



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CAMPUS PROFª CINOBELINA ELVAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
MESTRADO EM FITOTECNIA



**ADUBAÇÃO NITROGENADA TARDIA EM SOJA PARA A PRODUÇÃO DE
SEMENTES**

LARISSE PINHEIRO SCHMID

BOM JESUS – PI

2017

**ADUBAÇÃO NITROGENADA TARDIA EM SOJA PARA A PRODUÇÃO DE
SEMENTES**

LARISSE PINHEIRO SCHMID

Engenheira Agrônoma

Orientador: PROF. DR. FABIO MIELEZRSKI

Co-Orientador: Prof. Dr. João Carlos Medeiros

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Fitotecnia da Universidade Federal do Piauí-UFPI, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração (Fitotecnia).

BOM JESUS – PI

2017

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial de Bom Jesus
Serviço de Processamento Técnico

S349a Schmid, Larisse Pinheiro.
Adubação nitrogenada tardia em soja para a produção de
sementes. / Larisse Pinheiro Schmid. – 2017.
54 f.: il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí,
Campus Professora Cinobelina Elvas, Programa de Pós-
graduação em Agronomia-Fitotecnia, Bom Jesus-PI, 2017.
Orientação: “Prof. Dr. Fabio Mielezrski”.

1. *Glycine max*. 2. Nitrogênio. 3. Viabilidade. I. Título.

CDD 635.1

**ADUBAÇÃO NITROGENADA TARDIA EM SOJA PARA A PRODUÇÃO DE
SEMENTES**

por

Larisse Pinheiro Schmid

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de
MESTRE EM AGRONOMIA Área de Concentração (Fitotecnia)

Aprovada: / / .

Prof. Dr. Fabio Mielezski (Orientador)
UFPI – CPCE

Dra. Gleidyane Novais Lopes Mielezski (Examinador externo)
UFPI_CPCE

Prof. Dr. Paulo Rodrigo Ramos Xavier Pereira (Examinador externo)
UFPI - CPCE

Prof. Dra. Adriana Ursulino Alves (Examinador Interno)
UFPI - CPCE

Ao meu filho Nicolas, ao meu esposo Sandro e aos meus pais Maria das
Dores Teixeira Pinheiro e Expedito de Jesus Silva Pinheiro.

DEDICO

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, pela manutenção e proteção da minha vida e pela força e fé nos momentos difíceis dessa jornada.

À minha família, pelo apoio, paciência, tolerância e pela força que vem me motivando incessantemente, em especial ao meu pequeno Nicolas pelo amor, o meu esposo Sandro pela paciência e carinho e aos meus pais pelo alicerce. Amo vocês! Muito obrigada!

Ao meu orientador prof. Fabio Mielezrski e meu co-orientador prof. João Carlos Medeiros, pela dedicação, conselhos, pela amizade, pela paciência e pela colaboração inestimável na construção desse trabalho e nessa jornada da pós-graduação. Muito obrigada!

Aos professores Paulo Rodrigo Ramos Xavier, Jaqueline Dalla Rosa e a Gleidyane Novais pelas contribuições e participações exímias nesse trabalho. Pude sempre contar com vossas ajudas. Obrigada!

Aos amigos Káthia e Maria Madalena pela ajuda no laboratório, pelo ombro amigo, pelos conselhos e pela amizade infinita que já perdura mais de 6 anos. Obrigada por tudo!

Aos amigos e colegas do grupo de pesquisa Grandes Culturas que colaboraram de alguma forma para a construção desse trabalho. Sem vocês não poderia ter sequer iniciado esse trabalho. Obrigada pela ajuda e carinho!

BIOGRAFIA DO AUTOR

Larisse Teixeira Pinheiro, natural de Carolina, Maranhão, filha de Maria das Dores Teixeira Pinheiro e Expedito de Jesus Silva Pinheiro, passou a viver na cidade de Balsas com 2 anos de idade, cidade onde em 2008 seus estudos em agronomia pela Universidade Estadual do Maranhão. Em 2009 conseguiu estágio no laboratório de análise de solos Terra Brasileira, permanecendo ali por 30 dias. No mesmo ano conseguiu seu primeiro emprego, como professora de informática, no nível básico, por 3 meses. Em 2010, aprovada pelo SISU/ENEM solicitou aproveitamento de disciplinas para iniciar suas atividades no curso de Engenharia Agrônômica, pela Universidade Federal do Piauí, na cidade de Bom Jesus. Em 2011 firmou compromisso e se casou com Sandro Odirlei Schmid, passando a se chamar Larisse Pinheiro Schmid. Nesse mesmo ano realizou estágio de 45 dias na Agroindustrial Ipê/Grupo Insolo, no setor de produção e pesquisa de campo. Sempre se dedicando aos estudos, sem esquecer a família e os amigos, participou de grupos de pesquisa e trabalhou por 2 anos com o professor Paulo Rodrigo Ramos Xavier Pereira na área de Gestão do Agronegócio. Em 2014 concluiu a graduação, mesmo ano em que teve seu filho Nicolas, hoje com 2 anos. Oito meses após a conclusão da graduação, ingressou no Curso de Pós-graduação Agronomia/Fitotecnia, no nível de mestrado. No mestrado participou do grupo Grandes Culturas no qual iniciou suas atividades no primeiro mês de ingresso, o que lhe gerou mais de 20 resumos simples/expandidos, 2 capítulos de livro, um artigo publicado, um aceite para publicação e dois em vias de submissão para periódico científico.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| Lista de tabelas | iv |
| Lista de figuras | v |
| Resumo..... | vi |
| Abstract | vii |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 3 |
| 2.1. Produção de sementes de soja | 3 |
| 2.2. Fixação biológica de nitrogênio | 3 |
| 2.3. Inoculação e adubação nitrogenada na soja..... | 4 |
| 2.4. Reações dos adubos nitrogenados no solo..... | 6 |
| 2.5. Nitrogênio e qualidade de sementes | 7 |
| 2.6. Viabilidade econômica e gestão do risco em sistemas agrícolas..... | 8 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 10 |
| 3.1. Local de condução e delineamento experimental..... | 10 |
| 3.2. Avaliações e análises laboratoriais | 13 |
| 3.2.1. Avaliações de plantas | 13 |
| 3.2.2. Avaliações laboratoriais | 14 |
| 3.3. Estatística..... | 16 |
| 3.4. Viabilidade econômica | 16 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 20 |
| 4.1. Primeiro ano | 20 |
| 4.2. Segundo ano | 23 |
| 4.2.1. Sulfato de amônio como fonte de nitrogênio..... | 23 |
| 4.2.2. Ureia como fonte de nitrogênio | 26 |
| 4.2.3. Viabilidade econômica para a produção de sementes | 32 |
| 5. CONCLUSÃO..... | 35 |
| 6. REFERÊNCIAS | 36 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Análise química do solo referente à área de condução do experimento, do ensaio de primeiro ano | 10 |
| Tabela 2. Análise química do solo da área de implantação do experimento, referente ao segundo ano | 12 |
| Tabela 3. Resumo da análise de variância..... | 20 |
| Tabela 4. Resumo da análise de variância de todas as variáveis do experimento a campo com aplicação de sulfato de amônio | 23 |
| Tabela 5. Resumo da análise de variância para as variáveis analisadas a partir dos testes em laboratório, do experimento com aplicação de sulfato de amônio | 24 |
| Tabela 6. Resumo da análise de variância de todas as variáveis do experimento a campo com aplicação de ureia | 27 |
| Tabela 7. Resumo da análise de variância para as variáveis analisadas a partir dos testes em laboratório, do experimento com aplicação de ureia..... | 29 |
| Tabela 8. Resumo da análise de variância da regressão, parâmetros da equação e coeficiente de determinação da análise econômica | 32 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Precipitação mensal acumulada (mm) da área experimental, do ensaio de primeiro ano de cultivo..... | 11 |
| Figura 2. Valores diários de precipitação (mm) e temperatura mensal média (°C) da área experimental, do ensaio de segundo ano..... | 12 |
| Figura 3. Gráfico de regressão das variáveis, condutividade elétrica, massa seca de raiz e massa seca de parte aérea..... | 22 |
| Figura 4. Gráfico de regressão das variáveis, condutividade elétrica, primeira contagem, germinação, índice de velocidade de germinação, com fonte sulfato de amônio..... | 25 |
| Figura 5. Gráfico de regressão das variáveis, produtividade e número de vagens, com fonte sulfato de amônio..... | 27 |
| Figura 6. Gráfico de regressão das variáveis, primeira contagem, germinação, índice de velocidade de germinação e massa seca de raiz, com fonte ureia..... | 30 |
| Figura 7. Distribuição de probabilidade da Receita Líquida, com uso da ureia..... | 33 |
| Figura 8. Distribuição de probabilidade da Receita Líquida, com uso do sulfato de amônio..... | 34 |

Resumo: O nitrogênio é um dos nutrientes minerais mais requeridos pelas culturas agrícolas e, em se tratando da soja, demandado em quantias consideráveis na fase de enchimento de grãos, estágio esse em que os rizóbios já entraram em senescência no solo. Objetivou-se com o presente trabalho avaliar o desempenho produtivo e a qualidade fisiológica das sementes de plantas de soja submetidas a diferentes doses de nitrogênio e fontes de adubo nitrogenado, aplicados tardiamente, no período reprodutivo. Foram conduzidos dois experimentos, em anos distintos. O primeiro experimento, em blocos casualizados constou de tratamentos com seis doses de nitrogênio (0, 30, 60, 90, 120 e 150 kg ha⁻¹), com a aplicação de ureia, em blocos casualizados, com 4 repetições, na safra 2014/2015. O segundo experimento, conduzido na safra 2015/2016, também em blocos casualizados, com 4 repetições, com a aplicação de cinco doses de nitrogênio (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹), um ensaio com aplicação de ureia e outro com aplicação de sulfato de amônio, como fonte de nitrogênio. Foram feitas análises de teor de clorofila, número total de vagens, número de vagens no terço superior, comprimento de vagens, massa seca de caule, massa seca de vagens, produtividade. Posteriormente as sementes foram submetidas aos testes de qualidade fisiológica, em laboratório: germinação, comprimento de plântulas e condutividade elétrica. Os resultados do experimento do primeiro ano indicaram que não houve resposta à adubação nitrogenada na produtividade, entretanto as variáveis de qualidade de sementes, massa seca de parte aérea e de raiz e condutividade elétrica, indicaram dose ótima em torno de 4 kg de nitrogênio por hectare. No experimento de segundo ano, a ureia apontou respostas significativas em produtividade, explicada pelo aumento do número de vagens, e em termos de qualidade de sementes, tanto os teste de germinação quanto a massa seca de raiz de plântulas apontaram resposta entre 56,5 e 69 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Já com o uso da fonte sulfato de amônio os resultados foram mais substanciais para as variáveis de qualidade fisiológica, condutividade elétrica e proveniente do teste de germinação, com doses ótimas variando de 69,9 e 77,3 kg ha⁻¹ de nitrogênio. A análise de viabilidade econômica aplicada ao experimento de segundo ano apontou que o sistema de produção de sementes com o uso da ureia apresentou menor risco e maior lucro líquido. Conclui-se com esse trabalho que a aplicação de nitrogênio de forma tardia promove rendimentos substanciais no sistema de produção de sementes e geram lucro líquido, com uso da ureia como fonte.

Palavras-chave: *Glycine max*, nitrogênio, viabilidade.

Abstract: The nitrogen is one of the most mineral nutrients required by crops and, in the case of soybeans, the demand in considerable amounts in the grain filling stage, stage one in which the rhizobia have entered into senescence in the soil. The objective of this study to evaluate the performance and the physiological quality of soybean seeds submitted to nitrogen and sources of nitrogen fertilizer applied late in the reproductive period. Two experiments were conducted in different years. The first experiment, a randomized block consisted of treatments with six nitrogen rates (0, 30, 60, 90, 120 and 150 kg ha⁻¹), with the application source urea, in a randomized block design with four replications in the harvest 2014/2015. The second experiment was conducted in the 2015/2016 harvest, also a randomized block design with four replications, with the application of five doses of nitrogen (0, 30, 60, 90 and 120 kg's), an essay with the application of urea and other with application of ammonium sulfate as a source of nitrogen fertilizer. plant analyzes were performed (chlorophyll content, number of pods, number of pods in the upper third, pod length, stem dry weight and dry weight of pods), productivity and subsequently the seeds were submitted to the physiological quality tests in lab: germination, seedling length and electrical conductivity. The results of the first year experiment showed no response to nitrogen fertilization on yield, but the quality variables seeds, dry mass of shoot and root and electrical conductivity, indicated optimal dose around 4 kg of nitrogen. In the second year experiment showed significant responses urea in productivity due to the increase of the number of pods and seed terms of quality, both the germination test as dry mass seedling root pointed response between 56.47 and 69 kg ha⁻¹ of nitrogen. Now the use of ammonium sulfate results were more substantial for the variables of physiological quality, electrical conductivity and from the germination test with optimal doses ranging from 69.9 and 77.3 kg ha⁻¹ of nitrogen. The economic feasibility analysis applied to the second year of the experiment showed that the seed production system with the use of urea showed lower risk and higher net income. It concludes with this work that the late form nitrogen application promotes substantial yields in seed production system and generate net income, using urea as a source.

Key-words: *Glycine max*, nitrogen, viability.

1. INTRODUÇÃO

Os campos de produção de sementes estão sujeitos a uma série de fatores que podem influenciar a qualidade final das sementes produzidas, dentre os quais se pode citar a fertilidade do solo (MATTIONI *et al.*, 2013). O rendimento de soja (*Glycine max* L. Merrill) é limitado, principalmente, pela quantidade de nitrogênio alocado para a semente, sendo a concentração desse nutriente mais ou menos constante dentro da espécie (KINUGASA *et al.*, 2012). Para essa cultura, o nitrogênio é o nutriente demandado em maior quantidade, especialmente na fase reprodutiva (BAHRY *et al.*, 2013).

As sementes de soja têm em sua composição compostos ricos em nitrogênio (proteínas, enzimas, aminos) e esse conteúdo varia em função da quantidade de N disponível para a cultura. Segundo Henning *et al.* (2010), o conteúdo de proteínas solúveis nas sementes, é maior em sementes mais vigorosas, do que em sementes de qualidade inferior, o que demonstra que a qualidade de sementes esta diretamente ligada a uma adequada oferta de nitrogênio.

O nitrogênio é disponibilizado para a planta da soja principalmente através da adubação mineral e da fixação biológica de nitrogênio (FBN) via bactérias do gênero *Rhizobium*. No caso da soja, no Brasil, a adubação mineral é, em geral, dispensada, ficando essa demanda atendida apenas pelas bactérias fixadoras de N.

A soja obtém até 65-85% das suas necessidades de N através da FBN (Makác e Candrakóva, 2013), porém, a eficiência na fixação por estirpes dessas bactérias é reduzida na fase reprodutiva, sendo a fixação biológica mais pronunciada até a fase R3 - início da formação de vagens (HUNGRIA *et al.*, 2001). Caso a demanda da planta não seja suprida nas fases críticas, há necessidade de suplementação do fornecimento de nitrogênio, por meio do uso de fertilizantes minerais.

Avaliando o efeito da adubação nitrogenada suplementar tardia na nodulação e produtividade de soja, Mendes *et al.* (2008) verificaram, em um Latossolo, que a dose de 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio (50% na semeadura e 50% em R1) na forma de ureia interferiu negativamente na nodulação de bactérias fixadoras, entretanto promoveu acréscimos de produtividade. Verificaram ainda que, a dose de 50 kg ha⁻¹ de N aplicado

em R1, na forma de sulfato de amônio, elevou produtividade e não prejudicou o processo de nodulação e fixação biológica de N.

A adubação nitrogenada tardia é justificada pelo fato da planta de soja perder sua eficiência radicular no final do ciclo de desenvolvimento, associado às crescentes demandas de nitrogênio por cultivares de soja e elevados tetos de produtividade, que não podem ser supridas totalmente pela fixação biológica (BAHRY *et al.*, 2013; MENDES *et al.*, 2008).

Um dos pré-requisitos exigidos para que seja aceita uma recomendação de adubação é que ela seja economicamente viável, ou seja, a rentabilidade do manejo da adubação deve superar o custo com a aplicação do insumo. Comparativamente, a ureia é o fertilizante mais utilizado no Brasil e de maior vantagem no que diz respeito à oferta, custo por quilograma de N e facilidade de fabricação, e o sulfato de amônio tem a vantagem de possuir o enxofre em sua composição e não sofrer o processo de volatilização e amônia, como é o caso da ureia (TEIXEIRA FILHO *et al.*, 2010).

As plantas de soja podem responder à adubação nitrogenada tardia, no estágio reprodutivo, produzindo sementes de melhor potencial fisiológico e contribuindo para o aumento da produtividade e de rentabilidade para o agricultor. Com isso, objetivou-se avaliar o desempenho produtivo e a qualidade fisiológica das sementes de plantas de soja submetidas a doses de nitrogênio e fontes do adubo nitrogenado, aplicados tardiamente, no período reprodutivo, identificando a dose ótima e a fonte de nitrogênio mais eficiente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Produção de sementes de soja

A soja é uma importante cultura agrícola para o Brasil. De acordo com os dados levantados pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2015), nos anos agrícolas 2014/2015, o Brasil produziu 96,2 milhões de toneladas de soja em grão, o que coloca o país como segundo lugar como produtor mundial de grãos, destes 49,2 milhões de toneladas destinados à exportação da oleaginosa (EMBRAPA, 2015).

A produção de sementes, no Brasil, se intensificou, em resposta as iniciativas das empresas de melhoramento genético, que surgiram devido à implantação das Leis de Proteção de Cultivares, em 1977 (PESKE e BARROS, 2003). Na cadeia produtiva da produção de grãos de soja é de suma importância o uso de insumos de boa qualidade, entre eles a semente.

A produção de sementes deve seguir normas e padrões definidos nas Regras para Análise de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009), emitido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que regulariza o comércio e garante a procedência e atributos físicos, fisiológicos e sanitários das sementes vendidas ao agricultor.

A FAO (2015) registrou, para o ano de 2013, uma produção brasileira de 1,2 milhões de toneladas de sementes. A taxa de utilização de sementes (TUS) pelos agricultores brasileiros é de 67%, ou seja, dos 25 milhões de hectares cultivados com soja, 16,75 são cultivados com sementes, e esse percentual tende a aumentar.

2.2. Fixação biológica de nitrogênio

A fixação biológica de nitrogênio depende do estabelecimento de uma relação simbiótica efetiva entre a leguminosa e os rizóbios, que formam os nódulos (LEDGARD e STEELE, 1992). O processo de fixação biológica de nitrogênio consiste na conversão de N_2 em NH_4^+ , que requer condições anaeróbias e que envolve gasto de energia. Uma vez fixado em amônio ou nitrato, o nitrogênio entra no ciclo biogeoquímico (TAIZ e ZEIGER, 2009).

O desenvolvimento do nódulo envolve uma série de processos, que dependem da sobrevivência dos rizóbios nas condições do solo e ambientais. A

nodulação inicia-se com a colonização e proliferação das bactérias em torno das raízes de leguminosas, para em seguida a bactéria induzir a deformação da raiz e penetrar na região deformada, por digestão da parede celular. A partir daí a infecção é extracelular, dentro da raiz dos pelos radiculares. Após a infecção e multiplicação das bactérias, estas se diferenciam em bacteroides, que passam a fixar N_2 atmosférico (LEDGARD e STEELE, 1992).

O acesso ao nitrogênio permite que a planta passe a produzir folhas fortes, que serão recicladas dentro da planta (WAGNER, 2012). Em seu estudo Zhou *et al.* (2006) constataram que a fixação simbiótica sozinha foi insuficiente para maximizar o crescimento de plantas de soja, indicando que o máximo rendimento de sementes é ótima com a associação da fixação biológica nos nódulos e a absorção de N do solo.

A porcentagem de nitrogênio proveniente do processo de fixação biológica pode decrescer proporcionalmente aos acréscimos de doses de N, fato que demonstra a redução da relação dos rizóbios com as plantas. Porém, no feijão, a aplicação de pequenas doses, 15 mg kg^{-1} de N, no início do desenvolvimento da cultura pode ser favorável à planta hospedeira (BRITO *et al.*, 2011).

2.3. Inoculação e adubação nitrogenada na cultura da soja

O nitrogênio é o elemento exigido em maior quantidade para as culturas agrícolas, entre elas a soja. É o componente estrutural de ácidos nucleicos, proteínas, enzimas e ainda da molécula de clorofila. É, portanto definido como elemento essencial para a planta, pois na ausência dele, a planta não completa o seu ciclo de desenvolvimento (TAIZ e ZEIGER, 2009).

Na camada arável do solo o N encontra-se principalmente em formas orgânicas, ligada a restos vegetais parcialmente decompostos, ao húmus em menores quantidades e nas formas de nitrato e amônio, expressivamente assimiláveis pelas plantas. Estima-se que a contribuição da adição de N ao solo por processos biológicos seja na ordem de 65% (YAMADA *et al.*, 2007).

Quando se considera apenas o N como fator limitante da nutrição de plantas nota-se que a produção de fertilizantes nitrogenados via fixação química industrial do N_2 é sem dúvida um processo que possibilitou incrementos na produtividade e o desenvolvimento agrícola em vários países. Porém, cerca de 50% do N adicionado na

forma de fertilizantes é perdido por lixiviação e/ou na forma de gases que retoma a atmosfera (YAMADA *et al.*, 2007).

A cultura da soja exporta 61% de nitrogênio, sendo que 51 g kg^{-1} de N é translocado para os grãos, de modo que a absorção de nutrientes varia em função dos fatores climáticos, especialmente chuva e temperatura. Para obter rendimento que alcancem o teto de 3.000 kg ha^{-1} é necessário o fornecimento de 240 kg ha^{-1} de N, sendo 195 kg exportados pelos grãos (HUNGRIA *et al.*, 2001). Para os autores, apesar do fornecimento via mineral representar uma forma de assimilação mais rápida pela planta ela é, em geral, dispensada, porque o N utilizado pela planta advém, em grande parte, da fixação biológica.

A formação de nódulos pelas estirpes de *Bradyrhizobium spp.* pode ser descrita como uma relação genética entre a bactéria e a planta de soja, devido à especificidade do hospedeiro, sendo que essas bactérias tem preferência por polissacarídeos da soja, além de concorrerem com outros simbiontes (FATIMA *et al.*, 2007). A fixação biológica de N é muito lenta nas fases iniciais de desenvolvimento da planta, sendo que a atividade da enzima nitrogenase atinge seu pico após a floração e cai drasticamente no período inicial do enchimento de grãos (BRUN, 1978).

A partir de R3 (início da formação de vagens) a relação entre planta e bactéria começa a diminuir, pois a eficiência do fornecimento do N via fixação biológica é reduzida a partir desse estágio. Com isso a planta se desliga das bactérias e os nódulos iniciam o processo de senescência (HUNGRIA *et al.*, 2001).

A inoculação de sementes com bactérias fixadoras de nitrogênio consiste na aplicação do inoculante, às sementes, após a aplicação do fungicida. Pode ser realizada a pré-inoculação, na unidade de beneficiamento, a inoculação antecipada (com aplicação 5 dias antes da semeadura), aplicação em cobertura do inoculante diluído e ainda a aplicação na linha de plantio, pré e pós-emergente (ZILLI *et al.*, 2010; ZILLI *et al.*, 2008), sendo que a aplicação pode ser realizada com máquina de tratar sementes, ou ainda com o emprego de um tambor giratório de eixo excêntrico (HENNING *et al.*, 1994).

De maneira generalizada, a aplicação de adubo nitrogenado pode ser feita por meio da plantadora-adubadora, por ocasião da semeadura, em cobertura ou ainda via

foliar, diluída em água e em diferentes estádios de desenvolvimento da planta (KAPPES *et al.*, 2013; ESPINDULA *et al.*, 2010).

Avaliando épocas e doses de adubo nitrogenado aplicados em diferentes estádios reprodutivos da cultura da soja, Bahry *et al.* (2014) verificaram que não houveram acréscimos de produtividade em função das doses, porém verificaram respostas em algumas variáveis de rendimento, no que diz respeito a época de aplicação, na qual a fase R5.2 (enchimento de grãos – vagens com 11 a 25% de grãos cheios), para as variáveis resposta, número de grãos por vagem no terço inferior da planta e massa de mil grãos no terço superior da planta.

Estudos para verificar respostas entre cultivares de soja sob adubação nitrogenada tardia, em solos do Cerrado, foram realizados por Petter *et al.* (2012). Os autores constataram que algumas variáveis de rendimento foram influenciadas positivamente pelo fornecimento de 20 e 40 kg ha⁻¹ de N na fase R1 (início do florescimento), entre elas número de vagens por planta; peso de mil sementes e produtividade média.

2.4. Reações dos adubos nitrogenados no solo

Do ponto de vista físico-químico, o solo pode ser considerado um sistema aberto, trifásico e multicomponente (MELO e ALLEONI, 2009). A fração sólida do solo, mineral e orgânica, é a fonte de reserva de nutrientes para as plantas, sendo que a atividade de cada nutriente deve ser adequada na solução do solo, para que posteriormente satisfaça o desenvolvimento do vegetal (REICHARDT e TIMM, 2012).

A mineralização da matéria orgânica e a imobilização de formas minerais variam em função da disponibilidade de resíduos orgânicos, dos fatores climáticos e de condições próprias do solo. No que diz respeito à mobilidade no solo, o íon nitrato é muito móvel no solo, estando sujeito a lixiviações em climas úmidos, podendo mesmo ascender no solo, em períodos secos de grande evaporação de água na superfície do solo (RAIJ, 2011).

Comumente, ureia e sulfato de amônio podem volatilizar uma boa proporção de N, em função de diferentes fatores como o pH, a temperatura e as formas de aplicação do fertilizante. Ainda pelo processo de lixiviação, íons, principalmente NO₃⁻ e NH₄⁺ podem ser arrastados por drenagem em profundidade. E por fim, a

atividade de microrganismos, em condições anaeróbias, causa a perda de nitrogênio por nitrificação, com liberação de N_2 (REICHARDT e TIMM, 2012).

Algumas fontes de adubos nitrogenados, embora concentradas, possuem em sua composição o N na forma de nitrato (NO_3^-) que pode lixiviar e se tornar um agente contaminante dos lençõs freáticos subjacentes, em condições de regimes pluviométricos regulares (LOPES e GUILHERME, 2000). Aliado aos demais fatores citados anteriormente, a utilização de elevadas dosagens pode ser um agravante. A concentração de nitrato lixiviado em água captada por drenos pode se elevar em resposta ao volume de chuva registrado (ARAÚJO, 2003). Sobre perdas de N por volatilização, fontes amídicas e amoniacais, apresentam reação alcalina no solo, o que resulta em perdas por volatilização de amônia, na ordem de 15 a 20%, quando aplicada em superfície (SCIVITTARO *et al.*, 2010).

2.5. Adubação nitrogenada tardia e qualidade de sementes de soja

No tocante a produção de sementes de soja, a utilização da adubação nitrogenada tardia como alternativa para realçar e garantir a qualidade de sementes é uma prática pouco estudada. Verificou-se, em estudo de fertilidade do solo e qualidade fisiológica de sementes de soja, que alguns atributos do solo, como teor de cálcio e capacidade de troca catiônica (CTC) podem apresentar correlação significativa, com o percentual de germinação de sementes (MATIONNI, 2013).

A aplicação de N pode não influenciar a produtividade, tão pouco as variáveis de qualidade fisiológica, germinação, primeira contagem da germinação, emergência em campo e massa seca de parte aérea de plântulas. Todavia, a velocidade de germinação, pode obter melhores índices para sementes oriundas das plantas cultivadas com adubação de fundação, com aplicação de 15 a 30 kg ha⁻¹ de N (DUTRA *et al.*, 2012).

Por outro lado, Kinugasa *et al.* (2014) constataram que a adubação nitrogenada, no florescimento, não influenciou na concentração de N nas sementes, porém houve resposta significativa, em termos de produção média, com correlação positiva entre a produtividade e o número de sementes.

Os testes de vigor e viabilidade de sementes permitem que a qualidade de sementes seja aferida, do ponto de vista físico e fisiológico. Os testes de vigor, através de medidas diretas e indiretas, estimam o provável comportamento da semente, em

decorrência do processo de deterioração. A deterioração pode ser definida como a perda da capacidade, da semente, de produzir plântulas normais, quando em processo de germinação e emergência (KRYZANOWSKI e FRANÇA NETO, 2001).

Com relação à alocação de nitrogênio em sua forma orgânica pode-se dizer que algumas proteínas de armazenamento são constituintes das sementes de soja, entre elas, glicina e β -conglucina. Essas proteínas possuem subunidades pobres em aminoácidos sulfurados, contendo apenas cisteína e nenhum resíduo de metionina, em sua forma madura. Embora as sementes possuam carboidratos, especialmente nas formas estruturais, em paredes celulares e oligossacarídeos, o amido em sementes imaturas é progressivamente convertido em lipídios e proteínas (OHYAMA *et al.*, 2012).

2.6. Viabilidade econômica e gestão do risco de sistemas agrícolas

No âmbito das finanças o risco pode ser definido como “a variabilidade dos retornos observados de um investimento em comparação com o retorno esperado do investimento, mesmo quando esses retornos apresentem resultados positivos” (DAMODARAN, 2009).

Os agentes econômicos, entre eles as organizações empresariais, são submetidos a diferentes tipos de risco; endógeno, quando advém da atividade da empresa e exógeno, que podem ocorrer por motivos externos ou por simples acaso. A análise de risco pode ser dita como “um estudo dos eventos que têm efeitos sobre a atividade da empresa”. Por outro lado, a administração do risco é “a aplicação de estratégias para evitar ou reduzir os custos gerados pelo risco”. Incluem, entre outros aspectos, a estimação de sua probabilidade e avaliação dos seus efeitos (PEREIRA, 2006).

O setor agrícola é caracterizado como complexo e de risco, por estar associado a fenômenos naturais que não podem ser controlados, e por fatores de mercado, que exige planejamento de longo prazo e análises de viabilidade econômica (BARBOSA, 2011).

Uma característica do risco é que a probabilidade de sua ocorrência é conhecida, por outro lado, a incerteza é a probabilidade atrelada a um evento que não pode ser antecipado. No longo prazo as situações são imprevisíveis e, de maneira geral, utiliza-se a técnica de construção de cenários, para esboçar casos onde não se tem com

atribuir probabilidades subjetivas. Em análises de coerências de cenários, geralmente utilizam-se procedimentos de modelagem e simulação (MOREIRA, 2009) como ferramentas auxiliares na tomada de decisão.

A tomada de decisão de uma empresa agrícola abrange a função de produção de uma cultura agrícola (LIMA JÚNIOR *et al.*, 2011). A teoria da oferta da firma individual abrange a teoria da produção e a teoria dos custos de produção (VASCONCELLOS e GARCIA, 2009). A função de produção apresenta a quantidade física de um produto utilizado a partir da quantidade utilizada e dos fatores de produção (insumos, por exemplo) por um período de tempo estipulado. Deste modo, admite-se que o empresário esteja combinando da maneira mais eficiente os fatores de produção e, desta forma, obtendo a maior quantidade produzida do produto. Em uma função de produção, quando os fatores de produção empregados são entendidos como fixos e outros variáveis, então esta será uma análise de curto prazo (VASCONCELLOS, 2007).

Uma análise de curto prazo pode ser estudada pela lei dos rendimentos decrescentes. Alguns fatores de produção podem ser ditos escassos sendo os mesmos influenciados por fontes exógenas ao sistema. A lei dos rendimentos marginais decrescentes indica que fatores variáveis em um sistema de produção, mantendo os demais fixos, podem ser produzidos a taxas proporcionais e depois a taxas decrescentes, partindo do pressuposto de que o resultado é uma combinação de uso de tecnologias de retornos constantes, com a utilização de recursos exógenos ao sistema (VASCONCELLOS e GARCIA, 2009; SERRANO e CESARATTO, 2002).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local de condução e delineamento experimental

Foram conduzidos os experimentos em duas safras agrícolas, 2014/15 e 2015/16, em vegetação de Cerrado nativa, em um campo experimental cedido por uma empresa rural, no município de Currais, Piauí, Brasil, de coordenadas 9°3'25,69" latitude Sul e 44°33'12,89" longitude Oeste, e altitude de 570 metros. O clima da região é classificado como Aw (tropical quente), segundo Köppen, com verão chuvoso e quente.

O primeiro experimento, realizado no ano agrícola 2014/15, foi realizado em um Latossolo de textura franco-arenosa (EMBRAPA, 2013), de primeiro ano de cultivo, cuja vegetação nativa foi removida para implantação do cultivo de soja, cujos dados referentes à análise do solo são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química do solo referente à área de condução do experimento, do primeiro ano, Fazenda São João do Pirajá, Currais, Piauí.

| prof m | MO g.dm ⁻³ | pH (CaCl ₂) | P (melich) -----mg dm ⁻³ ----- | S | K | Ca | Mg | Al | H+Al |
|----------------|---|----------------------------|--|----------|--------------------------------|---|-----------|-----------|------|
| | | | | | | ----- mmol _c .dm ⁻³ ----- | | | |
| 0 - 10 | 18,6 | 5,3 | 6,9 | 3,1 | 0,5 | 27,9 | 4,8 | 0,0 | 15,1 |
| 10 - 20 | 13,7 | 4,8 | 4,6 | 3,6 | 0,3 | 19,6 | 2,5 | 0,0 | 20,9 |
| | SB | CTC | V | m | Fe | Mn | Cu | Zn | |
| | ----- mmol _c .dm ⁻³ --- | | ----- % ----- | | -----mg dm ⁻³ ----- | | | | |
| 0 - 10 | 33,2 | 48,3 | 68,6 | 0,0 | 63,9 | 2,7 | 0,3 | 0,1 | |
| 10 - 20 | 22,4 | 43,2 | 51,7 | 0,0 | 66,7 | 1,6 | 0,2 | 0,0 | |

Legenda: prof: profundidade, MO: matéria orgânica, pH: potencial hidroxiliônico, P: fósforo, S: enxofre, K: potássio, Ca: cálcio, Mg: magnésio, Al: alumínio, H+Al: acidez potencial, SB: soma de bases, CTC: capacidade de troca catiônica, V: saturação de bases, m: saturação por alumínio, Fe: ferro, Mn: manganês, Cu: cobre, Zn: zinco.

Foram feitas as correções de acidez do solo com 7 ton.ha⁻¹ de calcário calcítico e incorporação com grade aradora de 36 polegadas. A adubação do solo foi feita na linha de semeadura com a aplicação de 320 kg.ha⁻¹ de formulado (08-40-00), mais aplicação de cobertura, a lanço, de 300 kg.ha⁻¹ de superfosfato simples e 138 kg.ha⁻¹ de cloreto de potássio.

Na Figura 1 encontram-se os dados referentes às precipitações mensais que compreendem os meses de implantação e condução do experimento.

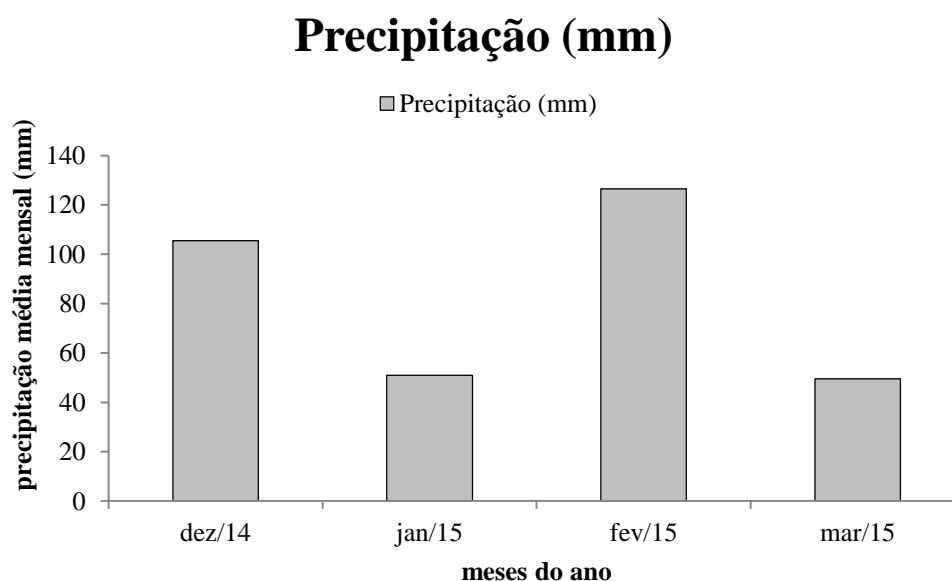


Figura 1. Precipitação mensal acumulada (mm) da área experimental, do primeiro ano, da Fazenda São João do Pirajá, município de Currais, Piauí, Brasil.

A semeadura foi realizada no dia 23/12/2014 com uma cultivar, de grupo de maturação 9.3 e população recomendada de 200 mil plantas, com inoculação prévia com as *Bradyrhizobium elkanii* e *B. japonicum*, na concentração de 5×10^9 UFC (unidade formadora de colônia), com dose de 100 ml/100 kg de sementes. O tratamento de sementes foi feito com produto a base de piraclostrobina, metil tiofanato e fipronil com a dose de 200 ml/100 kg sementes (dose recomendada para a cultura da soja).

Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso com 6 tratamentos e 4 repetições, perfazendo um total de 24 unidades experimentais. Cada parcela possuía 10 linhas de 5 metros de comprimento, com espaçamento de 0,45 m entre as linhas, totalizando 22,5 m² cada parcela. A área útil da parcela foi formada pelas três linhas centrais, excluindo-se 0,5 m de cada extremidade das linhas. Os tratamentos constituíram-se das diferentes doses de nitrogênio: 0, 30, 60, 90, 120 e 150 kg.ha⁻¹ utilizando a ureia como fonte do nutriente. A aplicação do fertilizante foi realizada a lanço manualmente, 85 dias após a semeadura (DAS), na fase de enchimento de grãos (R5). Para a realização das avaliações foram colhidas apenas as plantas da área útil da parcela, em estágio maturação para colheita.

O segundo experimento, conduzido no ano agrícola 2015/16, foi realizado em solo de quarto ano de cultivo, anteriormente cultivado com milho safrinha. Os dados climáticos podem ser visualizados na Figura 2.

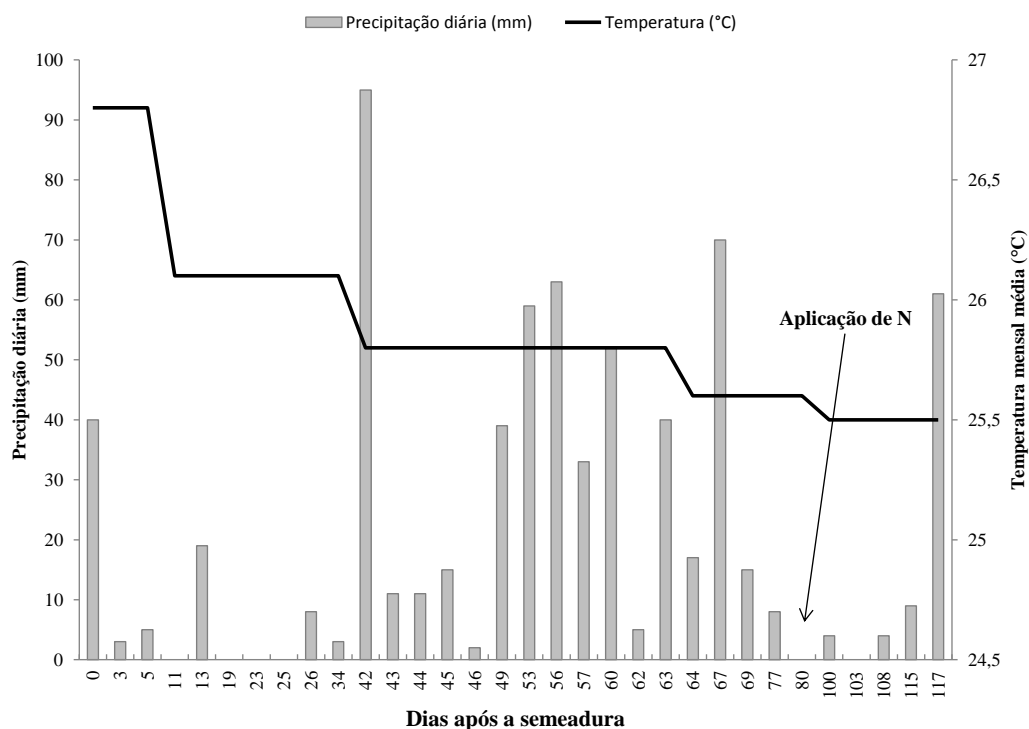


Figura 2. Valores diários de precipitação (mm) e temperatura média (°C), da área experimental, do segundo ano de experimento.

O solo é classificado como Latossolo Amarelo de textura franco-arenosa (EMBRAPA 2013) e o resultado da análise química do solo é apresentado na Tabela 2, com amostragem na profundidade de 0-20 cm, antes da implantação do experimento,

Tabela 2. Análise química do solo da área de implantação do experimento, referente ao segundo ano, município de Currais, Piauí, 2016.

| Prof | MO | pH | P (melich) | S | K | Ca | Mg | Al | H+Al |
|----------------|--|---------------------|----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|--------------------------------|--------------|--------------|
| M | g.dm^{-3} | (CaCl_2) | ---mg dm^{-3} --- | --- | --- | --- | $\text{mmol}_c.\text{dm}^{-3}$ | --- | --- |
| 0 – 10 | 26,50 | 4,60 | 4,61 | 6,20 | 2,19 | 33,59 | 10,11 | 1,00 | 49,00 |
| 10 – 20 | 19,58 | 3,84 | 13,91 | 18,95 | 0,98 | 6,70 | 2,41 | 8,50 | 52,64 |
| | SB | CTC | V | m | Fe | Mn | Cu | Zn | |
| | $\text{--- mmol}_c.\text{dm}^{-3}$ --- | --- | --- \% --- | --- | ---mg dm^{-3} --- | --- | --- | --- | --- |
| 0 – 10 | 45,89 | 94,87 | 48,25 | 2,94 | 102,83 | 8,49 | 0,56 | 4,54 | |
| 10 – 20 | 10,09 | 62,72 | 14,93 | 50,73 | 108,66 | 1,89 | 0,09 | 1,09 | |

Legenda: prof: profundidade, MO: matéria orgânica, pH: potencial hidroxiliônico, P: fósforo, S: enxofre, K: potássio, Ca: cálcio, Mg: magnésio, Al: alumínio, H+Al: acidez potencial, SB: soma de bases, CTC: capacidade de troca catiônica, V: saturação de bases, m: saturação por alumínio, Fe: ferro, Mn: manganês, Cu: cobre, Zn: zinco.

Por ocasião da semeadura, as sementes de soja foram previamente tratadas com fungicidas e inseticidas e inoculadas com bactérias da espécie *Bradyrhizobium japonicum* e *B. elkanii* na dose de 200 ml para 50 kg de sementes. Foram realizadas adubações de plantio de acordo com a análise do solo e as recomendações para a cultura da soja.

A adubação de plantio foi feita com 100 kg ha⁻¹ de fosfato monoamônico e 100 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio, por ocasião da semeadura, dia 25 de novembro de 2015. O cultivar utilizado foi uma de grupo de maturação 8.6, com ciclo de cultivo de 128-135 dias, com população sugerida de 200.000 plantas por hectare, indicada para o MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia).

O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. Foi conduzido um ensaio para cada fonte de adubo nitrogenado, sulfato de amônio e ureia. Os tratamentos consistiram de cinco doses de N: 0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹.

A área das parcelas foi de 25 m², com 10 linhas de 5 metros de comprimento, com espaçamento de 0,50 metros entre linhas e população de 10 sementes por metro linear. O adubo nitrogenado foi aplicado na fase de transição do período reprodutivo R4-R5 (final do enchimento de vagens para início do enchimento de grãos). No estágio de maturação para colheita foi realizada a coleta das plantas da área útil. Para as avaliações foram utilizadas as duas linhas centrais de 3 metros (área útil), excluindo-se as bordaduras.

3.2. Avaliações e análises laboratoriais

Antes de proceder às avaliações de rendimento e qualidade fisiológica, foi determinada a umidade das sementes, através do teste do teor de água, conforme descrita na RAS (BRASIL, 2009).

No experimento de primeiro ano foram avaliadas somente peso de mil sementes (PMS) e produtividade (PROD), com relação às avaliações de plantas.

3.2.1. Avaliações de plantas

Teor de clorofila: Foram escolhidas, aleatoriamente, 10 plantas dentro de cada parcela, e fez-se a leitura do folíolo central de um dos trifólios do terço médio das plantas. A leitura foi feita pelo aparelho Clorofilog. Foram definidos o teor de clorofila total (TC_{tot}), o teor de clorofila a (TC_a) e o teor de clorofila b (TC_b) (PARENTE 2014).

Produtividade (Prod): Para obtenção da produção por hectare, foram utilizadas as plantas da área útil da parcela. Obteve-se a massa dos grãos das plantas coletadas e foi definida a produção média das plantas na parcela e transformados para kg ha^{-1} (grau de umidade de 13% na base úmida) (BARBOSA et al., 2014).

Peso de mil sementes (PMS): foram utilizadas oito amostras de 100 sementes ao acaso, de cada parcela, onde cada amostra foi pesada com o uso de balança decimal e depois se aplicou a fórmula descrita em Brasil (2009). A umidade também foi corrigida para 13% de umidade. Os resultados são expressos em gramas.

Massa seca do caule (MSC): foram escolhidas 5 plantas aleatoriamente, dentro de cada parcela, onde retirou-se as vagens e folhas, prosseguiu-se com a secagem do caule, em estufa de circulação forçada, a uma temperatura de 65 °C, por 48 horas (LAZARINI et al., 2000).

Massa seca das sementes (MSS): Após terem sido retiradas as vagens das 5 plantas, aleatoriamente, de cada parcela, as mesmas foram encaminhadas para a estufa de circulação forçada, às mesmas condições descritas para a secagem do caule (LAZARINI et al. 2000).

Número de vagens por planta (NV): Foram contadas o número de vagens, em uma amostra de 5 plantas por parcela. O resultado é expresso em número de vagens por planta.

Número de vagens no terço superior (NVTs): Foram contadas o número de vagens no terço superior, em uma amostra de 5 plantas por parcela. O resultado é expresso em número de vagens no terço superior por planta.

Comprimento de vagens (CVa): Foram escolhidas 5 plantas por parcela, aleatoriamente, e foram mensuradas o comprimento de 10 vagens aleatoriamente, expresso em milímetros, com o auxílio de um paquímetro digital.

3.2.2. Avaliações laboratoriais

Os testes de qualidade fisiológica foram realizados no Laboratório de Fitotecnia, da Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, no município de Bom Jesus, Piauí. Para estes testes foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, no qual os tratamentos consistiram das sementes provenientes das plantas de soja do experimento conduzido a campo (experimento do ano 1), com as seis diferentes doses de N (0, 30, 60, 90, 120 e 150 kg

ha⁻¹) no primeiro experimento, com uso da fonte ureia e na 2ª fase do experimento, das cinco diferentes doses de N (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹) com as duas fontes de adubo (ureia e sulfato de amônio), aplicados entre R4-R5.

Quanto ao teste de germinação, para as sementes provenientes do experimento de primeiro ano, só foi possível realizar as análises da segunda contagem, que é o percentual de germinação propriamente dito.

Os testes realizados foram:

Germinação (G): foi realizada metodologia descrita por (BRASIL, 2009), por meio da semeadura de quatro repetições de 50 sementes, por tratamento, em rolo de papel devidamente esterilizado e umedecido com água destilada na quantidade equivalente a 3 vezes a massa do papel seco e mantido em câmara de germinação tipo *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) a 25 °C e fotoperíodo de 12 horas. Foram contabilizadas as sementes germinadas no 5º dia, para obter os valores da primeira contagem da germinação (PCG). A partir da contagem do 8º dia, se obteve o percentual de germinação. Foi obtido também o índice de velocidade de germinação (IVG), através das contagens diárias do quinto ao oitavo dia, por meio da equação proposta por Maguire (1962).

Comprimento e massa seca de plântulas: Foi realizado de acordo com o método proposto por Nakagawa (1999) com 4 repetições de 20 sementes por tratamento, semeadas em rolo de papel, esterilizado e umedecido com água destilada. As sementes foram semeadas no terço médio do papel, na direção longitudinal e mantidas em germinador a 25 °C. Após sete dias foram determinados o comprimento de plântulas (CP) normais com auxílio de uma régua graduada e a massa seca, em gramas, da parte aérea (MSPA) e de raiz (MSR) de 10 plântulas normais. Para o procedimento de avaliação da massa seca, as plântulas normais foram separadas em raiz e parte aérea, para cada repetição, e secas em estufa de circulação forçada, a 65°C, por 48 horas.

Condutividade elétrica (CE): adotado o método proposto por Marcos Filho *et al.* (1990), foram utilizadas quatro amostras de 25 sementes por tratamento, pesadas e imersas em 75 ml de água destilada (em copos descartáveis). Após 24 horas procedeu-se a leitura da condutividade elétrica da solução no aparelho portátil ECSCA40. Os resultados são expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$.

3.3. Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANAVA) e quando houve diferença estatística a análise de regressão foi aplicada, para as variáveis quantitativas. Foi utilizado o teste F, na análise de variância e o método dos mínimos quadrados ordinários para a análise de regressão. Os dados foram processados pelo software R versão 3.2.0 (Assistat, 2016) e os gráficos plotados com uso do software SigmaPlot versão 10.0 (Systat Software, 2017).

3.4. Viabilidade econômica

Apenas os dados do segundo experimento foram sujeitos a esta análise, pois o mesmo apresentou resposta significativa com relação à produtividade. Foram considerados o peso de mil sementes, a germinação e a população recomendada para a semeadura do cultivar (200.000 plantas ha⁻¹). Os dados foram parametrizados através da metodologia de Monte Carlo (LIMA *et al.*, 2008), obtendo-se uma série de dados simulados e com distribuição normal dos resíduos, adotando-se um n de 10.000 observações, por tratamento.

Os dados utilizados para a avaliação de viabilidade econômica do sistema de produção de sementes foram submetidos à análise de variância, para determinar se havia diferença entre as fontes, ureia e sulfato de amônio, e entre as doses. Na sequência, procedeu-se o teste de comparação de médias, através do teste de Tukey ($p < 0,05$) para definir os níveis de diferenças. Procedeu-se a análise de regressão para obtenção da função de produção, cujo modelo estabelecido para ajustamento foi polinômio de grau três.

Os cálculos aqui descritos seguem os modelos prescritos pela Teoria da Firma (VASCONCELLOS e GARCIA, 2009; CAMARGOS e COUTINHO, 2008). Após a obtenção da função de regressão, considerando o erro padrão, foi realizado o ajustamento da normalidade. A partir da função polinomial, foram calculados os estágios 2 e 3 de produção (equações 1 e 2), para definir os limites de racionalidade de uso dos insumos.

Para o cálculo dos estágios de produção:

$$\text{Estágio 2: } b/(2.a) \tag{1}$$

Sendo d e a coeficientes da equação de produção.

$$\text{Estágio 3: } (-b \pm \sqrt{\Delta}) / (2.a) \quad (2)$$

Sendo b e a coeficientes da equação e Δ ($b^2 - 4ac$) obtida da equação.

O Produto Físico Total (PFT) = Y (equação de produção) obtido pela equação 3:

$$\text{PFT} = Y = [(\beta_3; \varepsilon_3)x_1^3 + (\beta_2; \varepsilon_2)x_1^2 + (\beta_1; \varepsilon_1)x_1 + (\beta_0; \varepsilon_0)] \quad (3)$$

Em que:

Y= produtividade ou produto físico total

β = parâmetros do modelo

ε = erro aleatório associado

x_1 = a quantidade alocada de insumo (as doses de N);

O Produto Físico Médio (PFMe) obtido pela equação 4:

$$\text{PFMe} = Y / x_1 = \text{PFT} / x_1 \quad (4)$$

Em que:

Y ou PFT= produtividade ou produto físico total

x_1 = a quantidade alocada de insumo;

O Produto Físico Marginal (PFMa) obtido pela equação 5:

$$\text{PFMa} = dY/dX = d\text{PFT} \quad (5)$$

Em que:

dY= derivada da equação de produção Y

dx_1 = a derivada de x_1 (zero)

x_1 = quantidade alocada de insumo.

Para a obtenção da receita total (RT) utilizou-se a equação 6:

$$\text{RT} = \text{PFT} \cdot P_y \quad (6)$$

Em que:

RT= receita total

PFT= produto físico total (Y)

P_y = preço do produto

Foi considerado como preço do produto, o preço da saca de sementes de soja da cultivar, com preço futuro corrigido do risco de base para Bom Jesus de 13% e erro padrão de 3,45% da base (SANTOS *et al.* 2014), cujo P_y foi de R\$ 174,00.

Para a obtenção do custo total (CT) utilizou-se a equação 7:

$$CT = x_1 \cdot Px_1 + C_p \quad (7)$$

Em que:

CT= custo total

x_1 = quantidade alocada do insumo (adubo)

Px_1 = preço do kg do insumo

C_p = preço dos custos de produção

O preço da ureia foi de R\$ 1.250,00 e do sulfato de amônio foi de R\$ 900,00, a tonelada. Foram considerados ainda no Px_1 o custo de aplicação do adubo, de 1 saca hectare⁻¹, com a saca de soja cotada a R\$ 70,00. O preço do kg de N com uso da ureia foi de R\$ 3,59 e do sulfato foi de R\$ 5.31. Os preços foram na cotados na praça de Bom Jesus/Piauí.

O C_p aqui foi considerado como o custo total anterior. Como na utilização de zero quilograma de N, não existiria custo extra, considera-se apenas os custos de produção, que nesse caso assume-se ser igual à receita total. Para as demais doses se utilizou sempre como custos fixos o custo total anterior.

Para obter a maximização dos lucros a derivação matemática (equação 8) utilizada foi:

$$\text{Max } \pi = RT - CT \quad (8)$$

Em que:

RT = receita total

CT = custo total

Essa equação equivale ao lucro líquido e auxilia o produtor na tomada de decisão. Entretanto ele deve considerar ainda a quantidade ótima de uso do insumo e a dose ótima.

A quantidade (ou dose) ótima de insumo é definida pela equação 9:

$$P_y \cdot P_{FMax_1} = P_{x_1} \quad (9)$$

Em que:

P_y = preço do produto (sacas de sementes de soja)

P_{FMax_1} = produto físico marginal do insumo (derivada da equação de produção);

P_{x_1} = preço do insumo

A produtividade ótima é definida por Y . Substituindo em x_1 o valor encontrado na dose ótima (calculado anteriormente). A produtividade equivale a sacas com 200.000 sementes viáveis. Todos os dados que foram submetidos à análise econômica foram processados pelo software @Risk 7 (PALISADE, 2016).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Primeiro ano

Na Tabela 3 está disponível o resumo da análise de variância para as variáveis de produtividade e peso de mil sementes e as análises de qualidade fisiológica. Em termos de produtividade, as médias dos tratamentos não apresentam diferenças significativas. A partir desses dados observa-se que não houve o efeito do nitrogênio, aplicado tardiamente no período reprodutivo R5 (início do enchimento de grãos), na produtividade de soja.

Tabela 3. Resumo da análise de variância referente à produtividade, ao peso de mil sementes, a germinação, ao comprimento de plântulas, a massa seca de parte aérea e de raiz e de condutividade elétrica, de soja adubada com N em diferentes doses, em fase R5.

| | G.L | Quadrado médio | | | | | | |
|---------|-----|--------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| | | PROD (kg ha ⁻¹) | PMS (g) | G (%) | CP (cm) | MSPA (g) | MSR (g) | C.E (μS/cm/ g) |
| Blocos | 3 | 1237121, 3 | 583265 | - | - | - | - | - |
| Trat | 5 | 928540,1 ⁿ s | 33,16 ^{ns} | 0,57 ^{ns} | 9,79 ^{ns} | 0,0055 ^{**} | 0,00015 ^{**} | 305,52 ^{**} |
| Resíduo | 15 | 429828,3 | 32,76 | 8,50 | 3,83 | 0,0004 | 0,00003 | 36,16 |
| CV (%) | | 22,24 | 3,69 | 2,99 | 7,71 | 20,93 | 39,0 | 8,38 |

Legenda: **: p<0,01; ns: não significativo.

Com relação ao peso de mil sementes, o resultado também foi não significativo. A massa de grãos é definida após o estabelecimento do número de grãos, que ocorre após a formação do grão de pólen (NAKAGAWA, 2014), portanto esse período ocorre após a fase de formação de vagens, no início da fase de granação (R5), onde a planta vai mobilizar os nutrientes, entre eles o nitrogênio, para encher as sementes. Se o nitrogênio estiver prontamente disponibilizado a planta, esta disponibilizará o elemento aos frutos. Pelo resultado aqui disposto, o nitrogênio fornecido pelas bactérias fixadoras, e alocado nas folhas, foi suficiente para atender a demanda das sementes, sem a necessidade da adubação mineral.

Foi observada uma relação linear entre a absorção de N, proveniente da fixação biológica e a produção de sementes, com uma inclinação de 13,6 kg de grãos para cada kg de N exportado, isso nas condições meteorológicas e de solo argentinos

(COLLINO *et al.*, 2015). A partir desse resultado pressupõe-se que por si só, a fixação biológica é uma grande contribuinte no fornecimento de N para as sementes de soja. Porém, a contribuição da FBN, nas condições edafoclimáticas da Argentina, é na ordem de 60%, valor menor que o relatado em pesquisas no Brasil. Portanto, esperava-se que somente a FBN fosse suficiente para abastecer a demanda das plantas por N, como de fato ocorreu.

De acordo com a Figura 1 (Material e métodos), a precipitação média, no mês de aplicação do nutriente, foi de 56,5 mm, e em função da baixa umidade associada possivelmente à reação inicial alcalina da ureia no solo, que pode resultar em perdas por volatilização da amônia (SCIVITTARO *et al.*, 2010), o nutriente pode ter sido parcialmente perdido para o sistema solo-atmosfera, o que pode ter contribuído na redução de sua disponibilidade para a planta.

Concordando com o resultado obtido, Bahry *et al.* (2014) não obtiveram resposta á adubação mineral na variável peso de mil sementes total da planta, avaliando o efeito de diferentes doses de N, aplicadas em diferentes estádios fenológicos reprodutivos na soja, também em função do estresse hídrico na qual as plantas foram submetidas. O resultado expresso por esses autores, em termos de peso de mil sementes, refletiu na ausência de resposta positiva na produtividade da cultura, corroborando com o resultado obtido em nosso estudo.

Entretanto, Petter *et al.* (2012) obtiveram resultados significativos para o peso de mil sementes, quando realizaram o manejo da adubação nitrogenada tardiamente, em diferentes cultivares de soja. Em seus resultados eles verificaram um aumento no peso de mil sementes, nas doses 20 e 40 kg ha⁻¹ de N, aplicado na fase reprodutiva R1 (início da floração), com valores de aproximadamente 158 e 159 g, respectivamente.

Ainda na Tabela 3, nota-se que não houve diferença significativa para as variáveis germinação e comprimento de plântulas. Vanzolini *et al.* (2007) alcançaram resultados expressivos no comprimento de plântulas normais de diferentes lotes de sementes de soja EMBRAPA 48, sendo o melhor lote com o valor médio de 22,7 cm, porém, para a germinação em papel toalha, os lotes não diferiram entre si, cuja germinação média foi de 66,7%.

No teste de condutividade elétrica todos os tratamentos demonstraram diferença significativa em relação à testemunha, na qual não houve aplicação de nitrogênio. Valores de condutividade elétrica altos são indicativos de perda de vigor e de qualidade fisiológica de sementes. Isso porque, o resultado expresso reflete a quantidade de íons lixiviados das sementes para a solução na qual as sementes estão imersas. Dessa forma, quanto mais deteriorada a semente, mais íons serão lixiviados pelas sementes na solução. Como o nitrogênio forma compostos proteicos, e esses são componentes estruturais da membrana plasmática das células das sementes (TAIZ e ZEIGER, 2009), pressupõe-se que quanto maior o conteúdo de nitrogênio, mais resistente será a membrana dessa semente, com menor conteúdo de solutos lixiviados.

Os resultados podem ser visualizados a partir dos gráficos de regressão, a partir da Figura 3.

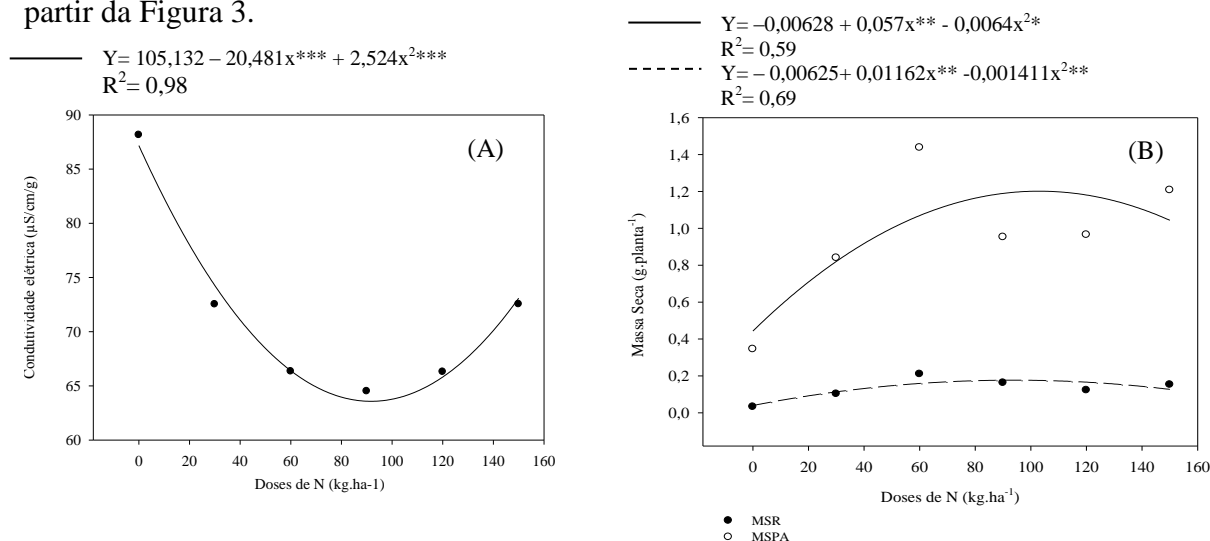


Figura 3. Análise de regressão das variáveis, condutividade (A) e massa seca de raiz – MSR – e massa seca de parte aérea – MSPA (B), a partir do teste de comprimento de plântulas em função da aplicação de cobertura, das diferentes doses de nitrogênio, UFPI/CPCE.

A equação, para condutividade, atende a curva de regressão polinomial quadrática (Figura 3). A dose de máxima eficiência agrônômica (DMEA) para esta variável foi de 4,05 kg de N, com condutividade correspondente de $63,58 \mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$. Com essas diferenças pode-se dizer que os resultados se mostraram ideais, pois lotes de sementes com alto vigor podem apresentar valores de condutividade entre 57 e $64 \mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$, com sementes com 13% de umidade (VIEIRA *et al.*, 2002).

Para as variáveis de massa seca de parte aérea e de raiz (Figura 3B) a equação também tem ajuste de uma curva de regressão polinomial quadrática. A dose ótima de 4,45 kg de N corresponde a uma massa seca de parte aérea de 0,12 gramas plântula⁻¹, já a massa seca de raiz com a aplicação de dose ótima de 4,11 kg de N foi de 0,0176 g plântula⁻¹. Ao comparar os testes de análises de vigor de sementes de soja, através do teste de comprimento de plântulas, Santorum *et al.* (2013) obtiveram resultados aceitáveis para massa seca de raiz e de parte aérea, em diferentes cultivares, no qual esse resultado alcançou 0,162 g para o melhor tratamento de MSPA e 0,124 g para o melhor desempenho em MSR.

4.2. Segundo ano

4.2.1. Sulfato de amônio como fonte de nitrogênio

Com base na tabela 4, assume-se que houve efeito das doses de N apenas na variável comprimento de vagens, que não obteve significância dos parâmetros da equação, nos modelos testados.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para todas as variáveis do experimento a campo, com aplicação de sulfato de amônio.

| FV | GL | Quadrado médio | | | CVa | MSC |
|---------|----|--------------------|--------------------|---------------------|-------|--------------------|
| | | Cl _a | Cl _b | Cl _{total} | | |
| Dose | 4 | 1,93 ^{ns} | 1,17 ^{ns} | 4,81 ^{ns} | 4,42* | 6,21 ^{ns} |
| Bloco | 3 | 6,92 ^{ns} | 0,94 ^{ns} | 12,39 ^{ns} | 5,16* | 9,67 ^{ns} |
| Resíduo | 12 | 2,35 | 0,46 | 3,59 | 1,25 | 6,07 |
| CV (%) | | 3,27 | 5,79 | 3,23 | 2,71 | 25,93 |

| | GL | MSV | NV | NVTS | PMS | PROD |
|---------|----|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Dose | 4 | 14,38 ^{ns} | 195,37 ^{ns} | 14,92 ^{ns} | 25,49 ^{ns} | 480124 ^{ns} |
| Bloco | 3 | 1,65 ^{ns} | 111,77 ^{ns} | 53,20 ^{ns} | 24,02 ^{ns} | 152859 ^{ns} |
| Resíduo | 12 | 21,70 | 273,17 | 39,33 | 14,90 | 234430 |
| CV (%) | | 35,59 | 32,05 | 34,64 | 3,85 | 29,85 |

Legenda: Cl_a=clorofila a, Cl_b=clorofila b, Cl_{total}=clorofila total, CVa=comprimento de vagem, MSC=massa seca de caule, MSV=massa seca de vagem, NV=número de vagens, NVTS=número de vagens no terço superior, PMS=peso de mil sementes, PROD=produtividade, FV=fonte de variação, GL=graus de liberdade, CV=coeficiente de variação, ns=não significativo, *p<0,05, ***p<0,001.

Com relação à qualidade fisiológica das sementes, as análises da Tabela 5 apontam resultado significativo para as variáveis indicativas de vigor de sementes, condutividade elétrica, primeira contagem da germinação e índice de velocidade de

germinação e indicativas de viabilidade como a germinação. As demais variáveis não tiveram resposta ao efeito das doses de N.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para as variáveis analisadas a partir dos testes em laboratório, do experimento com sulfato de amônio.

| FV | GL | Quadrado médio | | | |
|---------|----|----------------------|-----------|---------|----------|
| | | CP | CE | PCG | G |
| Dose | 4 | 1,4268 ^{ns} | 3668,1*** | 266,0** | 382,3*** |
| Resíduo | 15 | 1,8766 | 460,9 | 44,8 | 23,0 |
| CV (%) | | 4,32 | 14,31 | 11,54 | 6,98 |

| FV | GL | IVG | MSRA | |
|---------|----|-----------|-------------------------|--------------------------|
| | | | MSPA | MSRA |
| Dose | 4 | 3,5620*** | 0,0000766 ^{ns} | 0,00000267 ^{ns} |
| Resíduo | 15 | 0,2361 | 0,0000893 | 0,00000161 |
| CV (%) | | 7,34 | 16,02 | 13,45 |

Legenda: CP=comprimento de plântulas, CE=condutividade elétrica, PCG=primeira contagem da germinação, G=germinação, IVG=índice de velocidade de germinação, MSPA=massa seca da parte aérea, MSR=massa seca de raiz, FV=fator de variação, GL=graus de liberdade, CV=coeficiente de variação, ns=não significativo; **p<0,01; ***p<0,001.

Novamente, o modelo que teve melhor ajuste foi o polinomial quadrático, para condutividade elétrica, primeira contagem da germinação, germinação e índice de velocidade de germinação, respectivamente (Figura 4).

A condutividade elétrica ideal deve apresentar valores baixos, em torno de 65 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$, no qual os dados apontam para uma tendência à elevação das perdas de solutos, a partir da aplicação de 120 kg de N. A dose de máxima eficiência agrônômica (DMEA) indicada pela equação foi de 82,64 kg ha⁻¹ e CE de 129,77 $\mu\text{S cm}^{-1}$ por grama de semente.

Na primeira contagem da germinação a equação apontou DMEA de 70,8 kg ha⁻¹ com 65,8% de sementes germinadas. Já para a germinação, a dose de máxima eficiência foi de 69,7 kg ha⁻¹ que resultou em germinação de 77,3% de sementes. O índice de velocidade de germinação estima a velocidade de germinação das sementes de soja, no qual, com dose ótima de 69,9 kg ha⁻¹ de N, apresentou índice de 7,47.

Quanto às análises de plantas, teor de clorofilas e massa seca de caule, as mesmas não apresentaram resposta significativa. Isso se deve ao fato de que, no estágio de desenvolvimento reprodutivo os principais drenos são os frutos, para a importação de carboidratos, aminoácidos e outros materiais (LACERDA *et al.*, 2007), o que explica a carência de resposta à adubação, feita em cobertura, no que diz respeito ao desenvolvimento vegetativo da planta.

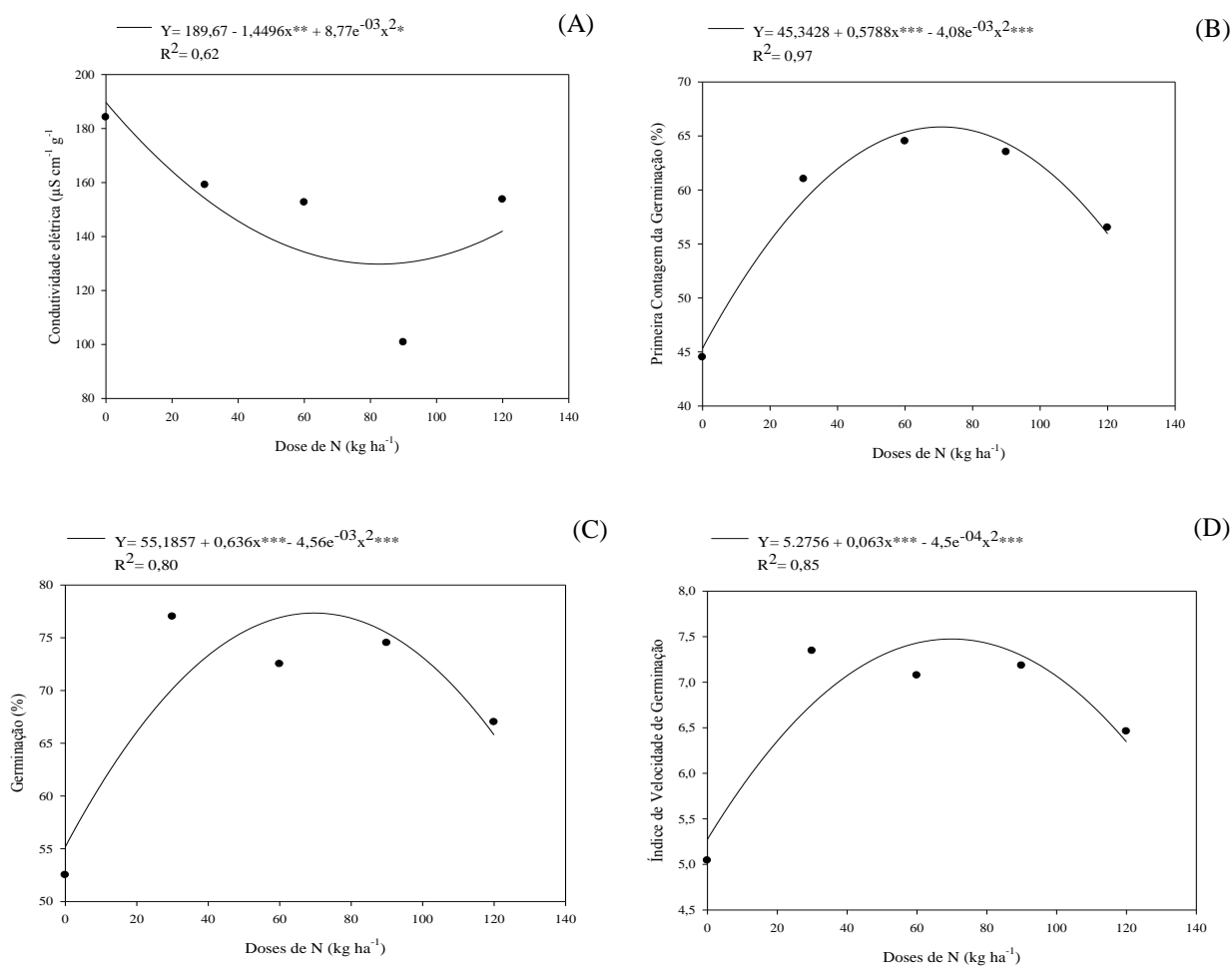


Figura 4. Análise de regressão das variáveis, condutividade elétrica (A), primeira contagem da germinação (B), germinação (C) e índice de velocidade de germinação (D), com fonte sulfato de amônio.

Em termos de produtividade, o estresse hídrico, especialmente, após a aplicação do adubo (Figura 2 – média menor que 8 mm diários) pode explicar a ausência de resposta às diferentes quantidades de sulfato de amônio aplicadas, já que as plantas de soja exigem altas precipitações e temperaturas elevadas durante a fase final do seu desenvolvimento, especialmente da formação de vagens ao enchimento de grãos (DIVITO et al., 2015).

Com efeito das doses positivo para a variável condutividade elétrica (CE), esses valores foram acima do que se espera para lotes de sementes de soja de alto vigor. Nessas circunstâncias, admite-se que a adição de N tardiamente, entre os estádios R4-R5, possivelmente incorporou proteínas integrais no complexo fosfolipídico da membrana celular (TAIZ e ZEIGER, 2009), durante o processo de enchimento dos

grãos, o que reduziu os níveis de lixiviação de solutos pelas sementes. A degradação da membrana celular pela ação de radicais livres é uma das teorias mais aceitas sobre a deterioração das sementes (ÁVILA *et al.*, 2007) o que está intimamente ligado ao potencial de armazenamento das sementes. Esse resultado é um forte indicativo de que a adubação nitrogenada tardia proporciona uma adequada manutenção da qualidade fisiológica de sementes armazenadas.

No caso do sulfato de amônio, os aspectos de qualidade fisiológica foram substancialmente beneficiados pelas doses de N nas sementes, mesmo sem incremento de massa nos grãos. Como as sementes de soja contêm cerca de 40% de proteína (MORAES *et al.*, 2006), tanto na forma estrutural (componentes das membranas), quanto na forma de aminoácidos acumulado no tecido de reserva e enzimas (TAIZ e ZEIGER 2009), os resultados positivos com relação ao N são evidentes através dessas análises. Considerando que a metionina e a cisteína são aminoácidos limitantes nas proteínas de soja (MORAES *et al.*, 2006), e que esses aminoácidos são compostos por enxofre, considera-se que possivelmente a resposta fisiológica das sementes tenha sido também, em função da formação desse tipo de grupamento amina.

Embora a soja contenha uma grande proporção de proteínas, as sementes são deficientes em aminoácidos que tenham em sua composição o enxofre. Uma alta relação entre as proteínas glicina (11S) e β -conglucina (7S) pode indicar um aumento em aminoácidos contendo enxofre, 11S e 7S, sendo que diferentes genes que decodificam essas proteínas são importantes para a qualidade fisiológica de sementes (MA *et al.* 2016).

4.2.2. Ureia como fonte de nitrogênio

As variáveis, relacionadas às plantas, que obtiveram resposta às doses foram número de vagens e produtividade (Tabela 6). As análises de regressão das variáveis produtividade (PROD) e número de vagens (NV) (Figuras 5) obtiveram ajuste adequado no modelo quadrático. A produtividade máxima de 2145,99 kg ha⁻¹ foi alcançada na dose de 78,7 kg ha⁻¹.

Tabela 6. Resumo da análise de variância para as variáveis analisadas a partir dos testes em campo, com uso da fonte ureia.

| FV | GL | Quadrado médio | | | | |
|---------|----|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | Cl _a | Cl _b | Cl _{total} | CVa | MSC |
| Dose | 4 | 2,6344 ^{ns} | 0,27803 ^{ns} | 3,6937 ^{ns} | 10,7397* | 5,2580 ^{ns} |
| Bloco | 3 | 11,4768* | 0,91496 ^{ns} | 10,0094* | 2,7382 ^{ns} | 1,8453 ^{ns} |
| Resíduo | 12 | 2,2614 | 0,31661 | 2,5615 | 2,2280 | 5,0853 |
| CV (%) | | 3,23 | 4,76 | 2,74 | 3,61 | 24,2 |

| | GL | MSV | NV | NVTS | PMS | PROD |
|---------|----|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|
| Dose | 4 | 31,888 ^{ns} | 269,154* | 19,203 ^{ns} | 16,4262 ^{ns} | 2625367*** |
| Bloco | 3 | 0,437 ^{ns} | 12,964 ^{ns} | 2,983 ^{ns} | 5,1967 ^{ns} | 38491 ^{ns} |
| Resíduo | 12 | 19,371 | 53,996 | 40,115 | 13,5598 | 67283 |
| CV (%) | | 32,08 | 15,28 | 34,29 | 3,67 | 13,89 |

Legenda: Cl_a=clorofila a, Cl_b=clorofila b, Cl_{total}=clorofila total, VCa=comprimento de vagem, MSC=massa seca de caule, MSV=massa seca de vagem, NV=número de vagens, NVTS=número de vagens no terço superior, PMS=peso de mil sementes, PROD=produtividade, FV=fonte de variação, GL=graus de liberdade, CV=coeficiente de variação, NS: não significativo; *: significativo a 5% de probabilidade; ***: significativo a 0,1% de probabilidade.

Verificou-se resposta significativa para a variável, número de vagens, que atingiu o máximo de 56 vagens por planta na dose de 71,8 kg ha⁻¹ (Figura 5B). Comparando a testemunha (0 kg ha⁻¹) com a faixa de dose de 60 kg de N ha⁻¹ verifica-se um acréscimo de quase 20 vagens com a aplicação de N, o que pode ter contribuído para o aumento de produtividade de sementes. Portanto houve retenção de vagens por planta, e isso explica a diferença estatística na produtividade.

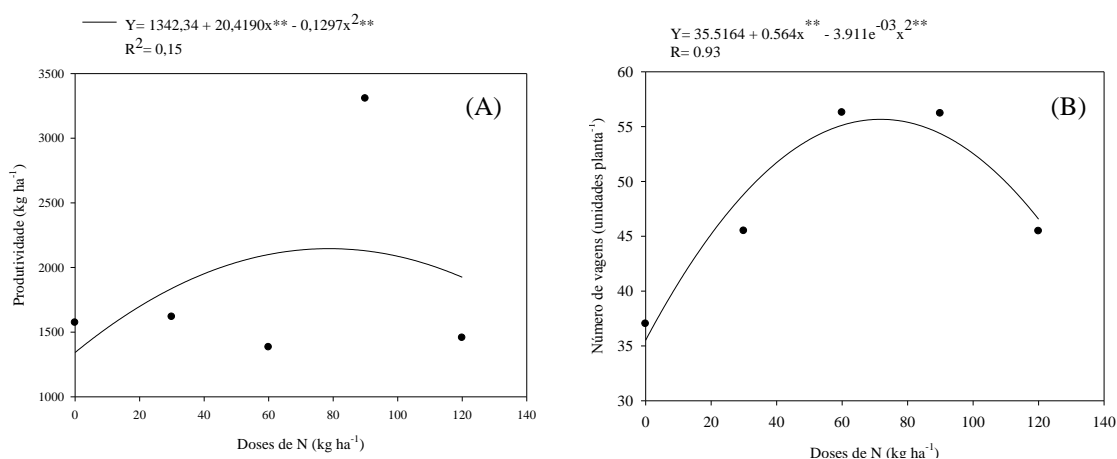


Figura 5. Análise de regressão das variáveis, produtividade (A) e número de vagens por planta (B) para o ensaio com a aplicação do adubo ureia.

As análises das variáveis de qualidade fisiológica (Tabela 7) apresentaram significância para a primeira contagem da germinação, germinação, índice de velocidade de germinação e massa seca de raiz. Todas as variáveis de qualidade que

apontaram resposta às doses indicaram modelo com ajustamento quadrático com coeficiente de determinação em torno de 60% (Figura 6).

A dose de máxima eficiência indicada para a primeira contagem de germinação (PCG) foi de 56,47 kg ha⁻¹ e percentual de 66,19 sementes germinadas. Para a germinação essa dose foi de 65,13 kg ha⁻¹ com um total de 78,98% de sementes. Para o índice de velocidade de germinação (IVG) obteve dose de eficiência de 63,11 kg ha⁻¹ com índice de 7,55. Essa resposta pode estar associada a maior taxa de enzimas e na incorporação de esqueletos de carbono nas sementes, que favorecem o processo de germinação. Nas sementes as reservas de carboidratos, lipídeos e proteínas, produzidas durante o desenvolvimento do vegetal, são utilizadas pelo embrião como substrato e fonte de energia, sendo que a mobilização dessas reservas durante a germinação é essencial para o estabelecimento inicial da plântula.

A disponibilidade de N influencia fortemente o aporte e a mobilização das reservas durante a germinação (CAMARGO *et al.*, 2013). Estes resultados indicam que aplicação nitrogenada tardia possibilita a obtenção de sementes de soja com maior potencial fisiológico.

Por outro lado, o resultado apontou uma baixa germinação, menos de 80%. Esse resultado pode estar associado às adversidades climáticas, principalmente os fatores precipitação e temperatura do ar, que também influenciaram nas respostas de outras variáveis estudadas nesse trabalho.

Tabela 7. Resumo da análise de variância para as variáveis analisadas a partir dos testes em laboratório, do experimento com ureia.

| Quadrado médio | | | | | |
|-----------------------|-----------|----------------------|----------------------|------------|-----------|
| FV | GL | CP | C.E | PCG | G |
| Dose | 4 | 3,9122 ^{ns} | 1744,6 ^{ns} | 438,3*** | 542,80*** |
| Resíduo | 15 | 2,0568 | 1133,8 | 50,8 | 53,33 |
| C.V.(%) | | 4,6 | 18,45 | 12,46 | 10,55 |

| FV | GL | IVG | MSPA | MSRA |
|----------------|-----------|------------|-------------------------|-------------|
| Dose | 4 | 5,2668*** | 0,0000435 ^{ns} | 0,00000430* |
| Resíduo | 15 | 0,4798 | 0,0000690 | 0,00000105 |
| CV (%) | | 10,5 | 13,1 | 10,73 |

Legenda: CP=comprimento de plântulas, CE=condutividade elétrica, PCG=primeira contagem da germinação, G=germinação, IVG=índice de velocidade de germinação, MSPA=massa seca da parte aérea, MSR=massa seca de raiz, FV=fator de variação, GL=graus de liberdade, CV=coeficiente de variação, NS=não significativo; *=significativo a 5% de probabilidade; ***=significativo a 0,1% de probabilidade.

A massa seca de raiz de plântulas alcançou uma DMEA de 69 kg ha⁻¹ com massa de 0,009 g plântula⁻¹. Com o aceleramento da germinação e aumento do potencial germinativo das sementes era esperado que a massa seca da raiz apresentasse significância, visto que o estabelecimento inicial da plântula depende de um bom desenvolvimento das raízes iniciais.

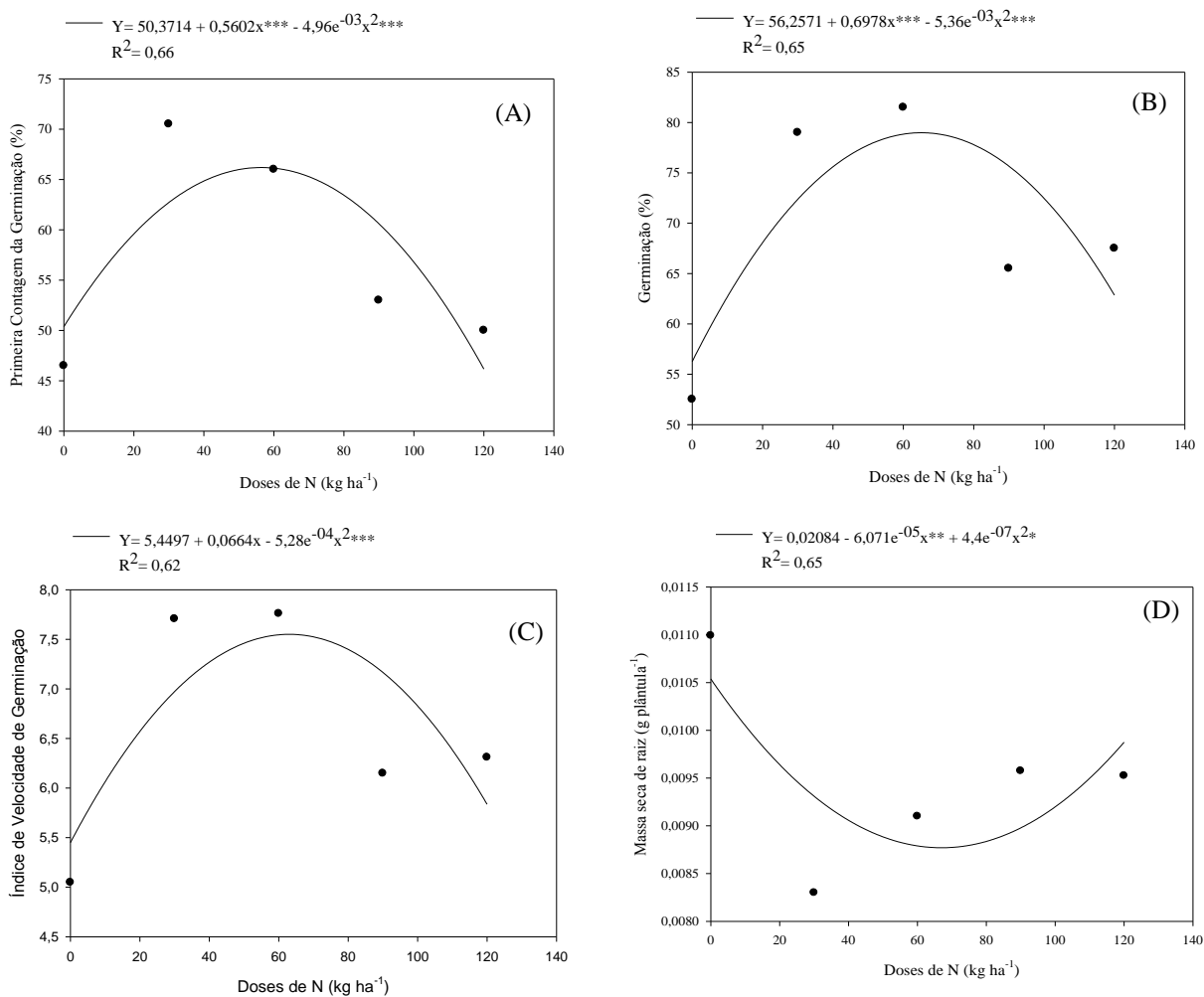


Figura 6. Análise de regressão das variáveis, primeira contagem da germinação (A), germinação (B), índice de velocidade de germinação (C) e massa seca de raiz (D).

O efeito do estresse hídrico (Figura 2), com precipitação entre 0-8 milímetros, no período da aplicação (aos 80 dias após a semeadura) e após ela, pode ter influenciado os resultados inerentes à produtividade e a qualidade fisiológica das

sementes, tendo em vista que, durante a fase final de desenvolvimento das sementes, é acelerado o processo de redistribuição de nitrogênio dos tecidos vegetativos, nessas condições (MASTRODOMENICO *et al.*, 2013).

Além disso, nessa fase, encurta-se o período de enchimento de grãos, comprometendo o rendimento e a viabilidade de sementes de soja. Entretanto, em condições de estresse hídrico, em que a planta tenha um bom reservatório ou fornecimento de N, em genótipos de ciclo tardio, pode ocorrer à diminuição do processo de remobilização de proteínas, o que auxilia na recuperação da planta após a seca durante o final do período de formação dos grãos (MASTRODOMENICO *et al.*, 2013).

Em cultivo de feijão em solo cultivado sob sistema de plantio convencional, Farinelli *et al.* (2006), observaram que os valores de germinação relacionados à adubação ajustaram-se a uma função linear, proporcionando aumento no percentual de plântulas normais germinadas mediante os acréscimos de N.

A ureia, em condições específicas pode reagir no solo, com a água, e formar a amônia, um gás facilmente volatilizado para a atmosfera (ROJAS *et al.*, 2012). Em solos com pH baixo e pouca umidade, como na área desse experimento, a atividade da enzima urease, responsável pela hidrólise de ureia (PEREIRA, 2008), é pouco expressiva, o que evita perdas de N no sistema solo-atmosfera, por volatilização da amônia. Essa enzima urease apresenta atividade máxima com pH entre 6,5 e 9,0 (Lara Cabezas e Couto, 2007), sendo que a análise de solo apresenta valores menores que 5. O N da ureia reage de duas formas no solo, por hidrólise e por nitrificação, até atingir a forma nítrica (NEIVERTH, 2013).

As plantas cultivadas em condições tropicais preferem o nitrato como forma de aquisição de N no solo (MARSCHNER, 1995). Deste modo, observando a maior eficiência do adubo ureia, nas condições do experimento, em relação ao sulfato de amônio, o entendimento das condições edafoclimáticas da área de cultivo são essenciais para obtenção de altos rendimentos de sementes de soja. Sob essa perspectiva, o manejo da adubação nitrogenada é uma premissa importante a ser seguida em produções de sementes de soja, principalmente, quando utilizado alto nível tecnológico.

4.2.3. Viabilidade econômica para a produção de sementes

A análise econômica foi realizada para avaliar a viabilidade econômica entre as fontes e doses testadas. Os resultados de significância da regressão, dos parâmetros e o coeficiente de determinação para essa função estão na Tabela 8, para ambas as fontes. Com a equação disponível foi possível calcular os estágios de produção, para definir os limites da racionalização do uso do insumo e definir a dose ótima para atingir a maior produtividade. Com o uso da ureia a dose ótima obtida foi de 86,7 kg ha⁻¹ de N, com produtividade ótima de 94,9 sacas ha⁻¹. No caso do sulfato de amônio, a dose ótima foi de 75,9 kg ha⁻¹ de N, com produtividade ótima correspondente de 75,8 sacas ha⁻¹.

Tabela 8. Resumo da análise de variância da regressão, parâmetros da equação de produção e coeficiente de determinação, da análise econômica.

| Análise de variância da regressão | | | | |
|-----------------------------------|-------------|----------------|-------------------|-------------|
| Quadrado médio | | | | |
| | GL | Ureia | Sulfato de Amônio | |
| Explicada | 3 | 6314883,146*** | 3022275,029*** | |
| Inexplicada | 49996 | 311,393 | 406,937 | |
| R ² | | 0,54 | 0,30 | |
| Regressão | | | | |
| | | Ureia | Sulfato de Amônio | |
| | Parâmetros | Erro Padrão | Parâmetros | Erro Padrão |
| Coefficiente | 46,03708*** | 0,17519833 | 37,2681*** | 0,200280646 |
| Cx | 0,92589*** | 0,014856223 | 0,9415*** | 0,016983118 |
| bx ² | 0,04085*** | 0,000314412 | 0,00475*** | 0,000359425 |
| ax ³ | 0,000273*** | 1,7223E-06 | 1,2695e-05*** | 1,96888E-06 |

Legenda: GL=graus de liberdade, R²=coeficiente de determinação. **p<0,001.

O produto físico total (PFT), produto físico médio (PFMe) e o produto físico marginal (PFMa), foram calculados a partir da função de produção, para ambas as fontes de adubo. Na sequência, foram geradas as receita total e o custo total para obter a maximização dos lucros. Como comportamento esperado da resposta a aplicação dos adubos. Neste caso, considera-se tanto o preço do produto comercializado quanto o preço do adubo.

Pôde ser observado com as tabelas geradas na base dos cálculos que à medida que se adiciona o insumo a receita líquida tende a crescer, no ponto de máxima utilização do adubo e então passa a decrescer. Esse comportamento é explicado pela Lei dos rendimentos marginais decrescentes (SERRANO e CESARRATO, 2002). O PFMa

aponta a taxa de crescimento do produto físico total. Quando ele se iguala a zero indica que a partir desse ponto a aplicação de maiores doses de adubo não mais será revertida em lucro. Nesse ponto o lucro é maximizado de fato.

Esse ponto zero no produto físico marginal (PFMg) coincide com a dose ótima definida no cálculo dos estágios de produção. O limite entre os estágios de produção encontra-se a zona de racionalização do emprego do insumo na produção de sementes. A aplicação de ureia que maximiza os lucros de produção, com uso de 86,7 kg ha⁻¹ de N, gera uma receita líquida de R\$ 8.118,12 por hectare ao produtor de sementes. Já a aplicação de sulfato de amônio que maximiza os lucros, com uso de 76 kg ha⁻¹ de N, gera uma receita líquida de R\$ 6.433,00 ha⁻¹ produzido.

A análise de viabilidade de produção (Figuras 7 e 8) prevê, com índice de confiança de 95%, que a receita líquida está situada entre R\$ 7.259,00 e R\$ 9.173,00, para a ureia, e R\$ 5.684,00 a R\$ 7317,00, para o sulfato de amônio. A partir dessa perspectiva, assume-se que o risco de produção de sementes de soja, sob o manejo da adubação nitrogenada tardia, é menor na utilização de ureia, isso porque a rentabilidade com a aplicação de ureia é maior, com probabilidade que 90% dos valores se encontrem nessa faixa.

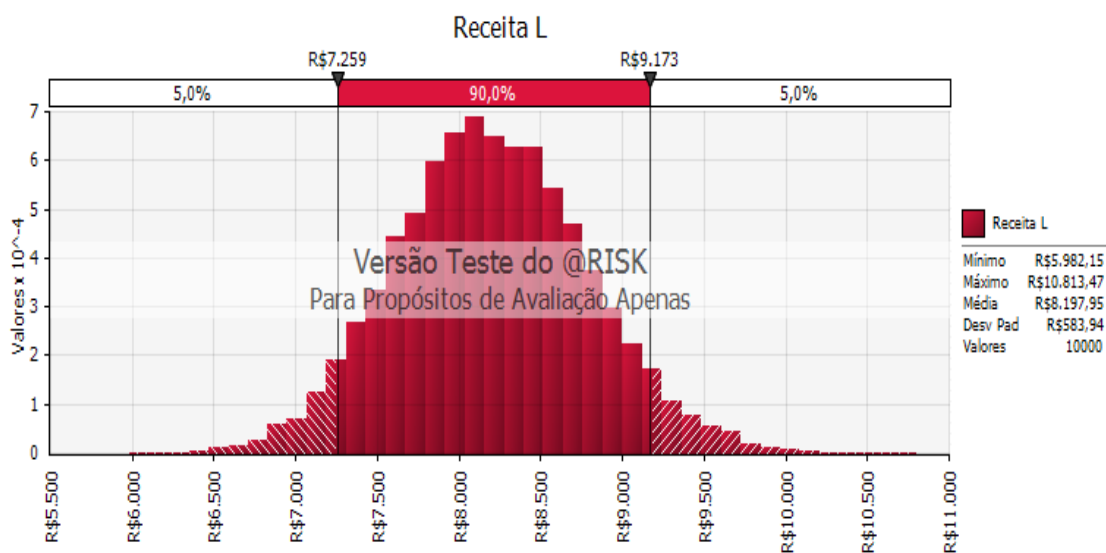


Figura 7. Distribuição de probabilidade da Receita Líquida, com margem de 90% de confiança do resultado, com valores máximo, mínimo, média e desvio padrão, com n de 10.000 amostras, para o ensaio com ureia.

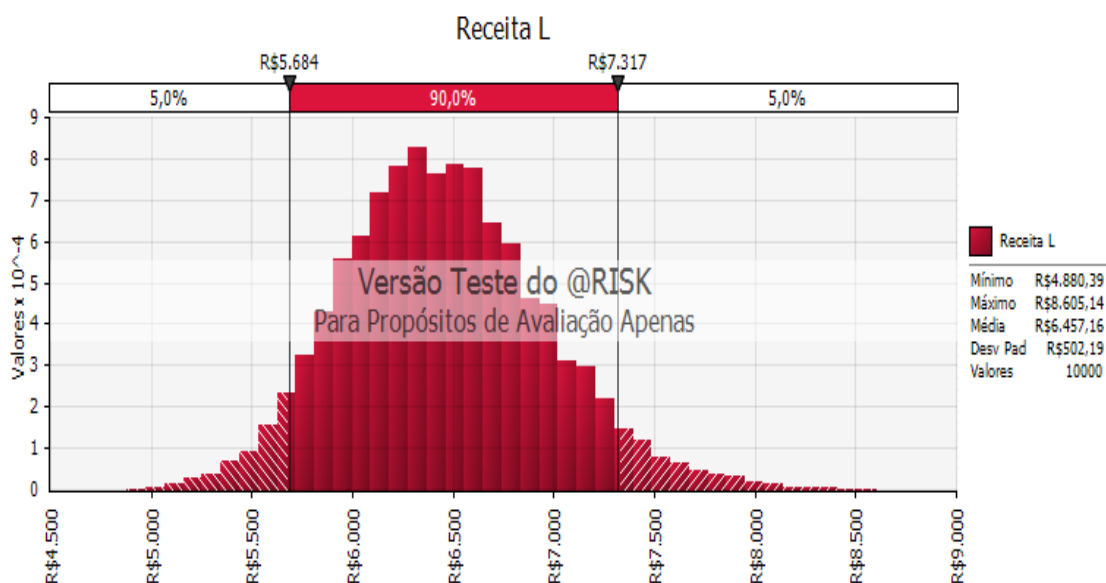


Figura 8. Distribuição de probabilidade da Receita Líquida, com margem de 90% de confiança do resultado, com valores máximo, mínimo, média e desvio padrão, com n de 10.000 amostras, para o ensaio com sulfato de amônio.

Esse resultado é esperado já que as análises de produtividade, sem levar em conta os preços de insumos e produto, também apontaram uma resposta significativa para o uso da ureia, frente ao sulfato de amônio. Essa diferença se deve tanto ao aumento de produção de sementes em volume, como a taxa de germinação que é mais elevada com o uso manejado da adubação. Além disso, o custo do N do adubo nitrogenado ureia é relativamente menor que o custo do N do sulfato de amônio.

O N é absorvido nas raízes das plantas sob duas formas, nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), sendo o nitrato a forma mais disponível em solos aerados, onde a nitrificação não é inibida, no qual a escolha da fonte de adubo nitrogenado é definida por condições ambientais tais como, condições do solo e disponibilidade das duas formas (JADOSKI *et al.*, 2010).

Como já explicado no tópico anterior, a ureia pode reagir no solo gerando o composto nitrato (NO_3^-) ou amônia (NH_3^+). Apesar da demanda energética para a utilização do nitrato, o crescimento das plantas é melhor quando supridas com NO_3^- e não com NH_4^+ (BARKER e MILLS, 1980), o que pode indicar que a ureia seria mais indicada para o manejo da adubação nitrogenada tardia.

5. CONCLUSÃO

Conclui-se com esse trabalho que:

- A aplicação de nitrogênio tardia, com o uso do sulfato de amônio e ureia, contribui positivamente na germinação e vigor de sementes de soja;
- Em áreas em cultivo de monocultura intensiva, a aplicação de nitrogênio tardia, com o uso da ureia favorece o rendimento final de sementes de soja;
- A produção de sementes de soja com a aplicação de doses de nitrogênio de forma tardia é atividade que gera maior lucro, com o uso da ureia como fonte.

6. REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, L. A. N. **Adubação nitrogenada em cultivos sucessivos de milho e soja, sob irrigação**. Tese (Doutorado em Agronomia), Jaboticabal, São Paulo, 2003.
- ASSISTAT. Disponível em: <<http://www.assistat.com/>>. Acesso em: 10/03/2017.
- ÁVILA, M. R.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; MANDARINO, J. M. G.; ALBRECHT, L. P.; VIDIGAL FILHO, P. S. Componentes do rendimento, teores de isoflavonas, proteínas, óleo e qualidade de sementes de soja. **Rev. Bras. Sem.** 29: 111-127, 2007.
- BAHRY, C. A.; VENSKE E.; NARDINO, M.; FIN, S. S.; ZIMMER, P. D.; SOUZA, V. Q. de; CARON, B. O. Características morfológicas e componentes de rendimento de soja submetida à adubação nitrogenada. **Agrarian**, v. 6, n. 21, p. 281-288, 2013.
- BAHRY, C. A.; NARDINO, M.; VENSKE, E.; FIN, S. S.; ZIMMER, P. D.; SOUZA, V. Q. de; CARON, B. O. Efeito do nitrogênio suplementar sobre os componentes de rendimento de soja em condição de estresse hídrico. **Rev. Ceres**, v. 61, n. 2, p. 155-160, 2014.
- BARBOSA, G. F.; CENTURION, M. A. P. C.; FERRAUDO, A. S. Potencial do manejo integrado da ferrugem asiática da soja: severidade da doença, desenvolvimento vegetativo e componentes da produção, cultivar MG/BR-46 (Conquista). **Biosci. J.** Uberlândia, v. 30, sp. 1, p. 76-89, junho, 2014.
- BARBOSA, F. A. **Curso Planejamento e gestão financeira da empresa rural**. CPT. Viçosa, 2011, 311p.
- BARKER, A. V.; MILLS, H. A. Ammonium and nitrate nutrition of horticultural crops. *Hortic. Rev. West.* 2:395-423. 1980.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e Secretária de Desenvolvimento Agrário. **Regras para Análises de Sementes**. Brasília. MAPA/ACS, 2009. 398p.
- BRITO, M. M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio no solo no desenvolvimento de feijão e caupi. **Bragantia**, Campinas, Campinas, v. 70, n. 1, p. 206-215, agosto, 2011.
- BRUN, W.A.: **Assimilation**. – In: Norman, A.G. (ed.): *Soybean Physiology, Agronomy, and Utilization*. p. 45-76. Academic Press, New York – San Francisco – London, 1978.
- CAMARGOS, L. S.; SOARES, C. R. S.; JUSTINO, G. C.; AGUIAR, L. F. Alocação de compostos nitrogenados durante a germinação de sementes de *Canavalia brasiliensis*. **Revista Biotemas**, v. 26, n. 4, dezembro, 2013.

COLLINO, D. J.; SALVAGIOTTI, F.; PERTICARI, A.; PICCINETTI, C.; OVANDO, G.; URQUIAGA, S.; RACCA, R. W. Biologic nitrogen fixation in soybean in Argentina: relationships with crop, soil and meteorological factors. **Plant Soil**, 392: p. 239-252, 2015.

CONAB - **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_08_18_10_30_18_boletim_graos_agosto_2015.pdf> Acesso em: 18/08/2015, as 09:50.

CAMARGOS, M. A.; COUTINHO, E. S. A teoria da firma e a fundamentação teórica para fusões e aquisições: uma análise de suas interfaces. **RAC Eletrônica**. 2:273-295, 2008.

DAMODARAN, A. **Gestão estratégica do risco: uma referência para a tomada de riscos empresariais**. Tradução Félix Nonnenmacher – Porto Alegre: Bookman, 2009. 384 p.

DUTRA, A. S.; BEZERRA, F. T. C.; NASCIMENTO, P. R.; LIMA, D. C. Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijão caupi em função da adubação nitrogenada, *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, n. 4, 2012.

DIVITO, G.; ECHEVERRÍA, H. E.; ANDRADE, F. H.; SADRAS, V. O. Diagnosis of S deficiency in soybean crops: Performance of S and N: S determinations in leaf, shoot and seed. **Field Crops Research**. 180:167-175, 2015.

EMBRAPA (**Empresa Brasileira de Pecuária, Agricultura e Pesca**). Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>> Acesso em: 03/12/2015.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2013. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3th edition revisada e ampliada. Brasília-DF (BR).

ESPINDULA, M. C.; ROCHA, V. S.; SOUZA, M. A.; GROSSI, J. A. S.; SOUZA, L. T. Doses e formas de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e produção da cultura do trigo. *Ciência Agrotecnológica*, Lavras, v. 34, n. 6, nov-dez, 2010.

FAO (**Federation Organization Food**). Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>>. Acesso em: 03/12/2015.

FARINELLI, R.; LEMOS, L. B., CAVARIANI, C., NAKAGAWA, J. Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijão em função de sistema de manejo de solo e adubação nitrogenada. **Rev. Bras. Sem.** 28:102-109, 2006.

FATIMA, Z.; ZIA, M.; CHAUDHARY, M. F. Interactive effect of rhizobium strains and P soybean yield, nitrogen fixation and soil fertility. **Pak. J. Bot.** Islamabad, v. 39, n. 1, p. 255-264, 2007.

HENNING, F. A.; MERTZ, L. M.; JACOB JUNIOR, E. A.; MACHADO, R. D.; FISS, G.; ZIMMER, P. D. Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 3, p. 727-734, 2010.

- HENNING, A. A.; CATTELAN, A. J.; KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA NETO, J. B.; COSTA, N. P. Tratamento e inoculação de sementes de soja. **Embrapa** (Comunicado Técnico), Londrina, n. 54, fevereiro, 1994.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja. **Circular Técnica** (Embrapa Soja), 2001, n. 35, 48p.
- KAPPES, C.; ARF, O.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P.; BEM, E. A. D.; PORTUGAL, J. R.; VILELA, R. G. Inoculação de sementes com bactéria diazotrófica e aplicação de nitrogênio em cobertura e foliar em milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 2, mar-abr, 2013.
- KINUGASA, T.; SATO, T.; OIKAMA, S.; HIROSE, T. Demand and supply of N in seed production of soybean (*Glycine max*) at different N fertilization levels after flowering. **J. Plant Research**, p. 275-281, 2012.
- KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA NETO, J. B. Vigor de sementes. **Abrates** (Informativo técnico), v. 11, n. 3, 2001.
- JADOSKI, S. O.; SAITO, L. R.; PRADO, C.; LOPES, E. C.; SALES, L. L. S. R. Características da lixiviação de nitrato em áreas de agricultura intensiva. **Pesq. Aplic. & Agrotecnologia**, v. 3, n. 1, jan-abr, 2010.
- LACERDA, C. F.; ENÉAS FILHO, J.; PINHEIRO, C.B. **Fisiologia Vegetal: Frutificação** [Internet]. Ceará: Universidade Federal do Ceará, 2007.; [Revisado em 12 de julho de 2016, citado em 20 de maio de 2016. Disponível em: <www.fisiologiavegetal.ufc.br/apostila.htm>.
- LARA CABEZAS, W. A. R.; COUTO, P. A. 2007. Imobilização de nitrogênio da ureia e do sulfato de amônio aplicado em pré-semeadura ou cobertura na cultura do milho, no sistema plantio direto. **Rev. Bras. Ci. Solo**. 31:739-752, 2007.
- LAZARINI, E.; DE SÁ, M. E.; FERREIRA, R. C. Acúmulo de matéria seca em plantas de soja durante os estágios reprodutivos e qualidade fisiológica de sementes colhidas em diferentes fases do desenvolvimento. **Rev. Bras. Sem**. 22: 153-162, 2000.
- LEDGARD, S. F.; STEELE, K. W. Biological nitrogen fixation in mixed legume/grass pastures. **Plant and Soil**. 141: 137-153, Netherlands, 1992.
- LIMA, E. C. P.; VIANA, J. C., LEVINO, N.A.; MOTA, C. M. M. Simulação de Monte Carlo auxiliando a análise de viabilidade econômica de projetos. 4st Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Niteroi, RJ, Brazil. 2008.
- LIMA JUNIOR, J. A.; PEREIRA, G. M.; GEISENHOF, L. O.; COSTA, G. G.; REIS, R. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Avaliação econômica da produção de alface americana em

função de lâminas de irrigação. *Ciência Agrotecnológica*, Lavras, v. 35, n. 2, 392-398, mar-abr, 2011.

LOPES, A. S.; GUILERME, L. R. G. **Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas: aspectos agronômicos**. 3ª ed. São Paulo. Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), 2000, 72p.

MA, Y.; KAN, G.; ZHANG, X.; WANG, Y.; ZHANG, W.; DU, H.; YU, D. 2016. Quantitative trait loci (QTL) mapping for glycinin and B-conglycinin contents in soybean (*Glycine max* L. Merr.). *J. of Agric. And Food Chem.* 64: 3473-3483.

MACÁK, M.; CANDRÁKOVA, E. The effect of fertilization on yield components and quality parameters of soybeans [*Glycine max* (L.) Merr.] seeds. **Journal of Central European Agriculture**, 14(3), p. 379-389, 2013.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Sci.**, Madison. 2:176-177, 1962.

MARCOS FILHO, J. *et al.* Estudo comparativo de métodos para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja, com ênfase ao teste de condutividade elétrica. **Pesq. Agrop. Bras.**, v.25, n.12, p. 1805-1815, 1990.

MARSCHNER, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. London: Academic Press.

MASTRODOMINICO, A.T.; PURCELL, L.C.; ANDY KING, C. 2013. The response and recovery of nitrogen fixation activity in soybean to water deficit at different reproductive developmental stages. 85:16-21.

MATTIONI, N. M.; SCHUCH, L. O. B.; VILLELA, F. A.; ZEN, H. D.; MERTZ, L. M. Fertilidade do solo na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Rev. Bras. Ciên. Agr.**, v. 8, n. 4, p. 656-661, 2013.

MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e mineralogia do solo Part I: Conceitos básicos**. SBCS, Viçosa, MG, 2009.

MENDES, I. de C.; REIS JUNIOR, F. B. dos; HUNGRIA, M.; SOUSA, D. M. G. de; CAMPO, R. J. Adubação nitrogenada suplementar tardia em soja cultivada em latossolos do Cerrado. **Pesq. Agrop. Bras.**, v. 43, n.8, p. 1053-1060, 2008.

MORAES, R. M. A., JOSÉ, I. C., RAMOS, F. G., BARROS, E. G., MOREIRA, M.A. Caracterização bioquímica de linhagens de soja com alto teor de proteína. **Pesq. Agropec. Bras.** 41:725-729. 2006.

MOREIRA, V. R. **Gestão dos riscos do agronegócio no contexto cooperativista**. 2009. 208p. Tese (Doutorado em Administração de Empresas) - Fundação Getúlio Vargas, São Paulo.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. ABRATES, p. 2.1-2.24, 1999.

NEIVERTH, C. A. Lixiviação de nitrato e amônio em colunas indeformadas de solos de uma pedossequência do estado do Paraná. 2013, 115p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas – ESALQ, Piracicaba).

OHYAMA, T.; MINAGAWA, R.; ISHIKAMA, S.; YAMAMOTO, M.; HUNG, N. V. P.; OHTAKE, N.; SUEYOSHI K.; SATO, T.; NAGUMO, Y.; TAKAHASHI, Y. Soybean seed production and nitrogen nutrition. In: BOARD, J. E. A comprehensive survey of international soybean research: genetics, physiology, agronomy and nitrogen relationships. Croatia: Intech, 2012, p. 115-158.

PALISADE. 2016. Disponível em: < www.palisade-br.com/risk/>. Acesso em: 15/08/2016.

PARENTE, T. L. **Adubação nitrogenada em genótipos de soja associada à inoculação em semeadura direta no Cerrado**. Dissertação (Mestrado em agronomia). Ilha Solteira - SP (BR): Universidade Estadual de São Paulo, 2014.

PEREIRA, L. R. **Dinâmica do nitrogênio amídico (¹⁵N-uréia) ou amoniacal (¹⁵N-aquamônia) no solo aplicado conjuntamente com o co-produto da produção do ácido glutâmico (Ajifer)**. Dissertação (Mestrado em agronomia). Piracicaba (SP): Universidade de São Paulo, 2008.

PEREIRA, J. M. Gestão do risco operacional: uma avaliação do novo acordo de capitais – Basiléia II. **Revista Contemporânea de Contabilidade**. Brasília, v. 1, n. 6, p. 103-124, jul-dez, 2006.

PESKE, S. T.; BARROS, A. C. S. A. **Sementes: Fundamentos científicos e tecnológicos**. 1. ed., Pelotas: Editora, c. 1, p. 12-91, 2003.

PETTER, F. A.; PACHECHO, L. P.; ALCÂNTARA NETO, F. de; SANTOS, G. G. Resposta de cultivares de soja à adubação nitrogenada tardia em solos de cerrado. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 1, p. 67-72, 2012.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: Internacional Plant Nutrition Institute, 2011, 420p..

R version 3.2.0 (2015-04-16) -- "Full of Ingredients" Copyright (C) 2015 The R Foundation for Statistical Computing Platform: i386-w64-mingw32/i386 (32-bit).

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações**. ed.:2, Barueri, SP, Editora Manole, 2012.

ROJAS, C. A. L.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WEBER, M. A.; VIEIRO, F. Volatilização de amônia da ureia alterada por sistemas de preparo do solo e plantas de cobertura invernais no centro-sul do Paraná. **Rev. Bras. Cie. Solo**. v. 36, p. 261-270, 2012.

SANTOS, A.A.; MARTINS, A. P.; PEREIRA, P. R. R. X. Risco de base na comercialização de soja no Piauí [Soybean basis risk in Piauí]. Resumo apresentado em: 2th Simpósio da Ciência do Agronegócio; Porto Alegre, RS, Brazil, 2014.

SANTORUM, M.; NÓBREGA, L. H. P.; SOUZA, E. G.; SANTOS, D.; BOLLER, W.; MAULI, M. M. Comparison of tests for the analysis of vigor and viability in soybean seeds and their relationship to field emergence. **Acta Scientiarum :Agronomy**, v. 35, n. 1, p. 83-92, 2013.

SCIVITTARO, W. B. *et al.* Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e resposta de arroz irrigado à aplicação de uréia tratada com inibidor de urease NBPT. **Ciência Rural**, v. 40, n. 6, p.1283-1289, 2010.

SEEDNEWS. A produção de grãos e a dinâmica do mercado de sementes. **Reportagem de capa**, Ano XVII, n.1, 2013.

SERRANO, F. L. P., CESARATTO. S. 2002. As leis de rendimento nas teorias neoclássicas do crescimento: uma crítica sraffiana. *Ensaio FFE*. 23:699-730.

SYSTAT SOFTWARE. Disponível em: <<https://systatsoftware.com/>>. Acesso em: 10/03/2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4^o edição. Editora Artmed, 2009, 848 p.

TEIXEIRA FILHO, M. C.; TARSITANO, M. A. A.; BUZETTI, S.; BERTOLIN, D. C.; COLOMBO, A. S.; NASCIMENTO, V. Análise econômica da adubação nitrogenada em trigo sob plantio direto no cerrado. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 4, p. 446-443, 2010.

VANZOLINI, S.; ARAKI, C. A. S.; SILVA, A. C. T. M.; NAKAGAWA, J. Teste de comprimento de plântula na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja. **Rev. Bras. Sementes**, Londrina, v. 29, n. 2, p. 90-96, 2007.

VASCONCELLOS, M. A.; GARCIA, M. E. **Fundamentos de economia**. 2^a ed. Editora Saraiva, 2009, 163p.

VASCONCELLOS, M. A.; GARCIA, M. E. **Fundamentos de economia**. Editora Saraiva, 2007, 235p.

VIEIRA, R. D.; PENARIOL, A. L.; PERECIN, D.; PANOBIANCO, M. Condutividade elétrica e teor de água inicial das sementes de soja (Electrical conductivity and initial water content of soybean seeds). **Pesq. Agrop. Bras.**, v. 37, n. 9, p. 1333-1338, 2002.

WAGNER, S. C. Biological Nitrogen Fixation. *Nature Education Knowledge* 3(10):15. 2012.

YAMADA, T.; STIPP, S. R.; VITTI, G. C. **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. IPNI Brasil. Piracicaba, São Paulo, 722p. 2007.

ZILLI, J. E.; CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M. Eficácia da inoculação de Bradyrhizobium em pré-semeadura da soja. **Pesq. Agrop. Bras.** Brasília, v. 45, n. 3, p. 335-338, março, 2010.

ZILLI J. E.; MARSON, L. C.; MARSON, B. F.; GIANLUPP, V.; CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M. Inoculação de Bradyrhizobium em soja por pulverização em cobertura. **Pesq. Agrop. Bras.** Brasília, v. 43, n. 4, p. 541-544, março, 2008.

ZHOU, X. -J.; LIANG, Y.; CHEN, H.; SHEN, S. -H.; JING, Y. -X. Effects of rhizobia inoculation fertilization on photosynthetic physiology of soybean. **Photosynthetica**, v. 44, n. 4, p. 530-535, 2006.