento adensado (SANGOI et al., 2011). A emergência ocorreu no quinto dia após a semeadura, o desbaste foi realizado quando as plantas apresentavam três folhas definitivas bem desenvolvidas, (RITCHIE & HANWAY, 1993), visando o estabelecimento de quatro plantas por metro linear.

O controle das plantas indesejáveis foi realizado com aplicação em pós-emergência da cultura, como o uso de herbicidas a base de Tebotriona e Atrazina de ação seletiva e sistêmica, sendo a primeira aos 6 DAE, a segunda os 25 DAE, sendo estas de 0,24 e 6 L ha<sup>-1</sup> respectivamente.

O tratamento fitossanitário foi executado com base no manejo integrado de pragas (MIP), de forma preventiva com utilização de inseticidas a base de Flubendiamida de ação de contato e ingestão, com dose de 0,15 L ha<sup>-1</sup>, com o objetivo de controlar a lagarta do cartucho *Spodoptera frugiperda*. A aplicação foi realizada em duas vezes, a primeira aos 11 DAE e a segunda aos 27 DAE. Todas as aplicações foram realizadas por meio de pulverizador mecânico com acionamento manual.

Para inoculação das plantas utilizou-se inoculante Grammy Crop<sup>®</sup> de natureza física, líquido contendo bactérias fixadoras do nitrogênio associativas da espécie *Azospirillum brasiliense* estirpe BR 11005 (Sp 245). Para constituição da solução, foi utilizada água destilada a 0,5 mol NaCl como veículo para inoculação das bactérias. A aplicação foi realizada no final da tarde com a temperatura amena, e a adubação de cobertura foi realizada pela manhã.

A inoculação foi realizada via foliar através de pulverizador manual (500 ml) com bico cônico, na ocasião da terceira adubação de cobertura, quando as plantas se encontravam no estágio de desenvolvimento V6 (seis folhas completamente expandidas (LANA et al., 2012) e com 31 DAE.

Os parâmetros avaliados foram: altura de inserção da espiga (cm), índice de área foliar (IAF), produtividade (kg h<sup>-1</sup>). As avaliações das características fenológicas da cultura foram realizadas conforme a metodologia adaptada de Andrade et. Al., (2009). A altura de inserção da espiga (AIE) foi determinada com o auxílio de uma fita métrica tendo como base a superfície do solo e o ponto de inserção da espiga principal, os dados foram coletados no período da maturidade fisiológica dos grãos, aos 104 DAE.

Para determinação da área foliar (AF), foi feita uma estimativa do total de folhas verdes (folha totalmente expandida com o mínimo de 50% de área verde). A determinação foi



realizada através da expressão:  $AF = C \times L \times 0,75$ , proposta por STICKLER (1961) utilizada por Sangoi et al. (2007), SEREIA et al. (2011).

Onde:

C: Comprimento máximo da folha desde seu ponto de inserção no colmo até sua ponta

L: Largura do limbo foliar, medida na posição de maior dimensão

F: Fator de correção 0,75 proposto por Montgomery (1911)

As medidas foram coletadas no estágio R1, quando as plantas se encontravam com 54 DAE. Foi utilizada a folha basal à espiga, em quatro plantas por parcela.

O índice de área foliar foi determinado através da equação 1.

Equação 1

$$IAF = AF/S$$

Onde:

IAF: Índice de área foliar

AF: Área foliar

S: Superfície ocupada por uma planta (m<sup>2</sup>)

Nesse período as plantas se encontravam no estágio V10, período da aceleração do crescimento e acumulação de nutrientes e peso seco (MAGALHÃES et al., 2006).

A coleta foi realizada nas duas fileiras centrais, em 4 plantas por parcela, sendo a primeira a 1 m da bordadura da área útil da primeira fila e as demais fazendo um zigue zague com equidistância de 1 metro.

A colheita foi realizada manualmente, em junho de 2014, aos 123 DAE, quando os grãos apresentaram fisiologicamente maduros com aproximadamente 13% de umidade. As variáveis componentes do rendimento foram determinadas após a colheita de todas as espigas da área útil de cada parcela. Sendo que a massa da parcela foi determinada, debulhando manualmente todas as espigas e separando por unidade experimental, em seguida com auxílio de uma balança de precisão (0,1 g) foi realizada a pesagem de cada parcela. Para adequar à umidade padrão de armazenamento do grão (13%), foi coletado uma amostra, pesado com auxílio de uma balança de precisão e levados à estufa para secagem à 105° durante 24 horas, e posteriormente foi pesada para obtenção da umidade. Os valores obtidos foram extrapolados.

para  $\text{kg ha}^{-1}$ . O teste utilizado para análise dos dados foi a regressão polinomial, determinando a curva de resposta para as variáveis de interesse.

### 3.2 Função de produção

No estudo em questão foram consideradas como variáveis independentes o nitrogênio fósfil (N) e a fonte biológica de nitrogênio (I) *Azospirillum brasiliense* e como variáveis dependentes o rendimento de grãos ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ), o índice de área foliar (IAF) e a altura de inserção da espiga (cm).

Foi realizada a análise de variância da regressão utilizando uma planilha eletrônica do Microsoft Office Excel 2010, para escolher o modelo que melhor se ajustou aos dados do experimento, tomando como referência os coeficientes de determinação ( $r^2$ ), o valor de F da análise de variância, os valores de  $-P$  para todos os coeficientes. Na Figura 4 estão apresentados os modelos estatísticos testados, que segundo (HEXEM & HEADY, 1978), apresentaram-se muito satisfatórios com base em pesquisas de campo para representar a função de produção ou resposta de uma cultura.

$\hat{Y} = b_0 + b_1I + b_2N + b_3I_{0,5} + b_4N_{0,5} + b_5I_{0,5}N_{0,5} + e_i$	(01)
$\hat{Y} = b_0 + b_1I + b_2N + b_3I_{0,5} + b_4N_{0,5} + b_5IN + e_i$	(02)
$\hat{Y} = b_0 + b_1I + b_2N + b_3I_{0,5} + b_4N_{0,5} + e_i$	(03)
$\hat{Y} = b_0 + b_1I + b_2N + b_3I^2 + b_4N^2 + b_5IN + e_i$	(04)
$\hat{Y} = b_0 + b_1I + b_2N + b_3I^2 + b_4N^2 + e_i$	(05)
$\hat{Y} = b_0 + b_1I + b_2N + b_3I_{1,5} - b_4N_{1,5} + b_5PN + e_i$	(06)
$\hat{Y} = b_0 + b_1I + b_2N - b_3I_{1,5} - b_4N_{1,5} + e_i$	(07)
$\hat{Y} = b_0 + b_1I + b_2N + b_3I_{1,5} - b_4N_{1,5} + b_5I_{1,5}N_{1,5} + e_i$	(08)
$\hat{Y} = b_1I + b_2N - b_3I^2 - b_4N^2 + b_5IN + e_i$	(09)
$\hat{Y} = b_1I + b_2N - b_3I^2 - b_4N^2 + e_i$	(10)

**Figura 4.** Modelos estatísticos testados (HEXEM & HEADY, 1978),

Sendo:

$\hat{Y}$ : rendimento da cultura do milho ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) ou índice de área foliar (IAF) ou altura de inserção da espiga (cm);

I: fator doses de inoculante (*Azospirillum brasiliense*), em  $\text{ml ha}^{-1}$ ;

N: fator doses de nitrogênio, em  $\text{kg ha}^{-1}$ .

De posse do modelo escolhido foram determinadas as doses de nitrogênio fóssil e inoculante que proporcionaram respectivamente os maiores valores de rendimento, o índice de área foliar e a altura de inserção da espiga.

Para representar a variação do rendimento, do índice de área foliar e da altura de inserção da espiga, em função das doses de nitrogênio e inoculante, foram elaboradas as respectivas superfícies de resposta utilizando o software STATISTICA 9.0.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Rendimentos do Milho

As médias do rendimento do milho em função das doses de adubação nitrogenada e inoculante estão apresentadas na Tabela 2. O maior rendimento observado foi 12.7 ton ha<sup>-1</sup>, obtido no tratamento com 300 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio fóssil sem o inoculante. O menor rendimento observado foi de 3.1 ton ha<sup>-1</sup>, no tratamento sem o uso de adubação nitrogenada e com a aplicação de 100 ml ha<sup>-1</sup> de inoculante. Pode-se observar na Tabela 2, que a variação entre o maior e o menor rendimento foi de 75,4%. Observa-se que a média geral dos rendimentos foi de 9,34 ton ha<sup>-1</sup>, caracterizando um excelente rendimento principalmente quando comparado com a média nacional que é de 5.05 ton ha<sup>-1</sup>, e sobretudo com a média do estado do Piauí que foi de 2.6 ton ha<sup>-1</sup> na safra 2013/2014 (CONAB, 2014).

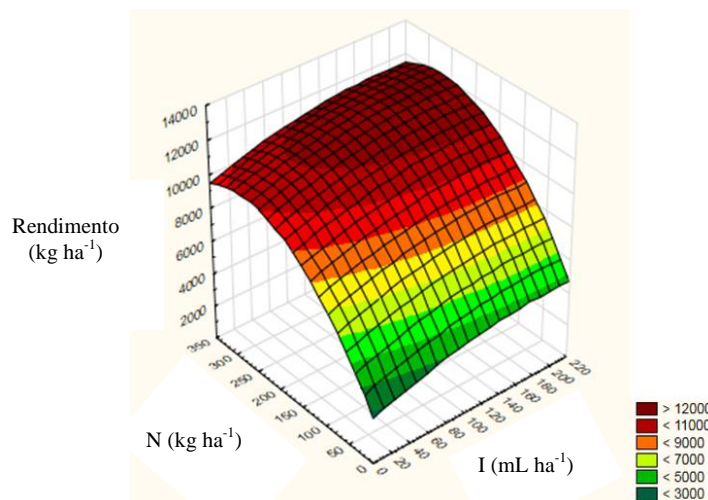
**Tabela 2.** Rendimento médio do milho grão (kg ha<sup>-1</sup>), em função das doses de nitrogênio e inoculante para o município de Teresina-PI em 2014.

Dose de Nitrogênio kg ha <sup>-1</sup>	Dose de inoculante (ml.ha <sup>-1</sup> )				Médias
	0	100	150	200	
<b>0</b>	3221.97	3125.00	3510.42	4854.17	<b>3677.89</b>
<b>75</b>	7950.52	10034.72	10811.20	8750.00	<b>9386.61</b>
<b>150</b>	10841.15	10307.29	10166.67	10805.56	<b>10530.17</b>
<b>225</b>	12192.71	12252.60	12104.17	11192.71	<b>11935.55</b>
<b>300</b>	12729.17	9882.29	10591.15	11572.40	<b>11193.75</b>
	<b>9387.10</b>	<b>9120.38</b>	<b>9436.72</b>	<b>9434.97</b>	<b>9344.79</b>

Com base na análise de variância da regressão, pode-se afirmar que a dose de adubação nitrogenada e inoculante apresentaram efeito significativo ( $P < 1\%$ ) sobre o rendimento do milho. Com base no resultado da análise de variância da regressão, para o rendimento de grãos em função das doses de nitrogênio e inoculante, o modelo que melhor representou esta variação do rendimento com os dois fatores foi a Equação 2, que apresentou resposta quadrática do rendimento às doses de nitrogênio e inoculante. De acordo com o modelo estatístico escolhido pode-se constatar que a interação entre as doses de nitrogênio e inoculante não foi significativa para a variável estudada. Esse resultado discorda do encontrado por Peres et. al. (2013), que apresentou interação significativa entre doses de nitrogênio em cobertura e dose de inoculante via foliar na cultura do milho em Latossolo vermelho amarelo distrófico no Mato Grosso do Sul.

De acordo com o modelo escolhido Equação 2, pode-se estimar o máximo rendimento de grãos de milho seco com 13 % de umidade em 12,73 ton ha<sup>-1</sup> obtido com as doses 265,61 kg ha<sup>-1</sup> e 197,34 ml ha<sup>-1</sup> de nitrogênio e inoculante, respectivamente (Figura 5).

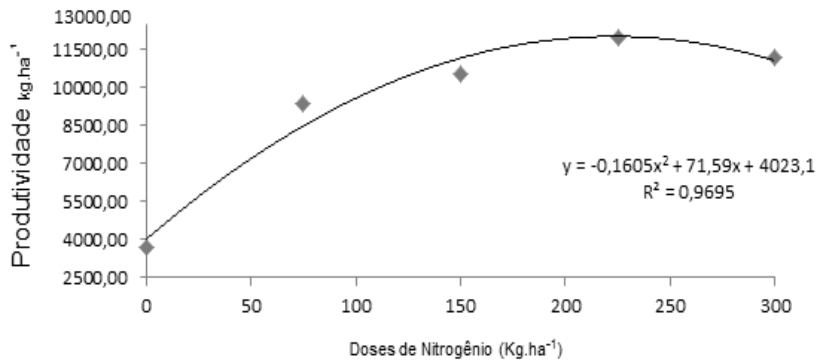
$$12.123,97 = 2.749,08 + 3.968,51I + 14.438,56N - 1.947,15I^2 - 7.054,86N^2$$



**Figura 5.** Superfície de resposta do rendimento do milho kg ha<sup>-1</sup> em função das doses de adubação nitrogenada (N, em kg ha<sup>-1</sup>) e doses de inoculante (I, em mL ha<sup>-1</sup>).

Analisando os fatores de forma isolada, observa-se que de acordo com a análise de variância da regressão para rendimento de milho em função da dose de adubação nitrogenada, foi observado que houve um efeito significativo ( $F = 0,03 < 0,05$ ).

O rendimento máximo estimado através da equação foi de 12,12 kg ha<sup>-1</sup> com a dose de 223,02 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, observando-se um incremento na produtividade de 6.89,02 kg.ha<sup>-1</sup> em relação à testemunha (N0 I0). No tratamento com a maior dose de N 300 kg.ha<sup>-1</sup>, a produtividade foi 11.193,75 kg ha<sup>-1</sup>, 6,77 % menor que o tratamento N (225 kg ha<sup>-1</sup>), caracterizando um decréscimo no rendimento com o aumento na dose de nitrogênio (Figura 6). Provavelmente a necessidade do nitrogênio, foi suprida pelas bactérias diazotróficas favorecida pelo inoculante fornecido via aplicação foliar (CANTARELLA, 2007). Isso mostra a importância da manutenção da palhada e a utilização dos sistemas de manejo do solo como sistema de plantio direto (SPD) como melhoradores dos atributos físico-químicos do solo.



**Figura 6.** Rendimento do milho grão (kg.ha<sup>-1</sup>) em função das doses de adubação nitrogenada (N, em kg.ha<sup>-1</sup>).

Lanhe (2006), observou que a produtividade do milho foi afetada significativamente pelas doses de nitrogênio, obtendo até 10,85 ton ha<sup>-1</sup> com a dose 160 kg ha<sup>-1</sup> de N. Queiroz et al., (2012), observaram uma produtividade superior à média estadual de Minas Gerais 5.113 kg ha<sup>-1</sup>, para a cultura em dois anos consecutivos 8.482 kg ha<sup>-1</sup> e 8.882 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. A dose que proporcionou o maior rendimento estimado do milho neste trabalho, 223,02 kg ha<sup>-1</sup>, foi superior à recomendada para altas produtividades do milho no bioma cerrado que é 210 kg h<sup>-1</sup> segundo Sousa et al. (2004).

As doses de inoculante não apresentaram efeito significativo sobre o rendimento do milho grão. Esse resultado discorda de Peres et al. (2013), que concluíram que a produtividade do milho safrinha aumentou de forma significativa com a utilização de *Azospirillum brasilense* aplicado via foliar no Mato Grosso do Sul. Ainda que a dose de inoculante possa ter efeito sobre a produtividade de até 20% como observado por Fonseca, et al. (2014), os mesmos autores concluíram ser estatisticamente insignificante nas condições em que foram avaliadas.

Acredita-se que as condições ambientais tenham contribuído no efeito do inoculante sobre o rendimento da cultura do milho como propõe Sala et al. (2007) Pereira et al. (2012) nas condições em que foi realizada a pesquisa. Pereira et al. (2012), trabalhando com *Azospirillum brasilense*, no estado de Goiás, obtiveram um incremento de 21% a mais na produtividade de milho inoculado sem adubação com nitrogênio em cobertura. O mesmo autor ainda afirma que a fixação biológica reduziu com o fornecimento de N mineral. Peres et al (2013), trabalhando com milho safrinha no Mato Grosso do Sul, observaram um acréscimo de 12,82% a mais no rendimento com inoculação do *Azospirillum brasilense*. Portugal et al.

(2012), obtiveram um aumento de 14,75% na produtividade com as plantas inoculadas, utilizando diferentes doses de nitrogênio.

Mesmo não apresentando efeito significativo nas condições estudadas observou-se que o incremento na produtividade do milho grão foi semelhante aos resultados de Hungria et. al. (2010), onde afirmam que dependendo da estirpe bacteriana o milho pode ter um incremento de até 30% na produtividade.

Embora exista afirmação do aumento no rendimento do milho com o uso de bactérias endofíticas, vale salientar que ao contrário das leguminosas, as gramíneas não conseguem suprir totalmente as necessidades de nitrogênio pelas plantas, (HUNGRIA, 2011).

#### **4.3 Índice de área foliar do milho**

A área foliar é uma importante característica condicionadora da produção, pois sua atividade fisiológica continua ativada após emergência das espigas (CASTRO et al., 2008 citado por REPKERA et al., 2014). O índice de área foliar está diretamente relacionado à produtividade da cultura do milho, pois se constitui a principal fonte de foto assimilada para a planta. Esse fator faz-se mais evidente nas condições de clima tropical, sobretudo no município em que foi realizado o estudo, pois com temperaturas elevadas como ocorre em Teresina-PI, o processo de produção dos fotoassimilados torna-se mais evidente, bastando que as necessidades hídrica e nutricional das plantas sejam satisfeitas.

As médias do IAF estão apresentadas na Tabela 3. Pode-se observar a maior variação entre as médias foi de 46,4 %, onde o menor IAF (1,49) foi observado no tratamento com 0 ml.ha<sup>-1</sup> de inoculante e 0 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrogênio e o maior foi (3,21), observado no tratamento com 150 ml.ha<sup>-1</sup> de inoculante e 225 kg.ha<sup>-1</sup> de adubação nitrogenada. Observa-se na Tabela 3, que as variações foram maiores em relação à dose de nitrogênio correspondendo a uma diferença de 59% entre o maior e menor índice. O índice de área foliar médio do experimento foi 2,25.

**Tabela 3.** Médias do índice de área foliar (IAF) em função das doses de adubação nitrogenada (N, em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) e doses de inoculante (I, em  $\text{mL}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

Doses de nitrogênio ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )	Doses de inoculante ( $\text{ml}\cdot\text{ha}^{-1}$ )				Médias
	0	100	150	200	
0	1.49	1.82	1.59	1.60	1.63
75	1.94	1.91	2.15	2.19	2.05
150	2.42	2.34	2.31	2.11	2.30
225	2.44	2.72	3.21	2.70	2.77
300	2.51	2.28	2.41	2.86	2.51
<b>Médias</b>	2.16	2.22	2.33	2.29	2.25

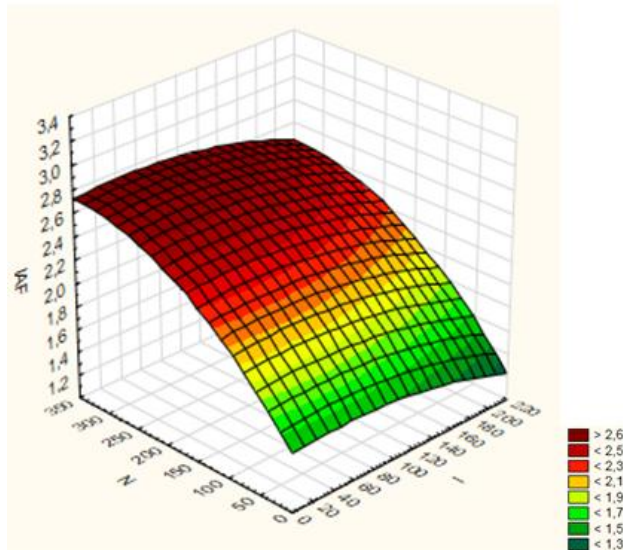
A análise de variância da regressão para o IAF mostrou que houve efeito significativo ( $p < 0,01$ ) pelo teste F, da dose de nitrogênio e inoculante sobre a variável índice de área foliar (IAF).

O modelo escolhido que melhor representou a variação do IAF com base na análise de variância da regressão foi a Equação 3, que teve um comportamento de forma polinomial com resposta quadrática a dose de nitrogênio e inoculante. O modelo apresentou um coeficiente de determinação ajustado igual a 0,72 configurando, portanto, um modelo adequado para explicar os dados do referido experimento.

Com base nos resultados do modelo estatístico escolhido, Equação 3, pôde-se estimar o IAF máximo de 2,69 com a dose  $266,75 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N e  $300,2 \text{ ml}\cdot\text{ha}^{-1}$  de I. Nesse caso o maior índice estimado foi obtido com a dose de inoculante duas vezes maior que a recomendada pelo fabricante que é  $100 \text{ ml}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

De acordo com o resultado da análise de variância da regressão, não houve interação significativa entre os fatores doses de nitrogênio e doses de inoculante sobre a variável IAF.





**Figura 7.** Superfície de resposta do índice de área foliar IAF em função das doses de adubação nitrogenada (N, em kg.ha<sup>-1</sup>) e doses de inoculante (I, em mL.ha<sup>-1</sup>).

Esses valores mostraram-se superiores ao resultado encontrado por Blanco et al. (2011) que trabalhando com lâminas de irrigação em milho verde, puderam concluir que a interação entre o IAF e as doses de nitrogênio foi insignificativa e ainda afirmou que o IAF se apresentou crescente na ausência do inoculante com o aumento na dose do nitrogênio. Os fatores isolados, não apresentaram efeito significativo sobre o índice de área foliar.

$$\hat{Y} = 1,492 + 0,001I^{ns} + 0,007N^{**} - 0,00001I^{2ns} - 0,00001b_4N^{2*}$$

**Equação 1.** Equação polinomial quadrática para o IAF da cultura do milho em Teresina-PI.

Os resultados do presente trabalho corroboram com Repke et al. (2014), que trabalhando com inoculação de semente associado a diferentes doses de nitrogênio em um Latossolo vermelho distroférico, observaram um efeito quadrático no aumento na área foliar com doses superiores à 105 kg.ha<sup>-1</sup> de N. Resultados semelhantes foram obtidos por Sangoi et al. (2012), trabalhando com diferentes populações de plantas em um Nitossolo vermelho distrófico em Santa Catarina, observaram índice de área foliar inferiores a 3,5 com dose 180 kg.ha<sup>-1</sup> de N. Oliveira et al. (2013), trabalhando em um Latossolo com sistema de plantio direto estabelecido desde 2005 no estado do goiás, usando em rotação as culturas Feijão,

Brachiaria e Milheto, respectivamente, como fonte de palhada, encontraram resultados muito superiores chegando ao máximo de 6,6 IAF.

#### 4.4 Altura de inserção da espiga

A altura de inserção da espiga apresenta-se como uma importante característica relacionada com a mecanização, forma mais empregada na colheita do milho grão. Trabalhos indicam que o AIE não apresenta diferenças significativas em relação a densidade de plantas, diferentes tipos de adubos verdes e diferentes sistemas de manejo (AKER et al., 2015; PANDOLFO et al., 2014; CARVALHO et al., 2004)

As médias da altura de inserção da espiga estão apresentadas na Tabela 4. Os dados indicam um aumento na altura de inserção da espiga com o aumento das doses de nitrogênio até a dose 225 kg.ha<sup>-1</sup>. Observa-se que a menor altura 55,92 cm foi obtida no tratamento com 150 ml.ha<sup>-1</sup> de inoculante e 0 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrogênio e a maior altura 89,58 cm no tratamento com aplicação de 100 ml.ha<sup>-1</sup> de inoculante e 225 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrogênio. Isso explica a dependência do nitrogênio para o desenvolvimento vegetativo da planta de milho, logo até a dose 225 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrogênio disponível mostrou-se diretamente ligada à altura de inserção da espiga.

Na Tabela 4 pode-se observar que a altura média de inserção da espiga considerando todos os tratamentos foi de 73,99 cm. Chiavinatti et al. (2011), observaram altura média de inserção superiores a 1 (m) metro em um Latossolo vermelho distroférico no Mato Grosso do Sul. Quanto mais alta for a inserção da espiga menores serão as perdas na colheita mecanizada (POSSAMALET al., 2001), o que a torna um importante fator para avaliar o rendimento do milho.

**Tabela 4.** Médias de altura de inserção da espiga em função das doses de adubação nitrogenada (N, em kg.ha<sup>-1</sup>) e doses de inoculante (I, em mL.ha<sup>-1</sup>).

Dose de Nitrogênio (kg.ha <sup>-1</sup> )	Dose de inoculante (ml.ha <sup>-1</sup> )				Médias
	0	100	150	200	
0	64.25	64.96	55.92	67.92	63.26
75	70.92	70.08	80.38	70.67	73.01
150	72.13	72.50	80.92	74.67	75.05
225	71.97	89.58	80.01	80.50	80.52
300	70.45	79.50	75.55	86.92	78.10
<b>Médias</b>	69.94	75.33	74.55	76.13	73.99

Conforme a análise de variância da regressão observou-se efeito significativo ( $F = < 0,01$ ) da dose de nitrogênio inoculante sobre a altura de inserção de espiga.

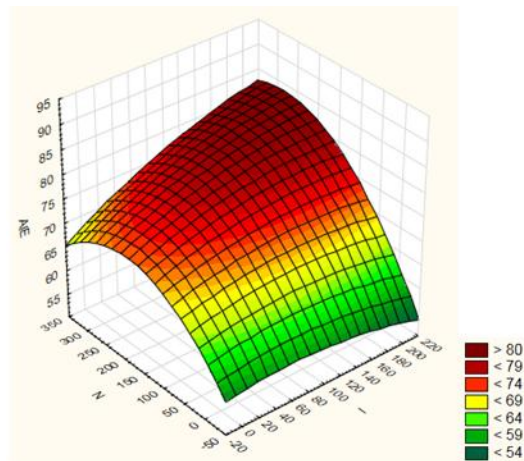
De acordo com o resultado da análise de variância da regressão, o modelo que melhor se adequou aos dados, foi a equação 4.

$$\hat{Y} = 59,645^{**} + 0,061I^* + 0,129N^{**} - 0,0001I^{2ns} - 0,0001N^{2ns}$$

**Equação 2.** Equação polinomial quadrática para a AIE da cultura do milho em Teresina-PI

De acordo com a análise de variância da regressão para a equação, não houve interação significativa entre a dose de nitrogênio e inoculante sobre a variável AIE.

Com o modelo estatístico proposto, estimou-se a maior altura de inserção da espiga de 81 cm, com 243,39 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrogênio e 186 ml.ha<sup>-1</sup> de inoculante. Resultados semelhantes foi obtido por Leal et al. (2013), trabalhando com diferentes doses de nitrogênio e plantas de coberturas no Mato Grosso do Sul, observaram uma AIE média DE 85,8 cm em duas safras consecutivas. Gitti et al. (2012), constataram diferenças significativas entre as medias de altura de inserção de espigas com o máximo de 104,57 cm com 90 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrogênio em um Latossolo vermelho distrófico.

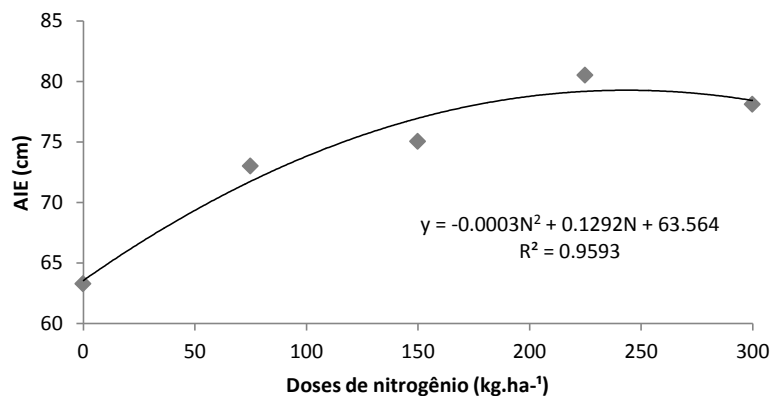


**Figura 8.** Superfície de resposta da altura de inserção da espiga (cm) em função das doses de adubação nitrogenada (N, em kg.ha<sup>-1</sup>) e doses de inoculante (I, em mL.ha<sup>-1</sup>).

Avaliando de forma isolada os fatores, conforme resultado da análise de variância da regressão para o fator dose de nitrogênio sobre a variável AIE, observou um efeito

significativo ( $< 0,01$ ) pelo teste F. O modelo estatístico proposto, apresentando um coeficiente de determinação capaz de explicar os resultados em aproximadamente 96%, pode ser considerado um modelo adequado para representar os dados da Figura 10.

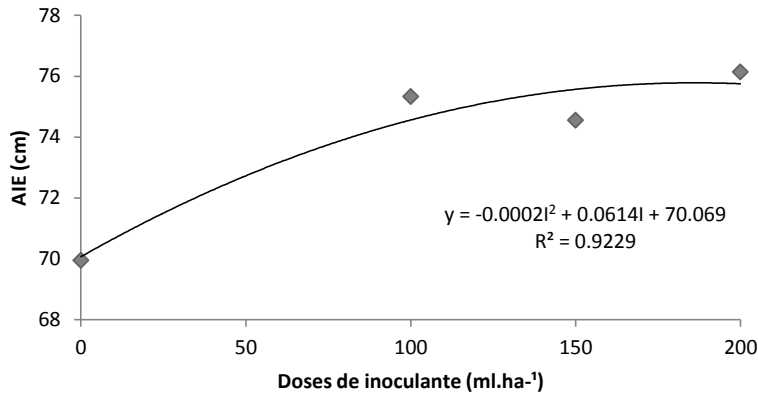
A resposta da altura de inserção da espiga em relação à dose de nitrogênio comportou-se de forma polinomial sendo estimada através da equação proposta na Figura 11, onde a altura máxima foi de 77,47 cm, com 215,33 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, decrescendo ao se aumentar a dose de nitrogênio. Esse resultado discorda do observado por Do Carmo et al, (2012), onde houve um aumento linear da altura de inserção de espigas em função das doses de N. Calonego et al. (2012) e Walderrama et al. (2011), não observaram efeito significativo do aumento na dose nitrogênio sobre a altura de inserção da espiga de milho.



**Figura 9.** Altura de inserção da espiga (AIE) em função das doses de adubação nitrogenada (N, em kg.ha<sup>-1</sup>).

Para dose de inoculante a análise de variância indicou que o efeito das doses foi significativo ( $< 0,01$ ), sendo 92% dos dados explicados pela equação de regressão Figura 10.

A dose de inoculante que proporcionou a maior altura de inserção 74,78 cm da espiga foi 153,5 ml.ha<sup>-1</sup>. Essa afirmação discorda de Pandolfo et al. (2014), que trabalhou com diferentes doses de nitrogênio no milho em Santa Catarina e pode observar que a altura de inserção da espiga não foi influenciada pela presença ou ausência da inoculação.



**Figura 10.** Altura de inserção da espiga (AIE) em função das doses de inoculante (I, em mL.ha<sup>-1</sup>).

Oliveira et al. (2012) encontrou alteração significativa entre as médias da altura de inserção da espiga em função da ausência de inoculante.

No entanto, com base nos resultados obtidos através da estimativa realizada pela equação proposta, tanto a dose de nitrogênio como a do inoculante, mostraram-se inferiores ao modelo polinomial proposto Equação 3. Nesse caso para o fator altura de inserção da espiga, observa-se que os melhores resultados são apresentados quando se trabalha com dose de nitrogênio associado com dose de inoculante.

### 3. CONCLUSÕES

Houve efeito significativo das doses de nitrogênio e inoculante sobre o rendimento, índice de área foliar e altura de inserção da espiga do milho, porém sem interação entre os dois fatores.

É possível obter um rendimento de 9373,95 kg ha<sup>-1</sup> de milho com as doses 265,61 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio associado a 197,34 ml.ha<sup>-1</sup> do inoculante.

A aplicação foliar do *Azospirillum brasiliense* independentemente da adubação nitrogenada, não proporcionou incremento significativo no rendimento do milho grão.

## 5. REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL (2011) **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo, FNP Consultoria e Comércio.482p.
- AKER, A. M et al. **Atributos agronômicos do milho sob diferentes manejos de solo e sucessões de cultura no Sudoeste Amazônico**. 2015.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 241-248, 2002.
- ARAÚJO, L. A. N.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 8, p. 771-777, 2004.
- BARROS, J.F.C.; CALADO, J.G. **A Cultura do Milho**. 2014.
- BARTCHECHEN, A.; FIORI, C. C. L.; WATANABE, S. H.; GUARIDO, R. C. Efeito da inoculação de *Azospirillum brasiliense* na produtividade da cultura do milho (*Zea mays* L.) - **Campo Digital**, Campo Mourão, v. 5, n. 1, p. 56-59, 2010.
- BASTOS, E. A.; DE ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Boletim Agrometeorológico de 2012**.para o Município de Teresina, Piauí. 2013.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 43 p.
- BERNARDES, J. A.; FERREIRA, F.P.M. **A questão ambiental: diferentes abordagens**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 17-41, 2003.
- BERTIN, E. G.; ANDRIOLI, I.; CENTURION, J. F. Plantas de cobertura em pré-safra ao milho em plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, n. 3, p. 379-386, 2005.
- BIRCH, C. J.; VOS, J.; VAN DER PUTTEN, P. E. L. Plant development and leaf area production in contrasting cultivars of maize grown in a cool temperate environment in the field. **European journal of agronomy**, 19, n. 2, p. 173-188, 2003.
- BÜLL, L T; BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. Nutrição mineral do milho. Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: **Potafos**, p. 63-145, 1993.
- BUSATO, J. G. et al. Phosphatase activity and its relationship with physical and chemical parameters during vermicomposting of filter cake and cattle manure. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 2015.
- CALONEGO, J. C.; PALMA, H. N.; FOLONI, J. S. S. Adubação nitrogenada foliar com sulfato de amônio e ureia na cultura do milho. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 1, n. 1, p. 34-44, 2012.
- CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜLL, L.T. & CANTARELLA, H., eds. Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, **Potafós**, 1993. p.148-196.

CANTARELLA, H. et al. **Recomendações técnicas de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2. ed. p. 45-57, 1997. (Boletim técnico, 100).

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

CARDOSO, B. F.; DE OLIVEIRA, T. J. A.; DA ROCHA SILVA, M. A. Eletrificação Rural e Desenvolvimento Regional: uma Análise do Programa Luz para Todos. **Desenvolvimento em Questão**, v. 11, n. 22, p. 117-138, 2013.

CARVALHO, M. A. C. et al. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 47-53, 2004.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A.; SESTARI, I. **Manual de fisiologia vegetal: fisiologia de cultivos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2008. 864 p.

CENTURION, J. F.; CARDOSO, J. P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 05, p. 911-923, 2003.

CENTURION, J. F.; CARDOSO, J. P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 254-258, 2001.

CHANG, J. H. Climate and agriculture: an ecological survey. **Transaction Publishers**, 1974.

CHANG, J.H. Corn yield in relation to photoperiod, night temperature, and solar radiation. **Agricultural meteorology**, v. 24, p. 253-262, 1981.

CIVARDI, E. A. et al. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 52-59, 2011.

COELHO, A. M. **Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. (Circular técnica, 96).

COELHO, A. M.; FRANÇA, GE de. **Seja doutor do seu milho: nutrição e adubação**. Piracicaba: Potafós, v. 2, 1995. 9p.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Indicadores da Agropecuária**. Brasília, ano XXII, n. 4, 2014. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&&Pagina\\_objcmsconteudos=2#A\\_objcmsconteudos](http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos). Acesso em: 16 de maio de 2014.

FONSECA, L. M. F. et al. Avaliação da Inoculação com Diferentes Estirpes de *Azospirillum* sp. na Produtividade de Milho sob Quatro Níveis de Nitrogênio. **Anais...** Congresso nacional de milho e sorgo, v.30, 2014;

DA SILVA, E. C. et al. Épocas e formas de aplicação de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, 2005.



DE MIRANDA, R. A.; GARCIA, J. C.; FREITAS, M. S. A dinâmica portuária das exportações de milho no Brasil. **Anais...** Congresso nacional de milho e sorgo, v.30, 2014.

DE OLIVEIRA, P. et al. Crescimento e produtividade de milho em função da cultura antecessora. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 3, p. DOI: 10.1590/S1983-40632013000300005, 2013.

DE SOUZA LIMA, C. J. G. et al. Modelos matemáticos para estimativa de área foliar de feijão caupí. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 1, 2008.

DEPARTAMENTO DO AGRONEGÓCIO, **Safra Mundial de Milho 2013/14** - 9º Levantamento do USDA. In: Informativo DEAGRO. Janeiro, 2014. Disponível em: <www.fiesp.com.br/arquivo-download/?id=96234> Acesso em 14 de fevereiro de 2014.

DO CARMO, M. Si. et al. Doses e fontes de nitrogênio no desenvolvimento e produtividade da cultura de milho doce (*Zea mays* convar. saccharata var. rugosa). **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, 2012.

DO NASCIMENTO, S. P. **Efeito do déficit hídrico em feijão-caupí para identificação genótipos com tolerância à seca**. 2009. Dissertação. Mestrado em agronomia., Universidade Federal do Piauí, Teresina, Brasil, 2009.

DÖBEREINER, J. Azotobacterpaspalisp. n., uma bactéria fixadora de nitrogênio na rizosfera de Paspalum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 1, n. 1, p. 357-365, 1966.

DOS SANTOS, G. R., DE CASTRO NETO, M. D., RODRIGUES, A. C., BONIFACIO, A.; KORNDORFER, G. H. Fertilização silicatada e nitrogenada no controle da brusone do arroz em sistema irrigado. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 4, p. 103-108, 2014.

FABIAN, A. J. **Plantas de cobertura: efeito nos atributos do solo e na produtividade de milho e soja em rotação**. 2009. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal-SP, 2009. 83 f.

FANCELLI, A. L. Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes na cultura do milho. Piracicaba: **International Plant Nutrition Institute Brazil**, p. 1-16, 2010.

FANCELLI, A. L. **Plantas Alimentícias: guia para aula, estudos e discussão**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1986. 131 p.,

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho. 2. ed. Guaíba: **Agropecuária**, 2004.

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

FINK, V. et al. Análise da viabilidade econômica da compra de ureia, avaliando o mercado interno com sua importação da Ucrânia. **Anais...** Encontro Científico de Administração, Economia e Contabilidade, v. 1, n. 1, 2011.

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso do nitrogênio e lâmina de irrigação**. 1986. Tese (Doutorado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade do Estado de São Paulo, 1986, 133f.

GITTI, D. C. et al. Inoculação de *Azospirillum brasiliense* em cultivares de feijões cultivados no inverno. **Agrarian**, v. 5, n. 15, p. 36-46, 2012.

GOES, Renato Jaqueto et al. Fontes e doses de nitrogênio em cobertura para a cultura do milho em espaçamento reduzido. **Agrarian**, v. 7, n. 24, p. 257-263, 2014.

GOMES, L. S. et al. Resistência ao acamamento de plantas e ao quebramento do colmo em milho tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 2, p. 140-145, 2010.

GOMES, R. F. et al. Efeito de doses e época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agrônômicos da cultura do milho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 931-938, 2007.

GOMES, W. S. **Caracterização in silício e localização subcelular das enzimas da via das pentoses fosfato em milho**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, 2013.

GROSS, M. R.; VON PINHO, R. G.; BRITO, A. H. Adubação nitrogenada, densidade de semeadura e espaçamento entre fileiras na cultura do milho em sistema plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 387-393, 2006.

HEXEM, R.W.; Heady, E.O. **Water Production Functions for Irrigated Agriculture**. Iowa State University Press, Ames, IA, 215 pp, 1978

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: **componente essencial para a competitividade do produto brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 80p. (Embrapa Soja. Documentos, 283). (ISSN 1516-781X; N 283).

HUNGRIA, M. Inoculação com *Azospirillum brasiliense*: inovação em rendimento a baixo custo. **Embrapa Soja**, 2011..

KURIHARA, C. H.; TSUJIGUSHI, B. P. Efeito de adubação nitrogenada em milho safrinha cultivado em espaçamento reduzido, em Dourados, MS. **Anais...** Seminário nacional de milho safrinha, n.12., 2013.

LANA, M. C. et al. Inoculation with *Azospirillum*, associated with nitrogen fertilization in maize. **Revista Ceres**, v. 59, n. 3, p. 399-405, 2012.

LANDAU, E. C.; SANS, LMA; SANTANA, D. P. Clima e solo. **Embrapa Milho e Sorgo- Capítulo em livro técnico-científico (ALICE)**, 2009.

LEAL, A. J. F. et al. Adubação nitrogenada para milho com o uso de plantas de cobertura e modos de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 2, p. 491-501, 2013.

LEGENDRE, B. L; IRVINE, J. E. Some effects of cane trash on milling quality of sugar cane. **Proceedings of the South African Sugar Technologists**, p.167-173, 1975.

LEITE, L. F. et al. Desempenho de milho safrinha em duas épocas de semeadura e populações de plantas, em Dourados, MS. In: Embrapa Agropecuária Oeste-Artigo em **anais de congresso (ALICE)**. In: SEMINÁRIO NACIONAL [DE] MILHO SAFRINHA, 12. 2013, Dourados.

LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D.F. Tissue flows in grazed plant communities. In: HODGSON, J., ILLIUS, A.W. (Eds.). **The ecology and management of grazing systems**. Oxon: CAB International, 1996. p.3-36.

LI, Y.; DONG, Y.; NIU, S.; CUI, D. The genetics relationships among plant-height traits found using multiple trait QTL mapping of a dent corn and popcorn cross. **Genome**, Toronto, v. 50, n. 4, p. 357-364, 2007.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Fisiologia da produção de **milho**. Embrapa Milho e Sorgo, 2006.

MARSHALL, C., SAGAR, G. R. The distribution of assimilates in *Lolium multiflorum* Lam. Following differential defoliation. **Annals of Botany** v.32, p.715 – 719, 1968

MATIAS, M. C. B. S. **Decomposição de resíduos vegetais de plantas de cobertura e produtividade da cultura de milho**. 2013. Tese de doutorado-Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, 68p.2013. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/105154>>.

MATTHEW, C.; ASSUERO, S.G.; BLACK, C.K. et al. Tiller dynamics of grazed swards. In: LEMAIRES, G.; HODGSON, J.; MORAES, A.; CARVALHO, P.C.F.; NABINGER, C. (Eds.) **Grass land ecophysiology and grazing ecology**. Wallingford: CABI Publishing, 2000. p.127-150.

MEDEIROS, R. M. **Estudo agrometeorológico para o Estado do Piauí**. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Piauí, Teresina. 113p.[Links], 2004.

MEIRA, F. A. et al. Fontes e épocas de aplicação do nitrogênio na cultura do milho irrigado. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 30, n. 2, p. 275-284, 2009.

MONTGOMERY, E.G. Correlation studies in maize. **Nebraska Agr.Exp.Sta.Rep.** v.24, p.108-159, 1911.

MOUSINHO, F. E. P.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; FRIZZONE, J. A.. Viabilidade econômica do cultivo irrigado do feijão-caupi no Estado do Piauí. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 139-145, 2008.

MÜLLER, T. M. **Inoculação de *Azospirillum brasilense* associada a níveis crescentes de adubação nitrogenada e o uso de bioestimulante vegetal na cultura do milho**.2013. Tese de Doutorado. Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2013

OKON, Y.; ITZIGSOHN, R. O desenvolvimento de *Azospirillum* como um inoculante comercial para melhorar a produtividade das culturas. **Avanços biotecnológicos**, v. 13, n. 3, p. 415-424, 1995.

OWENS, F. N.; ZINN, Richard A. Corn grain for cattle: Influence of processing on site and extent of digestion. In: **Proc. Southwest Nutr. Conf.** 2005. p. 86-112.

PANDOLFO, C. M. et al. **Desempenho de milho inoculado com *Azospirillum brasilense* associado a doses de nitrogênio em cobertura**. Embrapa Soja-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2014.

PATERNIANI, E.; CAMPOS, M. S. Melhoramento do milho. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, [s.n.], 1999. p.429-485.

- PAVINATO, P. S. et al. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 358-364, 2008.
- PEGORARE, A. B. et al. Irrigação suplementar no ciclo do milho “safrinha” sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 262-271, 2009.
- PERES, A. R. et al. Doses de inoculante contendo *Azospirillum brasilense* via foliar e doses de nitrogênio em cobertura em milho safrinha. **Anais...** Seminário Nacional de Milho Safrinha, v. 12, p. 1-6, 2013.
- POSSAMAI, J.M.; SOUZA, C.M.; GALVÃO, J.C. Sistemas de preparo do solo para o cultivo do milho safrinha. **Bragantia**, v.60, p.79-82, 2001.
- PRIMO, D. C. et al. Contribuição da adubação orgânica na absorção de nutrientes e na produtividade de milho no semiárido paraibano-DOI: 10.5039/agraria. v7i1a1519. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 7, n. 1, p. 81-88, 2012.
- QUEIROZ, A. M.; SOUZA, C.; MACHADO, V.J.; LANA, R.M.Q.; KORNDORFER, G. H.; SILVA, A. A. Avaliação de diferentes fontes e doses de nitrogênio na adubação da cultura do milho (*Zea mays* L.). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.10, p.257-266, 2011.
- QUEIROZ, ANDRÉ et al. Avaliação de diferentes fontes e doses de nitrogênio na adubação da cultura do milho (*Zea mays* L.). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 10, n. 3, p. 257-266, 2012.
- QUIRINO, G. S. F. et al. Influência do inoculante azototal na produtividade do milho safrinha. **Anais...** Simpósio de Biologia, v. 15, n. 1, p. 67, 2014.
- VALENTINI, S. R. T.; CASTRO, M. F. P; ALMEIDA, F. H. Determinação do teor de umidade de milho utilizando aparelho de microondas. **Food Science and Technology** (Campinas), v. 18, n. 2, p. 237-240, 1998.
- REPKE, R. A. et al. Eficiência da *Azospirillum brasilense* combinada com doses de nitrogênio no desenvolvimento de plantas de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 3, p. 214-226, 2014.
- RIBEIRO et al. **Recomendações para o uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais** - 5ª Aproximação, Viçosa, MG, 359p, 1999.
- RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. **How a corn plant develops?** Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1993. 26p. (Special report, 48).
- ROCHA, R. J. S. **Adubação nitrogenada em milho em semeadura direta e cultivo convencional na região Meio-Norte do Piauí**. 2010.
- RODY, Y. P. et al. Estimativas do índice de área foliar utilizando o lai-2000 e fotografias hemisféricas em plantios de eucalipto. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 4, p. 923-932, 2014.
- ROSA, M. E. C. et al. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do cerrado. **Bras. Ci. Solo**, v. 27, p. 911-923, 2003.
- ROSCOE, R.; MIRANDA, R. de A. S. **Tecnologia e produção: milho safrinha e culturas de inverno**, p. 38-44, 2013.

SALA, V. M. R.; DA SILVEIRA, A. P. D.; CARDOSO, E. J. B. N. **Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental**, p. 97, 2007.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M.L.; LECH, V.A.; GRACIETTI, L.C.; RAMPAZZO, C. Desempenho de híbridos de milho com ciclos contrastantes em função da desfolha e da população de plantas. **Scientia Agrícola**, v.58, n.2, p.271-276, 2001

SANGOI, L. et al. Perfilhamento, área foliar e produtividade do milho sob diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 6, p. 609-616, 2011.

SANGOI, L. et al. Rendimento de grãos, produção e distribuição de massa seca de híbridos de milho em função do aumento da densidade de plantas. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 11, n. 1, 2012.

SANGOI, L. et al. Uniformidade no desenvolvimento e resposta de cultivares de milho ao incremento na população de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 01, 2010.

SANGOI, L.; DE ALMEIDA, M. L. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio para a cultura do milho num solo com alto teor de matéria orgânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 1, p. 01-91, 1994.

SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; SILVA, P. R. F. Maize response to nitrogen fertilization timing in two tillage systems in a soil with high organic matter content. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 507-517, 2007.

SANGOI, L. et al. Bases morfofisiológicas para maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. **Bragantia**, v. 61, n. 2, p. 101-110, 2002.

SANGOI, L. et al. Disponibilidade de nitrogênio, sobrevivência e contribuição dos perfilhos ao rendimento de grãos do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 183-191, 2011.

SAUER, I. L. et al. **A reconstrução do setor elétrico brasileiro**. São Paulo: Paz e Terra, UFMS, 2003. 300p.

SBRISSIA, A. F.; DA SILVA, S. C. Comparação de três métodos para estimativa do índice de área foliar em pastos de capim-marandu sob lotação contínua. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 2, p. 212-220, 2008.

SCHIAVINATTI, A. F. et al. Influência de fontes e modos de aplicação de nitrogênio nos componentes da produção e produtividade do milho irrigado no cerrado. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 925-930, 2011

SEREIA, R. C. et al. Índice de clorofila em milho safrinha sob diferentes modalidades de cultivo. **Anais... Seminário Nacional de Milho Safrinha**, v. 11, p. 123-131, 2011.

SILVA, E. C. da et al. Absorção de nitrogênio nativo do solo pelo milho sob plantio direto em sucessão a plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 4, p. 723-732, 2006.

SILVA, T. N. **Caracterização agrônômica e morfológica de populações de milho**. 2014. iii, 38 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/110317>>.

SOARES, C. A. et al. Função de meloeiro resposta fazer uma adubação nitrogenada de doses parágrafo dois níveis de Irrigação. **Comunicata Scientiae**, v. 4, n. 4, p. 391-400, 2013.

SOLOS, Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, 2013.

SOUSA, D. M. G. et al. **Cerrado**: correção do solo e adubação, v. 2, p. 129-144, 2004.

SOUSA, R. S. da. **Fenotipagem em milho para identificação de genótipos tolerantes à deficiência hídrica**. 2012. 77 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2012.

SOUZA, L. C. F. et al. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na produtividade de milho em plantio direto irrigado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 2, p. 55-62, 2003.

STICKLER, F.C. et al. Leaf area determination in grain sorghum. **Agronomy Journal**, Madison, v.53, p.187-188, 1961.

THORNTWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p.

VALDERRAMA, Márcio et al. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 2, p. 254-263, 2011.

VOLPATO, L.; COUTINHO, P. H.; CALAZANS, A. F.; LORENZETTI, M.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. Análise de trilha em milho tropical para eficiência no uso da água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7, 2013, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2013.

WATSON, D.J. The physiological basic of variation in yield. *Advances in Agronomy*. **Maryland Heights**, v.4, p.101-145, 1952.

WELLES, J.M.; NORMAN, J.M. Instrument for indirect measurement of canopy architecture. **Agronomy Journal**, v.83, n.5, p.818-825, 1991.