

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM FORRAGEIRAS E PRODUÇÃO
DA CULTURA DA SOJA EM SUCESSÃO NO SISTEMA PLANTIO
DIRETO**

KATIUÇA SUEKO TANAKA

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU - SP
Julho - 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM FORRAGEIRAS E PRODUÇÃO
DA CULTURA DA SOJA EM SUCESSÃO NO SISTEMA PLANTIO
DIRETO**

KATIUÇA SUEKO TANAKA

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol

Co-orientador: Prof. Dr. Rogério Peres Soratto

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU - SP
Julho – 2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Tanaka, Katiuça Sueko, 1991-

T161a Aplicação de nitrogênio em forrageiras e produção da cultura da soja em sucessão no sistema plantio direto / Katiuça Sueko Tanaka. - Botucatu : [s.n.], 2015
vii, 48 f. : grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2015
Orientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol
Coorientador: Rogério Peres Soratto
Inclui bibliografia

1. Soja - Produtividade. 2. Fertilizantes nitrogenados. 3. Plantas forrageiras. 4. Plantio direto. I. Crusciol, Carlos Alexandre Costa. II. Soratto, Rogério Peres. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. IV. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE BOTUCATU
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM FORRAGEIRAS E PRODUÇÃO DA CULTURA DA SOJA EM SUCESSÃO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO

AUTORA: KATIUÇA SUEKO TANAKA

ORIENTADOR: Prof. Dr. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. ROGERIO PERES SORATTO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

Dep de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu

Prof. Dr. ADILSON DE OLIVEIRA JUNIOR

EMBRAPA SOJA / Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Prof. Dr. JULIANO CARLOS CALONEGO

Centro de Ciências Agrárias / Universidade do Oeste Paulista

Data da realização: 08 de julho de 2015.

“Agradeço todas as dificuldades que enfrentei; não fosse por elas, eu não teria saído do lugar. As facilidades nos impedem de caminhar. Mesmo as críticas nos auxiliam muito.”

Chico Xavier

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Elio Toyoshigue Tanaka e Marilza Yoshiko Fugisawa, às minhas irmãs Hidemi, Satiko e Hana, à minha sobrinha Sophia e ao meu avô Shigueru Tanaka (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que tem me proporcionado, por me dar coragem para acreditar e forças para não desistir. Por estar presente em todos os momentos de felicidade e me amparando nos dias difíceis.

Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol, pelo exemplo de profissionalismo, os ensinamentos, a oportunidade dada, a paciência, confiança e principalmente, a amizade. A palavra ideal para defini-lo é: Orientador, pois, é sob a sua tutela que guio meus passos. Meus sinceros agradecimentos.

Aos meus queridos pais Elio Toyoshigue Tanaka e Marilza Yoshiko Fugisawa, minhas irmãs Camila Hidemi Tanaka, Carolini Satiko Tanaka e Kátia Hana Tanaka, minha sobrinha Sophia Hidemi Tanaka, que são o pilar em que sustento a minha vida.

À Capes, pelo apoio financeiro, concedido através de bolsa de mestrado.

À minha amiga Letusa Momesso Marques, pela amizade, motivação e toda ajuda necessária na realização desse trabalho. Pelo companheirismo e por estar presente em momentos de alegria e de tristeza, oferecendo sempre uma palavra amiga.

Ao meu amigo Claudio Hideo Martins da Costa, por nunca hesitar quando foi necessária a sua ajuda, por compartilhar seus conhecimentos e pela sua amizade.

Ao Co-orientador Prof. Dr. Rogério Peres Soratto, pela sua disponibilidade e apoio na elaboração deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Melhoramento e Produção Vegetal, Célio, Casemiro, Matheus, Cirinho, Dorival, Verinha e Eliane pela contribuição na realização desse trabalho.

Aos estagiários, Gabriela Riguetto (Saponga), Lucas Donini (CB), Rafael Prezzotto (Flósculo), Maurício Hideki, Vitor Bortolotti (Resmungo), Vinícius Perino (Paraguaio), Amanda Pietrobon (Ahleleke) e Camila Meucci (Capote), por toda ajuda no desenvolvimento do projeto.

Aos meus amigos do curso de pós-graduação, Gabriela Siqueira, Daniele Scudeletti, Ariani Garcia, Natália Corniani e Magnun Antonio Penariol, pela amizade e motivação para concretização desse trabalho. Aos amigos Jayme Ferrari Neto, Antônio Carlos Carmeis Filho e Jorge Martinelli por terem me recebido de braços abertos e por não medirem esforços para me ajudar.

Ao meu pai novamente, e ao Fábio Tanamati por encorajar-me a seguir com os estudos na Pós-Graduação.

Quero agradecer a todos aqueles que contribuíram de um modo ou de outro, para que tornasse possível a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

1. RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3. INTRODUÇÃO	4
4. REVISÃO DE LITERATURA	7
4.1 Utilização de <i>Urochloas</i> em sistemas de produção	7
4.2 Nitrogênio no solo	10
4.3 Nitrogênio na soja	11
4.3.1 Fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja	11
4.3.2 Adubação nitrogenada na cultura da soja	13
5. MATERIAL E MÉTODOS	16
5.1 Localização e caracterização climática da área experimental	16
5.2 Histórico da área experimental e caracterização do solo	18
5.3 Delineamento experimental e tratamentos	19
5.4 Instalação e condução do experimento	20
5.5 Avaliações experimentais	21
5.5.1 Produção de matéria seca, acúmulo e quantidade remanescente de N no resíduo das plantas de cobertura	21
5.5.2 Avaliações na cultura da soja	22
5.6 Análise estatística	24
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
6.1 Massa de matéria seca e acúmulo de macronutrientes na palhada	25
6.2 Teores nutrientes na cultura da soja	31
6.3 Altura de planta, produção de matéria seca da parte aérea, componentes da produção e produtividade de grãos na cultura da soja	34
7. CONCLUSÕES	38
8. REFERÊNCIAS	39

1. RESUMO

As gramíneas forrageiras têm apresentado bom desempenho para compor sistemas de produção como o sistema plantio direto e a integração lavoura-pecuária, em razão da elevada produtividade de massa de matéria seca, propiciando boa cobertura ao solo. Uma vez que o nitrogênio é responsável pelo crescimento das plantas, a adubação com este nutriente pode favorecer maior produção de massa de matéria seca das forrageiras e consequentemente, proporcionar elevadas quantidades de resíduo vegetal para a cobertura do solo. O objetivo desta deste trabalho foi avaliar a aplicação antecipada de nitrogênio na planta produtora de palha, a fim de introduzir o nitrogênio no sistema e avaliar a produtividade da cultura da soja em resposta ao manejo do nitrogênio. O presente trabalho foi conduzido nos anos agrícolas 2013/2014 e 2014/2015, na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, localizada no município de Botucatu – SP. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 6x2 com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por seis épocas de aplicação de nitrogênio (controle, adubação na semeadura e em cobertura, 20 dias antes da dessecação das plantas forrageiras, 10 dias antes da dessecação, cinco dias antes da dessecação e um dia antes da semeadura da soja) em duas espécies forrageiras (*Urochloa brizantha* cv. Marandu e *Urochloa ruziziensis*). Foram realizadas as seguintes avaliações nas plantas forrageiras: produção de massa de matéria seca e quantidade acumulada de macronutrientes; e na cultura da soja foi determinado a massa de matéria seca no florescimento pleno, teores de nutrientes, altura de planta, os componentes de produção (população final de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por

vagem, massa de 100 grãos) e a produtividade de grãos. Com o presente estudo, conclui-se que: a brizantha produz e cicla maiores quantidade de palha e nutrientes, respectivamente, em relação a ruziziensis, proporcionando maior produtividade de grãos da cultura da soja; a aplicação de N, independentemente da época aplicada, não aumentou a produtividade de grãos da soja; a antecipação da adubação nitrogenada favoreceu a produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes nas espécies de cobertura, contudo, não refletiu em maior produtividade de grãos da cultura da soja.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.), plantas de cobertura, adubação nitrogenada

NITROGEN APPLICATION IN PALISSADE GRASS AND PRODUCTION OF SOYBEAN CROP IN NO TILLAGE SYSTEM. Botucatu, 2015. 48 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: KATIUÇA SUEKO TANAKA

Adviser: CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

2 SUMMARY

The palissade grass have good performance to compose production systems such as no-tillage and crop-livestock integration, due to the high dry matter production, providing good coverage to the ground. Since nitrogen is responsible for the growth of plants, fertilization with this nutrient may favor larger mass of dry matter production of palissade grass and consequently provide high amounts of plant residue to the soil cover. The aim of this work was to evaluate the viability of early application of nitrogen in the production of straw plant, in order to introduce nitrogen into the system and assess the soybean yield in response to the management of nitrogen. This study was conducted in the agricultural years 2013/2014 and 2014/2015, the Lageado Experimental Farm, belonging to the College of Agricultural Sciences - UNESP, located in Botucatu - SP. The experimental design was a randomized block in a factorial 2x6 with four replications. The treatments consisted of ammonium nitrate application times (control, fertilization at sowing and coverage, 20 days before the desiccation, 10 days before the desiccation, five days before the drying and one day before sowing) in two palissade grasses (*U. brizantha* cv. Marandu and *U. ruziziensis*). The following evaluations were performed on forage plants: dry matter production and macronutrients levels; and soybean was determined dry matter, macro and micronutrients levels, plant height and yield components (final plants population, number of pods per plant, number of seeds per pod, weight of 100 grains and productivity) . With this study concludes: *U. brizantha* produced higher amounts of dry matter and greater accumulation of nutrients in straw; soybeans performed better when sown on the *U. brizantha* and applying nitrogen fertilizer at different times does not favor the increase of soybean yield.

Keywords: *Glycine max* (L.), cover crops, nitrogen fertilization

3. INTRODUÇÃO

A adoção da integração lavoura-pecuária (ILP) sob o sistema plantio direto (SPD) possui potencial de recuperação de áreas degradadas assim, possibilitando o cultivo em áreas consideradas improdutivas. Esse sistema de produção visa o revolvimento mínimo e a deposição de restos culturais sobre a camada superficial, promovendo melhorias físicas, químicas e biológicas do solo.

As plantas utilizadas para cobertura do solo, em sua maioria, apresentam capacidade de absorver os nutrientes das camadas subsuperficiais e liberá-los na camada superficial através da decomposição do material vegetal. Assim, é de extrema importância a escolha da espécie de cobertura a ser utilizada, pois, a espécie vegetal, assim como o seu estágio vegetativo, influencia na persistência do resíduo sobre a superfície do solo e a na quantidade de nutrientes liberada a cultura sucedânea.

As forrageiras, principalmente as do gênero *Urochloa*, tem se destacado pela boa formação de palhada, contribuindo para o aumento da matéria orgânica, pela facilidade no estabelecimento, por desenvolverem plenamente no outono/inverno nas regiões sob clima tropical, mesmo quando a precipitação pluvial é limitante para a maioria das plantas de cobertura anuais, além de apresentarem baixa exigência quanto à fertilidade do solo.

Dentre as culturas cultivadas em sucessão a essas forrageiras destaca-se a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) que tem apresentado excelentes produtividades. A soja é uma das culturas de maior importância econômica para o Brasil, sendo cultivada em mais de 31 milhões de hectares, na safra 2014/2015, e tendo

produtividade média de 3.000 kg ha⁻¹ (CONAB, 2015). A adoção dessa rotação leguminosa e gramínea é uma importante forma de adicionar o nitrogênio ao sistema de produção.

O nitrogênio (N) é um dos elementos mais exigidos pelas plantas, principalmente para as culturas que apresentam alto teor de proteína nos grãos, como a da soja. Embora a demanda desse nutriente seja elevada, a planta de soja consegue suprir suas necessidades pela fixação biológica de N (FBN) em simbiose com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* e através do N presente no solo, principalmente pela mineralização da matéria orgânica. Contudo, alguns estudos ressaltam que o fornecimento de nitrogênio pela FBN não é suficiente para atingir altas produtividades (BAHRY et al., 2013; SALVAGIOTTI et al., 2008; GAN et al., 2003), sendo assim, necessária a aplicação de fertilizantes nitrogenados.

A adubação nitrogenada tem sido recomendado principalmente em sistemas com elevada produção de matéria seca pelas plantas de cobertura com alta relação C:N, pois, nesta situação a imobilização de N do solo é favorecida, e em consequência sua disponibilidade é reduzida temporariamente para a cultura da soja em sucessão a essas espécies. Desse modo, alguns técnicos têm recomendado a aplicação de N na fase inicial da cultura, a fim de prevenir o amarelecimento nos estádios iniciais, uma vez que, os nódulos são de tamanho reduzido e em pequenos números neste estágio.

Os argumentos para essa prática são a limitação de nitrogênio à cultura da soja quando em sucessão as gramíneas com elevada produção de resíduo vegetal, notadamente as do gênero *Urochloa*, por absorverem grande quantidade do nutriente, reduzindo a oferta deste à cultura da soja nos estádios iniciais, e quando em sistemas com alto potencial produtivo em razão da fixação biológica não ser suficiente para produtividades acima de 4,5 Mg ha⁻¹.

Portanto, a antecipação da adubação nitrogenada seria uma alternativa para evitar esta deficiência nos estádios iniciais do desenvolvimento da cultura, além de aportar uma quantidade maior de nitrogênio a ser ofertado a cultura via solo. Alguns estudos realizados em outras culturas como feijão, arroz e milho têm demonstrado a viabilidade da antecipação da adubação nitrogenada, sendo realizada na planta de cobertura antes da dessecação e/ou sobre a palhada as vésperas da semeadura.

Esta prática tem como finalidade de otimizar o aproveitamento do nitrogênio, pois a dinâmica deste elemento no solo é complexa, e assim as perdas podem ser minimizadas.

Diante do exposto, as hipóteses do trabalho foram:

a) As espécies do gênero *Urochloa*, por apresentarem diferentes características, como produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes, influenciam no desenvolvimento e potencial produtivo da cultura da soja.

b) O N fornecido pela FBN atende a exigência da cultura da soja por este nutriente, não necessitando da complementação com fertilizantes nitrogenados;

c) A antecipação do N antes da dessecação da espécie forrageira proporciona maior produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes, sem incrementar a produtividade de grãos da soja.

Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade da aplicação de nitrogênio na cultura da soja em diferentes manejos e em sucessão a duas espécies de *Urochloas*.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Utilização de *Urochloas* em sistemas de produção

O SPD preconiza a rotação de culturas, o revolvimento mínimo do solo e a cobertura do solo com resíduos vegetais. A sua adoção é dependente de culturas adequadas para a produção e manutenção de palha sobre o solo, para que o sistema seja eficiente e vantajoso. As plantas de cobertura mais utilizadas e estudadas são: o milheto, sorgo granífero e forrageiro, nabo forrageiro e as gramíneas forrageiras tropicais (PARIZ, 2010).

A ILP é um sistema de produção que possibilita alternar anos ou períodos de produção de grãos ou fibras com a pecuária (MACEDO, 2009). A ILP sob SPD tem viabilizado a recuperação de áreas degradadas com o cultivo de espécies forrageiras, produção de animais e culturas graníferas, realizadas na mesma área, em plantio simultâneo, sequencial ou rotacionado, visando maior eficiência na utilização da área agrícola, gerando assim, resultados socioeconômicos e ambientais positivos (TRACY; ZHANG, 2008, MACEDO, 2009, PARIZ et al., 2009, RUFINO et al., 2009, CRUSCIOL et al., 2012). A produção das gramíneas forrageiras nesse sistema serve como alternativa ao pastejo de animais e formação de palhada, a fim de dar continuidade ao SPD (PARIZ et al., 2011).

A introdução de espécies forrageiras aos sistemas produtivos têm se destacado em razão da elevada produtividades de matéria seca e sua eficiência em reciclagem de nutrientes, uma vez que, estas gramíneas forrageiras possuem o sistema

radicular agressivo, capaz de explorar maior volume de solo, podendo alcançar mais de um metro de profundidade e aproveitando a adubação residual da cultura de verão (CRUSCIOL et al., 2009). O grande volume de raízes também melhoram a agregação e estruturação do solo favorecendo a penetração e o desenvolvimento do sistema radicular (CHIODEROLI, 2013).

O aporte de palha sobre a camada superficial do solo têm promovido aumento da matéria orgânica e da atividade biológica do solo, diminuição da erosão do solo (ARANDA et al., 2011) e perdas de água por escoamento superficial (HERNANI; KURIHARA; SILVA, 1999), menor amplitude térmica e maior retenção e infiltração de água do solo (MARTORANO et al., 2008).

A elevada resistência da decomposição do material vegetal é importante na durabilidade da cobertura vegetal sobre a superfície do solo (PACHECO et al., 2011). A taxa de decomposição está relacionada com a relação C:N da matéria seca da planta (XU; HIRATA, 2005) e principalmente com as condições climáticas. Segundo Lal e Logan (1995), a taxa de decomposição da palha em regiões tropicais e subtropicais pode ser até 10 vezes mais acelerada do que em regiões temperadas. Ceretta et al. (2002) comentam que, uma alternativa é a utilização de plantas de cobertura com elevada produção de resíduos e que apresentem maior meia-vida, resultando em menor velocidade de decomposição e mantendo por mais tempo os restos culturais.

As espécies de forragem que vem apresentando melhor desempenho nesses sistemas (SPD e ILP) são as do gênero *Urochloa* (COSTA et al., 2015). Estas apresentam alta produção de matéria seca, mais de 10 Mg ha⁻¹ (PACHECO et al., 2008; PACHECO et al., 2011), ampla capacidade de adaptação a solos de baixa fertilidade, fácil estabelecimento, maior durabilidade da palha sobre o solo em razão de sua relação C:N elevada (TIMOSSI et al., 2007) e ainda possui capacidade de supressão física de plantas infestantes, reduzindo o uso de herbicidas (MOREIRA et al., 2003).

A *Urochloa ruziziensis* tem sido uma das espécies forrageiras mais utilizadas no início da adoção da ILP (FANCHINI et al., 2014) por oferecer diversas vantagens, como: é de fácil manejo, não apresenta resistência ao herbicida glifosate, favorecendo assim, as operações de dessecação, produz forragem de alta qualidade, proporciona boa cobertura vegetal e excelente reciclagem de nutrientes e menor entouceamento, facilitando o desempenho das semeadoras (HIRATA et al., 2009; PARIZ, 2010; GIANCOTTI, 2012; FANCHINI et al., 2014).

Outra espécie forrageira utilizada nos sistemas de produção, principalmente em áreas de pastagem no Brasil Central, é a *Urochloa brizantha* (FONTES et al., 2014). Esta apresenta hábito de crescimento prostrado, ampla adaptação climática e em diferentes solos, alta produção de matéria seca de parte aérea e raízes, desempenhando importante papel na capacidade de armazenagem de água, absorção de nutriente, melhoria na física do solo, aumento no teor da matéria orgânica e tolerando condições de acidez moderada (SANTOS JÚNIOR, 2001; RAZUK, 2002).

A utilização dessas gramíneas, além das melhorias na física e na química do solo também promovem aumento na atividade da micro e macrofauna do solo e a redução na temperatura do solo (até 10°C) devido a elevada deposição de resíduos vegetais (COOK et al., 2006; Prando et al., 2010). Além disso, seus resíduos vegetais possuem elevada relação C:N, o que pode induzir a imobilização do N no solo, pois, o N presente no material não seria suficiente para atender a demanda de N pela biomassa microbiana decompositora dos compostos carbonados, sendo assim, necessária a assimilação de nitrogênio mineral do solo (SANTI et al., 2003). Entretanto, a consolidação de sistemas que visam à conservação do solo, como o ILP, conduzem ao equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização (TEIXEIRA et al., 2011).

Para o sucesso do sistema ILP associado ao SPD, o manejo apropriado da pastagem é um fator de extrema importância. Um dos nutrientes que mais limita a produtividade de massa seca, principalmente em gramíneas, é o nitrogênio, uma vez que a adubação nitrogenada pode melhorar o desempenho de culturas semeadas em sucessão, em razão do aproveitamento de N residual (KLUTHCOUSKI et al., 2000, COSTA, 2014). Embora haja o aproveitamento da adubação da cultura produtora de grãos na ILP, Martha Júnior e Vilela (2007) ressaltam a importância da adubação nitrogenada em forrageiras, visto que a disponibilidade de N proveniente desse residual é baixa podendo assim, limitar o desenvolvimento das mesmas.

A adubação das gramíneas forrageiras com fertilizantes nitrogenados pode melhorar o desempenho de culturas semeadas em sucessão, devido ao aproveitamento de N residual e, estima-se que 60 a 70% desse nutriente encontrado na biomassa vegetal seja reciclado e novamente absorvido pelas plantas no cultivo seguinte (SPAIN; SALINAS, 1985, ASSMANN et al., 2003).

4.2 Nitrogênio no solo

No solo, o nitrogênio pode ser encontrado sob duas formas: orgânico, complexado na matéria orgânica do solo (MOS), e na forma inorgânica, que é composta principalmente por amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) e, em algumas situações, pequenas concentrações de nitrito (NO_2^-) (CANTARELLA, 2007). A disponibilidade deste nutrientes às plantas é controlada principalmente pelos processos de mineralização e imobilização, processos estes que ocorrem concomitantemente durante a decomposição de materiais orgânicos e da MOS pela população microbiana heterotrófica (AITA; GIACOMINI, 2007).

O processo de mineralização é a transformação do N da forma orgânica para a inorgânica (N- NH_4^+ ou N- NO_3^-), realizado por microrganismos heterotróficos do solo, que utilizam os compostos orgânicos como fonte de energia (CANTARELLA 2007) e é composta pelas etapas amonificação e nitrificação, os quais são essenciais no fornecimento das formas inorgânicas do nutriente para os vegetais (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A amonificação é realizada por um amplo espectro de microrganismos decompositores, dentre eles fungos e bactérias que atuam sobre o nitrogênio da matéria orgânica e liberam diversos compostos para o meio, entre eles a amônia (NH_3) (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). O NH_3 combinando-se com a água do solo, forma o hidróxido de amônio que ao ser ionizado, produz o NH_4^+ e hidroxila (OH^-) (CARDOSO, 1992).

A nitrificação ocorre em duas etapas. A primeira é a oxidação do NH_4^+ à NO_2^- mediadas por bactérias, principalmente as do gênero *Nitrosomonas*, porém, foi observado que as bactérias do gênero *Nitrospira* também agem nesse processo (WILD, 2009). Esta etapa da nitrificação é subdividida em outras duas, de acordo com a atuação das enzimas amônia mono-oxigenase (AMO) e hidroxilamina oxireductase (HAO), presentes nas bactérias *Nitrossomonas*. A AMO atua na conversão da amônia em hidroxilamina (NH_2OH) e a HAO atua na conversão da hidroxilamina à nitrito (SUBBARAO et al., 2007a, SUBBARAO et al., 2007b).

A segunda etapa é denominada de nitratação, que é a oxidação de NO_2^- à NO_3^- , realizada por ação da enzima nitrito oxireductase presente nas bactérias do gênero *Nitrobacter*. Esta conversão ocorre rapidamente que raramente se acumula no solo

(WILD, 2009). O processo de nitrificação nos solos é influenciado pela temperatura, umidade, quantidade de NH_4^+ presente no solo, acidez do solo, atividade dos microrganismos nitrificadores, presença de substâncias tóxicas e principalmente pela concentração de O_2 , pois, as bactérias responsáveis atuam somente em ambientes aeróbicos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006, CANTARELLA, 2007). A adubação e a correção da acidez do solo favorecem a atividade de microrganismos nitrificadores, acentuando a quantidade de NO_3^- no solo (D'ANDRÉA, 2014).

A imobilização do N é o processo inverso da mineralização, que é a transformação do N inorgânico em N orgânico. Os responsáveis são os microrganismos que incorporam o N inorgânico disponível no solo às suas células, e ao morrerem, o N assimilado pode voltar a ser mineralizado ou incorporado às células de outros microrganismos e seguir o caminho da síntese de compostos nitrogenados mais complexos, que gradualmente formam a MOS (CANTARELLA, 2007).

A desnitrificação é a redução de formas oxidadas de N (N-NO_2^- e N-NO_3^-) a formas gasosas (N_2 e N_2O), intermediada por bactérias anaeróbicas facultativas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

4.3 Nitrogênio na soja

4.3.1 Fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja

Taiz e Zeiger (2013) definem elemento essencial como: “um componente intrínseco na estrutura ou no metabolismo de uma de uma planta ou cuja ausência causa anormalidades graves no crescimento, desenvolvimento e reprodução vegetal”. O N é um elemento essencial para a planta por ser constituinte de diversos compostos como, aminoácidos, ácidos nucleicos e clorofila, e é participante das principais reações bioquímicas, sendo assim, um dos elementos absorvidos em maiores quantidades pelas plantas cultivadas (CANTARELLA, 2007; MARSCHNER, 2012).

Dentre os nutrientes, o N é o mais requerido pela planta de soja, principalmente devido ao elevado teor de proteína nos grãos (cerca de 40 g kg^{-1}) (TRZECIAK, 2012). O teor médio de N no grão é de 65 g kg^{-1} , exportando assim, $195 \text{ kg de N ha}^{-1}$ em uma produtividade de 3.000 kg ha^{-1} (CRISPINO et al., 2001). Em

contrapartida, para cada 1.000 kg de grãos produzidos são necessários 80 kg de N (HUNGRIA et al., 2007).

O fornecimento desse nutriente pode ser realizado através das seguintes formas: a) fixação não-biológica, resultante de descargas elétricas e chuvas, podendo fornecer por ano de 4,2 kg ha⁻¹ (SHAW et al., 1989) até 60 kg ha⁻¹, em áreas de pecuária (HAYASHI; YAN, 2010), b) adição de material orgânico, que através da decomposição da matéria orgânica é capaz de fornecer de 10 a 15 kg de N por cultura (HUNGRIA et al., 2007), c) fertilizantes nitrogenados, e d) fixação biológica do N (FBN), em que as leguminosas podem contribuir com cerca de 18,5 Mg de N anualmente (HERRIDGE et al., 2008).

Para atender essa elevada demanda de N, a cultura da soja tem como sua principal fonte a FBN, que é realizada por bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, especialmente as espécies *Bradyrhizobium japonicum* e *B. elkanii*, podendo fornecer de 70 até 200 kg ha⁻¹ de N (UNKOVICH; PATE, 2000, ALVES et al., 2003, ALVES et al., 2006, PEOPLES et al., 2008, HERRIDGE et al., 2008).

O processo de FBN inicia-se pelo reconhecimento inicial dos simbiontes através da exsudação de substâncias orgânicas pelas raízes da planta, que ativam os genes de nodulação (genes “nod”) da bactéria determinando a infecção das raízes e a consequente formação dos nódulos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Logo, ocorre o encurvamento da parede celular dos pelos absorventes colonizados pelas bactérias formando o cordão de infecção, que promove o crescimento de células do córtex, resultando na formação do nódulo (MATA et al., 2011). No interior do nódulo há um eficiente sistema vascular assegurando a funcionalidade da fixação do nitrogênio atmosférico que supre as bactérias fixadoras com nutrientes. A nutrição desses microrganismos constitui-se da fosforilação oxidativa dos produtos elaborados nas folhas pelo processo da fotossíntese, como a sacarose, glicose e ácidos orgânicos (CÂMARA, 2014).

O N₂ atmosférico é fixado por meio da ação da enzima nitrogenase que o reduz NH₃ e em função da abundância de íons H⁺ no interior das células bacterianas, a amônia é reduzida a NH₄⁺, sendo assim assimilado pela planta.

No processo de fixação de nitrogênio atmosférico, a leghemoglobina tem como função introduzir o O₂ no sistema e simultaneamente controlar a concentração deste no interior dos nódulos, pois, a enzima nitrogenase é

irreversivelmente inativada pelo O₂. A atividade da leghemoglobina é constatada pela coloração interna rósea do nódulo (HUNGRIA et al., 2007; CÂMARA, 2014).

De acordo com Câmara (2000), dependendo das condições climáticas e da boa especificidade entre a cultivar e a estirpe de bactérias, os primeiros nódulos radiculares na soja podem ser visíveis a parti de 10 a 15 dias após a emergência das plantas (estádio V1 a 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; CÂMARA, 2014).

Durante o desenvolvimento da cultura, a nodulação e a FBN atingem dois picos, sendo o primeiro na fase do florescimento (estádio R1 e R2) e o segundo entre os estádios R5.1 e R5.3, fases de alta demanda de nutrientes. Após o segundo pico, as atividades se reduzem à medida que a cultura evolui para os estádios de maturação fisiológica (CÂMARA, 2014).

Este eficiente processo de FBN pela cultura da soja, obtidos através do programa de melhoramento de planta com a seleção de estirpes adaptadas às condições de solos do Cerrado, possibilitou a obtenção de elevadas produtividades de grãos sem a aplicação de fertilizantes nitrogenados. Desse modo, estima-se que a utilização de FBN economize mais de 10 bilhões de dólares por ano para o País (ALVIN et al., 2015).

4.3.2 Adubação nitrogenada na cultura da soja

A recomendação atual para o cultivo da soja é a utilização de inoculante sem a suplementação com adubos nitrogenados (ARATANI et al., 2008), pois, não há evidências de benefícios da utilização de fertilizantes nitrogenados para a soja cultivada em solos de cerrados, exceto nos casos em que não ocorra a nodulação (VARGAS et al., 1982) ou quando o cultivo da soja é 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) ou na

fase reprodutiva da cultura, pois a partir deste estágio a FBN é reduzida e há elevada demanda por N (AMADO et al., 2010). Ainda que, outros fatores podem interferir na atividade das bactérias fixadoras de N na cultura da soja, sendo estes: temperatura, umidade, acidez do solo, presença de Al^{3+} e Mn^{2+} (VARGAS et al., 1993) e textura do solo (CASTRO et al., 1993).

Gan et al. (2003) ao estudar o efeito da adubação de cobertura em diferentes estádios reprodutivos da cultura da soja na China, constatou que a aplicação de N em cobertura quando aplicados no estágio V₂ (primeira folha trifoliolada completamente desenvolvida) ou no florescimento (estádio R1), teve aumento no acúmulo de N e produtividade de grãos, pois, houve um aumento na duração da área foliar e, conseqüentemente elevou a assimilação de carbono e do nitrogênio pela fixação de N₂. Resultados semelhantes foram observados por Bahry et al. (2013), que observaram aumento na produtividade da soja com adubação suplementar nas fases reprodutivas comparadas com a testemunha, independente da dose utilizada.

Também tem sido sugerida a adubação nitrogenada em soja quando se tem áreas em SPD com elevado volume de palha e com relação C:N de 60 a 80:1, em razão da forte imobilização do N do solo por parte dos microrganismos decompositores da matéria orgânica, ocasionando assim, um temporário e leve quadro de deficiência nitrogenada (CÂMARA, 2014). Nesse caso, a aplicação de N na cultura da soja favorecerá mais a palhada em processo de decomposição do que cultura principal, sendo assim, recomendável dobrar a dose de inoculante.

Em sistemas de elevado potencial produtivo de soja, ou seja, situações que atinjam produção acima de 4,5 Mg ha⁻¹, é necessária a adubação nitrogenada, pois, a nodulação pode ser incapaz de fornecer o nitrogênio requerido para as plantas (SALVAGIOTTI et al., 2008). 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. Contudo, Hungria et al. (2007) observaram resultados contrários, obtendo produtividades superiores a 5 Mg ha⁻¹ apenas com a inoculação, sendo desnecessária a complementação com fertilizantes nitrogenados.

Por outro lado, vários estudos têm demonstrado que a aplicação de nitrogênio, principalmente na semeadura, independentemente do sistema de preparo do solo, pode retardar ou até inibir a nodulação, comprometendo a eficiência da FBN e

acarretando quedas de produtividade (MENDES et al., 2003, HUNGRIA et al., 2007, SILVA et al., 2011). Procópio et al. (2004) verificaram não haver incremento no teor de N na folha de soja, independentemente da época de aplicação e das doses de N. Sendo assim, Aratani et al. (2008) concluíram que é dispensável a aplicação de até 90 kg ha⁻¹ de N, este sendo suprido totalmente pelo processo de fixação simbiótica, já que, não houve diferença entre o número de nódulos, bem como nos componentes da produção e na produtividade de grãos de soja.

Assim, o fornecimento constante de elevadas doses de nitrogênio mineral pode não só afetar a FBN, mas também a nodulação das plantas, por inibir a formação ou causar senescência dos nódulos já formados e conseqüentemente afetar a fixação de N (HUNGRIA et al., 2006, BOTTOMLEY; MYROLD, 2007, MENDES et al., 2008), conforme constatado em países como os Estados Unidos e Austrália (VAN KESSEL; HARTLEY, 2000). Nestes países os estudos apontam o N derivado da fixação biológica decresceu de 65% para 54%, devido a prática rotineira a adubação em cobertura na soja (WESLEY et al., 1998).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização e caracterização climática da área experimental

O experimento foi conduzido nos anos agrícolas 2013/2014 e 2014/2015 na Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP – Câmpus de Botucatu. A área está localizada 48° 26' de longitude Oeste, 22° 51' de latitude Sul e com altitude de 740 m.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Cwa, que se caracteriza pelo clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso (LOMBARDI NETO; DRUGOWICH, 1994). Os dados diários referentes à precipitação pluvial e as temperaturas máximas, mínimas e médias durante a condução do experimento estão apresentados na Figura 1.

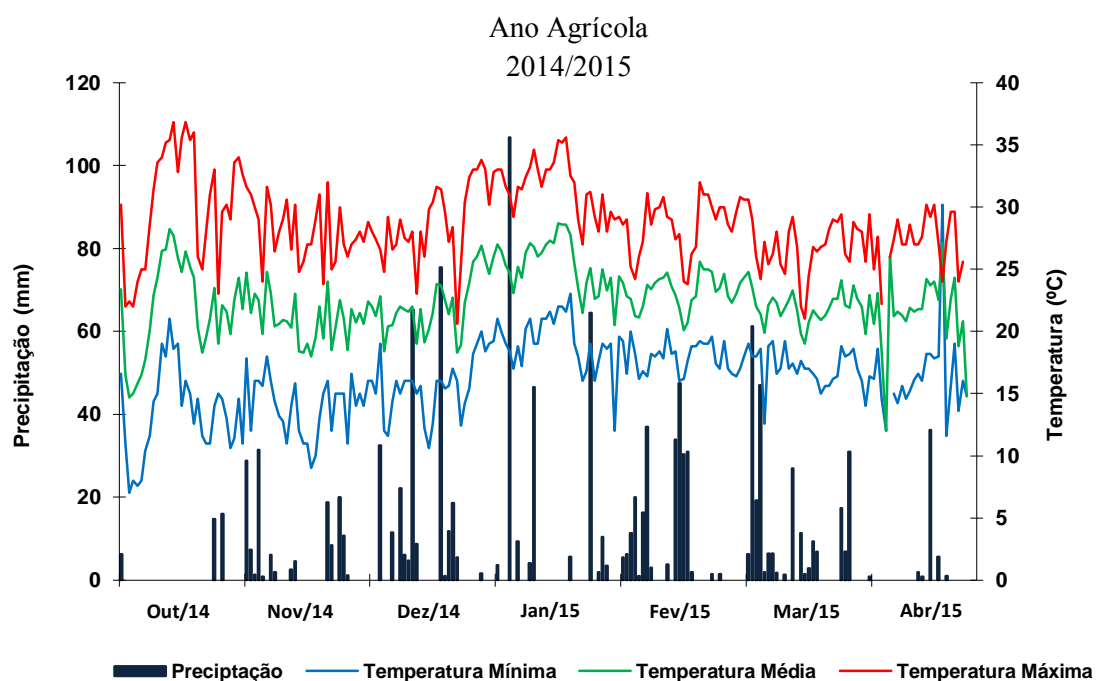
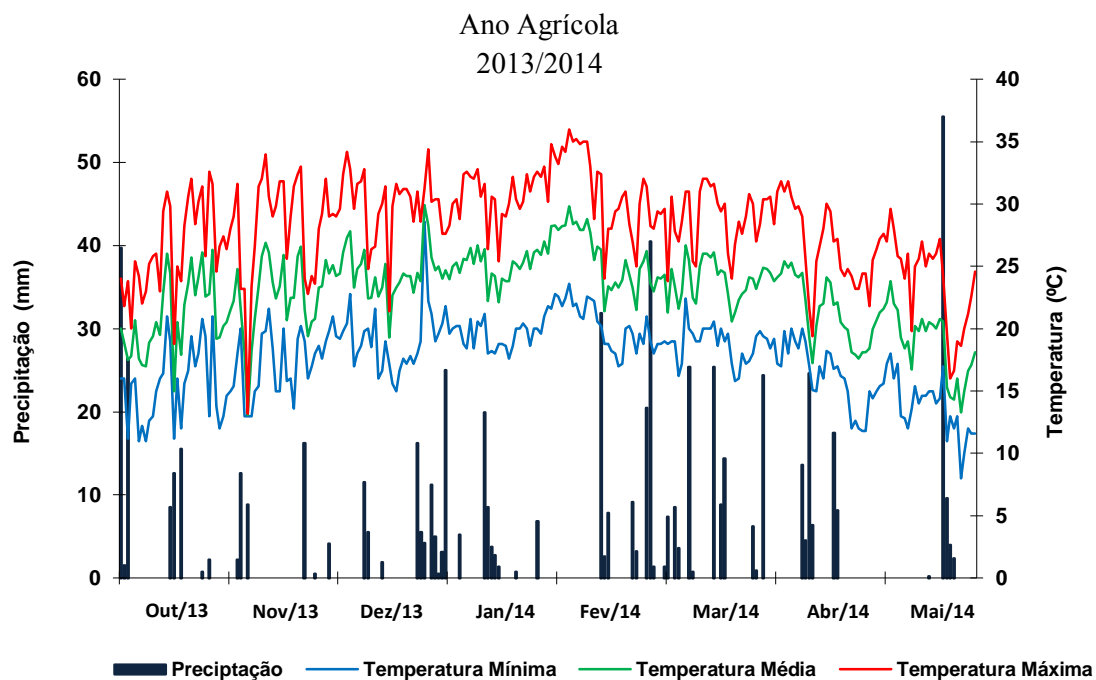


Figura 1. Precipitação pluvial (■), temperatura máxima (—), média (—) e mínima (—) registradas durante a condução do experimento, nos anos agrícolas 2013/2014 e 2014/2015. Botucatu, SP, 2015.

5.2 Histórico da área experimental e caracterização do solo

O experimento foi instalado em área cultivada com *Urochloa brizantha* cv Marandú e *Urochloa ruziziensis*, e conduzido nos anos agrícolas de 2013/2014 e 2014/2015. Em cada ano agrícola os experimentos foram implantados em áreas diferentes, porém, com o mesmo tipo de solo e com o sistema plantio direto consolidado.

A área experimental utilizada para a condução do experimento no ano agrícola de 2013/2014 tinha o seguinte histórico de rotação/sucessão de culturas: soja/aveia preta (primeira safra/segunda safra), milho/*Urochloa brizantha*, milho/*Urochloa brizantha*, soja/aveia branca, feijão/aveia branca, soja/pousio, milho verão/pousio, arroz/aveia preta, soja e o cultivo das forrageiras para condução do experimento.

No segundo ano do experimento (2014/2015) a rotação/sucessão foi: soja/aveia preta, milho/aveia preta, soja/aveia preta, milho/aveia preta, soja/aveia preta, milho/aveia preta, soja e o cultivo das forrageiras para condução do experimento.

De acordo com Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2013), o solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distroférico.

Antes do plantio das plantas forrageiras, foram realizadas amostragens de solo na profundidade de 0,0-0,20 m para a caracterização química do solo (pH; M.O; P_{resina}; H+Al; K; Ca; Mg; CTC e V%) nas áreas utilizadas para cada um dos anos agrícolas. As análises químicas foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por Rajj et al. (2001) cujos resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do solo na profundidade 0-0,20 m, determinadas antes da semeadura das plantas de cobertura para os dois anos do experimento. Anos agrícolas 2013/2014 e 2014/2015. Botucatu, SP, 2015.

Ano	pH	MO	P _{resina}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
	(CaCl ₂)	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	----- mmol _c dm ⁻³ -----						
2013/14	5,8	14	35	37	3,6	43	34	73	110	66
2014/15	5,3	27	12	36	2,3	52	22	77	112	69

Determinaram-se também o N total, nitrato, amônio, matéria orgânica e pH (RAIJ et al., 2001) do solo nas camadas de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m (Tabela 2) aos 20 dias antes da dessecação das forrageiras, antes da primeira aplicação do fertilizante nitrogenado.

Tabela 2. Valores de pH, teores de matéria orgânica, NH_4^+ , NO_3^- e N-total do solo nas profundidades de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m, nas plantas de cobertura. Anos agrícolas 2013/2014 e 2014/2015. Botucatu, SP, 2015.

	Prof. (m)	pH (CaCl ₂)	M.O g dm ⁻³	NH_4^+ ----- mg dm ⁻³ -----	NO_3^- ----- mg dm ⁻³ -----	NT	$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$
----- Ano Agrícola 2013/2014 -----							
U.B	0,00-0,20	4,9	32	11,9	6,2	97	1,9
U.R	0,00-0,20	5,0	23	11,4	5,7	88	2,0
U.B	0,20-0,40	4,7	18	13,7	0,9	72	15,5
U.R	0,20-0,40	4,6	18	8,1	9,6	77	0,8
----- Ano Agrícola 2014/2015 -----							
U.B	0,00-0,20	5,0	34	14,0	9,6	194	1,5
U.R	0,00-0,20	5,2	31	17,1	8,4	174	2,0
U.B	0,20-0,40	5,0	21	21,0	6,2	140	3,4
U.R	0,20-0,40	5,3	18	12,3	13,1	116	0,9

(Prof.: Profundidade; M.O: matéria orgânica; NT: N-total; UB: *Urochloa brizantha*; UR: *Urochloa ruziziensis*).

5.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, no esquema fatorial 2x6. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de duas gramíneas forrageiras (*Urochloa brizantha* cv. Marandu e *Urochloa ruziziensis*) com cinco manejos da adubação nitrogenada na quantidade de 100 kg ha⁻¹ de N [1 - aplicação de nitrogênio 20 dias antes da dessecação das forrageiras (DAD), 2 – 10 DAD, 3 – 5 DAD, 4 – aplicação sobre a palhada um dia antes da semeadura da soja (DAS), 5 – semeadura e em cobertura (40 kg ha⁻¹ de N + 60 kg ha⁻¹ de N)] e um tratamento controle, sem aplicação de N.

Cada unidade experimental possuía dimensão de 4,5 m de largura x 5 m de comprimento, perfazendo uma área total de 22,5 m², nas quais foram semeadas dez

fileiras de soja e espaçadas em 0,45 m. Para as avaliações foram consideradas as quatro fileiras centrais desprezando-se 0,5 m nas extremidades de cada linha de plantas.

5.4 Instalação e condução do experimento

As gramíneas forrageiras foram semeadas no dia 13/03/2012 na área do primeiro ano de condução do experimento e no dia 10/03/2009 na área do segundo ano de experimento. Após o estabelecimento das forrageiras, as mesas foram manejadas até a implantação dos tratamentos com adubação nitrogenada da seguinte maneira: ceifa com auxílio de triturador horizontal tratorizado, adotando como referência 25 cm em relação ao solo sempre que as plantas atingiram porte de 50 cm.

Nos dias 25/09/2013 e 28/09/2014 as forrageiras foram submetidas à uniformização mecânica com triturador de palha um mês antes da dessecação das mesmas. Nos dias 5/10/2013 e 08/10/2014 foram realizadas a primeira aplicação de N de forma antecipada (20 DAD), mediante a distribuição a lanço do fertilizante na dose de 100 kg ha⁻¹ de N na forma de nitrato de amônio. As aplicações de N foram realizadas em superfície, sem incorporação. Nos dias 15/10/2013 e 18/10/2014 foram realizadas a segunda aplicação antecipada de nitrogênio (10 DAD) e em 20/10/2013 e 23/10/2014 a terceira aplicação de N (5 DAD).

Em 25/10/2013 e 28/10/2014 as plantas presentes na área foram dessecadas mediante aplicações de herbicida glifosate na dose de 2.800 g ha⁻¹ do i.a. Para o tratamento com aplicação em pré-semeadura (1 DAS), a distribuição do adubo nitrogenado foi realizada a lanço sobre a palhada das plantas forrageiras, nos dias 26/11/2013 e 30/11/2014.

A semeadura da cultura da soja foi realizada mecanicamente em 27/11/2013 e 1/12/2014, utilizando a cultivar BMX Potência RR, de crescimento indeterminado e grupo de maturação 7.0, com espaçamento de 0,45 m entrelinhas e 17 sementes por metro de linha. As sementes foram tratadas com o fungicida carboxin+thiram (50+50 g do i.a por 100 kg de semente), com inseticida tiametoxam (105 g do i.a. por 100 kg de semente) e com inoculante líquido com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (2 mL kg⁻¹ de semente).

A adubação na semeadura nos dois anos de experimento constou da aplicação de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de 45 kg ha⁻¹ de K₂O, levando-se em conta as características químicas do solo e as recomendações para a cultura da soja (MASCARENHAS; TANAKA, 1997). O tratamento semeadura + cobertura (S+C) recebeu a aplicação de 40 kg ha⁻¹ distribuídos entre 5 e 10 cm ao lado da linha de semeadura.

A emergência das plantas ocorreram nos dias 02/12/2013 e 06/12/2014. Nos dois anos, no tratamento S+C a adubação em cobertura foram na dose de 60 kg ha⁻¹ de N quando a cultura da soja encontrava-se no estágio V₅ (quarta folha trifoliada completamente desenvolvida).

As plantas daninhas foram controladas com a aplicação química de glifosate na dose de 1.440 g de i.a ha⁻¹. O controle de pragas e doenças foi realizado de forma preventiva e curativa, quando necessário, com os fungicidas piraclostrobina e epoxiconazol (66,5 g i.a. + 25 g i.a.), azoxistrobina e ciproconazol (60 g i.a. + 24 g i.a) e os inseticidas acefato (375 g i.a.), tiametoxam (28,2 g i.a) e metomil (215 g i.a).

O florescimento pleno da soja (estádio R₂) ocorreu em 27/01/2014 (55 DAE) e 03/02/2015 (58 DAE). A colheita do experimento foi realizada nos dias 07/04/2014 (125 DAE) e 31/03/2015 (114 DAE).

5.5 Avaliações experimentais

5.5.1 Produção de matéria seca, acúmulo e quantidade remanescente de macronutrientes no resíduo das plantas de cobertura

Nos dois anos de experimento, foram realizadas coletas do material vegetal das plantas de cobertura em dois períodos, sendo o primeiro no dia da dessecação (25/10/2013 e 28/10/2014) e a segunda 90 dias após a dessecação (02/02/2014 e 06/02/2015), ou seja, 60 dias após a emergência da soja (em pleno florescimento – estágio R₂).

Em cada coleta da unidade experimental foram realizadas amostragens em dois pontos, com o auxílio de um quadro de madeira (0,25 m² de área interna), que constituíram uma amostra composta. As coletas foram realizadas de forma manual, com auxílio de tesoura de poda, retirando-se toda palhada contida na área interna

do quadro. O caminhamento de amostragem, dentro das unidades experimentais foi realizado na diagonal, sendo aleatória a escolha do ponto de coleta, excluindo-se 0,5 m de cada extremidade como bordadura.

As amostras foram acondicionadas em sacos de papel devidamente identificadas e posteriormente lavadas com água, com o objetivo de não contaminar as amostras com resíduos de solo. Após a lavagem da palha, estas foram levadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 60°C, por 72 h, com posterior pesagem para determinação da quantidade de matéria seca. Depois da pesagem, o material foi moído, em moinho tipo Willey, e armazenado para posterior determinação do teor de N, P, K, Ca, Mg e S (MALAVOLTA et al., 1997). A quantidade de N contida na palhada, em cada época de amostragem, foi obtida pelo produto da quantidade de massa de matéria seca com o teor do nutriente no resíduo vegetal, sendo apresentado em kg ha⁻¹.

5.5.2 Avaliações na cultura da soja

5.5.2.1 Produção de matéria seca da soja

Aos 27/01/2014 (55 DAE) e 03/02/2015 (58 DAE), foram coletadas 10 plantas rente ao solo, quando encontrava-se no estágio R₂ (florescimento pleno). Após serem colhidas, as plantas foram lavadas e secas em estufa de ventilação forçada de ar a 60°C por 72 h. Posteriormente, foi efetuada a pesagem em balança de precisão para determinação da produção de matéria seca em kg ha⁻¹.

4.5.2.2 Teores de nutrientes

Para os teores de nutrientes, realizaram-se amostragens de soja em 27/01/2014 e 03/02/2015 correspondendo a 55 e 58 DAE, respectivamente, momento em que encontravam-se no estágio R₂ (florescimento pleno). Para tanto, fez-se a coleta de 20 folhas com pecíolo, sendo o terceiro trifólio, de cada unidade experimental (AMBROSANO et al., 1997).

As folhas foram lavadas em água corrente, acondicionadas em sacos de papel e secadas em estufa de circulação forçada de ar a 60°C por 72 h.

Posteriormente, o material foi moído em equipamento dotado de peneira com crivo de 1 mm. Em seguida, foi submetido à análise para determinação dos teores dos macronutrientes, de acordo com os métodos descritos por Malavolta et al. (1997).

5.5.2.3 Altura de planta

A altura de planta foi determinada em 10 plantas escolhidas aleatoriamente dentro da área útil de cada unidade experimental momentos antes da colheita. A medição foi realizada com régua graduada em centímetros, da distância entre o nível do solo até o ápice da planta.

5.5.2.3 População final de plantas

Foi realizada na véspera da colheita, considerando-se duas fileiras centrais com comprimento de 4 m em cada unidade experimental, sendo os resultados convertidos em plantas ha⁻¹.

5.5.2.4 Número de vagens por planta

Coletaram-se 15 plantas por unidade experimental, nas quais foi determinado o número de vagens por planta, mediante a relação entre número total de vagens e o número total de plantas.

5.5.2.5 Número de grãos por vagem

Foi determinado mediante a relação entre número total de grãos e o número total de vagens, avaliados nas 15 plantas coletadas para determinação do número de vagens por planta.

5.5.2.6 Massa de 100 grãos (g)

Foi avaliada através da pesagem de quatro amostras de 100 grãos em cada unidade experimental. Os dados obtidos foram corrigidos, considerando-se o teor de água de 130 g kg^{-1} .

5.5.2.7 Produtividade de grãos

Para a avaliação da produtividade foram colhidas manualmente as plantas contidas na área útil de cada unidade experimental (quatro fileiras de 4 m), nos dias 07/04/2014 e 31/03/2015. Após esta operação, as plantas foram trilhadas e os grãos foram pesados e posteriormente foi calculada a produtividade de grãos, em kg ha^{-1} , corrigida para teor de água de 130 g kg^{-1} .

5.6 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de t (LSD) a 5% de probabilidade. Em caso de interação, os dados foram desdobrados. Utilizou-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Massa de matéria seca e acúmulo de macronutrientes na palhada

Nas Tabelas 3 e 4 estão contidos os resultados de massa de matéria seca das plantas de cobertura e as quantidades acumuladas de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S).

A *brizantha* apresentou maior produção de massa de matéria seca, produzindo 4.668 kg ha⁻¹ a mais que a *ruziziensis* (Tabela 3). Essa constatação também foi verificada por Pacheco et al. (2011, 2013) que observaram quantidades de 11.405 e 9.700 kg ha⁻¹ de *brizantha* e 6.965 e 6.700 kg ha⁻¹ de *ruziziensis*. Esses resultados podem ser atribuídos a elevada produção de raízes, alta capacidade de cobertura do solo e por ter um bom desempenho sob sombreamento, considerando que em condições de elevada produção de matéria seca pode ocorrer o auto sombreamento (EMBRAPA, 2002). Cabe ressaltar que a quantidade de palha produzida pelas espécies forrageiras foram superiores quando comparadas aos valores obtidos por Crusciol e Soratto (2007) e Simidu et al. (2010) que obtiveram 6.267 e 10.250 kg ha⁻¹ para *brizantha*, respectivamente, e de Menezes et al. (2009) e Pacheco (2011) que obtiveram 8.596 e 6.965 kg ha⁻¹ para *ruziziensis*, respectivamente.

Tabela 3. Produção de matéria seca de coberturas vegetais, quantidades acumuladas e remanescentes de N, P e K (0 e 90 dias após a dessecação) em função da adubação nitrogenada ou não para a cultura da soja em dois anos e probabilidade de F. Botucatu, SP, 2015.

Fatores	Massa de Matéria Seca		N		P		K	
	0	90	0	90	0	90	0	90
Planta de Cobertura (PC)	----- kg ha ⁻¹ -----							
<i>U. brizantha</i>	14.421 a	1.866 a	260,1 a	27,1 a	21,9 a	2,4 a	91,3 a	3,6 a
<i>U. ruziziensis</i>	9.753 b	1.331 b	139,6 b	19,5 b	12,7 b	1,5 b	52,8 b	2,7 b
Manejo do N (MN)								
Controle	11.120 c	1.176 c	156,6 c	14,9 e	17,3 b	1,5 d	58,5 e	2,1 d
20 DAD	14.614 a	2.008 a	330,3 a	32,5 a	23,6 a	2,4 b	98,6 a	3,9 b
10 DAD	12.436 b	2.134 a	198,3 b	30,4 b	16,6 b	2,7 a	81,9 b	4,4 a
5 DAD	11.966 b	1.789 b	189,5 b	27,7 c	15,9 b	2,1 c	68,5 c	3,9 b
1 DAS	11.208 c	1.240 c	159,3 c	17,1 d	14,1 c	1,5 d	62,6 d	2,3 c
S + C	11.181 c	1.243 c	162,1 c	17,3 d	16,6 b	1,4 d	63,2 d	2,4 c
Ano (A)								
2014	14.372 a	601 b	278,8 a	10,0 b	15,9 b	0,8 b	116,1 a	1,6 b
2015	9.803 b	2.595 a	120,9 b	36,6 a	18,8 a	3,1 a	28,0 b	4,8 a
Probabilidade de F								
PC	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
MN	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
A	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PC x MN	0,104	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PC x A	0,276	0,124	0,159	0,180	0,289	0,179	0,084	0,073
MN x A	0,169	0,298	0,085	0,091	0,197	0,101	0,268	0,096
PC x MN x A	0,087	0,081	0,097	0,238	0,256	0,076	0,163	0,270

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t a 5% de probabilidade. (Manejo do N – DAD: dias antes da dessecação, DAS: dias antes da semeadura, S+C: semeadura e cobertura; Épocas de avaliação – 0 DAD: zero dias após a dessecação, 90 DAD: noventa dias após a dessecação).

Tabela 4. Quantidades acumuladas e remanescentes de Ca, Mg e S (0 e 90 dias após a dessecação) em função da adubação nitrogenada ou não para a cultura da soja em dois anos e probabilidade de F. Botucatu, SP, 2015.

Fatores	Ca		Mg		S	
	0	90	0	90	0	90
<u>Planta de Cobertura (PC)</u>	----- kg ha ⁻¹ -----					
<i>U. brizantha</i>	66,5 a	12,6 a	45,0 a	2,7 b	27,0 a	3,9 a
<i>U. ruziziensis</i>	49,5 b	10,3 b	26,6 b	4,7 a	10,3 b	2,6 b
<u>Manejo do N (MN)</u>						
Controle	51,0 c	8,4 c	31,3 de	2,3 d	14,8 d	2,4 c
20 DAD	80,3 a	13,6 b	49,9 a	4,8 b	28,2 a	4,2 b
10 DAD	62,2 b	15,5 a	37,6 b	5,5 a	20,2 b	4,9 a
5 DAD	51,8 c	12,3 b	34,3 c	4,4 c	16,9 c	4,1 b
1 DAS	52,1 c	9,4 c	29,3 e	2,5 d	16,4 c	2,1 cd
S + C	50,4 c	9,6 c	32,2 cd	2,6 d	15,5 d	1,8 d
<u>Ano (A)</u>						
2014	70,3 a	5,8 b	42,5 a	0,7 b	13,5 b	0,6 b
2015	45,6 b	17,1 a	29,1 b	6,7 a	23,9 a	5,9 a
<u>Probabilidade de F</u>						
PC	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
MN	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
A	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PC x MN	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PC x A	0,086	0,193	0,259	0,070	0,201	0,178
MN x A	0,179	0,075	0,084	0,279	0,069	0,075
PC x MN x A	0,074	0,267	0,400	0,064	0,168	0,308

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t a 5% de probabilidade. (Manejo do N – DAD: dias antes da dessecação, DAS: dias antes da semeadura, S+C: semeadura e cobertura).

A quantidade de palhada remanescente de brizantha aos 90 DAD foi 535 kg ha⁻¹ superior que a ruziziensis, contudo a redução nas duas espécies forrageiras foi de 87% em relação a quantidade inicial de palha (Tabela 3). Esse valor foi superior ao observado por Leite et al. (2010), que aos 100 DAD, apenas 48% do resíduo vegetal havia se decomposto, em estudo realizado na região do cerrado maranhense. Esses resultados podem ser atribuídos a ausência de precipitação pluvial nos três primeiros meses após o manejo da espécie forrageira, diferentemente do que ocorreu no presente estudo, onde precipitação acumulada nos três primeiros meses (média de dois anos) foi de 413 mm e bem distribuídas neste período.

As quantidades acumuladas de todos macronutrientes foram maiores na brizantha cerca de 85, 65, 73, 34, 69 e 162% para N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente, em relação à ruziziensis (Tabelas 3 e 4). Este maior acúmulo de nutrientes pela brizantha foi devido seu maior crescimento, e conseqüentemente maior produção de massa vegetal. Contudo, grandes quantidades de nutrientes também foram acumuladas pela ruziziensis. Pacheco et al. (2013) também estudaram o acúmulo de nutrientes nas brizantha e ruziziensis e pouco observaram diferença no acúmulo de N, P, K, Ca e Mg, que pode ser atribuída a menor diferença entre a produção de matéria seca das espécies forrageiras.

Nas duas espécies forrageiras os nutrientes mais extraídos foram o N e o K, semelhantes aos observados por Torres et al. (2008) e Pacheco et al. (2013), em razão dessas espécies forrageiras apresentarem maior potencial de ciclagem de N e K.

A quantidade remanescente de nutrientes (90 DAD) foi maior na brizantha, com exceção do Mg (Tabelas 3 e 4). Assim, as quantidades liberadas pela brizantha neste período foram de 233, 20, 88, 54, 42 e 23 kg ha⁻¹ para N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente, e as quantidades liberadas pela ruziziensis foram de 120, 11, 50, 39, 22 e 8 kg ha⁻¹ para N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente. Essa elevada liberação dos nutrientes podem ser atribuídas a elevada precipitação pluvial e temperatura média no período avaliada (média de dois anos), que foram de 413 mm e 23,3 °C (Figura 1). A taxa de liberação dos nutrientes tem influência direta das condições climáticas após o manejo das espécies de cobertura (BOER et al., 2008; LEITE et al., 2010).

Tabela 4. Quantidades acumuladas e remanescentes de Ca, Mg e S (0 e 90 dias após a dessecação) em função da adubação nitrogenada ou não para a cultura da soja em dois anos e probabilidade de F. Botucatu, SP, 2015.

Fatores	Ca		Mg		S	
	0	90	0	90	0	90
<u>Planta de Cobertura (PC)</u>	----- kg ha ⁻¹ -----					
<i>U. brizantha</i>	66,5 a	12,6 a	45,0 a	2,7 b	27,0 a	3,9 a
<i>U. ruziziensis</i>	49,5 b	10,3 b	26,6 b	4,7 a	10,3 b	2,6 b
<u>Manejo do N (MN)</u>						
Controle	51,0 c	8,4 c	31,3 de	2,3 d	14,8 d	2,4 c
20 DAD	80,3 a	13,6 b	49,9 a	4,8 b	28,2 a	4,2 b
10 DAD	62,2 b	15,5 a	37,6 b	5,5 a	20,2 b	4,9 a
5 DAD	51,8 c	12,3 b	34,3 c	4,4 c	16,9 c	4,1 b
1 DAS	52,1 c	9,4 c	29,3 e	2,5 d	16,4 c	2,1 cd
S + C	50,4 c	9,6 c	32,2 cd	2,6 d	15,5 d	1,8 d
<u>Ano (A)</u>						
2014	70,3 a	5,8 b	42,5 a	0,7 b	13,5 b	0,6 b
2015	45,6 b	17,1 a	29,1 b	6,7 a	23,9 a	5,9 a
<u>Probabilidade de F</u>						
PC	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
MN	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
A	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PC x MN	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PC x A	0,086	0,193	0,259	0,070	0,201	0,178
MN x A	0,179	0,075	0,084	0,279	0,069	0,075
PC x MN x A	0,074	0,267	0,400	0,064	0,168	0,308

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t a 5% de probabilidade. (Manejo do N – DAD: dias antes da dessecação, DAS: dias antes da semeadura, S+C: semeadura e cobertura).

Especificamente, quanto a quantidade acumulada de K, constatou-se baixa quantidade de K remanescente no tecido vegetal nas duas espécies forrageiras, cerca de apenas 5% da quantidade inicial (Tabela 3). Resultados semelhantes são observados nas mais variadas espécies vegetais utilizadas como plantas de cobertura (CRUSCIOL et al., 2005, 2008, 2012). A rápida liberação de K da fitomassa ocorre em decorrência desse elemento não estar associado a nenhum componente estrutural do tecido vegetal (MARSCHNER, 2012). O K não é metabolizado na planta, formando ligações com complexos orgânicos de fácil reversibilidade (ROSOLEM et al., 2003). Assim, à medida que as plantas iniciam o processo de secagem e se degrada, a concentração desse nutriente no tecido diminui drasticamente, pois é facilmente lavado pela água das chuvas (KHATOUNIAN, 1999), após o rompimento das membranas plasmáticas (MALAVOLTA et al., 1997).

Com relação ao manejo de N, este influenciou na produção de massa de matéria seca das braquiárias, apresentando a seguinte ordem: 20 DAD > 10 DAD = 5 DAD > 1 DAD = S+C (Tabela 3). Sabe-se que com a disponibilidade de nitrogênio para as gramíneas, há um aumento da taxa de crescimento e, conseqüentemente a quantidade de forragem produzida (FAGUNDES et al., 2006). Assim, quanto maior período de tempo entre a adubação nitrogenada e o manejo da dessecação nas espécies de cobertura, melhor será o aproveitamento da adubação nitrogenada, refletindo em maiores produções de matéria seca, conforme constatado no manejo de N aos 20 DAD que foi superior em 17, 22, 30, 31 e 31% em relação aos 10 DAD, 5 DAD, 1 DAS, S+C e controle.

A decomposição dos resíduos vegetais das espécies forrageiras foi acelerada, remanescendo na superfície do solo aos 90 DAD apenas 14, 17, 15% quando o manejo de N foi realizado aos 20 DAD, 10 DAD e 5 DAD, respectivamente, e 11% nos tratamentos 1 DAD, S+C e o controle (Tabela 3). Essa acelerada decomposição da massa de matéria seca das forrageiras provavelmente foi em função da relação C:N do material. De acordo com Santi et al., (2003), que estudaram doses de N para a cultura da aveia preta e seu efeito sobre a relação C:N em seus resíduos, observaram que à medida que o requerimento de N pela cultura foi atendida, ocorreu um aumento da concentração deste nutriente no tecido vegetal e dessa forma, promoveu a redução da relação C:N.

A adubação nitrogenada aos 20 DAD proporcionou os maiores acúmulos de macronutrientes em relação aos 10 DAD, 5 DAD, 1 DAS, S+C e controle, da ordem de 67, 74, 107, 104 e 111% para o N, 42, 48, 67, 42 e 36% para o P, 20, 44, 58, 56 e

69% para o K, 29, 55, 54, 59 e 57% para o Ca, 33, 45, 70, 55 e 59% para o Mg e 40, 67, 72, 82 e 91% para S, respectivamente. Estes resultados são devido a maior produção de matéria seca, uma vez que, plantas bem supridas em N apresentam o sistema radicular maior e bem desenvolvido garantindo boa formação e sustentação da parte aérea (BROUWER, 1962).

A quantidade remanescente de nutrientes nos resíduos vegetais das espécies forrageiras (90 DAD), com exceção do N, foi maior quando realizou-se a aplicação de N aos 10 DAD (Tabelas 3 e 4). Contudo, é importante destacar que as maiores quantidades de nutrientes liberadas pelos resíduos vegetais das espécies forrageiras quando a aplicação de N foi aos 20 DAD, sendo de 298, 21, 95, 67, 45 e 24 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente.

Quanto ao fator ano, em 2013/2014 houve um maior acúmulo de N, K, Ca e Mg (Tabelas 3 e 4), possivelmente em razão da maior produção da parte aérea (Tabela 3). Um fator que pode ter interferido na quantidade de palhada produzida entre os anos foram as condições climáticas. Antes da instalação do experimento, no primeiro ano a distribuição pluviométrica foi mais uniforme, favorecendo o crescimento e desenvolvimento das plantas de coberturas. No ano 2014 ocorreu longos períodos de estiagem, que limitou a produção de fitomassa das gramíneas do segundo ano de condução do experimento.

Cabe ressaltar que, independentemente dos fatores estudados as quantidades produzidas de matéria seca de parte aérea foram superiores as quantidades preconizadas por Kluthcouski (1998) para cobertura total da superfície do solo em SPD, que é cerca de 5.000 a 6.000 kg ha⁻¹ de resíduo vegetal.

6.2 Teores de nutrientes na cultura da soja

Na tabela 5 estão contidos os resultados de teores de N, P, K, Ca, Mg e S na cultura da soja. Em nenhuma variável houve interação significativa entre os fatores. De acordo com Ambrosano et al. (1997) todos os teores de nutrientes encontravam-se dentro ou próximos da faixa considerada adequada para a cultura da soja (40-54 g kg⁻¹ de N, 2,5-5,5 g kg⁻¹ de P, 17-25 g kg⁻¹ de K, 4-20 g kg⁻¹ de Ca, 3-10 g kg⁻¹ de Mg e 2,1-4,0 g kg⁻¹ de S).

Em relação às plantas de cobertura, os teores N, P, K, Ca, Mg e S na folha diagnose da cultura não foram alterados, com teores médios de 41,1, 2,3, 18,9, 16,6, 4,3 e 2,1 g kg⁻¹, respectivamente (Tabela 5). Esses resultados podem ser atribuídos as quantidades de nutrientes existentes no solo (Tabela 1), considerados teores médios a altos (Raij et al., 1997), e bem como pela elevada ciclagem de nutrientes pelas espécies forrageiras (Tabelas 3 e 4). Essa hipótese também foi constatada por Caetano (2011) avaliando o cultivo de soja em sucessão à *brizantha* e *ruziziensis*. Neste estudo os autores observaram maiores teores de K e P na cultura da soja em sucessão à *brizantha*, pois os teores destes no solo eram considerados baixos, 1,0 e 10,4 mmol_c dm⁻³, respectivamente, e as quantidades cicladas por esta espécie forrageira foi maior. Enquanto que os teores de Ca e Mg não foram influenciados, pois os teores no solo eram de médio a alto, 25 e 5,4 mmol_c dm⁻³, respectivamente.

Tabela 5. Teores foliares de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na cultura da soja em função da adubação nitrogenada ou não para a cultura da soja em dois anos e probabilidade de F. Botucatu, SP, 2015.

Fatores	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g kg ⁻¹ -----					
<u>Planta de Cobertura (PC)</u>						
<i>U. brizantha</i>	42,0 a	2,3 a	18,9 a	15,5 a	3,9 a	2,0 a
<i>U. ruziziensis</i>	40,1 a	2,3 a	18,8 a	17,7 a	4,7 a	2,1 a
<u>Manejo do N (MN)</u>						
Controle	34,8 a	2,2 a	18,8 a	15,5 a	3,8 b	1,9 a
20 DAD	41,2 a	2,3 a	19,1 a	16,8 a	4,4 a	2,0 a
10 DAD	40,8 a	2,2 a	18,2 a	16,7 a	4,3 a	2,1 a
5 DAD	41,1 a	2,3 a	18,7 a	17,9 a	4,5 a	2,1 a
1 DAS	41,1 a	2,3 a	19,1 a	16,4 a	4,4 a	2,0 a
S + C	43,9 a	2,4 a	19,3 a	16,9 a	4,5 a	2,2 a
<u>Ano (A)</u>						
2013/2014	43,8 a	2,0 b	23,2 a	21,3 a	3,8 b	1,6 b
2014/2015	38,4 b	2,5 a	14,4 b	11,8 b	4,8 a	2,5 a
<u>Probabilidade de F</u>						
PC	0,131	0,733	0,925	0,231	0,141	0,467
MN	0,214	0,707	0,644	0,193	0,012	0,610
A	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PC x MN	0,694	0,071	0,255	0,084	0,482	0,610
PC x A	0,112	0,061	0,227	0,378	0,257	0,113
MN x A	0,700	0,812	0,697	0,067	0,097	0,270
PC x MN x A	0,251	0,373	0,073	0,346	0,329	0,441

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t a 5% de probabilidade. (Manejo do N – DAD: dias antes da dessecação, DAS: dias antes da semeadura, S+C: semeadura e cobertura).

Quanto ao manejo de N, os teores foliares dos macronutrientes não foram influenciados pela aplicação do N, com teores médios de 40,5, 2,3, 18,9, 16,7 4,3 e 2,1 g kg⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente (Tabela 5). Estudos têm apontado que a adubação mineral de N, a partir de 20 kg ha⁻¹, promove a redução da nodulação e a eficiência da FBN (Silva et al., 2011), contudo no presente estudo é provável que grande parte do N mineral aplicado tenha sido imobilizado temporariamente pelos microrganismos decompositores, devido à elevada quantidade de palha aportada sobre a superfície do solo, não alterando os teores deste nutriente na planta. Parente (2014) observaram resultados semelhantes para os teores foliares da soja N, P, K, Ca, Mg e S que estudaram o efeito de

doses de N (0 a 40 kg ha⁻¹) aplicados na semeadura (adubação de “arranque”) utilizando a cultivar BMX Potência RR®.

Com relação ao fator ano, no ano agrícola de 2013/2014 foram observados os maiores teores foliares de N, K e Ca, cerca de 14, 61 e 80%, respectivamente, e no ano agrícola de 2014/2015 os maiores teores foliares de P, Mg e S, cerca de 25, 26 e 56%, respectivamente (Tabela 5). Esses resultados corroboram com os obtidos na produção e liberação de nutrientes pela palha das forrageiras nos anos de 2014 e 2015, com exceção do Mg (Tabelas 3 e 4). É provável que, apesar da maior liberação de Mg pela palha das espécies forrageiras no ano de 2014 (41,8 kg ha⁻¹) em relação ao ano de 2015 (22,4 kg ha⁻¹), possa ter ocorrido competição pelos sítios de troca de absorção com o K e o Ca, pois no ano de 2014 foram liberados 91 e 36 kg ha⁻¹ a mais em relação ao ano de 2015, respectivamente (RAHMATULLAH; BAKER, 1981, REHM; SORENSEN, 1985, PECK; MACDONALD, 1989, PATEL et al., 1993, FONSECA; MEURER, 1997).

6.3 Altura de planta, produção de matéria seca da parte aérea, componentes da produção e produtividade de grãos na cultura da soja

Na Tabela 6 estão contidos os resultados de altura de plantas, massa de matéria seca da parte aérea, população final de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos e a produtividade, obtidos nos dois anos de condução do experimento. Em nenhuma variável houve interação significativa entre os fatores.

Tabela 6. Altura de planta, massa da matéria seca da parte aérea, população de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos e produtividade de grãos da cultura da soja em função da adubação nitrogenada ou não para a cultura da soja em dois anos e probabilidade de F. Botucatu, SP, 2015.

Fatores	Altura de planta	Massa de matéria seca	População de Plantas	Vagens/planta	Grãos/vagem	Massa de 100	Produtividade de grãos
<u>Planta de Cobertura (PC)</u>	(cm)	(kg ha ⁻¹)	mil ha ⁻¹	nº	nº	g	kg ha ⁻¹
<i>U. brizantha</i>	77 a	3.621 a	339 a	33 a	1,94 a	16,5 a	3269 a
<i>U. ruziziensis</i>	74 a	3.357 a	324 b	29 b	1,93 a	16,5 a	2786 b
<u>Manejo do N (MN)</u>							
Controle	69 b	3.036 a	336 a	31,00 a	1,92 a	16,6 a	3145 a
20 DAD	80 a	3.365 a	334 a	31,25 a	1,91 a	16,6 a	3044 a
10 DAD	76 a	3.515 a	335 a	30,25 a	1,94 a	16,5 a	3056 a
5 DAD	76 a	3.591 a	332 a	30,25 a	1,98 a	16,1 a	3007 a
1 DAS	77 a	3.965 a	327 a	30,31 a	1,94 a	16,8 a	2980 a
S + C	76 a	3.461 a	326 a	30,38 a	1,96 a	16,4 a	2936 a
<u>Ano (A)</u>							
2013/2014	67 b	3.314 b	309 b	22,31 b	1,92 a	19,6 a	2529 b
2014/2015	85 a	3.664 a	354 a	38,83 a	1,96 a	13,4 b	3527 a
<u>Probabilidade de F</u>							
PC	0,092	0,119	0,030	<0,001	0,749	0,998	<0,001
MN	0,035	0,067	0,920	0,558	0,855	0,490	0,378
A	<0,001	0,041	<0,001	<0,001	0,228	<0,001	<0,001
PC x MN	0,954	0,342	0,489	0,123	0,437	0,857	0,087
PC x A	0,072	0,335	0,128	0,072	0,081	0,064	0,117
MN x A	0,265	0,866	0,651	0,225	0,711	0,604	0,135
PC x MN x A	0,711	0,843	0,361	0,223	0,240	0,233	0,417

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t a 5% de probabilidade. (Manejo do N – DAD: dias antes da dessecação, DAS: dias antes da semeadura, S+C: semeadura e cobertura).

A população da cultura da soja foi influenciada pelas plantas de cobertura, com melhor estabelecimento da cultura quando cultivada sobre a palhada de brizantha, com cerca de 15 mil plantas ha^{-1} a mais em relação a ruziziensis (Tabela 6). Este resultado pode ser atribuído a maior produção de matéria seca pela brizantha (Tabela 3), que mantém o solo mais úmido e reduz as oscilações de temperatura (TORRES et al., 2006). Resultados semelhantes foram observados por Krutzmann et al. (2013) na consorciação destas espécies forrageiras com capim-Tanzânia. Porém, resultados contrários aos observados no presente trabalho são relatados na literatura (CONSTATIN et al., 2009, MONQUERO et al., 2010, NASCENTE e CRUSCIOL, 2012, CHIODEROLI et al., 2012), que podem ser atribuídos aos fatores abióticos, principalmente o clima e solo de cada região.

Na soja cultivada sob a palha de brizantha foram obtidas os maiores número de vagens por planta, cerca de 14% em relação a ruziziensis (Tabela 6). Os resultados podem ser atribuídos a maior produção de matéria seca pela brizantha, conforme exposto acima. Esses resultados foram semelhantes aos observados por Chioderoli (2013), que constataram 8% a mais de vagens por planta na soja cultivada sobre a palhada de brizantha em relação a ruziziensis.

Assim, a produtividade de grãos de soja foi reflexo dos resultados observados na população de plantas e no número de vagens por plantas, com aumento de cerca de 17% quando cultivada sob a palhada de brizantha em relação a ruziziensis (Tabela 6). Todavia, Pacheco et al. (2013), não encontrou diferença de produtividade da soja sobre as duas braquiárias, que pode ser atribuída a liberação mais lenta dos nutrientes pela brizantha comparativamente ao ruzizienses, apesar da maiores quantidades acumuladas.

O manejo de N apenas alterou altura de plantas, com o menor tamanho de plantas no tratamento controle, cerca de 10% em relação aos demais tratamentos (Tabela 6). Essa menor altura no controle está relacionada com a disponibilidade de nitrogênio pra cultura na fase inicial da planta, sendo assim, é provável que a altura não seja um fator determinante na produtividade de grãos. Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2011), em uma área mantida em pousio e sob sistema de preparo convencional do solo, que observaram resposta quadrática da adubação nitrogenada para altura de plantas, com a maior altura de plantas observada (73,6 cm) na dose estimada de 24 kg ha^{-1} de N na semeadura. Pereira et al. (2010) e Parente (2014) também encontraram diferença de altura quando realizada a aplicação de N.

Os demais componentes da produção e produtividade de grãos da soja não foram influenciados pelo manejo de nitrogênio (Tabela 6). Esses resultados corroboram os obtidos por Aratani et al. (2008). Assim, fica evidente que em solos onde a nodulação ocorre de forma eficiente, a utilização de fertilizantes nitrogenados nos estádios que estão ocorrendo a máxima nodulação e FBN, em sistema plantio direto ou convencional, reduzirá a nodulação e a eficiência da FBN (EMBRAPA, 2011). Contudo, alguns estudos tem demonstrado aumento na produtividade de grãos quando a adubação nitrogenada é realizada na fase reprodutiva da cultura, pois a partir deste estágio a nodulação e a eficiência da FBN começam a reduzir (BAHRY et al., 2013).

Quanto ao fator ano, no ano de agrícola de 2013/2014 a altura de plantas, a massa de matéria seca, a população de plantas, o número de vagens por planta e a produtividade de grãos foram menores, sendo apenas a massa de 100 grãos foi superior (Tabela 6). Neste ano agrícola a pluviosidade foi menor e houve períodos de estiagem na fase vegetativa da cultura (Figura 1), assim, interferiu negativamente no crescimento da planta e na absorção dos nutrientes pelas plantas de soja (Tabela 5). Apesar da baixa produtividade nesta safra, 2.529 kg ha⁻¹, foi próxima a média nacional de 2.854 kg ha⁻¹ (CONAB, 2015).

7. CONCLUSÕES

A *Urochloa brizantha* produz e cicla maiores quantidades de palha e nutrientes, respectivamente, em relação a *Urochloa ruziziensis*, proporcionando maior produtividade de grãos da cultura da soja.

A aplicação de N, independentemente da época aplicada, não aumentou os componentes da produção e a produtividade de grãos da cultura da soja.

A antecipação da adubação nitrogenada proporcionou maior produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes nas espécies de cobertura, contudo, não refletiu em maior produtividade de grãos de soja.

8. REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Coord.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. 1. ed. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. p. 1-42.

ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. URQUIAGA, S. The success of BNF in soybean in Brazil. **Plant and Soil**, v. 252, p. 1-9, 2003.

ALVES, B.J.R.; ZOTARELLI, L.; FERNANDES, F.M.; HECKLER, J.C.; MACEDO, R.A.T.; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; URQUIAGA, S. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.449-456, 2006.

ALVIM, M.J.; BOTREL, M.A.; XAVIER, D.F. **As principais espécies de *Brachiaria* utilizadas no País**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2002. 4p. (Comunicado técnico, 22).

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, 2010. Cap.2, p 35-97.

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**

e calagem para o Estado de São Paulo. 2ªed. Campinas: IAC, p. 189-195, 1997 (Boletim Técnico 100).

ARANDA, V.; AYORA-CAÑADA, M. J.; DOMÍNGUEZ-VIDAL, A.; MARTÍN-GARCÍA, J. M.; CALERO, J.; DELGADO, R.; VERDEJO, T.; GONZÁLEZ-VILA, F. J. Effect of soil type and management (organic vs. Conventional) on soil organic matter quality in olive groves in a semi-arid environment in Sierra Mágina Natural Park (S Spain). **Geoderma**. v. 164, p. 54-63, 2011.

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.

ASSMANN, T. S.; RONZELLI JÚNIOR, P.; MORAES, A.; ASSMANN, A. L.; KOEHLER, H. S.; SANDINI, I. Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 27, p. 675-683, 2003.

BAHRY, C. A.; VENSKE, 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**. V. 6, n.21, p. 281-288, 2013.

BOER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F.R. Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.843-851, 2008.

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.

CAETANO, J. O. **Correção do solo e sistemas de rotação de culturas sobre a absorção de nutrientes e produção de soja**. 2011. 96 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, 2011.

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.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Coord.). **Fertilidade do solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

CARDOSO, E. J. B. N. **Microbiologia do solo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. 360 p.

CASTRO, O. M.; PRADO, H.; SEVEDO, A. C. R.; CARDOSO, E. J. B. N. Avaliação da atividade de microrganismos do solo em diferentes sistemas de manejo de soja. **Scientia Agricola**, v. 50, p. 212-219, 1993.

CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; HERBES, M.G.; POLETTO, N. & SILVEIRA, M.J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**. v. 32, p. 49-54, 2002.

CHIODEROLI, C. A. **Consortiação de *Urochloas* com milho em sistema plantio direto como cultura antecessora da soja de verão**. 2013. 174 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, p. 37-43, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, nono levantamento**. Brasília: Conab, 2015. 104 p.

CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.S. de; INOUE, M.H.; CAVALIERI, S.D.; ARANTES, J.G.Z. de. Sistemas de manejo de plantas daninhas no desenvolvimento e na produtividade da soja. **Bragantia**, v.68, p.125-135, 2009.

COOK, P. L. M., et al. **Quantification of denitrification in permeable sediments: Insights from a two dimensional simulation analysis and experimental data**. *Limnol. Oceanogr. Methods* 4: 294–307. 2006.

COSTA, N. R. **Desempenho técnico e econômico da produção de milho e sorgo para silagem e soja em sucessão em sistema irrigado de integração-pecuária no cerrado**. 226 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M. ULIAN, N. A.; COSTA, B. S.; PARIZ, C. M.; CAVASANO, F. A.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Produtividade da soja sobre palhada de forrageiras semeadas em diferentes épocas e alterações químicas no solo. **Agrária**. Recife. v. 10, n. 1, p. 8-16, 2015.

CRISPINO, C. C.; FRANCHINI, J. C.; MORAES, J. Z.; SIBALDELLE, R. N. R.; LOUREIRO, M. F.; SANTOS, E. N.; CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M. **Adubação Nitrogenada na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. (Comunicado Técnico, 75).

CRUSCIOL, C.A.C.; MATEUS, G.P.; NASCENTE, A.S.; MARTINS, P.O.; BORGHI, E.; PARIZ, C.M. An innovative crop-forage intercrop system: early cycle soybean cultivars and palisadegrass. **Agronomy Journal**, v.104, p.1085-1095, 2012.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; BORGHI, E.; MATEUS, G. P. Integração lavoura-pecuária: benefícios das gramíneas perenes nos sistemas de produção. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 125, p. 2-15, 2009.

CRUSCIOL, C.A.C et al. Taxa de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, v.67, n.2, p.481-489, 2008.

CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R. P. Nutrição e produtividade do amendoim em sucessão ao cultivo de plantas de cobertura no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 42, n. 11, p. 1153-1560, 2007.

CRUSCIOL, C.A.C. et al. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.2, p.161-168, 2005.

D'ANDRÉA, M. S. C. **Técnicas da diluição do isótopo ^{15}N para determinação da amonificação e nitrificação brutas de N em solos cultivados com cana-de-açúcar e braquiária**. 2014. 109 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Fixação biológica de nitrogênio**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-fixacao-biologica-de-nitrogenio/nota-tecnica>>. Acesso em: 15 mai 2015.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Londrina, PR). **Tecnologias de produção de soja** – região central do Brasil 2012 e 2013. Londrina, 2011. 261 p. (Sistemas de produção, n. 15).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 353 p. 2013.

FAGUNDES, J. L.; FONSECA, D. M.; MISTURA, C.; MORAIS, R. V.; VITOR, C. M. T.; GOMIDE, J. A.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; CASAGRANDE, D. R.; COSTA, A. T. Características morfológicas e estruturais do capim-braquiária em pastagem adubada com nitrogênio avaliadas nas quatro estações do ano. **Revista brasileira de zootecnia**. v. 35, n.1, p. 21-29, 2006.

FANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; CONTE, O. Soybean performance as affected by desiccation time of *Urochloa ruziziensis* and grazing pressures. **Ciência Agrônômica**. Fortaleza, v. 45, n. 5, p. 999-1005. 2014.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a program for statistical analysis and teaching. **Revista Symposium**, v. 6, p. 36–41, 2008.

FONTES. J. G. G. et al. Acúmulo de massa seca em cultivares de *Brachiaria brizantha* submetida a intensidades de desfolhação. **Ciências Agrárias**. Fortaleza, v. 35, n. 3, p. 1425-1438, 2014.

FONSECA, J. A.; MEURER, E. J. Inibição da absorção de magnésio pelo potássio em plântulas de milho em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 47–50, 1997.

GAN, Y.; STULEN, I.; VAN KEULEN, H.; KUIPER, P.J.C. Effect of N fertilizer top-dressing at various reproductive stages on growth, N_2 fixation and yield of three soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) genotypes. **Field Crops Research**, v.80, p.147-155, 2003.

GIANCOTTI, P. R. F. **Período de dessecação de *Brachiaria ruziziensis* e *B. brizantha* antecedendo o plantio direto do girassol**. 2012. 39 f. Dissertação (Mestrado em Produção

Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2012.

HAYASHI, K.; YAN, X. Y. Airborne nitrogen load in Japanese and Chinese agroecosystems. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 56, n. 1, p. 2-18, 2010.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistema de manejo do solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, n. 2, p. 145-154, 1999.

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.

HIRATA, A. C. et al. Plantas de cobertura no controle de plantas daninhas na cultura do tomate em plantio direto. **Planta Daninha**, v. 27, n. 3, p. 465-472, 2009.

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.; 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 N₂ fixation and of N fertilizer to grain yield. **Canadian Journal of Plant Science**, v.86, p.927-939, 2006.

KHATOUNIAN, C.A. O manejo da fertilidade em sistemas de produção. In: CASTRO FILHO, C.; MUZILLIO, O. (Ed.). **Uso e manejo dos solos de baixa aptidão agrícola**. Londrina: IAPAR, 1999. p.179-221. (Circular, 108).

KLUTHCOUSKI, J. et al. **Sistema Santa Fé – tecnologia Embrapa**: integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. (Circular técnica, 38).

KLUTHCOUSKI, J. **Efeito de manejo em alguns atributos de um latossolo roxo sob cerrado e nas características produtivas de milho, soja. Arroz e feijão, após oito anos de plantio direto**. 1998, 179p. Tese (Doutorado em Solos) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

KRUTZMANN, A.; CECATO, U.; SILVA, P. A.; TORMENA, C. A.; IWAMOTO, B. S.; MARTINS, E. N. Palhadas de gramíneas tropicais e rendimento da soja no sistema de integração lavoura-pecuária. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 29, n.4, p. 842-851, 2013.

LAL, R. & LOGAN, T.J. **Agricultural activities and greenhouse gas emissions from soils of the tropics**. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; LEVINE, E. & STEWART, B.A., eds. *Soil management greenhouse effect*. Boca Raton, CRC Press, 1995. p.293-307.

LEITE, L.F.C.; FREITAS, R.C.A.; SAGRILO, S.; GALVÃO, S.R.S. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. **R. Ci. Agron.**, 41:29-35, 2010.

LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. **Manual técnico de manejo e conservação desolo e água**. Campinas: CATI, v. 2, 1994, 168p.

MACEDO, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.133-146, 2009.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 308p.

MASCARENHAS, H.A.A. & TANAKA, R.T. Soja. In: RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p.202-203. (Boletim Técnico, 100).

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3rd ed. New York, Academic Press, 2012, 651p.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L.; SOUSA, D. M. G. Adubação nitrogenada. In: (Ed.). **Cerrado: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. p. 117-144.

MARTORANO, L.G.; FARIA, R.T.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A. Evaluation of the CROPGROW/DSSAT model performance for simulating plant growth and grain yield of soybeans subjected and no-tillage and conventional systems in the Subtropical Southern Brazil. **Italian Journal of Agronomy**, v.3, p.795-796, 2008.

MATA, F. S. D.; ALMEIDA, J. A. R.; REIS, T. C.; SOUZA, D. S.; MAURICIO, I. S. Eficiência da fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja com aplicação de diferentes doses de molibdênio (Mo) e cobalto (Co). **Revista Trópica**, Chapadinha, v. 5, n. 2, p. 15-22, 2011.

MENDES, I.C.; HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T. Soybean response to starter nitrogen and *Bradyrhizobium* inoculation on a Cerrado Oxisol under no-tillage and conventional tillage systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.81-87, 2003.

MENDES, I de 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.

MENEZES, L. A. S.; LEANDRO, W. M.; OLIVEIRA JUNIOR, J. P.; FERREIRA, A. C. B.; SANTANA, J. G.; BARROS, R. G. Produção de fitomassa de diferentes espécies isoladas e consorciadas, com potencial de utilização para cobertura do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 1, p. 07-12, 2009.

MONQUERO, P. A.; MILAN, B.; SILVA, P.C.; HIRATA, A. C. S. (2010) Intervalo de dessecação de espécies de cobertura do solo antecedendo a semeadura da soja. **Planta Daninha**, v.28, p.561-573, 2010.

MOREIRA, J. A. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, J. G.; STONE, L. F. **Sistema plantio direto**. In: MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; BIAVA, M. Feijão: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p.63-72, 2003

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006. 729 p.

MAUAD, M.; SILVA, T. L. B.; NETO, A. I. A.; ABREU, V. G. Influência da densidade de semeadura sobre características agronômicas na cultura da soja. **Agrarian**. Dourados, v. 3, n.9, p. 175-181, 2010.

NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C. Cover crops and herbicide timing management on soybean yield under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 2, p. 187-192, 2012.

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.

PACHECO, L. P.; BARBOSA, J. M.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. A.; ASSIS, R. L.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v. 48, n. 9, p. 1228-1236, 2013.

PACHECO L. P.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. A.; ASSIS, R. L.; COBUCCI, T.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 46, n. 1, p. 17-25, 2011.

PACHECO, L.P.; PIRES, F.R.; MONTEIRO, F.P.; PROCOPIO, S.O.; ASSIS, R.L.; CARMO, M.L.; PETTER, F.A. Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.815-823, 2008.

PARENTE, T. L. **Adubação nitrogenada em genótipos de soja associada à inoculação em semeadura direta no cerrado**. 2014. 49 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2014.

PARIZ, C.M.; ANDREOTTI, M.; BUZZETTI, S.; BERGAMASCHINE, A.F.; ULIAN, N.A.; FURLAN, L.C.; MEIRELLES, P.R. de L.; CAVASANO, F.A. Straw decomposition of nitrogen-fertilized grasses intercropped with irrigated maize in an integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2029-2037, 2011.

PARIZ, C. M. **Desempenhos técnicos e econômicos de um sistema de integração lavoura-pecuária com a cultura do milho e adubação nitrogenada de capins dos gêneros Panicum e Brachiaria sob irrigação no cerrado**. 2010. 153 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.

PARIZ, C.M.; ANDREOTTI, M.; TARSITANO, M.A.A.; BERGAMASCHINE, A.F.; BUZZETTI, S.; CHIODEROLI, C.A. Desempenhos técnicos e econômicos da consorciação de milho com forrageiras dos gêneros Panicum e Brachiaria em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.39, p.360-370, 2009.

PATEL, S. K.; RHOADS, F. M.; HANLON, E. A.; BARNETT, R. D. Potassium and magnesium uptake by wheat and soybean roots as influenced by fertilizer rate. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 24, n. 13-14, p. 1543–1556, 1 ago. 1993.

PECK, N. H.; MACDONALD, G. E. Sweet corn plant responses to P and K in the soil and to band-applied monoammonium phosphate, potassium sulfate, and magnesium sulfate. **American Society for Horticultural Science Journal**, v. 114, n. 2, p. 269–272, 1989.

PEOPLES, M.B.; BROCKWELL, J.; HERRIDGE, D.F.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. DAKORA, F.D.; BHATTARAI, S.; MASKEY, S.L.; SAMPET, C.; RERKASEM, B.; HAUGGAARD-NIELSEN, H.; JENSEN, E.S. Biological nitrogen fixation by food legumes. In: Kharkwal MC (ed) Food legumes for nutritional security and sustainable agriculture, 2008. **Proceedings...** 4th International Food Legumes Research Conference (IFLRC-IV), New Delhi, India. Indian Society of Genetics and Plant Breeding, New Delhi (in press), 2008.

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**, Mossoró, v. 25, n. 1, p. 67-72, 2012.

Prando, M. B.; Olibone, D.; Olibone, A. P. E.; Rosolem, C. A. Infiltração de água no solo sob escarificação e rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p. 693-700, 2010.

PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J. B.; PIRES, F. R.; SILVA, A. A.; MENDONÇA, E. S. Absorção e utilização do nitrogênio pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 3, 2004, p. 365-374.

RAHMATULLAH; BAKER, D. E. Magnesium accumulation by corn (*Zea mays* L.) as a function of potassium-magnesium exchange in soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 45, p. 899–903, 1981.

RAIJ, B. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RAZUK, R. B. **Avaliação do sistema radicular de acessos de *Brachiaria brizantha* e suas relações com atributos químicos e físicos do solo**. 2002. 56 p. Dourados, Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Dourados, 2002.

REHM, G. W.; SORENSEN, R. C. Effects of Potassium and Magnesium Applied for Corn Grown on an Irrigated Sandy Soil. **Soil Science**, v. 49, p. 1446–1450, 1985.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de coberturas de solo em função da quantidade de chuva recebida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 355-362, 2003.

RUFINO, M.C.; TTTTONELL, P.; REIDSMA, P.; LÓPEZ-RIDAURA, S.; HENGSDIJK, H.; GILLER, K.E.; VERHAGEN, A. Network analysis of N flows and food self-sufficiency – a comparative study of crop-livestock systems of the highlands of East and southern Africa. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.85, p.169-186, 2009.

SANTI, A.; AMADO, T. J. C.; ACOSTA, J. A. A. Adubação nitrogenada na aveia preta. I - Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p. 1075-1083, 2003.

SANTOS JÚNIOR, J. D. **Dinâmica de crescimento e nutrição do capim-marandu submetido a doses de nitrogênio**. 2001. 88f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SHAW, R. D.; TRIMBEE, A. M.; MINTY, H.; FRICKER, H.; PREPAS, E. E. Atmospheric deposition of phosphorus and nitrogen in central Alberta with emphasis on Narrow Lake. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 43, n. 1-2, p. 119-134, 1989.

SILVA, A. F.; CARVALHO, M. A. C.; SCHONINGER, E. L.; MONTEIRO, S.; CAIONE, G.; SANTOS, P.A. Doses de inoculante e nitrogênio na semeadura da soja em área de primeiro cultivo. **Bioscience Journal**, Uberlandia, v. 27, n. 3, p. 404-412, 2011.

SIMIDU, H. M.; SÁ, M. E.; SOUZA, L. C. D.; ABRANTES, F. L.; SILVA, M. P.; ARF, O. Efeito do adubo verde e época de semeadura sobre a produtividade do feijão, em plantio direto em região de cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 32, n.2, p. 309-315, 2010.

SPAIN, J. M.; SALINAS, J. G. A reciclagem de nutrientes nas pastagens tropicais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 16., 1984, Ilhéus. **Anais... Ilhéus: Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira**, 1985. p. 259-299.

SUBBARAO, G. V. et al. NH_4^+ triggers the synthesis and release of biological nitrification inhibition compounds in *Brachiaria humidicola* roots. **Plant and Soil**, The Hague, v. 290, p. 245-257, 2007a.

SUBBARAO, G. V. et al. Can biological nitrification inhibition (BNI) genes from perennial *Leymus racemosus* (Triticeae) combat nitrification in wheat farming? **Plant and Soil**, The Hague, v. 299, p. 55-64, 2007b.

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

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PIMENTEL, C. Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milho e sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 867-876, 2011.

TIMOSSI, P. C.; DURIGAN, J. C.; LEITE, G. J. Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 617-622, 2007.

THOMAS, A.L.; COSTA, J.A. **Desenvolvimento da planta de soja e o potencial de rendimento de grãos**. In: THOMAS, A.L.; COSTA, J.A. (Ed.). Soja: manejo para alta produtividade de grãos. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p.13-33.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; FABIAN, A.J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.421-428, 2008.

TORRES, J. L. R.; FABIAN, A. J.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I. Influência de plantas de cobertura na temperatura e umidade do solo na rotação milho-soja em plantio direto. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.12, n.1, p.107-113, 2006.

TRACY, B.F.; ZHANG, Y. Soil compaction, corn yield response, and soil nutrient pool dynamics within an integrated crop-livestock system in Illinois. **Crop Science**, v.48, p.1211-1218, 2008.

TRZECIAK, M. B. **Formação de sementes de soja: aspectos físicos, fisiológicos e bioquímicos**. 2012. 130 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.

UNKOVICH, M.J.; PATE, J.S. An appraisal of recent field measurements of symbiotic N₂ fixation by annual legumes. **Field Crops Research**, v.65, p.211-228, 2000.

VAN KESSEL, C.; HARTLEY, C. Agricultural management of grain legumes: has it led to an increase in nitrogen fixation? **Field Crops Research**, v.65, p.165-181, 2000.

VARGAS, M. A. T.; MENDES, I. C.; SUHET, A. R. PERES, J. R. R. Fixação biológica de nitrogênio. In: ARANTES, N. E.; SOUSA, P. I. M. (Ed.). **Cultura da soja nos cerrados**. 2ª ed. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba: Potafos, 1993. p. 159-182.

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.

WESLEY, T.L.; LAMOND, R.E.; MARTIN, V.L.; DUNCAN, S.R. Effects of late-season nitrogen fertilizer on irrigated soybean yield and composition. **Journal of Production Agriculture**, v.11, p.331-336, 1998.

WILD, M. A. **An evaluation of the use of the nitrification inhibitor dicyandiamide (DCD) to reduce nitrogen losses from intensive sheep winter grazing systems**. 2009. 56 f. Dissertation (Bachelor of Agricultural Science) - Lincoln University, New Zealand, 2009.

XU, X.; HIRATA, E. Decomposition patterns of leaf litter of seven common canopy species in a subtropical forest: N and P dynamics. **Plant and Soil**. v. 273, p. 279-289. 2000.