



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**MAYNARA SANTOS GOMES**

**FERTILIZAÇÃO NITROGENADA: PRODUÇÃO, PRODUTIVIDADE E TROCAS  
GASOSAS DA SOJA CULTIVADA EM LATOSSOLO AMARELO EM CASA DE  
VEGETAÇÃO**

**BELÉM**

**2019**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**MAYNARA SANTOS GOMES**

**FERTILIZAÇÃO NITROGENADA: PRODUÇÃO, PRODUTIVIDADE E TROCAS  
GASOSAS DA SOJA CULTIVADA EM LATOSSOLO AMARELO EM CASA DE  
VEGETAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior.

Co orientador: Mcs. Bruna Sayuri Fujiyama.

**BELÉM**

2019

---

Gomes, Maynara Santos

Fertilização nitrogenada: produção, produtividade e trocas gasosas da soja cultivada em latossolo amarelo em casa de vegetação / Maynara Santos Gomes – Belém, 2019.

70 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2019.

Orientador: Mário Lopes da Silva Júnior.

1. Soja 2. *Glycine max (L.) Merrill* – Produtividade 3. Soja – Características fenológicas 4. Soja - Aspectos econômicos I. Silva Júnior, Mario Lopes da (orient.) II. Título.

**CDD – 633.34**

---

Bibliotecária-Documentalista: Letícia Lima de Sousa – CRB2/1549

**FERTILIZAÇÃO NITROGENADA: PRODUÇÃO, PRODUTIVIDADE E TROCAS  
GASOSAS DA SOJA CULTIVADA EM LATOSSOLO AMARELO EM CASA DE  
VEGETAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior – Orientador  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

---

Dr. Eduardo César Medeiros Saldanha  
ESPECIALISTA AGRONÔMICO SÊNIOR NA YARA BRASIL

---

Prof. Dr. Ana Regina da Rocha Araújo  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

---

Prof. Dr. Augusto José Silva Pedroso  
INSTITUTO FEDERAL DO PARÁ- IFPA

BELÉM

2019

## AGRADECIMENTOS

*A Deus, por iluminar meu caminho, auxiliar nas minhas escolhas e por dar-me forças para sempre seguir em frente.*

*Ao professor Dr. Mário Lopes que esteve presente durante toda minha vida acadêmica, agradeço pela orientação, incentivo, confiança, aprendizado e pelo exemplo de ética profissional.*

*Aos meus pais, Paulo Souza e Graça Gomes, por todo o apoio, atenção e dedicação durante todos os dias de minha vida, por sempre me acolherem momentos difíceis e serem meu espelho de pessoas íntegras e profissionais.*

*Ao meu irmão, Marcos Vinícius Gomes, e meu companheiro Leonam Moscoso, por todo o suporte, companheirismo, amizade durante o processo de desenvolvimento deste trabalho, e por sempre acreditar na minha competência e potencial.*

*À minha amiga, Ana Renata Moraes, por todo apoio e companheirismo durante todos estes anos, sua parceria e disponibilidade foram de grande importância para a realização deste trabalho.*

*Aos amigos Mila façanha, Larissa Miranda, Manuella Raiol e Kleve Canteral por todo apoio durante a realização do trabalho.*

*Aos amigos da pós-graduação em agronomia e ao grupo PET SOLOS, por estarem presentes e auxiliando na execução deste trabalho.*

*Ao programa de pós-graduação em agronomia por todo o suporte para execução deste trabalho.*

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Resumo dos estádios vegetativos e reprodutivos da soja .....	15
Tabela 2. Escala mundial de produção de soja .....	17
Tabela 3. Escala estadual da produção de soja na região Norte .....	17
Tabela 4. Análise química de solo, coletado na camada de 0-0,20 m de profundidade, no município de Paragominas, PA .....	26
Tabela 5. Médias dos resultados da análise granulométrica .....	27
Tabela 6. Análise de variância das variáveis analisadas, em função das doses de N aplicadas na fase I do experimento .....	35
Tabela 7. Análise de variância das variáveis analisadas, em função das doses de N aplicadas na fase II do experimento .....	35
Tabela 8. Atributos químicos do solo, após a retirada do experimento em casa de vegetação .....	36

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Origem e difusão geográfica da soja.....	13
Figura 2: Empresa Juparanã no município de Paragominas- PA .....	25
Figura 3: Processos de análises laboratoriais do solo utilizado no experimento .....	26
Figura 4: Tratamentos e delineamento experimental .....	28
Figura 5: Organização dos blocos em casa de vegetação .....	28
Figura 6: plantas de soja em estágio vegetativo (V3) .....	29
Figura 7: Quantificação dos nódulos de plantas de soja .....	30
Figura 8: Plantas de soja em estágio reprodutivo (R2), realização da leitura com IRGA .....	31
Figura 9: Processo de moagem, pesagem e digestão das amostras de tecido foliar .....	31
Figura 10: Processo de leitura de macro e micro nutriente em tecido foliar .....	32
Figura 11: Plantas de soja em estágio reprodutivo (R5.1) .....	33
Figura 12: Plantas de soja em estágio reprodutivo (R9) .....	33
Figura 13: Número de nódulos por planta de soja cultivadas sob doses de N no solo .....	37
Figura 14: Taxa de assimilação líquida ( $A$ ) em plantas de soja cultivadas sob doses de N no solo .....	39
Figura 15: Condutância estomática ( $g_s$ ) em plantas de soja cultivadas sob doses de N no solo .....	41
Figura 16: Taxa de transpiração ( $E$ ) em plantas de soja cultivadas sob doses de N no solo .....	42
Figura 17: Eficiências de uso da água intrínseca ( $A/g_s$ ) e instantânea ( $A/E$ ) em plantas de soja cultivadas sob doses de N no solo .....	44
Figura 18: Concentração de $CO_2$ nos espaços intercelulares em função das doses de N .....	45
Figura 19: Concentração de Fe e Zn nas folhas diagnosticas de soja cultivadas sob doses de N .....	47
Figura 20: Concentração de P, K, Mg e Ca nas folhas diagnosticas de soja cultivadas sob doses de N no solo .....	48
Figura 21: Concentração de N nas folhas diagnosticas de soja cultivadas sob doses de N no solo .....	50
Figura 22: Número de vagens por planta de soja cultivadas sob doses de N no solo associado com nitrogênio via foliar .....	52
Figura 23: Número de grãos por vagem de soja e cultivadas sob doses de N no solo associado com nitrogênio via foliar .....	53
Figura 24: Número de grãos por planta de soja cultivadas sob doses de N no solo associado com nitrogênio via foliar .....	54
Figura 25: Peso de 100 grãos de soja cultivadas sob doses de N no solo associado com nitrogênio.....	56
Figura 26: Produtividade de soja e soja cultivadas sob doses de N no solo associado com nitrogênio via foliar .....	57

# Sumário

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	10
1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 Histórico da cultura da soja.....	14
2.2 Características fenológicas e morfológicas da cultura da soja.....	15
2.3 Aspectos econômicos da cultura da soja.....	17
2.4 Importância da soja para o estado do Pará.....	18
2.5 Nitrogênio no solo.....	19
2.6 Nitrogênio na planta.....	21
2.7 Nitrogênio na soja.....	21
2.7.1 Fixação biológica do nitrogênio na soja.....	21
2.7.2 Adubação nitrogenada na soja.....	23
2.7.3 Influência da adubação nitrogenada na produtividade da soja.....	23
2.8 Trocas gasosas foliares.....	24
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1 Caracterização do substrato utilizado no experimento.....	26
3.2 Coleta e análises do solo antes da instalação do experimento.....	26
3.3 Tratamentos e delineamento experimental.....	28
3.4 Instalação e realização do experimento.....	29
3.5 Produção e produtividade dos grãos.....	34
3.6 Análise estatística.....	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.1 Análise do solo após experimento.....	37
4.2 Nodulação.....	38
4.3 Trocas gasosas.....	39
4.3.1 Taxa de assimilação líquida de CO <sub>2</sub> ( <i>A</i> ).....	39
4.3.2 Condutância estomática ao vapor d'água ( <i>g</i> s).....	41
4.3.3 Taxa de transpiração ( <i>E</i> ).....	43
4.3.4 Eficiências do uso da água (EUA).....	44
4.3.5 Concentração de CO <sub>2</sub> nos espaços intercelulares ( <i>C<sub>i</sub></i> ).....	46
4.4 Concentração de nutrientes na folha diagnostica.....	47
4.4.1 Concentrações de micronutrientes.....	47
4.4.2 Concentrações de macro nutrientes.....	48
4.5 Variáveis de produção.....	52
4.5.1 Número de vagens por planta.....	52
4.5.2 Número de grãos por vagem.....	54
4.5.3 Número de grãos por planta.....	55
4.5.4 Peso de 100 grãos.....	56
4.6 Produtividade.....	58
5. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	60
6. CONCLUSÕES.....	61
REFERÊNCIAS.....	62
ANEXOS I: Mapa de localização da casa de vegetação no qual foi conduzido o experimento. ....	71

## ADUBAÇÃO NITROGENADA: PRODUÇÃO, PRODUTIVIDADE E TROCAS GASOSAS DA SOJA CULTIVADA EM LATOSSOLO AMARELO EM CASA DE VEGETAÇÃO

### RESUMO

Os primeiros relatos de domesticação da cultura soja (*Glycine max* (L.)), se deu no leste asiático, no nordeste da China. No Brasil, o cultivo apresentou patamar produtivo em diversas regiões, atualmente todas as regiões do Brasil apresentam condições adequadas para a produção da cultura da soja, a região norte vem apresentando grandes expansões, com destaque para o município de Paragominas no estado do Pará. Por se tratar de uma cultura com grande potencial produtivo, os estudos sobre a necessidade nutricional se tornaram muito necessários para tomada de decisões dentro de uma lavoura de soja. O nitrogênio é o nutriente que apresenta maior efeito no crescimento, responsável pelo desenvolvimento radicular, faz parte da molécula de clorofila, constituinte de aminoácidos, proteínas, enzimas, coenzimas e nucleotídeos. No entanto, pelo fato da soja ser uma leguminosa e fixadora de nitrogênio, são muitas as discussões acerca da complementação de N para cultura, por meio de fertilizantes minerais. Objetivou-se com o presente trabalho avaliar o efeito do nitrogênio no solo associado com nitrogênio via foliar nos componentes de produção, produtividade, trocas gasosas e concentração de nutrientes nas folhas da soja cultivada em Latossolo Amarelo de textura argilosa. O solo utilizado para a condução do experimento foi coletado da camada de 0-20cm, do município de Paragominas-PA. A cultivar utilizada foi a M8644. Foram utilizadas cinco doses de nitrogênio, correspondentes à 0,0, 25, 50, 75, 100 mg N dm<sup>-3</sup>, associados a adubação nitrogenada foliar. Foram analisados os seguintes parâmetros: número de vagens por planta, número de grãos por vagem, número de grãos por planta, peso de 100 grãos e produtividade, número de nódulos por planta, fotossíntese, transpiração, condutância estomática, eficiência intrínseca do uso da água, eficiência instantânea do uso da água e concentração de macro e micronutrientes nas folhas. As variáveis analisadas apresentaram resultados satisfatórios. Podendo-se concluir que a combinação entre a dose de 25mg dm<sup>-3</sup> de nitrogênio e a aplicação de N via foliar influenciaram de forma significativa para as variáveis de produção e produtividade analisadas, já para as variáveis de trocas gasosas, os melhores resultados encontrados estão relacionados com a dose de 50 mg dm<sup>-3</sup>. Desta forma, torna-se viável a aplicação de nitrogênio via solo associado com nitrogênio via foliar nas plantas de soja.

**Palavras-chave:** *Glycine max*; N no solo, N na folha.

## **NITROGEN FERTILIZATION: PRODUCTION, PRODUCTIVITY AND GAS EXCHANGES OF SOYBEAN CULTIVATED IN YELLOW LATOSOLO IN VEGETATION HOUSE**

### **ABSTRACT**

The earliest reports of domestication of the soybean crop (*Glycine max* (L.)) occurred in East Asia, in northeastern China. In Brazil, the crop presented a productive level in several regions, currently all the regions of Brazil present adequate conditions for the production of the soybean crop, the northern region has been showing great expansions, especially the municipality of Paragominas in the state of Pará. If it is a crop with great productive potential, nutritional need studies have become very necessary for decision making within a soybean crop. Among the essential elements required by plants, nitrogen is the one with the greatest effect on growth, responsible for root development. It is part of the chlorophyll molecule, constituent of amino acids, proteins, enzymes, coenzymes and nucleotides. However, because soybeans are a nitrogen-fixing legume, there are many discussions about complementing N for culture through mineral fertilizers. The objective of this work was to evaluate the effect of nitrogen on the soil associated with nitrogen via foliar in the components of production, productivity, gas exchange and concentration of nutrients in the leaves of the soybean cultivated in a clay latosol with a clay texture. The soil used to conduct the experiment was collected from the 0-20cm layer of the municipality of Paragominas-PA. The cultivar used was M8644. Five nitrogen doses were used, corresponding to 0, 25, 50, 75, 100 mg N dm<sup>-3</sup>, associated to foliar nitrogen fertilization. The following parameters were analyzed: number of pods per plant, number of grains per pod, number of grains per plant, weight of 100 grains and productivity, number of nodules per plant, photosynthesis, transpiration, stomatal conductance, intrinsic water use efficiency, instant water use efficiency, and concentration of macro and micronutrients in the leaves. The analyzed variables presented satisfactory results. It is possible to conclude that the combination between the dose of 25mg dm<sup>-3</sup> of nitrogen and the application of N via leaf had a significant influence on the production and productivity variables analyzed, for the gas exchange variables, the best results are related to the dose of 50 mg dm<sup>-3</sup>. In this way, the application of nitrogen through soil associated with nitrogen via foliar in the soybean plants becomes viable.

**Keywords:** *Glycine max*; N in soil, N in leaf.

## 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

No Brasil, o cultivo da soja alcançou um patamar de desenvolvimento de várias regiões por meio do seu mercado, devido seu grande potencial produtivo e pela oferta e demanda dos produtos derivados da cultura da soja. No início da expansão da sojicultura no Brasil houve um rápido incremento nas áreas plantadas. Esta expansão só foi possível devido ao fato do Brasil comercializar os produtos em períodos de safras diferentes em relação a outros países. (EMBRAPA, 2011).

Com o avanço do cultivo da cultura da soja e com seu grande potencial de desenvolvimento no Brasil, passou a se estudar a demanda nutricional para cultura, e com os avanços das pesquisas, pode-se observar que além dos nutrientes orgânicos: carbono, hidrogênio e oxigênio, a cultura da soja é bastante exigente em todos os nutrientes essenciais. Dos elementos minerais, comprovadamente, a soja necessita para completar seu ciclo vital e para obter um bom crescimento, desenvolvimento e produtividade, de macro e micronutrientes. Com exceção do nitrogênio (N), que é fixado biologicamente pelas leguminosas, os demais, são disponibilizados para a soja, na maioria das vezes, através de fertilização mineral (VITTI; TREVISAN, 2000).

A necessidade nutricional para a cultura da soja é muito baixa nos seus primeiros estágios de crescimento, realizando baixa absorção de nutrientes. A fase em que a planta tem maior demanda nutricional ocorre em aproximadamente 30 dias após o semeio e permanece elevada até o início da fase de enchimento de grãos, quando a fixação de N e a atividade fotossintética são elevadas e produzem um desenvolvimento mais acelerado. Com o enchimento dos grãos há uma intensa translocação dos nutrientes acumulados nas partes vegetativas, diminuindo a demanda por nutrientes do solo. Dentre os macronutrientes o elemento mais requerido pela soja é o nitrogênio (N), seguido pelo potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) e enxofre (S). Sendo que, no caso do N, parte é fornecida pelo solo, em torno de 25 a 35% e parte pela fixação simbiótica do N<sub>2</sub> atmosférico, em média 65 a 85%. Embora dentre os três macronutrientes primários o P seja o menos extraído, normalmente é o nutriente utilizado em maior quantidade, seja pelo baixo teor no solo, seja pela sua dinâmica nos solos tropicais (CARMELLO; OLIVEIRA, 2005).

O N desempenha papel importante no crescimento e produção das culturas, participa de diversos processos fisiológicos vitais para o ciclo de vida das plantas. Dessa forma, lavouras de soja com deficiência de N apresentam crescimento lento, com plantas menores e de baixa

produção (FAQUIN, 2005). A cultura da soja possui grande demanda de N em seu processo produtivo em função do alto teor proteico de sua biomassa. Estima-se que para produzir 3.000 kg de grãos de soja são necessários cerca de 240kg de N, dos quais, 60% são utilizados por simbiose. (HUNGRIA et al., 2001). A necessidade de N na soja pode ser fornecida por meio da mineralização da matéria orgânica, pela fixação do N<sub>2</sub>, pela adubação (HUNGRIA et al., 2006).

Por muito tempo acreditava-se que a aplicação de N na cultura da soja era irrelevante e que mesmo em pouca quantidade poderia causar a fitotoxidez, entretanto, novos estudos mostram a viabilidade de realizar adubação nitrogenada, pois o N participa de processos metabólicos importantes para as plantas, apresentando efeitos no crescimento da planta, responsável pelo desenvolvimento radicular, participante da molécula de clorofila e constituinte de aminoácidos, proteínas, enzimas e nucleotídeos. Sendo assim, a aplicação via foliar seria importante para maximizar a produtividade da cultura da soja, quando aplicado em quantidade certa, via foliar, é altamente benéfica à planta, por apresentar uma excelente capacidade de absorção pelas plantas. (MACHADO; ASSIS, 2010).

Os trabalhos realizados que abordam a adoção da adubação suplementar de N na cultura da soja apresentam muitas problemáticas e controvérsias. Isto se deve a complexidade entre a relação rizóbio e planta. Diversos fatores edafoclimáticos podem afetar de forma significativa na interação entre rizóbio e planta, o que pode proporcionar resultados divergentes em relação à adoção do uso de N suplementar na cultura da soja (BAHRY et al., 2013).

Alguns autores como Hatfield et al. (1974) e Vasconcelos et al. (1978), evidenciam que mesmo na presença adequada de inoculação nas sementes da soja torna-se importante o suprimento de N para crescimento inicial da cultura, demonstrando que somente o N disponibilizado pela matéria orgânica e pela fixação do N<sub>2</sub> não são suficientes para o desenvolvimento da planta. Outros trabalhos como o Shibles (1998) que ao analisar o efeito do N na soja observa que a capacidade de fixação de N<sub>2</sub> começa a diminuir de forma muito rápida, após o estágio de crescimento R5, sendo este o estágio com maior demanda de síntese de proteínas.

Com isso, trabalhou-se com a hipótese de que a utilização de N via solo associado a aplicação de N via foliar na cultura da soja, irá influenciar no incremento da produção de grãos da soja em função das melhorias nos processos fotossintéticos a partir das trocas gasosas.

O objetivo geral deste trabalho foi de avaliar o efeito do N na cultura da soja cultivada em Latossolo Amarelo de textura argilosa.

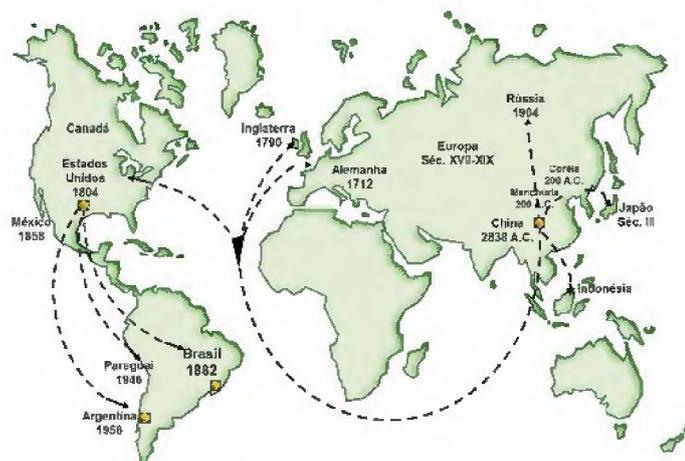
Objetivos específicos:

- 1) Avaliar variáveis de produção (Número de grãos por planta, número de grãos por vagem, número de vagens por planta e peso de 100 grão) em função das doses de N aplicado via solo, associado com N via foliar;
- 2) Avaliar variáveis de produtividade de plantas de soja em função da combinação de N via solo e N via foliar;
- 3) Quantificação do número de nódulos produzidos por planta de soja sob doses de N no solo;
- 4) Avaliar as variáveis de trocas gasosas foliares (taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, condutância estomática ao vapor d'água, concentração de CO<sub>2</sub> nos espaços intercelulares) em plantas de soja sob doses de N no solo;
- 5) Avaliar a concentração de nutrientes na folha diagnóstica da cultura da soja sob doses de N no solo .

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Histórico da cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.)) teve como centro de origem e domesticação no leste asiático, mais precisamente no nordeste da China. Seu primeiro aparecimento ocorreu há mais de 5.000 anos atrás, onde o responsável pelo seu cultivo foi o imperador chinês Shen-nung que utilizou a cultura como fonte de alimento, sendo uma alternativa ao abate de animais. O processo de adaptação no restante do mundo ocorreu inicialmente em ambientes similares ao centro de origem, tendo início na Europa no ano de 1712. Nos Estados Unidos o primeiro relato data o ano de 1765, sendo que o processo de adaptação e expansão da cultura ocorreu de forma lenta. Com o decorrer do tempo, percebeu-se a importância de investimentos em pesquisas, o que culminou em desenvolvimento tecnológico, surgindo cultivares de soja produtivas, resistência a doenças e pragas e um sistema produtivo adequado as diferentes condições de produção norte-americana (GAZZONI, 2018). Junto com o desenvolvimento tecnológico, houve a difusão da cultura para várias regiões, o que ocasionou em uma intensificação comercial entre os povos de diferentes países. Na figura 1, pode-se observar a difusão da soja a partir do seu centro de origem.



**Figura 1:** Origem e difusão geográfica da soja. (Fonte: Bonetti, 1970).

No Brasil, os primeiros registros de pesquisa ocorreram em 1882, por meio dos estudos de Gustavo D’Utra. Entretanto, sua iniciativa não teve sucesso, pois o material genético utilizado não correspondia as condições edafoclimáticas da região. Neste mesmo período a produção de soja se concentrava no continente asiático, tendo como características climáticas o clima temperado e latitudes altas, diferentemente das condições encontradas na Bahia que

apresenta clima tropical e baixa latitude. Desta forma, a soja só passou a ter êxito no Brasil a partir de 1914, quando foi introduzida no Estado do Rio Grande do Sul (RS), com latitudes de 27°S e 34°S, se assemelhando as condições de cultivo do Leste da Ásia (DALL'AGNOL, 2016).

O que possibilitou o avanço da soja no Brasil foi a implementação de programas de melhoramento genético para a cultura, onde surgiram cultivares mais tolerantes e resistentes, adaptando a cultura em diferentes regiões com condições edafoclimáticas específicas. Isto foi possível por meio da incorporação de genes que atrasam seu florescimento, conferindo característica de período juvenil longo (FREITAS, 2011). Com o decorrer do tempo o desenvolvimento do setor da soja no Brasil apresentou um grande crescimento, justificado pelo aumento do uso doméstico de produtos derivados da soja, como por exemplo o óleo de cozinha e o incremento do farelo para uso de ração animal (CAMPOS, 2010).

A cultura da soja apresentou crescimento nas últimas décadas, o que deixa evidente o progresso alcançado pela cultura no cenário do agronegócio brasileiro. Desta forma, pode-se dizer que neste período ocorreram mudanças significativas na exploração da cultura, na qual os avanços tecnológicos possibilitaram o cultivo comercial das espécies em regiões de baixa latitude (FREITAS, 2011).

Atualmente, após anos de investimento na cultura da soja, é possível se plantar em regiões de baixas e altas latitudes, devido ao desenvolvimento de cultivares resistentes, adaptadas para diferentes fotoperíodos, com um bom manejo da cultura, visando sempre a maior produtividade. Um dos exemplos é o Brasil que se apresenta como um grande potencial produtivo, tendo regiões com produtividade média anual que ultrapassam a produção obtida por regiões norte americanas (CÂMARA, 2015).

## **2.2 Características fenológicas e morfológicas da cultura da soja**

Por meio da fenologia é possível analisar transformações e mudanças que são específicas para cada cultura. De modo geral durante o ciclo de cultivo a planta passa por determinadas fases, tais como: germinação, emergência, crescimento, desenvolvimento vegetativo, florescimento, frutificação das sementes e maturação. De acordo com o Fehr e Cavinnes (1977) o ciclo da cultura da soja divide-se em estágios Vegetativos, representado pela letra V e Reprodutivos, representados pela letra R, com suas respectivas características e subdivisões. Conforme a tabela 1.

**Tabela 1** - Resumo dos estádios vegetativos e reprodutivos da soja

<b>ESTÁDIO</b>	<b>DENOMINAÇÃO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
VE	Emergência	Cotilédones acima da superfície do solo
VC	Cotilédone	Cotilédones completamente abertos
V1	Primeiro nó	Folhas unifolioladas completamente desenvolvidas
V2	Segundo nó	Primeira folha trifoliolada completamente desenvolvida
V3	Terceiro nó	Segunda folha trifoliolada completamente desenvolvida
V...	...	...
Vn	Enésimo nó	Ante enésima folha trifoliolada completamente desenvolvida
R1	Início do florescimento	Uma flor aberta em qualquer nó do caule (haste principal)
R2	Florescimento pleno	Uma flor aberta em um dos 2 últimos nós do caule
R3	Início da formação de vagem	Vagem com 5mm de comprimento em um dos 4 últimos nós
R4	Vagem desenvolvida	Vagem com 2cm de comprimento em um dos 4 últimos nós
R5	Início do enchimento de grão	Grão com 3mm de comprimento em vagem dos 4 últimos nós
R6	Grão cheio ou completo	Vagens contendo grãos verdes preenchendo suas cavidades
R7	Início da maturação	Uma vagem normal no caule com coloração de madura
R8	Maturação plena	95% das vagens com coloração madura

Fonte: Adaptado de Fehr & Caviness, 1977

Estas características são bem representativas para a cultura da soja, no entanto, quando a situação é em campo, onde se tem uma grande quantidade de plantas, nem todas as plantas entram no mesmo estágio ao mesmo tempo. Assim sendo, cada estágio específico V ou R é definido somente quando uma população de 50% ou mais das plantas estão em um determinado estágio.

A soja é uma planta herbácea, pertencente a classe Magnoliopsida (Dicotiledônea), ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, gênero *Glycine* L. A espécie mais cultivada em todo o mundo é a *Glycine max* (SEDIYAMA, 2009).

Planta de cultura anual, ereta, autógama, com altura entre 30 a 200cm e que apresenta variabilidade nas suas características morfológicas. Com desenvolvimento fortemente influenciado pelas adversidades climáticas presentes no ambiente de cultivo da espécie. Seu ciclo de vida irá depender diretamente de cada cultivar, podendo variar de 70 dias, para cultivares mais precoces e 200 dias para cultivares mais tardias (BORÉM, 1999).

O sistema radicular é do tipo pivotante, apresentando grande desenvolvimento da raiz principal e maiores quantidades de raízes secundárias. Por ser uma espécie leguminosa, suas raízes apresentam grande número de nódulos de bactérias fixadoras de N atmosférico. As folhas são alternadas, longas, compostas de três folíolos com comprimento médio de 10cm. A planta apresenta um mecanismo de senescência das folhas, onde as mesmas caem no processo de amadurecimento das vagens (EMBRAPA, 2014).

As flores são do tipo zigomorfas e nascem em racemos auxiliares, as cores variam de acordo com as cultivares podendo ser rósea, branca ou violeta. Os frutos são vagens que apresentam tamanho variando entre 25 a 75 mm de comprimento, cada vagem possui entre 0 a 5 sementes, as quais são bem arredondadas e podem ser de coloração verde, palha, creme ou preta (MISSÃO, 2006).

Ao final do ciclo de vida da cultura, as folhas começam a ficar amareladas e se desprendem da planta a começar pelas folhas mais velhas. O período em que cessa o acúmulo de matéria seca é denominado de maturação fisiológica do grão, neste período o grão está com umidade em torno de 60%, no entanto o período ideal para a colheita dos grãos é quando os mesmos apresentam umidade inferior a 15% (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

### **2.3 Aspectos econômicos da cultura da soja**

A soja é uma cultura que apresenta grande importância no cenário mundial da agricultura, devido apresentar uma grande diversidade de produtos devido a sua composição, podendo ser utilizada para alimentação humana, fonte de matéria prima para alimentação animal e para as agroindústrias. Com isto, a área plantada destinada para o cultivo de soja tem aumento significativo a cada ano. Segundo dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos – USDA – a área plantada no mundo passou de 108,55 milhões na safra 2012/13 para 124,580 milhões de hectares na safra 2018/19. Tendo um aumento de aproximadamente de 15% de área plantada (USDA, 2018).

Segundo o Departamento de Agricultura Americano- USDA apresenta uma projeção da safra 2018/2019 no sentido de alcançar produção de 354,54 milhões de toneladas. No mundo acontecerá uma produção de 17,84 milhões de toneladas a mais que a safra referente 2017/2018 é de aproximadamente, 4 milhões de toneladas a mais que na safra de 2016/2017. Esta projeção demonstra a produção mundial de soja apresentando aumentos significativos nos últimos anos (USDA, 2018).

Segundo dados da USDA, existe uma prospecção onde o Brasil será o principal produtor de soja no mundo, responsável por 33% de toda a produção mundial, em segundo lugar encontra-se os Estados Unidos com 32,85% da produção mundial e em terceiro lugar a Argentina com 15,80% da produção mundial. Juntos, estes três países são responsáveis por 81,65% da safra mundial. Estes dados podem ser observados na tabela 2.

**Tabela 2:** Escala mundial de produção de soja

PRODUÇÃO DE SOJA NO MUNDO (Milhões de toneladas)							
País /Safra	2016/2017	2017/2018	2018/2019	Variação (a/c)		Variação (b/c)	
	(a)	(b)	(c)	Abs.	(%)	Abs.	(%)
Brasil	112,10	117,00	117,00	2,90	2,54	0,00	0,00
EUA	116,92	119,52	116,48	-0,44	-0,37	-3,04	-2,54
Argentina	57,8	39,00	56,00	-1,80	-3,11	17,00	43,59
China	12,9	14,2	14,10	1,20	9,30	-0,10	-0,70
Outros	48,63	46,98	50,96	2,34	4,80	3,98	8,46
Total	350,34	336,70	354,54	4,20	1,20	17,84	5,30

Fonte: Usda - maio/2018

A colheita do ano de 2017/2018 apresentou bons resultados, alcançando produtividade média de 3.359 kg/ha, próximo a produção da safra anterior, que foi de aproximadamente 4.700 kg/ha. Esta produtividade só ocorreu devido as condições edafoclimáticas favoráveis, onde os índices pluviométricos foram favoráveis e bem distribuídos no período do ciclo da cultura (CONAB, 2018).

#### 2.4 Importância da soja para o estado do Pará

O agronegócio de grãos em escala empresarial apresentou potencial para o estado do Pará desde 1997, em que políticas do governo do estado promoveram estímulos para a produção de grãos em áreas alteradas por meio da agropecuária (LEITE et al., 2011). O estado na safra de 2017/ 2018 obteve um aumento significativo na produção de soja, com 1.556 mil toneladas, apresentando um aumento de 4,8% comparado a safra de 2016/ 2017, conseqüentemente houve um aumento de área plantada, podendo ser observado na tabela 3.

**Tabela 3:** Produção de soja na região Norte do Brasil.

REGIÃO / UF	ÁREA (Em mil ha)			PRODUTIVIDADE ( kg/ha)			PRODUÇÃO ( mil t)		
	Safra 16/17	Safra 17/18	VAR.%	Safra 16/17	Safra 17/18	VAR. %	Safra 16/17	Safra 17/18	VAR.
	(a)	(b)	(b/a)	(c)	(d)	(d/c)	(e)	(f)	(f/e)
NORTE	1.809	1.934	7	3.061	3.070	0,3	5.536	5.940,6	7,3
PR	30	40	33,3	3.00	3.007	2,6	90	123,1	36,8
RO	296	337,4	14	3.143	3.275	4,2	930,3	1.105,00	18,8
AC	.	0,6	.	.	2.055	.	.	1,2	.
AM	.	1,5	.	.	2.250	.	.	3,4	.
AP	18,9	20,2	6,9	2.878	2.884	0,2	34,4	58,3	7,2
PA	500,1	545,1	9	3.270	2.856	12,7	1.635	1.556	4,8
TO	964	990	2,7	2.932	2.124	6,5	2.826	3.092	9,4

Fonte: Usda - maio/2018

Ressalta-se que nos últimos dez anos, o cultivo de Soja no estado foi o que mais obteve incremento de área, multiplicando-se 5 vezes, totalizando 500,1 mil ha em 2016 e 554,1 mil ha no ano de 2018. Alguns fatores estruturantes explicam tal dinamismo, entre eles, o fato de o Pará possuir terras abundantes e de estar estrategicamente localizado a uma distância mais acessível dos grandes mercados internacionais, o que lhe configura como corredor de exportação, fronteira produtiva e plataforma logística.

A expansão da soja no estado do Pará tem no Sudeste do Pará a região de maior produção, com o município de Paragominas respondendo por 25,84% da safra total paraense. Dom Eliseu (17,71%), Santana do Araguaia (12,33%) e Ulianópolis (11,64%) seguem como os três municípios de maior cultivo de soja. É importante observar que Santarém (3,31%), Belterra (3,14%) e Mojuí dos Campos (2,83%) destacam-se como potenciais produtores de soja dada a inserção do agronegócio da região Oeste paraense, sobretudo, o relacionado à plataforma logística de escoamento da produção, oriunda, em grande parte, do Centro Oeste brasileiro, com destino ao mercado internacional (FAPESPA, 2017).

O município de Paragominas em relação aos outros municípios do Pará se diferencia na forma em que se realiza a agricultura no estado e também ao aparelhamento das propriedades, sendo comum encontrar produtores atuando com alto nível tecnológico (ALVES et al., 2014). Esse avanço na produção pode ser observado em dados oficiais da safra de 2009 que Paragominas se destacou entre os municípios paraenses como maior produtor de soja do estado, com 43,7% da produção (LEITE et al., 2011). Comparando produções dos anos de 2011 e 2014 a produção foi de 119,5 e 121,8 toneladas de grãos, respectivamente, observando um crescimento de 1,87% da produção no município (IBGE, 2014).

## **2.5 Nitrogênio no solo**

O N é um dos elementos essenciais para as plantas e exigido em maior quantidade pela cultura da soja, por ser um nutriente constituinte de proteínas, ácidos nucleicos e outros constituintes celulares, as proteínas compreendem aproximadamente 60% do N das plantas e de células microbianas (VIEIRA, 2017).

De todo o N existente no solo, aproximadamente 95% se encontra na forma orgânica, a outra parte deste N é inorgânico ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ). Existem especificações quanto a mobilidade, disponibilidade e solubilidade do N no solo, desta forma este elemento vive em constante transformações, que podem ocorrer por meio de físicas, químicas e biológicas. Isto só é possível, pois o N possui valências estáveis que vão desde -3, como no amônio ( $\text{NH}_4^+$ )

onde ele está na forma mais reduzida, a +5, como no nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) onde ele está na forma mais oxidada. Este elemento é, portanto, extremamente versátil, existindo em muitos estados de oxidação (VIEIRA, 2017).

As principais transformações do N ocorrem por meio de processos biológicos, devido a estas transformações se torna mais difícil o seu manejo no solo sendo ele na forma orgânica, inorgânica ou fertilizantes minerais, sabendo que muitas dessas transformações podem culminar na diminuição do potencial do fertilizante. Uma das principais perdas de N no solo ocorre por meio da volatilização da amônia ( $\text{NH}_3$ ), este processo pode ocorrer de forma mais frequente quando as aplicações de fertilizantes nitrogenados na superfície do solo em condições de umidade, pois, a matéria orgânica promove uma maior atividade da uréase, podendo dificultar a difusão desses fertilizantes para a camada arável do solo. Assim, acredita-se que as maiores perdas de  $\text{NH}_3$  ocorrem quando o solo está próximo à capacidade de campo (ANDREOLI; CARNEIRO, 2002).

A mineralização do nitrogênio orgânico é um processo enzimático resultante da conversão de formas orgânicas de N para formas inorgânicas absorvidas pelas plantas, este processo é realizado por microrganismos heterotróficos, aeróbios e anaeróbios, que utilizam os resíduos vegetais como fontes de carbono, N e energia (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

O processo de nitrificação ocorre através da conversão de  $\text{NH}_4^+$  em  $\text{NO}_3^-$ . É um processo biológico que em solos que apresentam elevada umidade, com pH próximo a neutralidade, apresentam boa aeração favorecem o processo de nitrificação. O produto resultante deste processo por ser um íon com carga negativa que não é atraído pelas partículas do solo ou da matéria orgânica do solo, sendo assim este elemento é facilmente lixiviado (O'LEARY et al., 1994).

O processo de desnitrificação ocorre por meio de bactérias que usam o  $\text{NO}_3^-$  ao invés do oxigênio em seu processo metabólico, desta forma, as bactérias convertem o  $\text{NO}_3^-$  para  $\text{N}_2$  que é facilmente perdido para a atmosfera. Este processo ocorre comumente em solos de várzea ou alagados ou em solos que apresentam matéria orgânica suficiente para fornecer energia para estas bactérias. Este processo só é possível devido o processo de mineralização do N ocorre de forma muito rápida. O  $\text{NO}_3^-$  que não é aproveitado pelo vegetal, apresenta três caminhos: processo assimilativo, lixiviação e desnitrificação (O'LEARY et al., 1994).

A imobilização ocorre quando o  $\text{NO}_3^-$  ou  $\text{NH}_4^+$  presente no solo passa a ser consumido pelos microorganismos, que utilizam este N na formulação de enzimas, ocorrendo a redução temporária de disponibilidade de N para planta (O'LEARY et al., 1994).

## **2.6 Nitrogênio na planta**

Dentre os elementos essenciais exigidos pelas plantas, o N é o que apresenta maior efeito no crescimento vegetal, responsável pelo desenvolvimento radicular, faz parte da molécula de clorofila, constituinte de aminoácidos, proteínas, enzimas, coenzimas e nucleotídeos. É essencial para as plantas, por participar da composição das mais importantes biomoléculas, tais como ATP, NADH, NADPH. (MIFLIN; LEA, 1976; HARPER, 1994).

O N absorvido pelas plantas pode ser metabolizado nas raízes ou ser transportado para a parte aérea por meio do xilema. Esta forma de transporte depende do metabolismo das raízes e da forma que o N foi absorvido ( $\text{NO}_3^-$  ou  $\text{NH}_4^+$ ). Frequentemente a maior parte do  $\text{NH}_4^+$  absorvido é assimilado nas raízes e o  $\text{NO}_3^-$  é metabolizado nas raízes e transportado para a parte aérea da planta (MENGEL e KIRKBY, 1987).

Para que ocorra a assimilação do N é necessário uma serie complexa de reações bioquímica, sendo estas reações responsáveis por um maior gasto de energia. Por meio das enzimas redutoras, o N presente nos compostos orgânicos é reduzido para  $\text{NH}_3$ , este processo de redução ocorre com presença de enzimas como a redutase do nitrito e redutase do nitrato. A redução do nitrato ocorre quando as plantas reduzem grande parte do  $\text{NO}_3^-$  e incorpora o N reduzido  $\text{NH}_4^+$  em compostos orgânicos, este processo de redução pode ocorrer nas raízes ou nas partes aéreas da planta. Em geral, quando a quantidade de  $\text{NO}_3^-$  é baixa, a redução ocorre predominantemente no sistema radicular (TAIZ e ZEIGER, 2013).

## **2.7 Nitrogênio na soja**

### **2.7.1 Fixação biológica do nitrogênio na soja**

Segundo Taiz e Zeiger (2013), para um elemento ser essencial tem de participar da estrutura ou do metabolismo vegetal ou que na sua ausência a planta passe por graves problemas no desenvolvimento, crescimento e produção. Dentre os elementos essenciais para o desenvolvimento vegetal, encontra-se o N que por ser constituinte de diversos compostos como aminoácidos, ácidos nucleicos e clorofila e ainda participar das principais reações bioquímicas, é um dos nutrientes de maior exigência nas plantas. (MARSCHNER, 2012).

Na cultura da soja, o nitrogênio é o nutriente demandado em maior quantidade, em especial na fase reprodutiva. Do total exigido, grande parte é destinada para os grãos, em torno de 84%, sendo o restante alocado nas folhas, caule e raízes (HUNGRIA et al., 2007). Segundo estes últimos autores, para cada mil quilos de grãos produzidos, a soja demanda 80 kg ha<sup>-1</sup> de N. Para suprir a demanda de N da planta, esse nutriente é fornecido através da adição de material orgânico, que por meio da decomposição da matéria orgânica é capaz de fornecer de 10 a 15 kg de N por cultura (HUNGRIA et al., 2007), por meio de fertilizantes nitrogenados, e por meio da fixação biológica do N (FBN) (HERRIDGE et al., 2008).

A cultura da soja tem como uma das principais fontes de N a FBN, qual é realizada por bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, especialmente as espécies *Bradyrhizobium japonicum* e *B. elkanii*, podendo fornecer cerca de 70 a 200 kg ha<sup>-1</sup> de N durante o ciclo da cultura (HERRIDGE et al., 2008). O processo de FBN ocorre por meio da conversão do N gasoso (N<sub>2</sub>) em N amoniacal (NH<sub>3</sub>), este processo natural ocorre em associações de plantas com bactérias diazotróficas. Consistindo em uma das alternativas de suprimento de N de algumas leguminosas (BARNI et al., 1975).

O nutriente é capturado do ar e fixado pelas bactérias diazotróficas, encontradas em muitos tipos de solos. Nas raízes, as bactérias nodulíferas têm, geralmente, alta especificidade para cada espécie vegetal, sendo muito comum, por exemplo, a simbiose entre plantas da família leguminosae e bactérias diazotróficas conhecidas como rizóbios (ZILLI, 2008).

Na cultura da soja o N<sub>2</sub> fixado é a terceira fonte de N mais utilizada pela planta, neste caso as bactérias do gênero *Bradyrhizobium* se associam as raízes das plantas e formam estruturas especializadas, denominadas de nódulos, nos quais ocorre o processo de fixação biológica. Nestes nódulos são incorporados os íons de hidrogênio (H<sup>+</sup>) abundantes nas células das bactérias, ocorrendo a transformação dos íons de amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) distribuídos para a planta hospedeira e incorporada de diversas formas de N orgânico, como os aminoácidos e amidas. (EMBRAPA SOJA, 2001).

Segundo Câmara (2000), de acordo com as condições climáticas e a interação entre determinadas cultivares e a estirpe de bactérias, os primeiros nódulos radiculares na cultura da soja podem ser visíveis a partir de 10 a 15 após a emergência das plantas (estádio V2). Devido à baixa demanda de N nas fases iniciais da planta, este nutriente é fornecido através das reservas cotiledonares e a incipiente absorção radicular. Dessa forma, os nódulos são de tamanho reduzido e em pequenos números (HUNGRIA et al., 2007).

Durante o ciclo de vida da cultura da soja, o processo de nodulação apresenta dois picos, o primeiro é referente a fase de florescimento (estádio R2) e o segundo próximo ao estágio R5.3, fase de elevada demanda de nutrientes. Após o segundo pico as atividades de nodulação se reduzem, pois, a planta está entrando no processo de maturação fisiológica (CÂMARA, 2014).

### **2.7.2 Adubação nitrogenada na soja**

Recomenda-se para cultura da soja o uso de inoculantes nas sementes com ausência de suplementação de fertilizantes nitrogenados, segundo Vargas e Suhet (1982) alegam que não haveria evidências de benefícios da utilização de fertilizantes nitrogenados para a soja, no entanto outros autores afirmam o oposto, alegando que a suplementação de adubos nitrogenados é eficaz quando o cultivo da soja é no período de outono/ inverno (AMBROSANO et al., 1997).

Outro caso em que se tem relatado a viabilidade da adubação de N na soja é, quando a cultura é cultivada sobre solos arenosos com baixos teores de matéria orgânica e baixa capacidade de troca catiônica e aniônica (PETTER et al., 2012). Mesmo com a inoculação adequada, alguns autores apontam que é necessário a adubação de “arranque” na cultura da soja a fim de prevenir o amarelecimento das folhas nos estádios iniciais (NOGUEIRA et al., 2010, PEREIRA et al., 2010).

De acordo com Salvagiotti et al., 2008 é necessário a realização da adubação nitrogenada em sistemas de elevado potencial produtivo de soja, pois, a nodulação pode ser incapaz de fornecer N suficiente requerido para o desenvolvimento das plantas. Petter et al. (2012) confirmam a importância da aplicação de fertilizantes nitrogenados tardia de forma complementar em cultivares de soja com alto potencial produtivo, pois, apenas a FBN não é suficiente para atender essa elevada demanda.

### **2.7.3 Influência da adubação nitrogenada na produtividade da soja**

A soja é um dos principais commodities agrícolas do Brasil, por isto com o decorrer do tempo surgiram avanços tecnológicos no seu sistema de produção e os produtos derivados desta planta passou a ser comercializado em larga escala, principalmente como fonte de alimentação humana e animal, devido ao seu elevado teor proteico. Neste sentido, o N é essencial na formação deste composto. No entanto, Hungria et al. (2007) afirmam que os solos brasileiros são muito pobres neste nutriente, e em geral fornecem apenas cerca de 10 a 15 kg ha<sup>-1</sup> para a

cultura. Devido a isso, os fertilizantes minerais nitrogenados e a FBN são as principais fontes de N utilizadas na agricultura.

A prática da aplicação de N em cobertura na cultura da soja tem sido pouco comum devido à elevada eficiência da FBN realizada pelas bactérias do gênero *Bradyrhizobium* em condições tropicais (AMADO et al., 2010). No entanto, fatores como o avanço do sistema de plantio direto, estabilização de cultivares com maior potencial produtivo e os objetivos de se alcançar maior produtividade em uma menor quantidade de área plantada, surgem os questionamentos quanto à necessidade de se utilizar fertilizantes nitrogenados nas lavouras de soja do Brasil (MENDES et al., 2008).

Segundo Lamond e Wesley (2001), em sistemas de produção de soja de larga escala e com implemento de altas tecnologias, na maioria das vezes altas produtividades não são obtidas devido as necessidades de N requeridas em grandes qualidades, demandando aproximadamente  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  de N que serão alocados para as sementes em desenvolvimento durante o enchimento das vagens. No entanto, o suprimento de N não pode ser totalmente atendido por meio da FBN, sendo necessária adubações nitrogenadas complementares para altas produtividades. Esse fato se agrava em solos arenosos com baixos teores de matéria orgânica e baixa capacidade de troca catiônica e aniônica, em que as perdas de N por lixiviação, principalmente na forma de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) são mais evidentes (SANGOI et al., 2002).

De acordo com os levantamentos feitos por Aratani et al. (2008), existe uma grande divergência entre os resultados de pesquisas feitas acerca da adubação nitrogenada para cultura da soja, os diferentes resultados estão relacionados a diversos fatores como o efeito de condições edafoclimáticas específicas para cada região, a eficiência da simbiose, época de semeadura, tipo de cultivar, fontes de fertilizantes nitrogenados e tipo de solo. De forma geral, a aplicação de fertilizantes em cobertura é uma maneira de se obter o melhor potencial produtivo de uma cultura, buscando ganhos em características desejáveis da planta (SILVA et al, 2015).

## **2.8 Trocas gasosas foliares**

Conhecimentos específicos sobre trocas gasosas são de grande importância, principalmente para compreender os processos de adaptação, estabilidade e permanência das plantas em determinados ambientes dos ecossistemas. Isto ocorre, pois, o meio em que a planta está se desenvolvendo afeta diretamente no crescimento, conseqüentemente na produtividade da cultura, a redução destes fatores pode estar relacionada à redução na atividade fotossintética,

o que pode ser limitada por fatores bióticos ao local do cultivo (PEIXOTO et al. 2002, PAIVA et al. 2005).

A soja por ser uma espécie que apresenta mecanismo C3, apresenta faixa de eficiência fotossintética inferior as plantas C4, conseqüentemente ocorre uma redução no aproveitamento de radiação solar. Este processo só é possível devido a arquitetura foliar das plantas, forma de incorporação da molécula de CO<sub>2</sub>, a proximidade entre o local de síntese de carboidratos e feixes vasculares, o ponto de compensação e a eficiência no uso da água. Na cultura, a taxa fotossintética e variação respiratória acontecem de acordo com seu desenvolvimento e dos fatores ambientais, devido à alteração na força drenó, na arquitetura e estrutura foliar do dossel vegetativo. Estando simultaneamente relacionados com a expansão foliar e o aumento da taxa fotossintética de modo gradativo durante o estágio vegetativo para o reprodutivo, atingindo valores máximos no período de enchimento de grãos (CASAROLI et al., 2007).

RAAB e TERRY (1994) ao trabalharem com soja, observaram que plantas, quando cultivadas exclusivamente com 7,5mM de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, apresentaram maior atividade fotossintética, como resultado da manutenção da condutância estomática e do aumento da concentração de enzimas relacionadas à bioquímica da fotossíntese, desta forma, os resultados encontrados reforçam a ideia de que a resposta fotossintética das plantas, quando supridas apenas com NH<sub>4</sub><sup>+</sup> apresentam valores expressivos para as variáveis de trocas gasosas foliares.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização do substrato utilizado no experimento

O solo utilizado para a realização do experimento foi oriundo do município de Paragominas ( 2° 59' 45" S, 47° 21' 10" O), de uma área em pousio de rotação de culturas, localizado na empresa Juparanã no estado do Pará (Figura 2). O solo predominante desta área é classificado como Latossolo Amarelo de textura Muito Argilosa conforme os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).



**Figura 2:** Empresa Juparanã localizada no município de Paragominas- PA.

#### 3.2 Coleta e análises do solo antes da instalação do experimento

A coleta do solo foi realizada no período de agosto de 2017 no município de Paragominas, em uma profundidade de 0-20 cm, sendo esta considerada a camada arável do solo. Após coletado o solo foi submetido a secagem ao ar, foi destorroado e peneirado em malhas de 5mm. Após peneirado o solo foi homogeneizado, retirando 6 amostras compostas, as quais foram encaminhadas para o laboratório do departamento de solos da UFRA, para determinação dos atributos químicos e físicos, para determinação de granulometria (Figura 3).



**Figura 3:** Processo de análises laboratoriais do solo utilizado no experimento.

As análises químicas realizadas foram pH,  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{H}^+\text{Al}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ , P disponível e  $\text{K}^+$ , com intuito de verificar a fertilidade deste solo, seguindo a metodologia da Embrapa, 1997.

A determinação do pH foi realizada por meio de suspensão de água e solo e de  $\text{CaCl}_2$  0,1 mol  $\text{L}^{-1}$  e solo na relação solo:solução = 1:2,5, conforme o método potenciométrico.

A extração de  $\text{Al}^{+3}$ , Ca e Mg foi realizada com KCl 1 M, onde o extrato foi titulado com NaOH 0,025 M para determinação de Al, e EDTA 0,0125 M para Ca e Mg.

A acidez potencial ( $\text{H}^+\text{Al}$ ) foi determinada por meio do extrator acetato de cálcio a 0,05M e titulando o extrato com NaOH 0,025 M.

O fósforo disponível e o potássio trocável ( $\text{K}^+$ ) foram determinados utilizando a solução extratora mehlich-1. A leitura de fósforo foi realizada por meio de espectrofotômetro a partir da intensidade da cor azul. A leitura de potássio foi feita em fotômetro de chama. A partir da análise química calculou-se a soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (CTC t), capacidade de troca de cátions potencial (CTC T), saturação por bases (V%) e saturação por Al (m%). As análises químicas e os cálculos seguiram os procedimentos contidos em RAIJ et al. (2001). Obteve-se os seguintes resultados que podem ser observados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Análise química do solo coletado na camada de 0-0,20 m de profundidade, no município de Paragominas, PA.

pH	pH	$\text{H}^+\text{Al}$	$\text{Ca}^{+2}$	$\text{Mg}^{+2}$	$\text{Al}^{+3}$	$\text{K}^+$	SB	CTC efet.	CTC pH7	P	V%	m%
$\text{H}_2\text{O}$	$\text{CaCl}_2$							(t)	(T)	disponível		
							cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			mg dm <sup>-3</sup>	- - % - -	
5,83	5,25	3,40	4,60	1,00	0	3,37	8,97	8,97	12,37	7,40	72,5	0

A análise granulométrica foi realizada por meio da dispersão com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> e agitação lenta (120 rpm) durante 16 horas, sendo o conteúdo de areia obtido por peneiramento, o de argila, pelo método da pipeta e o de silte por diferença (GEE; BAUDER, 1986). Os resultados encontrados estão expressos na tabela 5.

**Tabela 5:** Médias dos resultados da análise granulométrica

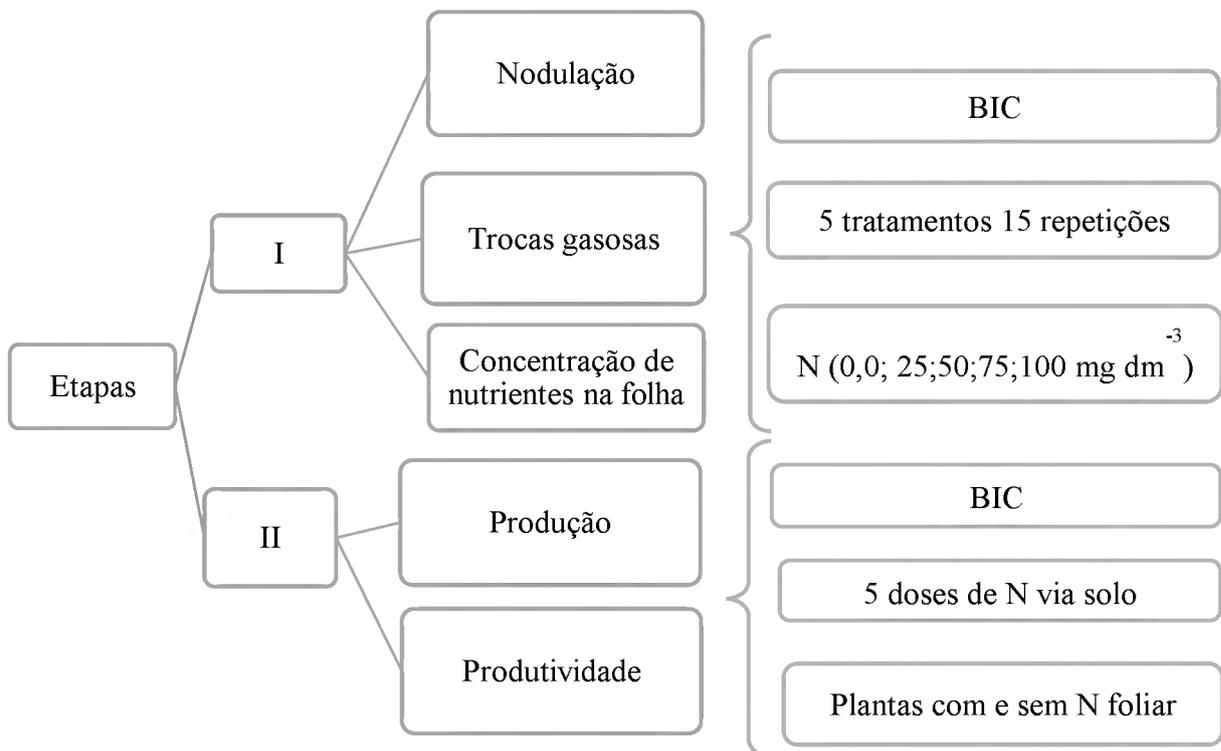
Profundidade	Classe textural	Argila (<2 µm)	Silte (2-50 µm)	Areia (50-200 µm)
		g kg <sup>-1</sup>		
0-20	Muito argilosa	604,8	318,5	77,6

Com a análise dos resultados das propriedades químicas do solo, foi possível observar que o substrato apresentou saturação por bases (V%) superior ao mínimo recomendado para a cultura, que seria de 60%, desta forma, não houve necessidade de realizar a calagem.

### 3.3 Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi realizado em duas etapas em Delineamento Inteiramente Casualizado com 5 tratamentos e 15 repetições, os tratamentos consistiam em cinco doses de N (0,0, 25, 50, 75,100 mg dm<sup>-3</sup>) com solução de cloreto de amônio (NH<sub>4</sub>Cl) a 1M. Nesta etapa foram feitas análises de trocas gasosas, concentração de nutrientes na folha diagnóstica e análises destrutivas a fim de quantificar a nodulação das plantas de soja.

Na segunda etapa do experimento foi acrescentado o fator de suplementação de N foliar em 50% dos blocos restantes com a fonte de nitrato de amônio (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) em uma concentração de 1,1 ml por planta a 0,1 M, sendo assim, o experimento passou a ser dividido em plantas com combinação de N via foliar e N via solo e plantas somente com N via solo. Durante esta etapa foi as variáveis de produção e produtividade. O esquema representativo do delineamento experimental e a organização dos blocos na casa de vegetação podem ser observados nas figuras 4 e 5.



**Figura 4:** Tratamento e delineamento experimental



**Figura 5:** Organização dos blocos inteiramente casualizado na casa de vegetação.

### 3.4 Instalação e realização do experimento

O experimento foi instalado em casa de vegetação localizada na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Campus Belém-PA no dia 27/11/2017. As coordenadas geográficas do local do experimento são 48°26'07''W e 1°27'07''S (Anexo I).

Antes da realização do semeio da soja [*Glycine max* (L.)], cultivar M8644, as sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080, na proporção de 2 ml de inoculante para cada 1kg de semente. O Semeio foi realizado em vasos plásticos contendo 5 dm<sup>3</sup> de solo, com 6 sementes por vaso e 10 dias após a emergência das

plantas, foi realizado o desbaste, deixando então, 3 plantas por vaso, por se tratar de uma cultivar de menor porte (NOVAIS et al., 1991).

Aplicou-se os tratamentos do experimento com doses de N (0,25,50,75, 100 mg dm<sup>-3</sup>). Este N disponibilizado para as plantas foi por meio de solução de cloreto de amônio (NH<sub>4</sub>Cl) à um molar. A escolha das doses utilizadas foi de acordo a dose de referência da empresa de 50mg dm<sup>-3</sup>.

A irrigação foi monitorada e realizada diariamente por meio do auxílio de balança digital, tendo como referência a massa do conjunto solo (S) + vaso (V) + umidade (U) a 80% capacidade de campo. A massa que o sistema S+V+U deveria apresentar era de 6920 g, devendo completar o faltante com água. Para a irrigação, utilizou-se somente água destilada.

No estágio Vegetativo (V3), 12 dias após o semeio, foi aplicado no solo via solução molibdênio e fósforo a fim de auxiliar no desenvolvimento e na produtividade da cultura. As fontes utilizadas foram trióxido de molibdênio (MoO<sub>3</sub>) e fosfato dissódico (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) a 1 molar, em uma concentração de 0,75mg e 1500mg respectivamente de nutrientes por vaso (Figura 5).



**Figura 6:** Plantas de soja em estágio vegetativo (V3), momento da aplicação de solução de molibdênio e fósforo.

Aos 36 dias após o semeio, momento em que a planta está em seu estágio reprodutivo 2 (R2), segundo Fehr e Caviness (1977), as plantas apresentam Florescimento pleno, ou seja, a maioria das inflorescências da haste principal com flores abertas. Realizou-se a coleta de 15

vasos, sendo três repetições de cada tratamento, a fim de quantificar e analisar os nódulos presentes nas raízes. Sendo analisado o número de nós, tamanho e viabilidade (Figura 7).



**Figura 7:** Quantificação dos nódulos de plantas de soja.

Em estágio reprodutivo (R2) foram avaliadas as respostas dos parâmetros fisiológicos, determinados no segundo trifólio completamente expandido através do aparelho analisador de trocas gasosas por infravermelho (infra red gas analyser - IRGA), modelo LI 6400XT. Foram analisados os seguintes parâmetros: taxa de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática ao vapor d'água ( $g_s$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), taxa de transpiração ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), eficiência intrínseca do uso da água ( $A/g_s$ ,  $\text{mmol CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ ), eficiência instantânea do uso da água ( $A/E$ ,  $\text{mmol CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ ) e concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ,  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ). As leituras foram realizadas no período de 09:00h às 12:00h, que compreende ao período de maior atividade fotossintética da soja. Foi utilizado 400 ppm de  $\text{CO}_2$ , irradiância saturante de 1.000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de fótons e a média de temperatura do ar nas duas leituras foi de 35°C (Figura 8).



**Figura 8:** Plantas de soja em estágio reprodutivo (R2), realização da leitura com o equipamento infra red gas analyser – IRGA.

Neste mesmo estágio reprodutivo foram coletados o terceiro par de folha do ápice para base de todas as plantas, a fim de realizar análise de diagnose foliar (RAIJ et al. 1991). As amostras vegetais coletadas foram colocadas em sacos de papel e levado para estufa a 65°C pelo tempo de 48 horas, momento em que atingiu massa constante, posteriormente as amostras foram moídas com auxílio de gral e pistilo, pesado 0,25g de cada amostra e condicionadas em tubos de teflon para passar pelo processo de digestão (Figura 9).



**Figura 9:** Processo de moagem, pesagem e digestão das mostras de folha de plantas de soja.

O processo de digestão das amostras foi realizado com auxílio da capela de exaustão, sendo adicionado com pipeta graduada, 2 ml de  $\text{HNO}_3$  individualmente nos tubos contendo o

material e mantidos por 60 min para a queima dos resíduos de matéria orgânica, em seguida foram adicionados 2 ml de  $H_2O_2$  e mantidos por 30 min e, por último, foram adicionados 5 ml de água ultrapura (MS 2000, Gehaka). Os tubos foram fechados hermeticamente e submetidos ao programa de aquecimento. Após a digestão o material resultante foi encaminhado para laboratório para determinação dos teores totais de macro e micronutrientes (P, K, Ca, Mg, Fe, Zn) com auxílio de espectrofotometria de absorção atômica. A digestão de N foi realizada por meio de ácido sulfúrico a 0,05N e a leitura por meio de titulometria (Figura 10).



**Figura 10:** Processo de leitura da concentração de macro e micronutrientes nas folhas diagnósticas de plantas de soja.

Aplicou-se N via foliar no estágio R5.1, como fonte de N utilizou-se  $NH_4NO_3$  em uma concentração de 0,1 molar. A aplicação foliar foi realizada com o auxílio de um pulverizador manual, usando-se solução nutritiva em quantidade equivalente a 33ml por vaso. A aplicação foi feita nas plantas ainda com o orvalho da manhã, com cuidado para não provocar contaminação por deriva nas parcelas vizinhas (figura 11).



**Figura 11:** Plantas de soja em estágio reprodutivo (R5.1), quando houve a aplicação de N via foliar.

No estágio R9 (FEHR; CAVINESS, 1997), 110 dias após a emergência, fase correspondente à maturidade completa, realizou-se a colheita das plantas, a fim de determinar seus componentes de produção e produtividade (Figura 12).



**Figura 12:** Plantas de soja em estágio reprodutivo (R9), quando as plantas foram colhidas para determinação da produção e produtividade.

### **3.5 Produção e produtividade dos grãos**

A análise das variáveis de produção da cultura da soja é primordial para a compreensão dos resultados de produtividade, pois as há uma complementariedade entre estes componentes, sendo assim a produtividade é, portanto, resultante da interação de todos os componentes de

produção (FAGERIA et al., 2006). Sendo assim, os componentes de produtividade e produção da cultura da soja avaliados foram:

**Número de vagens por planta:** Total de vagens emitidas por planta, contabilizando tanto as do ramo principal, como demais ramos.

**Número de grãos por vagem:** Total de grãos emitidos por vagem, contabilizando tanto os grãos das vagens do ramo principal, como demais ramos.

**Número de grãos por planta:** Total de grãos produzidos por planta. Não foram contabilizados grãos malformados e/ou muito danificados.

**Peso de 100 grãos:** Todos os grãos foram submetidos a secagem em estufa com circulação de ar forçada a 65°C por 48h até atingir peso constante e, posteriormente, foram selecionados, aleatoriamente 100 grãos de cada amostra, posteriormente foram pesados, tendo sua massa obtida.

**Produtividade:** Foi estimada usando no cálculo a população de plantas ha<sup>-1</sup> de acordo com o recomendado para a cultivar M8644 (300.000 plantas ha<sup>-1</sup>):

$P (t \text{ ha}^{-1}) = \{ [NPH \times NVP \times NGV \times (p100 \times 10) ] / 60000 \} * 60$ . Onde:

NPH = Número de plantas por hectare (300000, seguindo recomendação da cultivar);

NVP = Número de vagens por planta;

NGV= Número de grãos por vagem;

P100 = Peso de 100 grãos.

### 3.6 Análise estatística

O estudo de regressão foi realizado a fim de verificar os efeitos da adubação de N nas variáveis analisadas, na qual a significância foi validada por meio da ANOVA através do Software Sisvar 5.6. A escolha do modelo de regressão foi feita a partir do coeficiente de determinação e do erro, buscando sempre o modelo que apresentasse p-valor a 10%. A partir da derivada da equação gerada na análise de regressão, foi possível determinar a máxima eficiência técnica das variáveis em função das doses de N aplicada.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância (ANOVA) está expressa nas tabelas 6 e 7, com as variáveis analisadas (Número de vagens por planta, número de grãos por vagem, número de grãos por planta, peso de 100 grãos, produtividade, número de nódulos por planta, fotossíntese líquida condutância estomática, transpiração, eficiência instantânea do uso da água, eficiência intrínseca do uso da água, concentração de CO<sub>2</sub> no espaços intercelulares e concentração de macro e micronutrientes nas folhas diagnóstica ) em função das doses de N nas duas fases do experimento. De acordo com a significância dos dados realizou-se análise de regressão.

**Tabela 6.** Análise de variância das variáveis analisadas em função das doses de N aplicadas na fase I do experimento.

Fonte de Variação	GL	Variáveis analisadas												
		A	gs	E	A/E	A/gs	Ci	k	Ca	Mg	P	N	Zn	Fe
Doses de Nitrogênio	4	*	**	**	**	**	*	ns	**	**	**	**	**	ns
CV%	....	8,64	7,36	6,56	7,45	9,13	7,45	1,26	9,3	10,8	5,76	7,32	8,53	1,13

\*Significativo a 5% de probabilidade; \*\* Significativo a 1% de probabilidade; GL: grau de liberdade; A: fotossíntese líquida; gs: condutância estomática; E: transpiração; A/E: eficiência instantânea do uso da água; A/gs: Eficiência intrínseca do uso da água; Ci: Concentração de CO<sub>2</sub> no espaços intercelulares; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; P: Fósforo; N: Nitrogênio; Zn: Zinco; Fe: Ferro.

**Tabela 7.** Análise de variância para das variáveis analisadas em função das doses de N aplicadas na fase II do experimento.

Fonte de Variação	GL	Variáveis analisadas					
		NVP	NGP	NGV	NNP	Peso 100 grãos	Prod.
Doses de Nitrogênio	4	**	**	**	**	**	*
CV%	....	6,84	11,87	8,36	4,57	9,33	5,04

\*Significativo a 5% de probabilidade; \*\* Significativo a 1% de probabilidade; GL: grau de liberdade; NVP: número de vagens por planta; NGP: número de grãos por planta; NGV: número de grãos por vagem; NNP: número de nódulos por planta, Peso de 100 grãos e produtividade.

#### 4.1 Análise do solo após experimento

A análise de solo realizada mostrou diferença dos atributos químicos antes e depois do experimento, apresentando diferença entre os atributos químicos analisados em função das doses de N aplicadas no solo (Tabela 8).

**Tabela 8.** Atributos químicos do solo após a retirada do experimento

DOSES DE N	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	P	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	H+Al	CTC	V	m
			mg dm <sup>-3</sup>	.....cmol dm <sup>-3</sup> .....						.....%.....		
0 mg	5,5	5,2	0,7	6,9	1,8	4,8	13,5	0,1	7,1	13,6	65,4	0,7
25 mg	5,4	5,1	0,7	6,7	1,7	5,2	13,4	0,1	7,5	13,5	64,1	0,7
50 mg	5,3	5,0	0,7	6,6	1,7	5,0	13,3	0,1	7,9	13,4	62,7	0,7
75 mg	5,3	5,0	0,7	6,5	1,7	5,1	13,2	0,1	8,0	13,3	62,3	0,8
100 mg	5,2	5,0	0,7	6,4	1,6	5,1	13,0	0,1	8,1	13,1	61,7	0,8

Após a retirada do experimento verificou-se variações nos atributos químicos do solo, esta variação pode ser explicada pela adição dos tratamentos.

Os resultados para pH variaram de maneira inversamente proporcional a aplicação de N, onde quanto maior concentração de N, menor foi o valor do pH, isto pode ser justificado através da fonte de N utilizada no experimento, o qual foi cloreto de amônio que em elevadas concentrações pode causar acidificação do solo por meio da oxidação de íons NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Segundo Caires et al. (2014), afirmam que a adubação nitrogenada é uma das principais responsáveis pelo processo de acidificação do solo em sistemas agrícolas produtivos, pois fertilizantes contendo amônio e ureia são frequentemente utilizados como fontes de N. A magnitude da acidificação gerada pela adubação nitrogenada irá depender do sistema de cultivo, tipo de solo, fonte e dose de N e periodicidade da aplicação do fertilizante. Desta forma, pode-se confirmar que quanto maior a concentração de cloreto de amônio no solo, maior será a acidez do mesmo.

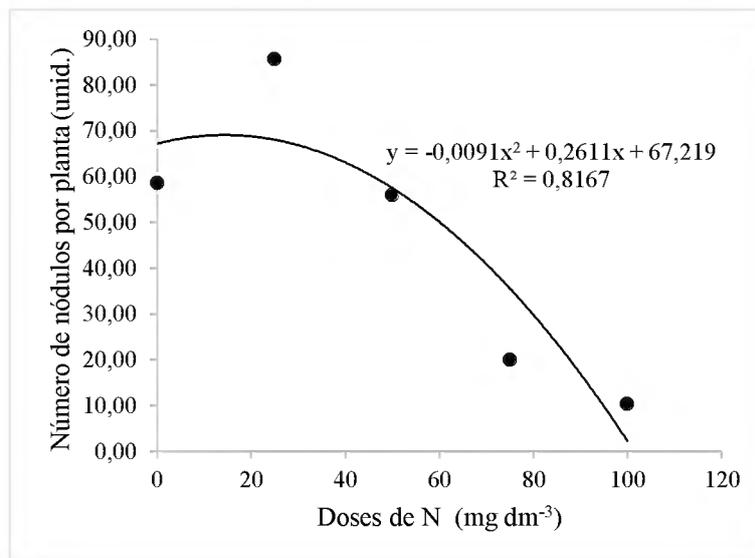
Os resultados apresentados corroboram com Lange et al. (2006) que ao trabalharem com a cultura do milho, também verificaram que ao adicionar N no solo, ocorreu a redução nos teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> trocáveis na camada superficial do solo, resultando na diminuição na saturação por bases.

Desta forma, pode-se inferir que o comportamento da redução dos teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> pode estar ligado com a lixiviação do nitrato NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, o qual irá arrastar os cátions para manter a eletroneutralidade, onde os íons H<sup>+</sup> irão ocupar as camadas superficiais do solo, ocasionando a

acidificação do meio. Isto resulta na elevação da disponibilidade do  $Al^{+3}$  que, por sua vez, passa a ocupar os sítios de troca (CTC) no complexo coloidal (BOHNEN et al., 2000).

## 4.2 Nodulação

A interação entre as doses de N aplicadas via solo e a aplicação de N foliar, promoveu efeito significativo no número de nódulos por planta (NNP) (Figura 13).



**Figura 13:** Número de nódulos por planta de soja cultivadas sob doses de N no solo

A variável de número de nódulos por planta está ligada diretamente com a produtividade e desempenho da cultura. Porém para este processo ocorre de forma eficaz, alguns fatores podem ser limitantes para o funcionamento adequado das bactérias fixadoras de  $N_2$ , dentre esses fatores o principal é o estresse hídrico, podendo ocasionar diminuição no N disponível para as plantas (AMADO et al., 2010).

Os valores encontrados variaram entre 10,33 a 85,66 sendo a dose de 25 mg de N apresentou maior eficiência no parâmetro analisado. Ao realizar o teste de análise por regressão linear, o coeficiente de determinação também mostrou que a quantidade de nódulos é expressivamente influenciada pela adubação nitrogenada. Pode-se observar que houve uma diminuição na produção de nódulos quando as plantas foram submetidas a maiores concentrações de N no solo, o que mostra que a simbiose é inibida pela presença de doses elevadas de N no solo, evidenciando que quanto mais N mineral disponível no solo de crescimento da soja menor será a sua nodulação, estes resultados corroboram com resultados obtidos por Xavier et al. (2008), comprovam que a adição de pequenas quantidades de N no

solo pode favorecer a nodulação, porém ocorre sua diminuição quando se adiciona doses superiores a  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

Esse comportamento encontrado no presente trabalho pode ser explicado por Bottomley e Myrold, (2007), os quais afirmam que elevadas concentrações de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  podem resultar no impedimento da fixação biológica ou até mesmo impossibilitar o desempenho dos nódulos já formados.

As maiores doses de N foram altas o suficiente para prejudicar a fixação biológica de  $\text{N}_2$  (FBN), onde  $100 \text{ mg dm}^{-3}$  apresentou uma menor eficiência na FBN. Esta justificativa é bastante contestada no caso da soja, e de modo geral, para a cultura, não há recomendação de adubação nitrogenada na semeadura, uma vez que se considera que a necessidade da planta na fase inicial é muito pequena e que pode haver prejuízo na nodulação (KASCHUK et al., 2016)

Valores encontrados neste trabalho se mostraram superiores ao comparar com trabalho executado por Parente et al. (2008) que ao trabalhar com Adubação nitrogenada em genótipos de soja, obteve valores de número de nódulos variando entre 9 e 15 unidades por planta nas cultivares testadas.

Por meio da derivada da equação gerada na análise de regressão, foi possível encontrar a máxima eficiência técnica para a variável número de nódulos por planta, apresentando valor de  $24,35 \text{ mg dm}^{-3}$ .

### **4.3 Trocas gasosas**

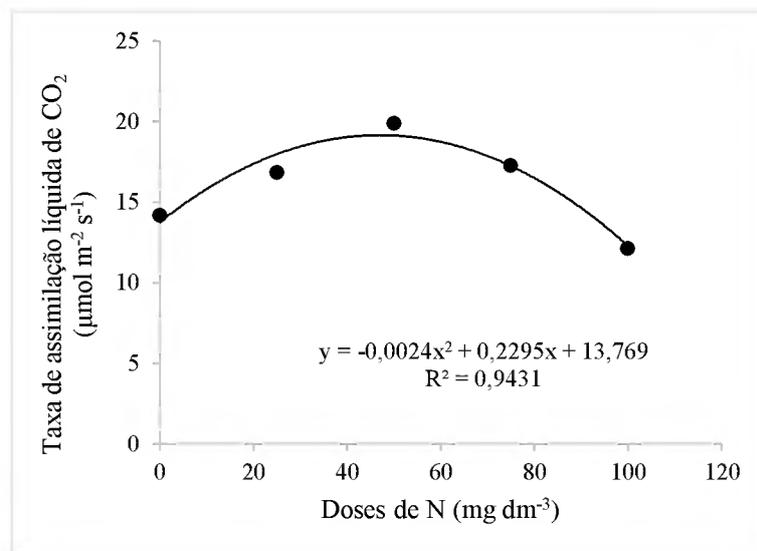
Os resultados da influência das diferentes doses de N sobre as variáveis de trocas gasosas, estão apresentados nas figuras seguintes. O melhor ajuste deu-se por meio do modelo de regressão polinomial de segundo grau para todas as variáveis analisadas.

#### **4.3.1 Taxa de assimilação líquida de $\text{CO}_2$ (A)**

A quantidade de N presente no interior das folhas é um fator que pode influenciar de forma positiva ou negativa o desempenho fotossintético do vegetal, pois o N é facilmente consumido no processo de síntese de aminoácidos (TAIZ; ZEIGER, 2013), sendo assim o aumento da taxa fotossintética e maior concentração de carboidratos na folha, resultara em uma maior demanda e maior consumo de N, com este elevado consumo acarretará na deficiência de N nas folhas, o que faz com que a planta realize uma autorregulação, pois haverá concentrações

elevadas de carboidratos que não serão necessários para a realização da síntese de aminoácidos (TRICKER et al., 2004).

A análise de variância para taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A) mostrou diferença significativa nas doses de N. O modelo de regressão polinomial que melhor se ajustou aos dados foi o do segundo grau (Figura 14).



**Figura 14:** taxa de assimilação líquida (A) em plantas de soja cultivadas sob doses de N no solo.

Os valores encontrados variaram entre 12,13 a 19,92, havendo diferença estatísticas significativa entre as doses analisadas. Ao realizar o teste de análise por regressão linear, o coeficiente de determinação também mostrou que a taxa fotossintética foi expressivamente influenciada pela adubação nitrogenada onde  $R^2 = 0,94$ . Para a maior eficiência técnica a dose encontrada foi de 47,81 mg dm<sup>-3</sup>.

Estes resultados podem ser justificados com estudos realizados por Cruz e Regazzi (2007) que ao trabalhar com a Influência do nitrato e do amônio sobre a fotossíntese e a concentração de compostos nitrogenados em grãos, observou que independente da fonte de N utilizada, não houve interferência significativa na taxa fotossintética, onde plantas submetidas a adubação com nitrato obtiveram valores aproximados de plantas com adubação com amônio. Sendo assim, pode-se inferir que a adubação N auxilia de forma positiva o processo fotossintético das plantas.

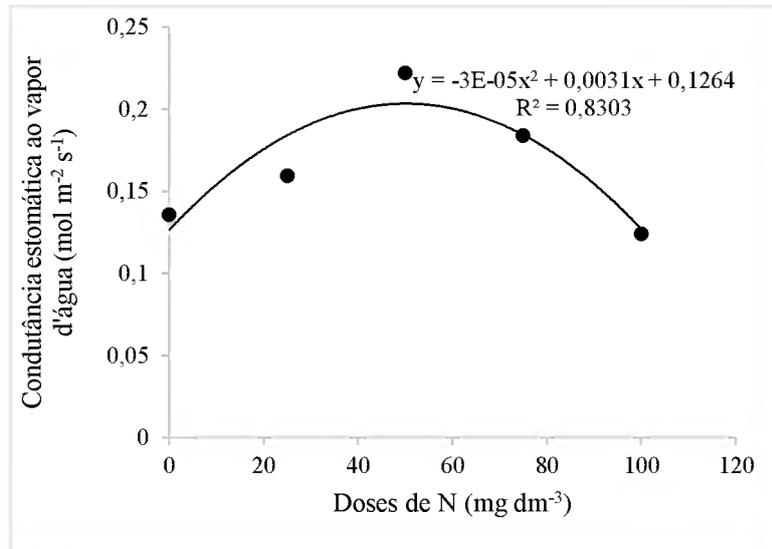
Entretanto, o N quando em concentrações elevadas, torna-se tóxico para as plantas, influenciando negativamente nos processos fotossintéticos (ALMEIDA, 2015). Isso porque

elevadas concentrações de N podem causar inibição da atividade fotossintética, devido à redução da atividade da ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco) (FAGERIA, 2001). Outro fator preponderante é o efeito negativo da fotossíntese causado pela deficiência de N que está relacionado principalmente com o conteúdo de clorofila, redução na qualidade do tecido paliçádico, diminuição de atividade de determinadas eximas no ciclo reprodutivo do carbono e do N, além de afetar negativamente a condutância estomática (KOZLOWSKI; PALLARDY, 1997).

Sendo assim, pode-se inferir que o incremento de N na culta da soja pode ter efeito positivo ou negativo na taxa de fotossíntese líquida, onde o excesso ou deficiência do elemento pode ocasionar sérios danos no processo fotossintético do vegetal, isto pode ser observado no presente estudo, onde a dose de 100 mg dm<sup>-3</sup> apresentou menor desempenho na fotossíntese, esta pode ser considerada uma dose prejudicial para o processo de fotossíntese da cultura da soja.

#### **4.3.2 Condutância estomática ao vapor d'água (gs)**

Na variável condutância estomática ao vapor d'água (gs), houve diferença significativa entre as doses de N aplicadas. As médias obtidas variaram entre 0,22 e 0,12  $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Figura 9). O menor valor obtido está relacionado com a dose 100 mg dm<sup>-3</sup> N e o maior valor está correlacionado com a dose de 50 mg dm<sup>-3</sup> N. Sendo a dose de 51,67 mg dm<sup>-3</sup> N apresentou maior eficiência técnica. Neste caso, a disponibilidade desta dose de N proporcionou maior abertura estomática dando condições para a planta realizar o processo fisiológico, sem que haja influência negativa na abertura estomática (Figura 15).



**Figura 15:** Condutância Estomática ( $g_s$ ) em plantas de soja cultivadas sob doses de N no solo.

A  $g_s$  interfere de maneira positiva no processo de abertura dos estômatos, sendo que a abertura estomática determina o limite máximo de entrada de gás no mesofilo foliar. Desta forma, os estômatos são responsáveis pelo balanço de entrada de  $CO_2$  e saída de vapor d'água no mesofilo foliar, sendo regulador da atividade fotossintética e o consumo de água e nutrientes pelas plantas. A razão entre estes fluxos define a eficiência do uso de água (BRAKKE; ALLEN JUNIOR, 1995).

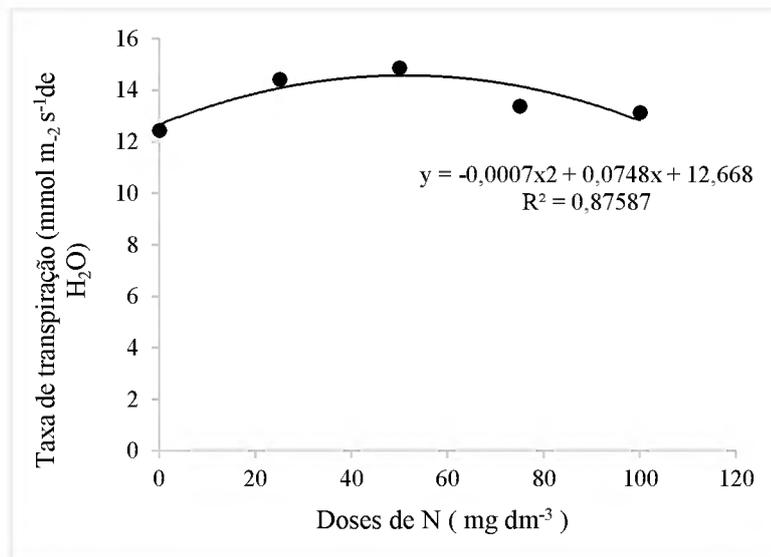
A  $g_s$  é um parâmetro que está diretamente ligada ao processo de assimilação líquida de  $CO_2$  e à transpiração. Para que ocorra a fotossíntese, o  $CO_2$  precisa se transportar da atmosfera para o interior da folha, sendo necessário ultrapassar a resistência da camada limitrofe e, principalmente, a resistência estomática. A condutância estomática é considerada um indicador bastante sensível ao déficit hídrico e a grandes concentrações de nutrientes (Flechas et al., 2004).

Os valores encontrados no presente trabalho corroboram com Guidi et al. (1998) que explicam que elevadas concentrações de amido no cloroplasto podem ser provenientes da deficiência ou excesso de N, o que podem contribuir para a redução da condutância estomática, dificultando o ingresso de  $CO_2$  nos sítios de carboxilação.

Alves et al. (2011) ao trabalharem com fotossíntese, transpiração e condutância estomáticas em plantas de pimentão submetidas a diferentes doses de N, obtiveram valor médio de  $0,24 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para a variável de condutância estomática, valores que se aproximam dos valores encontrados no presente trabalho.

### 4.3.3 Taxa de transpiração ( $E$ )

Na variável taxa de transpiração ( $E$ ), pode-se observar que ocorreu diferença significativa entre as doses de N aplicadas. As médias obtidas variaram entre 14,88 e 12,44  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{O}$  (Figura 16).



**Figura 15:** Taxa de transpiração ( $E$ ) em plantas de soja cultivadas sob doses de N no solo.

O menor valor obtido está relacionado com a dose 0,0  $\text{mg dm}^{-3}$  N e o maior valor está correlacionado com a dose de 50  $\text{mg dm}^{-3}$  N.

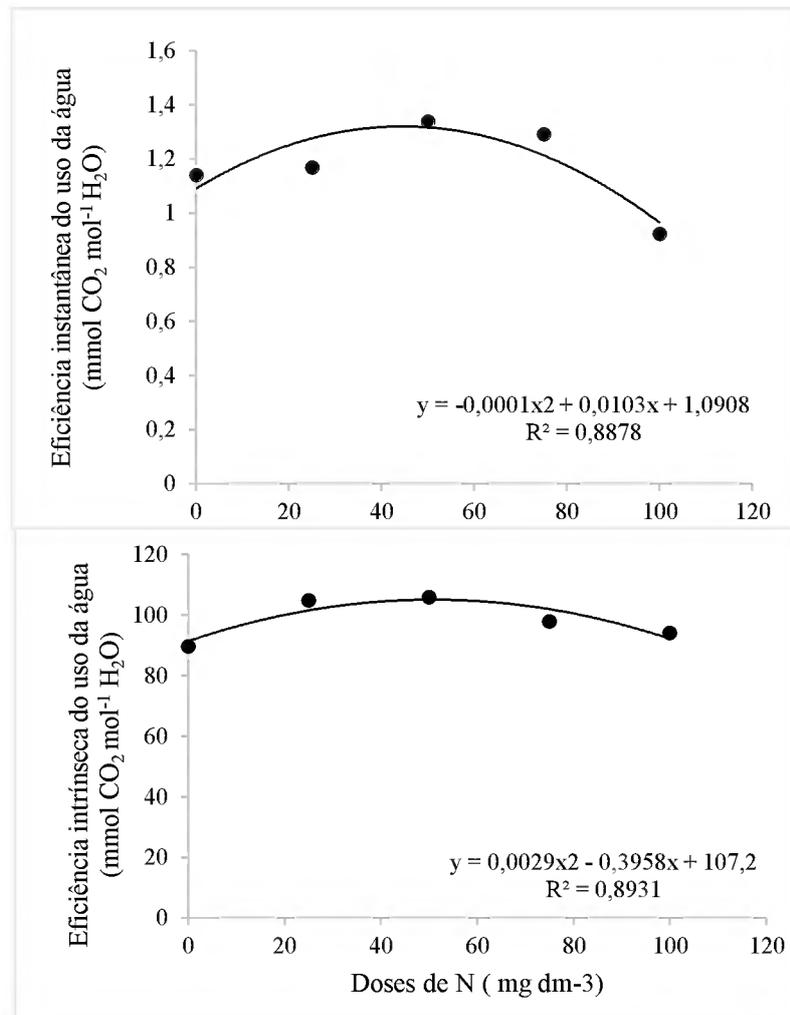
O processo da passagem de água pela planta só é possível devido ao equilíbrio de solo planta e atmosfera e a transpiração é um mecanismo da planta responsável pelo transporte de água até as folhas (TAIZ; ZEIGER, 2013). Sendo assim, qualquer que seja a alteração de concentração de água no sistema raiz, caule e folha irá afetar de forma direta na condutância estomática e na taxa fotossintética das folhas (HUBBARD et. al. 1999).

A Transpiração apresentou efeito significativo sob as doses de N aplicada, apresentando efeitos semelhante com a condutância estomática, esta relação pode ser explicada pois o fechamento estomático gera uma redução das perdas de água na planta. Estes efeitos podem ser justificados pois durante a condução do experimento não teve limitações de demandas hídricas, sendo assim as plantas tiveram a capacidade de expressar sua máxima capacidade transpiratória. Diante disto, as plantas apresentaram maior capacidade de manter a absorção de água disponível no solo e manter os estômatos abertos por um maior período, absorvendo água e possibilitando a entrada de  $\text{CO}_2$  e manutenção da fotossíntese.

Com o aumento da concentração de N no solo, houve um decréscimo da transpiração, concomitantemente a condutância estomática, estas mudanças fisiológicas mostram o sinergismo entre os fatores solo, planta e atmosfera. Estes resultados corroboram com Shimono e Bruce (2009), que afirmam existir uma forte correlação entre o conteúdo de N na planta e o processo de transpiração.

#### **4.3.4 Eficiências do uso da água (EUA)**

Foram utilizado dois tipos de determinações da eficiência do uso da água durante a execução do experimento. A partir dos dados de trocas gasosas foram estimadas a eficiência instantânea de uso da água, calculada pela razão entre  $A$  e  $E$  e a eficiência intrínseca de uso da água, calculada pela razão entre  $A$  e  $g_s$  (Figura 17).



**Figura 17:** Eficiências de uso da água intrínseca ( $A/g_s$ ) e instantânea ( $A/E$ ) em plantas de soja cultivadas sob doses de N no solo.

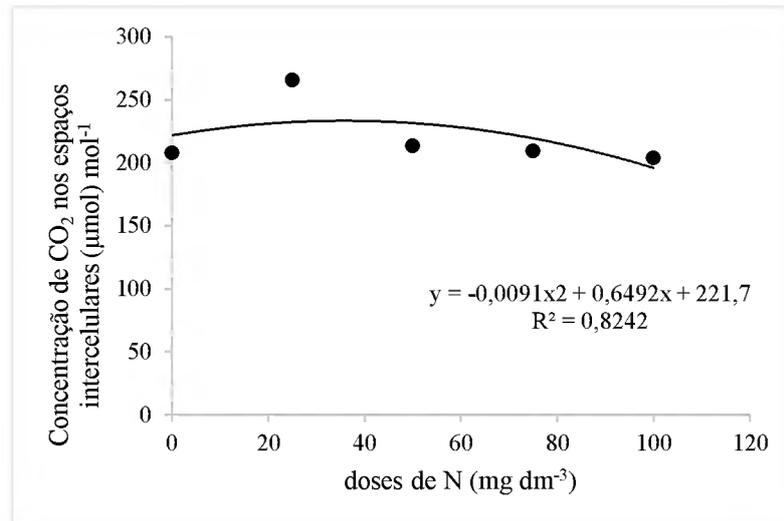
Os valores encontrados para a variável eficiência intrínseca do uso da água ( $A/g_s$ ) em função das doses de N aplicadas no solo, apresentaram valores estatisticamente significativos, variando entre 89,65 e 105,81 mmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O, sendo o maior valor correspondendo a uma concentração de 25 mg dm<sup>-3</sup> N.

Os valores encontrados para a variável de eficiência instantânea do uso da água ( $A/E$ ) foram estatisticamente significativos, sua concentração variou de 1,33 a 0,92 mmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O, onde o maior encontrado correspondeu a uma concentração de 50 mg dm<sup>-3</sup> N.

Os valores de eficiência máxima de  $A/g_s$  e  $A/E$  estimados para a cultura da soja em função de diferentes doses de N foram de 102,6 e 1,22, estes resultados corroboram com Gessler et al. 2008 que ao trabalhar com a mesma espécie vegetal encontrou valores de 81,2  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  e 2,7  $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ .

#### 4.3.5 Concentração de CO<sub>2</sub> nos espaços intercelulares (*C<sub>i</sub>*)

Os resultados encontrados de *C<sub>i</sub>* em função das doses de N aplicados apresentaram valores estatisticamente significativo, variando entre 203,83 a 265,64 (Figura 18).



**Figura 18:** Concentração de CO<sub>2</sub> nos espaços intercelulares em função das doses de N.

Segundo Lamber et al. (1998), a concentração de intracelular de CO<sub>2</sub> está ligado diretamente com o processo de abertura e fechamento estomático, ou seja, quando ocorre o decréscimo na concentração intracelular CO<sub>2</sub>, ocorre um incentivo para a abertura estomática. Este efeito foi observado neste experimento, pois os valores de *C<sub>i</sub>* complementaram os valores de *g<sub>s</sub>*.

Segundo Taiz e Zeiger (2013), a concentração interna de CO<sub>2</sub> é um fator preponderante, pois os resultados de produtividade de uma planta podem ser analisados como o produto da energia solar interceptada e do CO<sub>2</sub> fixado durante um determinado tempo. Em casos onde não ocorre nenhum tipo de estresse na planta, sendo ele hídrico ou nutricional, maiores são as condições para elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> e elevadas taxas fotossintéticas.

Os valores encontrados corroboram com os estudos realizados por Machado et al. (1999), os quais confirmam que a variação da concentração interna de CO<sub>2</sub> sob elevadas concentrações de nutrientes no solo, pode estar relacionado com a queda na atividade de enzimas envolvidas no processo de fixação de CO<sub>2</sub>, sendo assim, os resultados encontrados podem ser justificados pelas concentrações de N no solo, onde a dose de 100 mg dm<sup>-3</sup> N apresentou menor eficiência

sobre a variável de Concentração de CO<sub>2</sub> nos espaços intercelulares, o que pode ter ocasionado perdas no processo de fixação de CO<sub>2</sub> realizado pelas plantas.

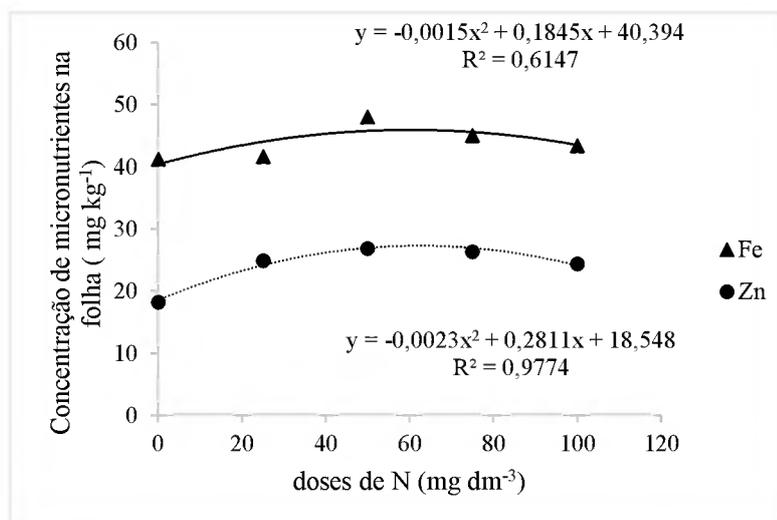
Conforme Taiz e Zeiger, 2013 confirmam que as variações significativas nas respostas de trocas gasosas dos vegetais estão ligadas diretamente como as condições climáticas dos diversos ecossistemas, assim como o suprimento nutricional que apresenta estreita relação com as variáveis de trocas gasosas. Sendo assim, estas afirmações associadas com as características da cultivar de soja corroboram com os resultados encontrados neste trabalho, onde ocorreu diferença significativa entre as concentrações de carbono interno nas plantas de soja e diferentes doses de N.

#### 4.4 Concentração de nutrientes na folha diagnostica

Dentre os métodos utilizados para a avaliação nutricional de plantas encontra-se a análise de tecido foliar. A folha é um dos órgãos que melhor reflete o estado nutricional da planta (MALAVOLTA et al., 1997). Uma das premissas básicas para análise foliar está a determinação da concentração de determinados nutrientes na folha, sendo está uma indicação da sua disponibilidade no solo, onde as alterações das concentrações destes nutrientes estão ligadas diretamente com o desenvolvimento e produção do vegetal (BATAGLIA et al., 1996).

##### 4.4.1 Concentrações de micronutrientes

Foram analisados os micronutrientes Ferro (Fe) e Zinco (Zn), o modelo que melhor se ajustou foi o polinomial de ordem dois, os valores encontrados variaram de 48,02 a 41,23 mg kg<sup>-1</sup> e 18,20 e 26,82 g kg<sup>-1</sup> respectivamente (Figura 19).



**Figura 19:** Concentração de Fe e Zn nas folhas diagnosticas de soja em função de doses de N no solo

Os valores encontrados para concentração de Fe em função das doses de N não foram estatisticamente significativos, com os valores variando entre 41,23 a 48,12 mg kg<sup>-1</sup>, sendo o menor valor referente a dose de 0,0 mg dm<sup>-3</sup> de N. Os valores encontrados são considerados baixos para a concentração de Fe no tecido foliar, no entanto esta concentração não afetou o desenvolvimento da cultura, por outro lado, os outros tratamentos apresentaram valores suficientes para a cultura da soja.

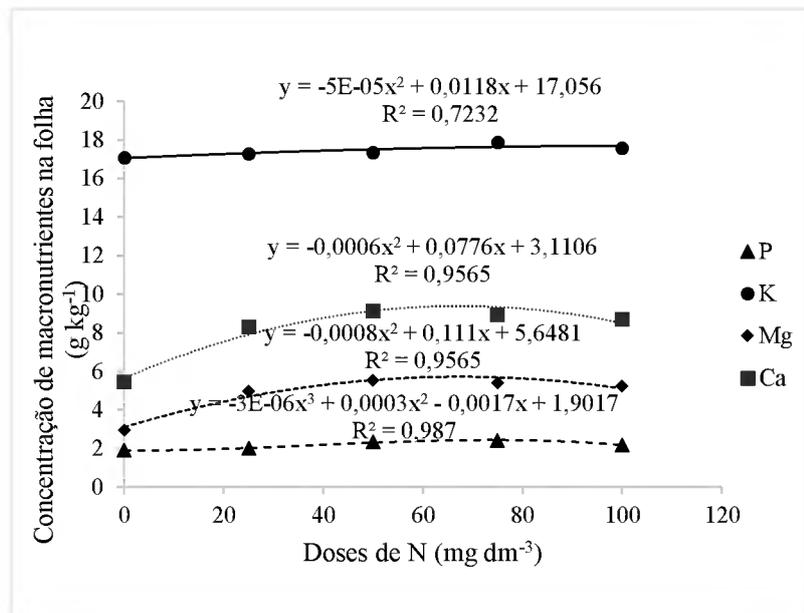
Os valores encontrados para Zn foram estatisticamente significativos em função da variação das doses de N, no entanto ao utilizar valores de referências para as plantas da soja, percebe-se que os valores se encontram na faixa de concentração baixa, porém estas concentrações não influenciaram de forma negativa no desenvolvimento das plantas, as quais foram capazes de completar seu ciclo de vida.

Os resultados para Zn encontrados neste trabalho podem ser justificados por meio das doses de N utilizadas no experimento, onde verificou-se que com o aumento da concentração de N no solo, houve um aumento na concentração de Zn, sendo assim, pode-se inferir que as concentrações de N proporcionaram aumento no teor de Zn, devido da presença deste nutriente na constituição de enzimas ou com sendo um elemento ativador no processo de síntese do nitrato redutase.

Resultados semelhantes a este trabalho foram encontrados por Galvão (1993) que ao trabalhar com cultivares de soja com níveis críticos de zinco, obteve o valor médio de 17,2 mg kg<sup>-1</sup>. O valor obtido pelo autor também seria classificado baixo pela tabela de interpretação de análise foliar de Cravo et al. (2007).

#### **4.4.2 Concentrações de macro nutrientes**

Foram analisados os macronutrientes fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e nitrogênio (N). O modelo que melhor se ajustou foi o polinomial de ordem dois (Figura 20).



**Figura 20:** Concentração de P, K, Mg e Ca nas folhas diagnósticas de soja em função de doses de N no solo.

Os resultados obtidos para fósforo variaram de 1,90 a 2,42 g kg<sup>-1</sup>, sendo estes valores considerados baixos para cultura da soja, no entanto a baixa concentração do elemento não prejudicou o desenvolvimento das plantas. Isso indica que a concentração de fósforo existente no solo foi suficiente para o desenvolvimento e estabelecimento das plantas.

As concentrações encontradas podem ser justificadas por meio dos estudos realizados por Shuman (1994), qual confirma que o N e do fósforo interagem de forma sinérgica, pois o processo de absorção de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> é um processo ativo, por isto demanda energia metabólica para o transporte conta o gradiente potencial, necessitando de ATP, e para sintetizar ATP é necessário P. Logo, a falta de P pode diminuir a absorção de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> pelas plantas e diminuir também a redistribuição do N para outras partes da planta. Sendo assim, ambos os nutrientes em concentrações adequadas resultam em uma maior produção vegetal (KLEINHOF; WARNER, 1990)

Segundo Gerloff e Gabelman (1983) afirmam que a menor ou maior eficiência no aproveitamento das plantas em absorver o fósforo presente no solo é influenciada por diferenças na absorção, translocação e utilização deste nutriente pela planta, sendo assim algum processo metabólico na planta pode ter influenciado na concentração deste elemento nas folhas de soja.

Os resultados obtidos para potássio variaram de 17,10 a 17,80 g kg<sup>-1</sup>, sendo estes valores considerados suficientes para cultura da soja, no entanto os valores encontrados não foram estatisticamente significativos, sendo assim, as doses de N no solo não influenciaram na concentração de potássio na folha diagnóstica, desta forma, não houve interação entre as concentrações de potássio na folha com o fornecimento de N no solo.

Sendo assim, pode-se inferir que o fornecimento de N em diferentes concentrações fornecidas no início do experimento, pode ter limitado a concentração deste nutriente no tecido vegetal.

Os valores encontrados para concentração de Mg em função das doses de N foram estatisticamente significativos, com os valores variando entre 2,96 a 5,94 g kg<sup>-1</sup>, sendo o menor valor referente a dose de 0,0 mg dm<sup>-3</sup> de N. Os valores encontrados são considerados suficientes para a concentração de Mg no tecido foliar, desta forma as plantas completaram seu ciclo de vida, não externando nenhum tipo de deficiência ou toxidez por Mg.

O Mg é o principal nutriente ativador de enzimas, nas células vegetais, íons magnésio (Mg<sup>2+</sup>) têm um papel específico na ativação de enzimas envolvidas na respiração, fotossíntese e síntese de RNA e DNA. O magnésio também é parte da estrutura em anel da molécula de clorofila (TAIZ e ZEIGER, 2013). Ensaios realizados por Borket (1986), ao analisar 1200 amostras de tecido vegetal e sementes de soja de diversas regiões do País, constatou que para cada 1.000 Kg de grãos de soja produzidos, são retirados em média a quantidade 1,6 Kg ha<sup>-1</sup> de Mg.

Stefanello et al. (2011), trabalhando com as cultivares BRS 245 RR e Charrua RR, observaram teores variáveis de magnésio, muito mais elevados do encontrado neste trabalho. Lavres Junior et al. (2008) explica que estas variações existentes na absorção de Mg entre as plantas podem ser justificadas pelas cultivares e diferenças de genótipos quanto à absorção, transporte ou distribuição do elemento na planta.

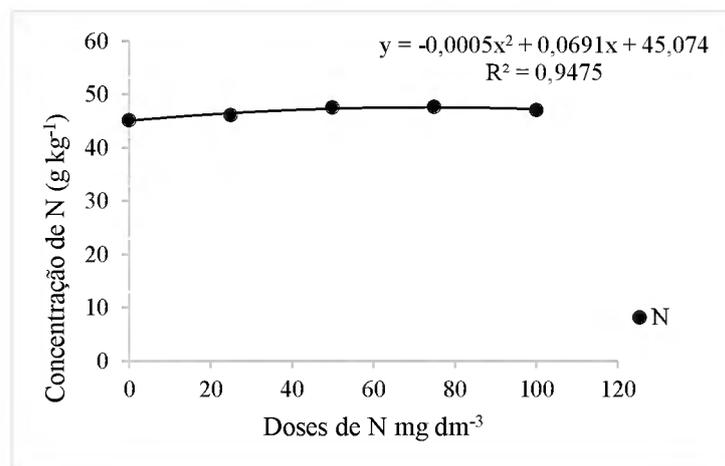
Os valores encontrados para concentração de Ca em função das doses de N foram estatisticamente significativos, com os valores variando entre 5,44 a 9,12 g kg<sup>-1</sup>, sendo o menor valor referente a dose de 0,0 mg dm<sup>-3</sup> de N. Os valores encontrados são considerados suficientes para a concentração de Ca no tecido foliar, desta forma as plantas completaram seu ciclo de vida, não externando nenhum tipo de deficiência ou toxidez por Ca.

Os íons cálcio (Ca<sup>2+</sup>) são utilizados na síntese de novas paredes celulares, em particular a lamela média, que separa células recentemente divididas (TAIZ; ZEIGER, 2013). As plantas

apresentam capacidade de desenvolver mecanismos que possibilitam a restrição do transporte de Ca, onde as células do floema apresentam baixas concentrações deste nutriente, ocorrendo também a precipitação do Ca como oxalato ao longo dos tubos crivados (MIX e MARSCHNER, 1976; FINK, 1991).

Os resultados encontrados neste trabalho corroboram com os testes feitos por Keog, et al. (1972) que obtiveram concentração foliares de Ca variando entre 7,6 e 9,8 g kg<sup>-1</sup> em 10 cultivares de soja testadas, onde os maiores teores foliares encontrados corresponderam as variedades mais produtivas.

Os valores encontrados para a concentração de N na folha em função de doses de N no solo variaram entre 45,29 e 47,68 g kg<sup>-1</sup> (Figura 21).



**Figura 21:** Concentração de N nas folhas diagnosticas de soja em função de doses de N no solo.

O intervalo dos valores encontrados neste trabalho é considerado entre a faixa de suficiência segundo os valores de referência de Cravo et. al (2007). Estes valores estão de acordo com o comportamento das plantas durante a execução do experimento. As plantas não apresentaram nenhum sintoma de deficiência ou toxidez do elemento, como clorose ou senescência das folhas velhas, as plantas apresentaram bom desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, sendo estas características de plantas com concentrações adequadas de nutrientes.

Os resultados encontrados neste trabalho corroboram com ensaios feitos por Parente et al. (2015), os quais constataram que não houve elevadas variações nas concentrações de N foliar nas cultivares de soja analisadas em função da aplicação de N em cobertura, entretanto, os

valores encontrados foram significativos e pertencente a faixa de suficiência, com valor médio de  $51 \text{ g kg}^{-1}$ .

Ensaio realizado por Cherney et al. (2004) ao verificarem efeitos das adubações nitrogenadas e potássicas em *Phalaris arundinaceae*, verificaram o incremento na concentração de N nas folhas, ressaltam que a adubação nitrogenada em relação adubação potássica, apresentou maior influência na concentração de nutrientes nas folhas. Estes resultados se assemelham aos resultados encontrados neste trabalho.

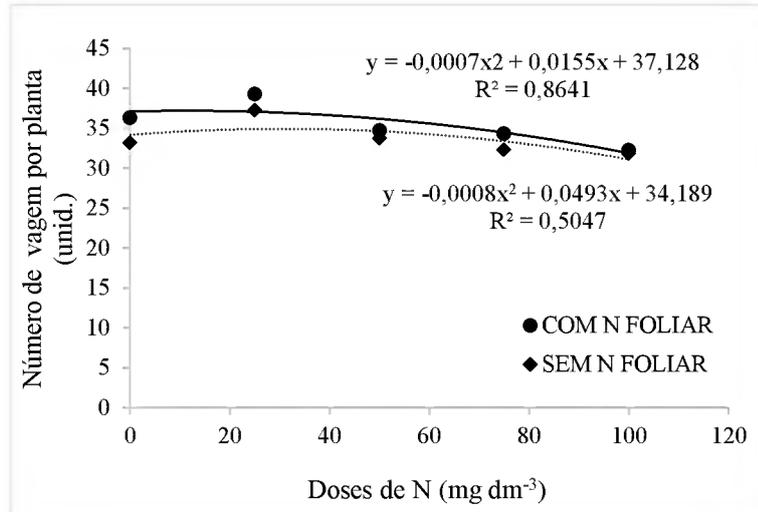
Testes realizados por Karrou e Marunville (1994) relataram que a maior concentração de N nas folhas de trigo está relacionada como o suprimento de N no solo. Resultados parecidos foram encontrados por Parvizi et al. (2004), ao aplicarem N e manganês em trigo, no entanto houve uma redução na concentração de N na folha com o emprego de doses mais elevadas de N ( $350 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Segundo os autores, a dose de  $200 \text{ mg kg}^{-1}$  de N foi considerada a ideal, pois promoveu maior concentração do nutriente e produção de massa seca da parte aérea. Estes resultados se assemelham com os resultados encontrados no presente estudo, onde houve uma redução na concentração de N na folha quando se utilizou a dose de  $100 \text{ mg dm}^{-3}$  de N, sendo esta a dose que apresentou menores valores nesta e em outras variáveis analisadas durante este ensaio.

#### **4.5 Variáveis de produção**

Os resultados da influência das diferentes doses de N com interação a aplicação de N foliar, sobre as variáveis de produção: número de vagens por planta, número de grãos por vagem, número de grãos por planta, peso de 100 grãos, estão apresentados nas figuras seguintes. O melhor ajuste deu-se por meio do modelo de regressão polinomial de segundo grau para todas as variáveis de produção analisadas

##### **4.5.1 Número de vagens por planta**

A interação entre as doses de N aplicadas no solo e a aplicação de N foliar, promoveu efeito significativo no número de vagens por planta (NVP), diferentemente dos resultados encontrados por meio somente da aplicação de N via solo, o qual apresentou efeito não significativo para a variável NVP (Figura 21).



**Figura 22:** Número de vagens por planta de soja cultivadas sob doses de N no solo associado com N via foliar.

O processo de formação e desenvolvimento de vagens na cultura da soja exerce uma função muito importante no incremento e na produção de grãos, conseqüentemente apresenta influência sobre a produtividade da cultura, pois por meio do número total de vagens por área plantada é possível calcular o rendimento da cultura (THOMAS; COSTA, 2010). Logo, quando se busca maior potencial produtivo da cultura, é muito importante atentar-se para esta variável.

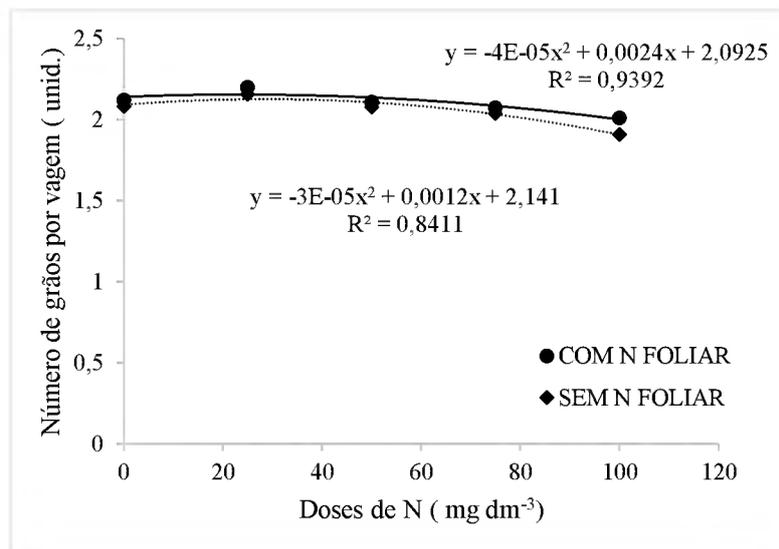
A variável número de vagens por planta é um componente de produção, ele controla o número de grãos por planta e, por conseguinte, a produtividade. Os valores encontrados variaram entre 39,25 a 32,22, havendo diferença estatísticas significativa entre as doses analisadas. Ao realizar o teste de análise por regressão linear, o coeficiente de determinação também mostrou que a quantidade de vagens foi expressivamente influenciada pela adubação nitrogenada, onde  $R^2 = 0,86$ , ao se comparar com outros estudos realizados sobre a cultura da soja os valores obtidos neste experimento foi inferior. Parente et al. (2015) encontraram valores variando entre 43,8 e 48 vagens por planta e com alta magnitude de significância, conferindo maior influência dos tratamentos utilizados sobre o número de vagem por planta.

Petter et al. (2012) ao trabalhar com respostas de cultivares de soja à adubação nitrogenada tardia em solos de cerrado, obtiveram resultados significativos no variável número de vagens por planta quando adubadas com N, este efeito positivo se apresentou em todas as cultivares analisadas. Os autores concluem que as doses de 20 e 40 kg ha<sup>-1</sup> de N proporcionaram aumento no número de vagens por planta, enquanto que as doses de 80 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de N reduziram esse número.

Para as plantas que receberam N via foliar e N via solo, a eficiência máxima para a variável número de grãos por planta foi de 29,20 mg dm<sup>-3</sup> de N via solo. Estando mais próxima a dose de 25mg dm<sup>-3</sup> utilizada no experimento.

#### 4.5.2 Número de grãos por vagem

A interação entre as doses de N aplicadas via solo e a aplicação de N foliar, promoveu efeito significativo no número de grãos por vagem (NGV), assim como para as plantas que não receberam N via foliar, no entanto as plantas que recebem somente N via solo apresentaram desempenho inferior em relação as plantas que receberam a combinação de N via solo e N via foliar (Figura 23).



**Figura 23:** Número de grãos por vagem de soja cultivadas sob doses de N no solo associadas a aplicação de N foliar.

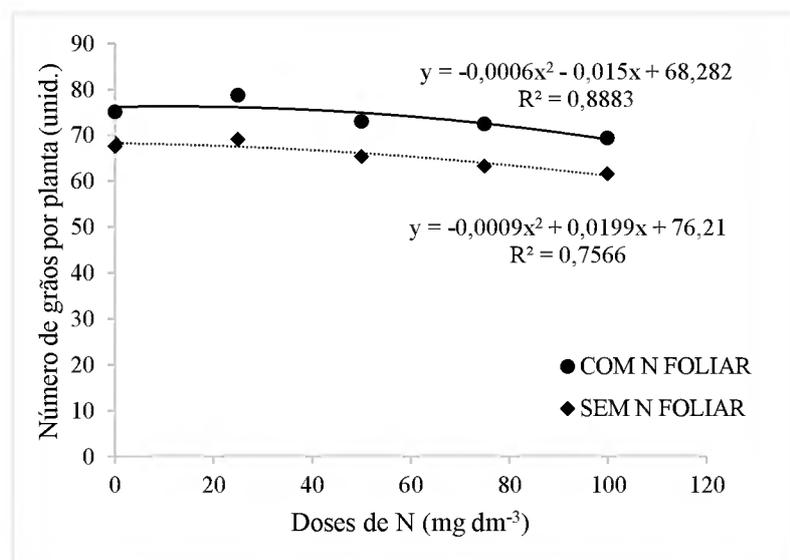
As plantas que receberam N via solo e N via foliar, mostram que a variável NGV apresentaram diferença significativa entre as doses de N aplicadas. As médias obtidas ficaram em torno de 2,16 a 2,01 unidades. O menor valor obtido está relacionado com a dose 100mg N dcm<sup>-3</sup> e o maior valor está correlacionado com a dose de 25mg N dm<sup>-3</sup>. Estes resultados estão de acordo com os encontrados Linzmeyer Junior (2006) que relatou valores médios de 2,0, com um índice de significância de 80%, valores estes que se apresentaram inferiores aos encontrados neste estudo. O mesmo aconteceu com Pires et. al (2002), que ao analisar o potencial produtivo da soja no Rio grande do Sul, encontrou valores médios de 2,1 grãos por vagem.

Fávero e Lana (2014) observaram que ao testar sementes de soja com inoculantes, complementação de Co, Mo e N, obtiveram resultados significativos no variável número de grãos por vagem. Onde as sementes que não receberam nenhum tipo de tratamento resultaram em plantas com um número maior de vagens partenocárpicas e diminuição no número de vagens com três grãos. Este resultado pode ser referente as mudanças fisiológicas das plantas de soja quando não há nutrição equilibrada de N, diminuindo o número de vagens por planta e com maior percentagem de vagens partenocárpicas.

Para as plantas que receberam N via solo associado com N via foliar, obtiveram valor para eficiência máxima na produção de número de grãos por vagem de  $25,0 \text{ mg dm}^{-3}$ .

#### 4.5.3 Número de grãos por planta

A interação entre as doses de N aplicadas via solo e a aplicação de N foliar, promoveu efeito significativo no número de grãos por planta (NGP), assim como as plantas que receberam somente N via solo, estretanto os valores obtidos foram inferiores ao se comparar com as plantas que receberam N via solo e N via foliar (Figura 24).



**Figura 24:** Número de grãos por planta de soja cultivadas sob doses de N no solo associadas a aplicação de N foliar.

Pode-se observar que a variável número de grãos por planta mostra que ocorreu diferença significativa entre as doses de N aplicada via solo. As médias obtidas ficaram em torno de 69,47 e 78,45 unidades para as plantas que receberam N via solo e N via foliar. O menor valor obtido está relacionado com a dose  $100 \text{ mg dcm}^{-3}$  e o maior valor está relacionado com a dose de  $25 \text{ mg dm}^{-3}$ . Ao realizar o teste de análise por regressão linear, o coeficiente de determinação também

mostrou que o número de grãos por planta foi expressivamente influenciado pela adubação nitrogenada, onde  $R^2 = 0,96$  conferindo um elevado índice de relação. Pode-se notar que houve um decréscimo na quantidade de grãos quando se acrescentou maior quantidade de N. Este resultado se aproxima dos resultados encontrados por Hungria et al. (2006), onde comprovam que ocorre a redução do rendimento de grãos da cultura quando utilizam quantidade superiores a  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  deste nutriente.

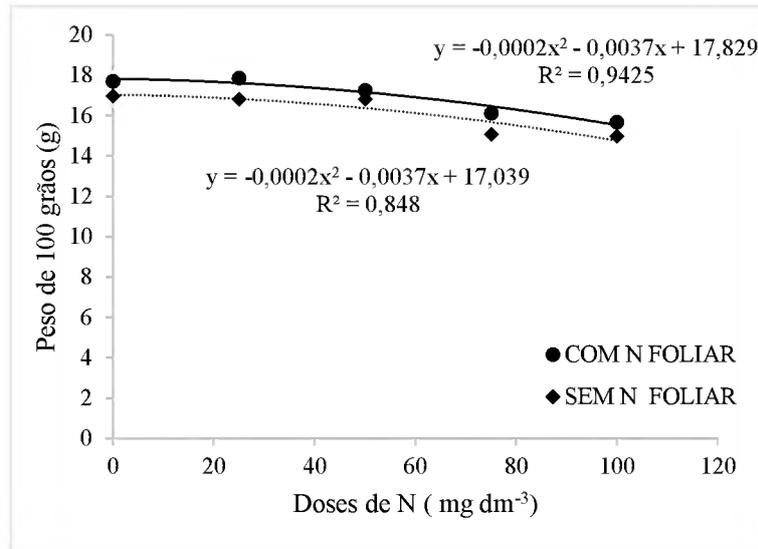
Binotti et al. (2009) ao testarem fontes, doses e modo de aplicação de N em plantas de feijão, verificaram que a adubação nitrogenada em diferentes doses de sulfato de amônio, proporcionou maior número de grãos por planta, com o aumento das doses de N maior foi o incremento na variável NGP, até a dose de  $148 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, após este ponto, houve redução no incremento de grãos da cultura.

Esta diferença de resultados encontrados entre as plantas que receberam N via foliar e as plantas que só receberam N via solo, pode ser explicada pelo melhor desempenho e elevada eficiência da planta quando submetida a complementação de N via foliar, o que confere maior potencial na produção de grãos.

Como as plantas que receberam N via solo associado com N via foliar, apresentaram melhor desempenho, obteve-se a eficiência máxima para a variável número de grãos por planta, sendo este valor referente a dose de N de  $27,72 \text{ mg dm}^{-3}$ .

#### **4.5.4 Peso de 100 grãos**

A interação entre as doses de N aplicadas via solo e a aplicação de N foliar, promoveu efeito significativo em peso de 100 grãos, o mesmo ocorreu no efeito somente das doses de N via solo, no entanto apresentou desempenho inferior em relação as plantas que receberam a associação de N via solo e N via foliar ( Figura 24).



**Figura 24:** Peso de 100 grãos de soja cultivadas sob doses de N no solo associadas com N via foliar.

Nas plantas que receberam N via foliar e via solo, foi possível observar que o maior valor apresentado de peso de cem grãos está relacionado com a dose de N referente a  $25 \text{ mg dm}^{-3}$  e o menor valor está relacionado com dose de  $100 \text{ mg dm}^{-3}$ . Vieira et al. (1999), ao trabalharem com cultura da soja em doses crescentes de N, não obtiveram efeitos positivos sobre a variável peso de 100 grãos, mas observou uma tendência de grãos mais leves em doses maiores de N.

Valores semelhantes foram encontrados em trabalho executado por Silva et al. (2013), que ao testarem o desempenho agrônômico de cultivares de soja, obtiveram média variado de 13,06 a 16,34. E também constatou um decréscimo no peso de 100 grãos quando houve aumento de doses de alguns elementos, como o N e o K.

Petter et al. (2012) também observaram aumento significativo para massa de mil sementes em três cultivares de soja submetidas a adubação nitrogenada, de acordo com os autores, o aumento no peso das sementes pode estar associado ao maior acúmulo de proteína nos grãos, ocasionado pela maior síntese de aminoácidos (AAs) devido à presença de N.

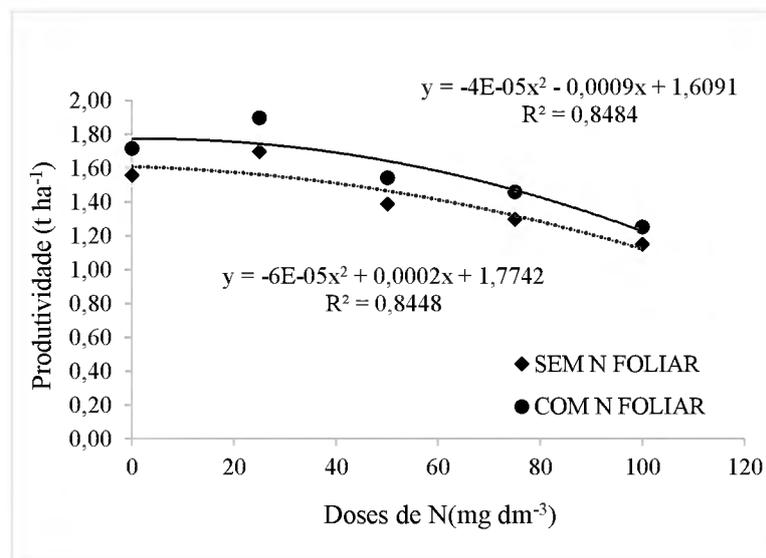
Segundo Ta e Weiland (1992) afirmam que durante o processo de enchimento de grãos as plantas possuem duas fontes de N, sendo elas o N absorvido do solo e o N remobilizado dos tecidos vegetais, os autores comprovam isto ao trabalharem com  $^{15}\text{N}$  afim de verificar a taxa de remobilização de N em plantas de milho, observaram que as folhas e caules forneceram cerca de 45% do N remobilizado no processo de enchimento de grãos e as raízes representaram cerca de 10% deste N.

Sendo assim, pode-se inferir que somente os nutrientes absorvidos pelas raízes não são suficientes para atender a demanda do processo de enchimento de grãos, pois irá influenciar de forma negativa na produção e produtividade de grãos, sendo necessária uma complementação com nutrientes via foliar.

O valor de eficiência máxima encontrado foi referente a dose de 24, 25 mg N dm<sup>-3</sup>, correspondendo a um valor médio de peso de 100 grãos de 17,12 g.

#### 4.6 Produtividade

Para a variável produtividade, avaliou-se a diferença entre o desempenho de plantas que receberam N via foliar e Plantas que não receberam N via foliar. Percebe-se que o melhor desempenho está nas médias das plantas que foram pulverizadas com N foliar, esta fator ocorreu pois o processo de pulverização foi realizado no periodo do florecimento, com isto a planta utilizou este N para a formação de vagem e enchimento de grãos (Figura 26). Desta forma, a maior eficiência para a produtividade foi a dose de 24,5 mg N dm<sup>-3</sup> em plantas com N via solo e 24,00 mg N dm<sup>-3</sup> em plantas associadas a N via foliar.



**Figura 26:** Produtividade de soja cultivadas sob doses de N no solo associadas com N via foliar.

O sistema de fixação biológica do N requer uma nutrição adequada, portanto, é provável que o N tenha aumentado a eficiência da formação e desenvolvimento de nódulos, influenciando positivamente na produtividade. Respostas que confirmam essa hipótese foram

encontradas por Rahman et al. (1999). Estes autores encontraram respostas significativas à aplicação de N, onde plantas suplementadas com N apresentou maior produtividade e maiores números de nódulos.

Faccin et al. (2012), ao trabalhar com doses de N na cultura da soja, alcançaram resultados de que diferentes doses de N em diferentes épocas de aplicação apresentaram resultados estatisticamente significativos na produtividade de grãos de soja. Os autores confirmam que houve um incremento de 4 sacas  $\text{ha}^{-1}$  na produtividade em plantas que receberam adubação nitrogenada em comparação a plantas que não receberam adubação.

Apesar de apresentar valores estatisticamente significativos, esta variável não apresentou resultados expressivos quando comparados a outros trabalhos. Costa e Thomas (2004) ao trabalharem com o potencial de rendimento da cultura da soja, obtiveram valor médio de produtividade de grãos de soja de 4639,4  $\text{kg ha}^{-1}$ , se aproximando de estudos realizados por Amado et al. (2010), que relataram produtividade média de 4440  $\text{kg ha}^{-1}$ .

## 5. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O Presente trabalho teve como objetivo analisar os efeitos de produção, produtividade, trocas gasosas e concentração de nutrientes em folhas diagnósticas da cultura da soja cultivadas em casa de vegetação sob doses de nitrogênio via solo e via foliar. Os resultados mostram a viabilidade da aplicação de N via solo e em estágio R5.1 a aplicação de N via foliar afim de se obter respostas significativas nos parâmetros analisados, principalmente em relação a produtividade de grãos, onde houve um incremento de aproximadamente 3,5 sacas de grãos por hectare em plantas que receberam a interação de N via solo e N via foliar.

Sendo assim, sugere-se que este experimento seja executado em campo a fim de comprovar a eficiência agrônômica e viabilidade econômica, com impacto direto no mercado da cultura da soja, tanto pela incorporação de N ao sistema produtivo como pelo aumento da eficiência no aproveitamento deste nutriente plantas.

## 6. CONCLUSÕES

A adubação nitrogenada na semeadura compromete a formação de nódulos na soja, sendo que a nodulação diminui conforme o aumento da dose de N aplicada.

Para as variáveis de fotossíntese, condutância estomática, transpiração, eficiências do uso da água e concentração interna de CO<sub>2</sub>, apresentaram resultados satisfatórios, no entanto, os resultados diminuíram conforme o aumento da dose de N aplicada. Os melhores valores encontrados foram em plantas de soja sob a dose de 50 mg dm<sup>-3</sup>N.

As variáveis de concentração de nutrientes na folha diagnóstica foram significativas para o cálcio, magnésio, fósforo, nitrogênio e zinco, apresentando valores de suficiência para o desenvolvimento da cultura da soja.

Os resultados encontrados foram satisfatórios, pois as plantas que receberam N via foliar e N via solo apresentaram melhores resultados para as variáveis de produção (número de grãos por vagem, número de grãos por planta, número de vagens por planta e peso de 100 grãos) e produtividade, onde os maiores valores encontrados foram referentes a dose de 25 mg dm<sup>-3</sup> N.

A adubação nitrogenada da cultura da soja, no plantio e no enchimento dos grãos se torna necessária devido o incremento obtido pela cultura, sendo viável a aplicação de N via foliar associado com N via solo para a cultura da soja, apresentando melhores desempenhos quando associado as duas formas de aplicação de N.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. G. Parâmetros de crescimento, bioquímicos e ecofisiológicos em plantas de milho cultivadas em solos multicontaminados com Cd e Zn. **Lavras, UFLA**, 2015.
- ALVES, E. C.; OLIVEIRA T. B.; LUZ, L. M.; VILHENA, N. Q.; COSTA, R. C. L. Fotossíntese, transpiração e condutância estomática de plantas de pimentão submetidas a diferentes doses de N. In: **Seminário Anual de Iniciação Científica da UFRA**, 9, Belém. Anais...Belém: UFPA, 2011. p.120. CD Rom
- ALVES, L. W. R.; CARVALHO, E. J. M.; SILVA, L. G. T. **Diagnóstico Agrícola do Município de Paragominas, PA**. Embrapa Amazônia Oriental, 2014.
- AMADO, T. J. C.; SCHLEINDWEIN, J. A.; FIORIN, J. E. Manejo do solo visando à obtenção de elevados rendimentos de soja sob sistema plantio direto. In: Thomas, A. L.; Costa, J. A. (Eds.) **Soja - manejo para alta produtividade de grãos**. Porto Alegre: UFRGS, 2010, p.35-97.
- AMADO, T. J. C.; SCHLEINDWEIN, J. A.; FIORIN, J. E. Manejo do solo visando à obtenção de elevados rendimentos de soja sob sistema plantio direto. Porto Alegre-RS: **Evangraf**, 2010. p. 53-112
- AMADO, T.J.C.; SCHLEINDWEIN, J.A.; FIORIN, J.E. Manejo do solo visando à obtenção de elevados rendimentos de soja sob sistema plantio direto. In: THOMAS, A.L.; COSTA, J.A. (Ed.). Soja: manejo para alta produtividade de grãos. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p.53-112.
- AMBERS, H. **Plant physiological ecology**. Berlin: Springer, 1998.
- AMBROSANO, E.J.; TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, A.A.; RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. **Leguminosas e Oleaginosas**. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação 40 e calagem para o Estado de São Paulo**. 2ªed. Campinas: IAC, p. 189-195, 1997 (Boletim Técnico 100).
- ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. Avaliação do comportamento vertical de nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal e pH em leiras de lodo de esgoto caledado. **SANARE – Revista técnica da Sanepar**, v18, p. 63-70, 2002.
- ARATANI, R. G.; LAZARINI, E.; MARQUES, R. R.; BACKES, C. Adubação nitrogenada em soja na implantação do sistema plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.24, n.3, p.31-38, 2008.
- BAHRY, C. A.; VENESKE, E.; NARDINO, M.; FIN, S. S.; ZIMMER, P. D.; SOUZA, V. Q.; CARON, B. O. Características morfológicas e componentes de rendimento da soja submetida à adubação nitrogenada. **Agrarian**, Campo Grande, v. 6, n. 21, p. 281-288, 2013.
- BARNI, N. A.; MINOR, H. C.; KOLING, J. Efeito de níveis de nitrogênio sobre o crescimento, rendimento e características agrônomicas da soja. [S.l.: s.n., 1975]. 12 p. Trabalho apresentado na III Reunião Conjunta de Pesquisa da Soja, RS/SC, Porto Alegre, 1975.
- BATAGLIA, O. C.; DECHEN, A. R. Critérios alternativos para diagnose foliar. In: **SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO**, 1., 1986, Piracicaba. Anais... Campinas: **Fundação Cargill**, 1986. p. 115-136.
- BINOTTI, F. F. S.; ARF, O.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S.; ALVAREZ, A. C. C.; KAMIMURA, K. M. Fontes, doses e modo de aplicação de nitrogênio em feijoeiro no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.2, p.473-481, 2009.

- BOHNEN, H.; MEURER, E. J.; BISSANI, C. A. Solos ácidos e solos afetados por sais. In: MEURER, E. J. (Ed.). Fundamentos de química do solo. Porto Alegre: **Genesis**, 2000. p. 109-126.
- BORÉM, A. Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: UFV. 817 p. 1999.
- BORKET, C. M.; Extração de Nutrientes pela soja. In: **Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul**, 14., 1986, Chapecó. Anais. EMPASC/EMBRAPA-CNPSO, p.164-5.
- BOTTOMLEY, P.J.; MYROLD, D.D. Biological N inputs. In: PAUL, E.A. (Ed.). Soil microbiology, ecology and biochemistry. **3rd edition. Oxford: Academic Press**, 2007. p.365-388.
- BRAKKE, M.; ALLEN JUNIOR, L.H. Gas exchange of Citrus seedlings at different temperatures, vapor-pressure deficits, and soil water contents. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. Alexandria, v.120, p.497-504, 1995.
- CAIRES, E. F.; GARBUIO, J. F.; CHURKA, S.; JORIS, A. W. Use of gypsum for crop grain production under a subtropical no-till cropping system. **Agronomy Journal**, Madison, v. 103, n. 6, p. 1804-1814, 2014.
- CÂMARA, G. M. Fixação biológica de nitrogênio em soja. Piracicaba: **IPNI**, 2014. (Informações agronômicas, 147).
- CÂMARA, G. M. Nitrogênio e produtividade da soja. In: CÂMARA, G. M. S. (Ed.). Soja: **Tecnologia de produção II**. Piracicaba, Piracicaba: ESALQ/LPV, 2000. p. 295-339.
- CÂMARA, S. M. G. **Introdução ao agronegócio soja**. São Paulo, 2015.
- CAMELLO, Q. A. C.; OLIVEIRA, F. A. Nutrição de lavouras de soja: situação e perspectivas. **Lavoura de soja**; MT, 2005.
- CAMPOS, C.M. Expansão da soja no território nacional: o papel da demanda internacional e da demanda interna. **Revista Geografares**, 2010.
- CASAROLI, Derblai et al. Radiação Solar e Aspectos Fisiológicos na Cultura de Soja - Uma Revisão. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v.14, n.2, p. 102-120. 2007.
- CHERNEY, J.H.; KETTERINGS, Q.M.; ORLOSKI, J.L. Plant and soil elemental status as influenced by multi-year nitrogen and potassium fertilization. **Journal of Plant Nutrition**, v.27, p. 991-1014, 2004.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v.1, n. 1 Brasília. 2018. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em 29 de outubro 2018.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v. 6 - Safra 2018/19, n.4 - **Quarto levantamento**, janeiro 2019.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Conjuntura mensal da soja. Brasília 2018.
- COSTA, J. A.; THOMAS, A. L. Potencial de rendimento da soja. **Revista Plantio Direto**, Passo fundo, v. 11, n. 82, p. 28-32, 2004.

- CRAVO, M.S.; VIÉGAS, I.J.M.; BRASIL, E.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará. Belém: **Embrapa Amazônia Oriental**, 2007. p.53-54.
- CRAVO, M.S.; VIÉGAS, I.J.N.; BRASIL, E.C. Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado do Pará. Belém, PA: **Embrapa Amazônia Oriental**, 2010a. p. 43-48.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa, MG: **Imprensa Universitária**, 2007, 480p.
- DALL'AGNOL, A. A Embrapa Soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil: histórico e contribuições. Brasília, DF: **Embrapa**, 2016.
- EMBRAPA SOJA. Evolução e perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro. Londrina, PR: **Embrapa Soja**, Outubro 2011a.
- EMBRAPA. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro 2014. Tecnologias de produção de soja região central do Brasil. Londrina: **Embrapa Soja/Embrapa**.
- EMBRAPA. Tecnologias de produção de soja Região Central do Brasil. Londrina: **Embrapa Soja**, 2007. 237 p.
- EMBRAPA. Tecnologias de produção de soja-região central do Brasil 2011. Tecnologias de produção de soja região central do Brasil. Londrina: **Embrapa Soja/Embrapa**.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3.ed. Brasília, DF: **Embrapa**, 2013. 353p.
- ERNANI, P. R.; et al. Aumento do rendimento de grãos e de massa verde de milho para silagem pela aplicação de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.2, p. 201-205, 1997.
- FACCIN, V. M.; BATISTA, M. V.; ARF, M. V.; CALCANHO, R. S. Efeito de doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura da soja. Cuiabá, MT – 2012.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. **Physiology of crop production**. New York: Food Products Press, 2006. 345 p.
- FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 24, n. 8, p. 10-22, 2001.
- FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. Lavras: **UFLA / FAEPE**, 2005.
- FARIAS, J.R.B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Agrometeorologia dos Cultivos O fator meteorológico na produção agrícola. **Instituto Nacional de Meteorologia – INMET**, 2009. Cap. 15 – Soja / 273p.
- FÁVERO, F; LANA, M, C. Redução de haste verde e retenção foliar na soja em razão de maior disponibilidade de nitrogênio pelo tratamento de sementes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1432-1438, 2014.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. Stages of soybean development. Ames, Yowa: **Yowa State University of Science and Technology**, Cooperative Extension Service, 1977. 11 p. (Special Report, n. 80).

- FINK, S.; The micromorphological distribution of bound calcium in needles of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). **New Phytol.**, 119: 33-40, 1991.
- FLEXAS, J., J. BOTA, J. GALMÉS, H. MEDRANO AND M. RIBAS-CARBÓ, 2006: Keeping a positive balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. **Physiologia Plantarum**. 127, 343-352.
- FREITAS, M. C. M. A cultura da soja no Brasil: O crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, **Centro Científico Conhecer** - Goiânia, vol.7, N.12; 2011.
- FUNDAÇÃO AMAZÔNIA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISAS DO PARÁ (FAPESPA). **Boletim agropecuário**. Pará, 2017.
- GALRÃO, E. Z. Níveis de zinco em latossolo vermelho-amarelo argiloso sob cerrado para soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p. 83-87, 1993.
- GAZZONI, L. D. A soja no Brasil é movida por inovações tecnológicas. **Cienc. Cult.** vol.70 no.3 São Paulo July/Sept. 2018.
- GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle size analysis. In: KLUTE, A. (ed). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2. ed. **America Society of Agronomy**, Madison, 1986. p. 383-411.
- GERLOFF, G. C.; GABELMAN, W. H. Genetic basis of inorganic plant nutrition. In: LAUCHLI, A.; BIELESKI, R. L. (Ed.). **Inorganic plant nutrition**. New York: Springer-Verlag, 1983. p. 453-480.
- GESSELER, A., NITSCHKE, R., MATTOS, E. A., ZALUAR, H. L. T., SCARANO, F. R., RENNENBERG, H., LUTTGE, U., 2008. Comparison of the performance of three different ecophysiological life forms in a sandy coastal restinga ecosystem of SE-Brazil: a nodulated N<sub>2</sub>-fixing C3-shrub (*Andira legalis* (Vell.) Toledo), a CAM-shrub (*Clusia hilariana* Schltld.) 60 and a tap root C3-hemicryptophyte (*Allagoptera arenaria* (Gomes) O. Ktze.). **Trees**, 22, p. 105-119.
- GUIDI, G.; PERA, A.; GIOVANNETTI, M.; POGGIO, G.; De BERTOLDI, M. Variations of soil structure and microbial population in a compost amended soil. **Plant and Soil, Dordrecht**, v.106, p.113-119, 1988.
- HARPER, J.E. Nitrogen metabolism. In: BOOTE, K.J., BENNETT, J.M., SINCLAIR, T.R., et al. Physiology and determination of crop yield. **Madison : ASA/CSSA/SSSA**. Chapt.11A. p.285-302. 1994.
- HATFIELD, J. L.; EGLI, D. B.; LEGGETT, J. E.; PEASLEE, D. E. Effect of applied nitrogen on the nodulation and early growth of soybeans (*Glycine max* (L) MERR.). **Agronomy Journal, Madison**, v. 66, 1974, p. 112- 114.
- HERRIDGE, D.F.; PEOPLES, M.B.; BODDEY, R.M. Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. **Plant Soil**, v.311, p.1-18, 2008.
- HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J.J. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro – **Londrina: Embrapa Soja**, 2014.

- HUBBART, R. M.; Bond, B. J.; Ryan, M.G. (1999). Evidence that hydraulic conductance limits photosynthesis in old Pinus ponderosa trees. **Tree Physiology**, 19, p.165-172.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. A importância do processo de fixação biológica no nitrogênio para a cultura da soja: componentes essenciais para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: **Embrapa Soja; Embrapa Cerrados**, 2007. 80 p. (Documentos, 283).
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. **Londrina: Embrapa Soja**, 2007. 82p.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja. Londrina: **EMBRAPA/CNPSO**, 2001. 48p.
- HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; CAMPO, R. J.; CRISPINO, C. C.; MORAES, J. Z.; SIBALDELLI, R. N. R.; MENDES, I. C.; ARIHARA, J. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N<sub>2</sub> fixation and of N fertilizer to grain yield. **Canadian Journal of Plant Science**, v.86, n.4, p.927-939, 2006.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. **Produção agrícola municipal – lavoura temporária**, 2014.
- J. TRICKER, J.P.; CALFAPIETRA, C.; KUZMINSKY, E.; PULEGGI, R.; FERRIS, R.; NATHOO, M.; PLEASANTS, J.L.; ALSTON, V.; ANGELIS, P.; TAYLO, G. Long-term acclimation of leaf production, development, longevity and quality following 3 yr exposure to free-air CO<sub>2</sub> enrichment during canopy closure in populus. **New phisology.**, 162, p. 413- 416, 2004.
- KARROU, M.; MARUNVILLE, J.W. Response of wheat cultivars to different soil nitrogen and moisture regimes 2. Nitrogen uptake, partitioning and influx. **Journal of Plant Nutrition**, v.17, p.745-761, 1994.
- KASCHUK, G.; NOGUEIRA, M. A.; LUCA, M. J.; HUNGRIA, M. Response of determinate and indeterminate soybean cultivars to basal and topdressing N fertilization compared to sole inoculation with *Bradyrhizobium*. **Field Crops Research**, v. 195, p.21-27, 2016.
- KEOGH, J. L; SABE, W. E.; CAVINESS, C. E. Nutrient concentrarion of selected soybean cultivares. **Communications in soil Science and Plant Analysis**, New York. v. 3, n 1, p.29-35, 1972.
- KLEINHOF, A. & WARNER, R.L. 1990. Advances in nitrate assimilation. In **The Biochemistry of plants** (B.J. Miflin & P.J. Stewart, eds.). Academic Press Inc., London, v.16, p. 89-120.
- KOZLOWSKI, T.T. & PALLARDY, S.G. 1997. Growth control in woody plants. San Diego, Academic Press. **Elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration**. Ann Bot. v.103, p.87-94. 2009.
- LAMOND, R. E.; WESLEY, T. L. In **Season Fertilization for High Yield Soybean Production. Better Crops With Plant Food, Norcross**, v. 85, n. 2, p. 6- 7, 2001.
- LAMOND, R.E.; WESLEY, T. L. adubação nitrogenada no momento certo para soja de alta produtividade. Brasília, 2011.

- LANGE, A., CARVALHO, J. L. N., DAMIN, V., CRUZ, J. C. E MARQUES, J. J. (2006). Alterações em atributos do solo decorrentes da aplicação de nitrogênio e palha em sistema semeadura direta na cultura do milho. **Ciência Rural**, 36, 460-467.
- LAVRES JUNIOR, J.; MORAES, M. F.; CABRAL, C. P.; MALAVOLTA, E. Influência genotípica na absorção e na toxidez de manganês em soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 173-181, 2008.
- LEITE, R. M.V.B. C.; SOARES, R. M.; JUNIOR, A. O. **XXXII REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL**. ISSN 2176-2937. n. 331, 2011, Londrina. Londrina: Embrapa Soja, 2011.
- LINZMEYER JUNIOR, R. Influência de retardante vegetal e densidade de plantas no crescimento, componentes da produção, produtividade e acamamento na soja. 2006. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – **Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon**.
- MACHADO, E.C.; MEDINA, C.L.; GOMES, M.M.A. Teor de água no substrato de crescimento e fotossíntese em laranjeira “Valença”. **Bragantia**, v.58, p.217-226, 1999.
- MACHADO, L. A. Z.; ASSIS, P. G. G. Produção de palha e forragem por espécies anuais e perenes em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 45, n. 4, p. 415-422, 2010.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. **Piracicaba: POTAFOS**, 1997. 319 p.
- MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3rd ed. New York, Academic Press, 2012, 651p.
- MENDES, I. C. et al. Adubação nitrogenada suplementar tardia em soja cultivada em latossolos do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 43, n. 8, p. 1053-1060, 2008.
- MENGEL, K. E KIRKBY, EA (1987) Principles of Plant Nutrition. **Instituto Internacional de Potassa**, Worblaufen-Bern, Suíça.er Associates,792p.
- MIFLIN, B.J., LEA, P.J. The pathway of nitrogen assimilation in plants. **Phytochemistry**, New York, v.15, p.873-885, 1976.
- MISSÃO, M. R. Soja, origem, classificação, utilização e uma visão abrangente do mercado. **Maringá Management (Online)**, 2006.
- MIX, G.P. & MARSCHNER, H. Calcium-Umlagerung in **Bohnenfrüchten während des Samenwachstums. Z. Pflanzenphysiol.**, 80:354-366,1976.
- MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C.; SCHROTH, G.; MANDARINO, J. M. G. Effect of Nitrogen, Row Spacing, and Plant Density on Yield, Yield Components, and Plant Physiology in Soybean–Wheat Intercropping. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 6, p. 2162-2170, 2015.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2. ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006. 729 p.
- MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. Soja: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos. Porto Alegre: **Departamento de plantas de lavouras da Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Evangraf**, 2005.

- NOGUEIRA, P. D. M.; SENA JÚNIOR, D. G.; RAGAGNIN, V. A. Clorofila foliar e nodulação em soja adubada com nitrogênio em cobertura. **Global Science and Technology, Singapore**, v. 3, n. 2, p. 117–124, 2010.
- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. N.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: MPRESA BRASILERIA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília, DF, 1991. p. 189-253.
- O'LEARY, M.; REHM, G.; SCHMIT, M. Understanding Nitrogen in Soils. **University of Minnesota Extension. Reviewed** 1994.
- PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J.D.; TURCO, J. E. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Piracicaba, v. 25, n. 1, p. 161-169, 2005.
- PARENTE, T. L.; LAZARINI, E.; CAIONI, S.; PIVETTA, R. S.; SOUZA, L. G. M.; BOSSOLANI, J. W. Adubação nitrogenada em genótipos de soja associada à inoculação em semeadura direta no cerrado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 10, n. 2, p. 249-255, 2015.
- PARVIZI, Y.; RONAGHI, A.; MAFTOUN, M.; KARIMIAN, N.A. Growth, nutrient status, and chlorophyll meter readings in wheat as affected by nitrogen and manganese. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.35, p.1387-1399, 2004.
- PEIXOTO, P. H. P.; MATTA, F. M. da; CAMBRAIA, J. Responses of the photosynthetic apparatus to aluminum stress in two sorghum cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 25, n. 4, p. 821-832, 2002.
- PEREIRA, V. J.; RODRIGUES, J. F.; GOMES FILHO, R. R.; REIS, J. M. R. Comportamento da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) submetida à adubação nitrogenada de plantio. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 10, p. 1-5, 2010.
- PETTER, F. A.; PACHECO, L. P.; ALCÂNTARA NETO, F.; SANTOS, G. G. Respostas de cultivares de soja à adubação nitrogenada tardia em solos de Cerrado. **Revista Caatinga**, v.25, n.1, p.67-72, 2012.
- PIRES, J.L.F.; SOPRANO, E.; CASSOL, B. Adaptações Morfofisiológicas da Soja em Solo Inundado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 1, p. 41-50, 2002.
- RAAB, T.K.; TERRY, N. Nitrogen-source regulation of growth and photosynthesis in *Beta vulgaris* L. **Plant Physiology**, Bethesda, v.105, p.1159–1166, 1994.
- RAHMAN, K.S.M., VASUDEVAN, N., LAKSHMANAPERUMALSAMY, P., 1999. Enhancement of biosurfactant production to emulsify different hydrocarbons. **J. Environ. Poll.** 6, 87-93.
- RAIJ, B. V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, **Instituto Agrônomo**, 2001. 285p.
- RAIJ, B. V.; HIROCE, R.; LEPSH, I. F.; MENK, J. R. F. Amostragem e banco de amostras e de informações. In: EMPRESA BRASILERIA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília, DF, 1991. p. 63-79.

ROSA, S.R.; MESSIAS, A.R.; AMBROZINE, B. Importância da compreensão dos ciclos biogeoquímicos para o desenvolvimento sustentável. São Paulo, 2003.

SALVAGIOTTI, F. et al. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: a review. **Field Crops Research**, v.108, n.1, p.1-13, 2008.

SANGOI, L. et al. Sustentabilidade do colmo em híbridos de milho de diferentes épocas de cultivo em função da densidade de plantas. *Revista de Ciências Agroveterinárias, Lages*, v. 1, n. 2, p. 60-66, 2002.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BOREM, A. (Org.). Soja do plantio à colheita. Viçosa: **Editora UFV**, 2015.

SEDIYAMA, T. Tecnologias de produção de uso da soja. **Londrina: Mecenaz**, 2009.

SFREDO, G. J.; LANTMANN, A.; BORKERT, C. M. Correção e manutenção da fertilidade do Solo. In: *Recomendações técnicas para a cultura da soja na Região Central do Brasil 1999/2000*. Londrina: 1999. p. 80. (**Embrapa Soja. Documentos, 132; Embrapa Agropecuária Oeste, 5**).

SHIBLES, R. M. Soybean nitrogen acquisition and utilization. In: **Proceedings of the North Central Extension-Industry Soil Fertility Conference**, 28. St. Louis, 11-12 Nov. Potash & Phosphate Inst., Brookings, SD. p. 5-11. 1998.

SHIMONO, H.; BUNCE, J.A. Acclimation of nitrogen uptake capacity of rice to SHUMAN, L.M. Mineral nutrition. In: WILKINSON, R.E., ed. *Plant-environment interactions*, New York, Marcel Dekker, 1994, p. 149-182; e 4 MACHADO, C.T.T. Caracterização de genótipos de milho quanto a parâmetros morfológicos fisiológicos e microbiológicos associados à eficiência de absorção e uso de fósforo. Seropédica, **Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro**, 2000. 365p.

SIDRA- **Sistema IBGE de Recuperação Automática**. Levantamento sistemático da produção agrícola. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618> > Acesso, 23 de outubro, 2018. SILVA, A. ; SANTOS, F.L.S ; SILVA, A.A. ; KLUTHCOUSKI, J. ; BARRETTO, V.C.M. ; SILVA NETO, S.P.; PEREIRA, A.F.; desempenho agrônômico de cultivares de soja sob diferentes densidades de plantio- **Embrapa Cerrados**, 2013.

SILVA, P. R. A.; TAVARES, L. A. F.; SOUSA, S. F. G.; CORREIA, T. P. S; RIQUETTI, N. B. Rentabilidade na semeadura cruzada da cultura da soja. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental, Campina Grande-PB*, v. 19, n. 3, p. 293-297, 2015.

STEFANELLO, F. F.; MARCHETTI, M. E.; SILVA, E. F.; STEFANELLO, J.; DORETO, R. B. S.; NOVELINO, J. O. Efeito de glyphosate e manganês na nutrição e produtividade da soja transgênica. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 32, n. 3, p. 1007-1014, 2011.

TA, C. T; WEILAND, R.T. Nitrogen partitioning in maize during ear development. **Crop Sci.**, 32:443-451, 1992.

TAIZ, L. ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p

TAVARES, L. C. et al. Desempenho de sementes de soja sob deficiência hídrica: rendimento e qualidade fisiológica da geração F1. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 43, n. 8, ago. 2013.

THOMAS, A.L.; COSTA, J.A. (Org.). Soja: manejo para alta produtividade de grãos. **Porto Alegre: Evangraf**, 2010. 248p.

TRICKER, P.J. et al. Long-term acclimation of leaf production, development, longevity and quality following 3 yr exposure to free-air CO<sub>2</sub> enrichment during canopy closure in *Populus*. **New Phytologist**, v.162, n.2, p.413-426, 2004.

UIDI, L. et al. Growth and photosynthesis of *Lycopersicon esculentum* (L.) plants as affected by nitrogen deficiency. **Biologia Plantarum**, prague, v.40, n.2, p.235-244, 1998.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Economic Research Service**. Soybean Supply and use, selected countries and global totals. Disponível em: <[http://www.nal.usda.gov/fnic/cgi-bin/nut\\_search.pl](http://www.nal.usda.gov/fnic/cgi-bin/nut_search.pl). > Acesso em: 29 de outubro de 2018.

VARGAS, M.A.T.; SUHET, A.R. Efeitos de tipos e níveis de inoculantes na soja cultivada em um solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.15, p.343-347, 1982.

VASCONCELOS, I.; PAIVA, J. B.; FONTANA, J. N. E. Efeito da interação rizóbio - adubação nitrogenada em soja, *Glycine max* (L) Merril. 1978, p. 222-223.

VIEIRA, R.D.; KRZYZANOWSKI, F.C. Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: ABRATES, **Comitê de Vigor de Sementes**, 1999.

VIEIRA, F, R. Ciclo do Nitrogênio em Sistemas Agrícolas. Brasília, DF: **Embrapa**, 2017.

VITTI, G.C. & TREVISAN, W. Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade de soja. Informações Agronômicas. Piracicaba, **Potafós**, 2000. 16p. (Encarte Técnico, 90).

XAVIER, T.F.; ARAÚJO, A.S.F.; SANTOS, V.B.S.; CAMPOS, F.L. Inoculação e adubação nitrogenada sobre a nodulação e a produtividade de grãos de feijão-caupi. **Ciência Rural**. v.38, n.7. 2008.

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

**ANEXOS I:** Mapa de localização da casa de vegetação no qual foi conduzido o experimento.

