



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

RENAN RIBEIRO BARZAN

**CONSÓRCIO MILHO-BRAQUIÁRIA E DOSES DE
NITROGÊNIO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO,
NUTRICIONAIS DAS PLANTAS E PRODUTIVIDADE DO
MILHO E DA SOJA EM SUCESSÃO**

Londrina
2020

RENAN RIBEIRO BARZAN

**CONSÓRCIO MILHO-BRAQUIÁRIA E DOSES DE
NITROGÊNIO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO,
NUTRICIONAIS DAS PLANTAS E PRODUTIVIDADE DO
MILHO E DA SOJA EM SUCESSÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia) da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Claudemir Zucareli

Londrina
2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

R393 Barzan, Renan Ribeiro.
Consórcio milho-braquiária e doses de nitrogênio nos atributos químicos do solo, nutricionais das plantas e produtividade do milho e da soja em sucessão / Renan Ribeiro Barzan. - Londrina, 2020.
88 f. : il.

Orientador: Claudemir Zucareli.
Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2020.
Inclui bibliografia.

1. Consorciação de plantas - Tese. 2. Adubação nitrogenada - Tese. 3. Sistema plantio direto - Tese. 4. Competição por nutrientes - Tese. I. Zucareli, Claudemir. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 63

RENAN RIBEIRO BARZAN

**CONSÓRCIO MILHO-BRAQUIÁRIA E DOSES DE NITROGÊNIO NOS
ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, NUTRICIONAIS DAS PLANTAS E
PRODUTIVIDADE DO MILHO E DA SOJA EM SUCESSÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia) da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Claudemir Zucareli
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Dr. André Sampaio Ferreira
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Dr. Gustavo Adolfo de Freitas Fregonezi
Centro Universitário Filadélfia – UNIFIL

Dr. Thadeu Rodrigues de Melo
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Dra. Maria de Fátima Guimarães
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 27 de fevereiro de 2020.

Aos meus pais, Dalmo e Vanilda, à
minha irmã, Liége, e à minha noiva,
Isabelle, fontes de inspiração e
motivação, dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que criou este Universo com mistérios pelos quais a criatividade humana aflora na busca por conhecimento.

Ao meu orientador, professor Dr. Claudemir Zucareli, por apoiar desde o início a minha pesquisa, por acreditar no meu potencial para fazer Ciência e por aceitar o desafio de auxiliar em minha formação intelectual, profissional e pessoal.

A Universidade Estadual de Londrina (UEL) e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, pela oportunidade de realizar toda minha formação acadêmica.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida nos primeiros meses do curso.

Aos meus pais, Dalmo e Vanilda, por me apoiarem do momento que decidi seguir o caminho das Ciências Agrônômicas, até o último passo rumo ao título de Doutor. Amo vocês de uma forma que as palavras não podem expressar.

A minha irmã, Liége, pelo convívio harmonioso, pelos momentos de descontração e, principalmente, pelo apoio nas análises laboratoriais. Sem você, esse trabalho não seria concluído.

A minha noiva, Isabelle, que grato encontro tivemos logo nos primeiros anos deste Doutorado; você surgiu no momento que eu mais precisava e esteve comigo desde então, me incentivou a sempre dar meu melhor, a não desistir nunca. Mesmo nas fases mais difíceis, nas noites de escrita sem dormir, nos finais de semana que não pudemos compartilhar a presença um do outro. E você sempre compreensiva, amorosa, companheira. Pelo tempo que viver, te amarei e serei grato!

Aos companheiros do Portal Ciência do Solo, Luiz Tadeu Jordão, Carlos Melo, Pedro Versari, Thiago Secato e Ruan Firmano, pelas tantas trincheiras abertas, saquinhos identificados, plantas e solos coletados, calos e feridas nas mãos. Tenham certeza que a amizade de vocês fez tudo isso ser mais prazeroso.

Aos colegas de extensão rural do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná, em especial Juvaldir Olímpio, que me acolheu como um filho e me mostrou que teoria e prática precisam andar juntos.

A todos que de alguma forma contribuíram para que este trabalho se tornasse possível.

“É impossível construir um mundo pacífico com estômagos vazios e miséria humana”

Norman Borlaug

BARZAN, Renan Ribeiro. **Consórcio milho-braquiária e doses de nitrogênio nos atributos químicos do solo, nutricionais das plantas e produtividade do milho e da soja em sucessão**. 2020. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

RESUMO

O cultivo de milho segunda safra e soja em sucessão ocupa área expressiva no Brasil, onde o sistema plantio direto (SPD) é amplamente adotado. Um dos princípios do SPD é a manutenção de cobertura vegetal na superfície do solo e a adoção do consórcio milho-braquiária é uma das estratégias para favorecer esse princípio do sistema. Entretanto, são necessários estudos regionalizados para melhor entendimento do impacto da introdução dessa forrageira sobre a fertilidade do solo, a nutrição e a produtividade das culturas de milho e soja. Ainda, é possível que no sistema de consorciação de culturas, a necessidade de fornecimento de nutrientes seja alterada, especialmente do nitrogênio (N), devido a competição interespecífica. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi verificar se o sistema de cultivo de milho, envolvendo ou não a consorciação com braquiária (*Urochloa ruziziensis*), associado a doses de N, proporcionam modificações nos atributos químicos do solo, na nutrição das plantas e em aspectos fitotécnicos no cultivo de milho e soja em sucessão. O experimento foi conduzido em condições de campo no delineamento experimental de blocos casualizados em esquema fatorial 2x4x3, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em dois sistemas de cultivo de milho no outono-inverno, solteiro e consorciado com *U. ruziziensis*, além de quatro doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ N) e três anos agrícolas. O N foi aplicado anualmente na forma de nitrato de amônio (30% N), parte em semeadura (40 kg ha⁻¹ N) e o restante em cobertura no cultivo do milho. Foram realizadas avaliações quanto aos seguintes atributos químicos do solo: pH CaCl₂, Carbono Orgânico Total, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Soma de Bases, H + Al, CTC_{pH7,0}, V% e P Mehlich-1, na profundidade de 0,0 a 0,20 m, bem como os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Mn, Fe, Cu e B nas folhas-índice do milho e da soja. Foi avaliada a produtividade de grãos das culturas e de massa seca da parte aérea da braquiária (MSB). Após a semeadura da soja na última safra, avaliou-se ainda a porcentagem de cobertura do solo por palha. Os atributos químicos do solo não foram influenciados pelos sistemas de cultivo e doses de N, mesmo após três anos de milho e soja em sucessão. Os teores foliares de P, K, S e Cu do milho foram inferiores no sistema de consorciação, enquanto a adubação nitrogenada favoreceu os teores de P, S e Cu para o milho e de Mn para a soja. A resposta ao N para a produtividade de MSB e de grãos do milho foi variável conforme as condições do ano, sendo mais pronunciada quando a ocorrência de déficit hídrico foi menor, sem interação com o sistema de cultivo adotado. O impacto do consórcio com *U. ruziziensis* na produtividade do milho também teve dependência do ano, podendo chegar a 15% de redução. Houve aumento na cobertura do solo por palha com a adoção do sistema de cultivo de milho consorciado. Contudo, a produtividade da soja não foi influenciada pelos diferentes sistemas. O nitrogênio aplicado na cultura do milho promoveu incremento linear na produtividade de grãos da soja em sucessão.

Palavras-chave: *Glycine max* L. Merril. *Urochloa ruziziensis*. *Zea mays* L. Adubação nitrogenada. Consorciação. Sistema Plantio Direto.

BARZAN, Renan Ribeiro. **Intercropped maize-urochloa and nitrogen rates on soil chemical attributes, plant nutrients and yield of maize and soybean in succession**. 2020. 88 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

ABSTRACT

The succession of off-season maize and soybean occupies an expressive area in Brazil, where no-till (NT) system is widely adopted. One of the NT principles is to maintain soil surface cover and maize-*Urochloa* intercropping is one of the strategies to achieve that. However, regional studies are necessary for a better understanding of the impact on soil chemical fertility, nutrition and yield of maize and soybean plants when introducing these forages. Besides, intercropping may lead to changes on the nutrients requirements, especially for nitrogen (N), due to interspecific competition. Thus, the aim was to verify whether maize production systems, involving or not the intercropping with *Urochloa ruziziensis*, associated to N rates, are able to modify soil chemical attributes, plant nutrition and yield performance of maize and soybean grown in succession. The experiment was carried out in field conditions following a random blocks experimental design in factorial scheme 2x4x3, with four replications. The treatments consisted of two maize cropping systems in the autumn/winter season, sole and intercropped with *U. ruziziensis*, associated to four N rates (0, 40, 80 and 120 kg ha⁻¹ N) and three agricultural years. N was applied as ammonium nitrate (30% N), part at sowing (40 kg ha⁻¹ N) and the rest at maize topdressing. The following soil chemical attributes were evaluated: pH CaCl₂, Total Organic Carbon, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Sum of Bases, H + Al, CEC_{pH7,0}, V% and P Mehlich-1, from 0,0 to 0,20 m depth, as well as the leaf contents of N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Mn, Fe, Cu and B for maize and soybean. The yield of the crops in succession and the dry mass of the shoots of *U. ruziziensis* (DMS) after maize harvesting were assessed. After the soybean sowing in the last season, the percentage of soil straw covering was evaluated. The soil chemical attributes were not influenced by the cropping systems nor the N rates, even after three years of maize and soybean in succession. The leaf contents of P, K, S and Cu of maize were negatively affected by intercropping, while nitrogen fertilization promoted higher P, S and Cu contents for maize and Mn for soybean. The response for N rates on DMS and maize yield was variable according to year conditions, being more pronounced the lower was the occurrence of water deficit and had no interaction with the cropping system adopted. The impact of intercropping with *U. ruziziensis* on maize yield also had year dependency and may reach even 15% decrease. There was a higher soil surface cover for NT when maize intercropping was adopted. However, soybean yield was not influenced by the different systems. The N applied for maize, sole or intercropped, provided linear increment for soybean yield in succession.

Keywords: *Glycine max* L. Merrill. *Urochloa ruziziensis*. *Zea mays* L. Intercropping. Nitrogen fertilization. No-tillage system.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

ARTIGO A

- Figura 3.1** Estimativas de déficit e excedente hídricos no solo (mm) e temperaturas do ar ($^{\circ}\text{C}$) máxima e mínima obtidas em estação meteorológica do INMET localizada no município de Maringá-PR, entre os meses de março a julho (milho) e outubro a fevereiro (soja) do último ano agrícola34
- Figura 3.2** Teores de fósforo (P, g kg^{-1}) (a) e cálcio (Ca, g kg^{-1}) (b) na folha-índice de milho em função da interação entre doses de nitrogênio (N) e sistemas de cultivo de milho segunda safra.....42
- Figura 3.3** Teor de potássio (K, g kg^{-1}) na folha-índice de milho em função de sistemas de cultivo na segunda safra.44
- Figura 3.4** Teor de enxofre (S, g kg^{-1}) na folha-índice de milho em função de doses de nitrogênio (N) (a) e sistemas de cultivo na segunda safra (b).....44
- Figura 3.5** Teor de cobre (Cu, mg kg^{-1}) na folha-índice de milho em função de doses de nitrogênio (N) (a) e sistemas de cultivo na segunda safra (b).....46
- Figura 3.6** Teor de manganês (Mn, mg kg^{-1}) na folha-índice de soja em função de doses de nitrogênio (N)47

ARTIGO B

- Figura 4.1** Estimativas de déficit e excedente hídricos no solo (mm) e temperaturas do ar ($^{\circ}\text{C}$) máxima e mínima obtidas em estação meteorológica do INMET localizada no município de Maringá-PR, entre os meses de março a julho (milho) e outubro a fevereiro (soja) de cada ano agrícola.....53
- Figura 4.2** Massa seca (kg ha^{-1}) da parte aérea da braquiária (MSB) no último ano agrícola em função de doses de nitrogênio (N) aplicadas em consórcio com milho segunda safra (a) e dos diferentes anos agrícolas (b).....57

Figura 4.3	Cobertura do solo por palha (%) após a semeadura da soja em função de sistemas de cultivo de milho segunda safra no último ano agrícola.....	59
Figura 4.4	Produtividade de grãos de milho (kg ha^{-1} , 13% U) em diferentes anos agrícolas e sua interação com sistemas de cultivo de milho segunda safra (a) e doses de nitrogênio (N) (b).....	61
Figura 4.5	Produtividade de grãos de soja (kg ha^{-1} , 13% U) em função de doses de nitrogênio (N) aplicadas no cultivo antecessor de milho segunda safra (a) e de diferentes anos agrícolas (b)	66

LISTA DE TABELAS

ARTIGO A

Tabela 3.1	Atributos químicos do solo nas camadas de 0,0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m, amostrados anteriormente à instalação do experimento34
Tabela 3.2	Resultado da análise de variância para os atributos químicos do solo em função de sistemas de cultivo de milho segunda safra com e sem consorciação com braquiária (<i>Urochloa ruziziensis</i>) associado a doses de nitrogênio (N), avaliados ao final do experimento na camada de 0,0 a 0,20 m de profundidade.....37
Tabela 3.3	Resultado da análise de variância para o teor de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) nas folhas-índice de milho e soja em função de doses de nitrogênio (N) e sistemas de cultivo de milho segunda safra40
Tabela 3.4	Médias gerais dos teores de nutrientes nas folhas-índice de soja e milho que não apresentaram efeitos dos fatores estudados e os respectivos teores de referência para o estado do Paraná.41
Tabela 3.5	Resultado da análise de variância para os teores de zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe), cobre (Cu) e boro (B) nas folhas-índice de milho e soja em função de doses de nitrogênio (N) e sistemas de cultivo de milho segunda safra45
ARTIGO B	
Tabela 4.1	Atributos químicos do solo nas camadas de 0,0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m, amostrados anteriormente à instalação do experimento54
Tabela 4.2	Resultado da análise de variância para a massa seca da parte aérea da braquiária (MSB) e porcentagem de cobertura do solo por palha (COB) após a semeadura da soja em função de doses de nitrogênio (N), sistemas de cultivo de milho

	segunda safra e ano agrícola.....	57
Tabela 4.3	Resultado da análise de variância para a produtividade de grãos de milho e soja em função de doses de nitrogênio (N), sistemas de cultivo de milho segunda safra e ano agrícola	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	ASPECTOS GERAIS DAS CULTURAS DE MILHO E SOJA NO BRASIL	16
2.1.1	Aspectos Botânicos e Morfológicos das Culturas de Milho e Soja.....	17
2.1.2	Ecofisiologia das Culturas de Milho e Soja	18
2.2	NITROGÊNIO EM MILHO E SOJA	21
2.2.1	Aquisição, Assimilação e Uso pelas Plantas.....	21
2.2.2	Manejo de Fornecimento.....	22
2.3	CONSÓRCIO DE MILHO COM FORRAGEIRAS	26
3	ARTIGO A - ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E NUTRICIONAIS DE MILHO E SOJA COM A ADOÇÃO DO CONSÓRCIO MILHO-BRAQUIÁRIA ASSOCIADO A DOSES DE NITROGÊNIO	30
3.1	RESUMO	30
3.2	ABSTRACT.....	31
3.3	INTRODUÇÃO	31
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	33
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
3.5.1	Atributos Químicos do Solo.....	37
3.5.2	Estado Nutricional das Plantas Cultivadas.....	39
3.6	CONCLUSÕES.....	48
4	ARTIGO B - CONSORCIAÇÃO COM BRAQUIÁRIA ASSOCIADA A DOSES DE NITROGÊNIO SOBRE ASPECTOS FITOTÉCNICOS NO CULTIVO DE MILHO SEGUNDA SAFRA E DE SOJA EM SUCESSÃO	49
4.1	RESUMO	49
4.2	ABSTRACT.....	50
4.3	INTRODUÇÃO	50

4.4	MATERIAL E MÉTODOS	52
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
4.5.1	Massa Seca da Parte Aérea da Braquiária e Cobertura do Solo por Palha.....	56
4.5.2	Produtividade de Grãos do Milho Segunda Safra	60
4.5.3	Produtividade de Grãos da Soja	64
4.6	CONCLUSÕES.....	68
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
	REFERÊNCIAS.....	71
	ANEXOS	86
	ANEXO A – Imagens aéreas obtidas por meio de veículo aéreo não tripulado (VANT) da Área Experimental do Portal Ciência do Solo localizada no município de Itambé-PR, com destaque para o experimento utilizado na presente tese	87
	ANEXO B – Avaliação da porcentagem de cobertura do solo por palha por meio do tratamento de imagens obtidas com câmera multiespectral acoplada a um veículo aéreo não tripulado (VANT) após a semeadura da soja no último ano agrícola	88

1 INTRODUÇÃO

A sucessão entre a soja e o milho de segunda safra é um dos principais sistemas de produção agrícola da região Centro-Sul do Brasil. No estado do Paraná, em especial, a soja é a cultura de grãos que prevalece no período de primavera-verão, proporcionando rentabilidade expressiva ao agricultor. O milho, por sua vez, predomina no outono-inverno e, ainda que o retorno econômico observado nos últimos anos não seja tão significativo como o obtido na safra de verão com a soja, se apresenta como alternativa para otimizar o uso do solo e propiciar renda frente ao pousio.

A interação dessas culturas com o ambiente de produção é preponderante para a obtenção de elevadas produtividades, com destaque para as variações meteorológicas entre anos de cultivo. Ainda, aspectos relacionados ao solo, notavelmente o armazenamento e a disponibilidade de água e nutrientes minerais, podem afetar sobremaneira o desenvolvimento das plantas e devem ser considerados no manejo do sistema de cultivo.

Para as condições tropicais e sub-tropicais, as quais prevalecem na maior parte da área de cultivo de grãos como a soja e o milho no Brasil, os resultados de anos de pesquisa apontam para a superioridade do manejo do solo em sistema de plantio direto (SPD). Neste, a manutenção dos restos culturais sobre a superfície do solo aumenta a conservação de água na área, ao reduzir o impacto das gotas de chuva e facilitar a sua infiltração, além de dificultar a evaporação posterior. As oscilações de temperatura também são minimizadas pela cobertura vegetal. Em suma, cria-se um ambiente mais favorável ao desenvolvimento de diferentes formas de vida, dos microrganismos às plantas superiores.

No entanto, em boa parte das áreas onde o SPD não é adotado em sua plenitude, com ausência de rotação de culturas e somente cultivo de soja e milho em sucessão, observa-se menor produção de palhada. Não fosse apenas a quantidade inferior de restos culturais, a soja apresenta ainda uma rápida decomposição da palhada, devido a baixa relação C/N. Ainda, as condições do clima como elevada temperatura e umidade aceleram a decomposição desses resíduos vegetais.

Diante disso, tem-se utilizado forrageiras tropicais em consorciação com o milho de segunda safra, especialmente do gênero *Urochloa* (braquiárias), no

intuito de aumentar a produção de biomassa vegetal no agroecossistema e elevar a cobertura morta na superfície do solo. Desse modo, pode-se aprimorar o sistema plantio direto sem necessidade de suprimir uma safra de grãos em detrimento do cultivo solteiro de uma cultura de cobertura.

Além disso, preconiza-se que o sistema de raízes agressivo dessas espécies forrageiras é capaz de promover melhorias em diversos atributos do solo, como redução da compactação e aumento da reciclagem de nutrientes. Com isso, espera-se que a introdução da forrageira na área possa potencializar os benefícios do SPD sobre o desenvolvimento das culturas de grãos, tanto da soja em sucessão quanto do milho em consorciação, principalmente amenizando os efeitos da ocorrência de déficit hídrico.

Por outro lado, a utilização da braquiária em sistema de consórcio gera questionamentos quanto aos impactos da competição interespecífica com as plantas de milho. Sendo assim, carece de maior esclarecimento a possibilidade de alterações na necessidade de fornecimento de nutrientes, principalmente de nitrogênio (N), devido a elevada exigência deste por essas plantas. Além disso, outra questão diz respeito ao possível aproveitamento e resposta da cultura da soja ao N aplicado no cultivo do milho, quer seja pela utilização por parte da leguminosa do próprio nutriente remanescente no sistema ou pelo favorecimento que o maior aporte de N possa promover sobre a produção de biomassa no outono-inverno, e conseqüentemente, no aumento da ciclagem dos demais nutrientes.

Por se tratar de um sistema relativamente recente, existem poucos estudos de maior prazo que possibilitem entender melhor o impacto do consórcio milho-braquiária sobre aspectos químicos do solo, nutricionais das plantas e a consequência sobre a produtividade das culturas, assim como a resposta a adubação nitrogenada nesse sistema de produção.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi verificar se o sistema de cultivo de milho, envolvendo ou não a consorciação com braquiária (*Urochloa ruziziensis*), associado a doses de N, proporcionam modificações nos atributos químicos do solo, na nutrição das plantas e em aspectos fitotécnicos no cultivo de milho e soja em sucessão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS GERAIS DAS CULTURAS DE MILHO E SOJA NO BRASIL

A soja (*Glycine max* L. Merrill) e o milho (*Zea mays* L.) são as duas principais culturas de grãos cultivadas no Brasil. Ambas se destacam como matéria-prima para uma ampla variedade de produtos destinados à alimentação humana e animal (CRUZ et al., 2008a; SEDIYAMA, 2009). Por essa razão, suas demandas no mercado nacional e internacional são bastante elevadas, sendo caracterizadas como importantes *commodities* (FOCOAGRO, 2016).

O sistema de produção envolvendo a sucessão soja-milho segunda safra (safrinha) é um dos mais utilizados pelos agricultores, principalmente no Centro-Oeste e nos estados do Paraná, Minas Gerais e São Paulo, contando ainda com um grande potencial para expansão (LANDAU et al., 2015). Esse sistema tem se viabilizado muito em função da adequação de genótipos de soja com tipo de crescimento indeterminado para semeaduras mais precoces. Com isso, o cultivo subsequente de milho no outono-inverno pode ser implantado em um período de maior ocorrência de precipitações e menor risco de acometimento por geadas nas regiões propensas a essa adversidade climática (GARCIA et al., 2018).

Na última safra (2018/19), a soja foi colhida em 35,67 milhões de hectares no país, com um incremento de 2,3% em relação à safra 2017/18. A produção foi inferior à safra anterior e atingiu 113,19 milhões de toneladas, devido ao recuo de 6,1% na produtividade média do grão, que ficou em 3173 kg ha⁻¹, oriundo de adversidades climáticas em importantes regiões produtoras. Centro-Oeste, seguido de Sul, foram as duas regiões com maior produção. Ambas participaram, respectivamente, com 45,90 e 32,80% do total produzido no país. Na região Sul, o estado do Paraná contribuiu com 14,40% da produção nacional, com 16,25 milhões de toneladas em uma área de 5,44 milhões de hectares e produtividade de 2985 kg ha⁻¹, abaixo da média nacional (IBGE, 2019).

No cultivo de segunda safra em 2019, o milho foi colhido em uma área de 12,77 milhões de hectares em todo o país, 9,7% a mais que no mesmo período de 2018. A produção foi de 74,58 milhões de toneladas, com um incremento de 34,1% frente à safra anterior, o que, além do aumento na área, foi possível devido ao incremento de 20,9% na produtividade média, que foi de 5859 kg ha⁻¹ (IBGE, 2019).

O déficit hídrico prolongado em meados de maio e junho de 2018, ocorrido em importantes regiões produtoras como Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás e Mato Grosso, teve forte influência sobre a produtividade média observada naquele ano (CNA, 2018), diferente do ocorrido na safra atual.

2.1.1 Aspectos Botânicos e Morfológicos das Culturas de Milho e Soja

As plantas de milho e soja diferem em vários aspectos botânicos, morfológicos e fisiológicos, o que proporciona uma diversidade benéfica aos sistemas produtivos que envolvem a utilização de ambas. As duas culturas são botanicamente separadas a partir da classe, sendo o milho uma Liliopsida (monocotiledônea) e a soja uma Magnoliopsida (dicotiledônea). As famílias a que pertencem são, respectivamente, Poacea (gramíneas) e Fabaceae (leguminosas). As espécies, descritas primeiramente por Linnaeus, são por sua vez *Zea mays* L. (milho) e *Glycine max* L. Merrill (soja) (USDA, 2016). Ambas são plantas herbáceas, entretanto, a morfologia de praticamente todos os órgãos que as compõem é bastante distinta.

O milho tem um sistema de raízes fasciculado, iniciando com a emissão da raiz primária, que logo perde a funcionalidade com o surgimento das raízes secundárias. Raízes adventícias que auxiliam na sustentação física da planta também se desenvolvem. O caule é um colmo ereto e não ramificado podendo superar os 2,0 m de altura, composto da sucessão de nós e entrenós que dão sustentação às folhas e partes florais. As folhas são estreitas e compridas, surgindo em cada nó de forma alternada (LORSCHETER et al., 2015).

Ainda, por ser uma planta monóica, o milho apresenta dois tipos de inflorescência, masculina (pendão) e feminina (espiga), no mesmo indivíduo. O pendão se situa no ápice do colmo, constituído por estames que armazenam os grãos de pólen e aparece 4 a 5 dias antes da espiga (protandria). Esta última é constituída por um eixo (sabugo), onde se dispõem os alvéolos que dão origem aos grãos. O conjunto estilo-estigma, receptor dos grãos de pólen, é vulgarmente denominado de “cabelo”. Entre 700 e 1000 óvulos podem ser desenvolvidos em número par de fileiras na espiga. Os grãos formados após a fecundação são do tipo cariopse, constituídos de pericarpo, endosperma e embrião (LORSCHETER et al., 2015).

A soja, por sua vez, apresenta um sistema de raízes pivotante, com uma raiz principal bem desenvolvida e grande número de raízes secundárias, onde se

estabelece a relação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio (N). O caule é ereto, entre 0,6 e 1,5 m de altura, podendo apresentar ramificações. As folhas são pecioladas, compostas por três folíolos ovalados ou lanceolados. A produção de flores ocorre em inflorescências do tipo ráculo, variando em coloração conforme o genótipo. Os frutos são do tipo legume (vagens), apresentando de duas a cinco sementes, de tamanho, formato e coloração variáveis, porém principalmente arredondadas e amareladas (MISSÃO, 2006).

2.1.2 Ecofisiologia das Culturas de Milho e Soja

Assim como na morfologia, as plantas de milho e soja são conatantes em diversos aspectos ecofisiológicos. A começar pela fotossíntese, logo nos primeiros dias do ciclo o milho desenvolve a denominada “anatomia de Kranz”, o que lhe confere a capacidade de realizar o mecanismo C4 de fixação de CO₂ (KUTSCHERA et al., 2010). Nas plantas que realizam este tipo de metabolismo, a carboxilação é intermediada preliminarmente pela atividade da enzima fosfoenolpiruvato carboxilase (PEP-case), que forma como primeiro composto estável uma molécula de quatro carbonos. Em etapa seguinte, estas plantas também utilizam a rota C3 (ciclo de Calvin-Benson), por meio da atividade da enzima Ribulose-1,5-difosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco), para completar a assimilação do CO₂ (MAGALHÃES et al., 2002). A soja, por outro lado, é uma planta que realiza a carboxilação exclusivamente pela via C3 (CASAROLI et al., 2007).

Segundo Magalhães et al. (2002), a enzima PEP-case tem uma afinidade por CO₂ bem mais elevada que a Rubisco, de forma que a sua eficiência na fixação do gás carbônico é cerca de 100 vezes maior. De acordo com Bergamaschi e Matzenauer (2014), várias respostas do milho aos elementos meteorológicos, que lhe conferem produtividade de grãos superior a outras espécies cultivadas, decorrem do mecanismo de concentração de CO₂ no sítio da Rubisco. Destaca-se como resultado desse metabolismo carboxilativo no milho, a baixa ocorrência de fotorrespiração e a elevada resposta fotossintética ao aumento da radiação solar.

A mesma eficiência de utilização da radiação observada em plantas C4 não ocorre para a soja. Pelo contrário, plantas C3 são mais dependentes de alguns mecanismos para dissipar o excesso de energia em condições de elevada luminosidade e carboxilação limitada, sendo um deles o processo de fotorrespiração

(CASAROLI et al., 2007). A fotorrespiração corresponde à perda de CO₂ adicional à respiração mitocondrial, ocorrendo quando a Rubisco apresenta atividade oxigenase, seja pela redução na concentração interna de CO₂ ou pela elevação na temperatura, que aumenta a preferência da enzima pelo substrato O₂. Este processo pode reduzir a fotossíntese líquida em até 60% (KLUGE et al., 2015).

A diferença entre mecanismos carboxilativos de plantas C₃ e C₄ também é um dos principais fatores que determina variações na exigência de nitrogênio (N) e eficiência do seu uso nas culturas de milho e soja. Enquanto as plantas C₄ direcionam no máximo 35% do N para produção de ambas enzimas que realizam a carboxilação (PEP e Rubisco), as espécies C₃ mobilizam mais de 50% do N foliar para síntese da Rubisco. Dessa forma, para a produção de uma mesma quantidade de fotossintatos, a demanda metabólica por N é menor em plantas C₄, o que determina uma maior eficiência de uso do nutriente (PIMENTEL, 1998).

O processo fotossintético também se relaciona intimamente com a disponibilidade de água em milho e soja. Confalone e Navarro Dujmovich (1999) avaliaram a interceptação e a eficiência de uso da radiação (EUR) fotossinteticamente ativa em plantas de soja, sob diferentes condições hídricas. Os autores observaram eficiência relativamente constante durante o ciclo quando mantida a umidade em condições ótimas, próxima a capacidade de campo (média de 1,37 g MJ⁻¹ ao longo do desenvolvimento). Em estresse hídrico leve, as plantas elevaram a EUR (média de 1,78 g MJ⁻¹ ao longo do desenvolvimento), compensando a redução no aparato de interceptação da radiação. Entretanto, sob estresse hídrico severo no florescimento e no enchimento de grãos, além da menor interceptação da radiação, até mesmo a EUR foi reduzida, obtendo-se valores de 1,04 e 0,97 g MJ⁻¹, para as respectivas fases de desenvolvimento.

Chavarria et al. (2015) também estudaram o efeito da variação na disponibilidade hídrica (-0,004 a -0,164 MPa) sobre a fotossíntese de soja, utilizando plantas jovens do cultivar BMX Apolo RR. Os autores obtiveram valores máximos de carboxilação de 19,30 e 18,39 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, respectivamente com os potenciais de água no solo de -0,004 e -0,006 MPa. Valores abaixo de -0,026 MPa afetaram a atividade fotossintética, reduzindo-a em mais de 50%, principalmente em função da redução na condutância estomática.

De fato, a inibição estomática da fotossíntese é uma das limitações em plantas C₃ que dificulta atingirem eficiência fotossintética tão elevada quanto das

espécies C4 sob condições de elevada radiação solar. A menor eficiência na carboxilação, devido a dependência exclusiva da enzima Rubisco (baixa afinidade pelo CO₂ comparada à PEP-case), faz com que períodos de fechamento estomático induzidos por deficiência hídrica acarretem a limitação da fixação de gás carbônico pela redução na sua difusão para o interior da folha (limitação difusiva) (PIMENTEL, 2005). Por outro lado, em plantas C4, Ghannoum et al (2003) demonstraram em quatro espécies de gramíneas que apenas limitações não-estomáticas (bioquímicas) foram responsáveis pela inibição fotossintética em condições de seca. Esse comportamento pode ser explicado pelo mecanismo de concentração de CO₂ no sítio da Rubisco proporcionado pela ação da PEP-case (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014).

A maior condutância mesofílica do gás carbônico em plantas C4 proporciona maior eficiência no uso da água (2 a 5 g CO₂ kg H₂O⁻¹; frente 1 a 3 g CO₂ kg H₂O⁻¹ em plantas C3), pois, concentrando CO₂ no mesofilo, há menor necessidade de condutância estomática, o que gera economia de água pela menor transpiração (PIMENTEL, 1998).

Apesar dessa elevada eficiência no uso da água para síntese de biomassa, a ocorrência de restrição hídrica pode reduzir fortemente a produtividade de grãos em milho (SILVA et al., 2012). Isso porque, além da fotossíntese, a formação dos componentes de produção está relacionada a processos altamente dependentes de água. O número de grãos, em especial, depende de uma polinização eficiente e da sincronia com a emissão do estilo-estigma para fecundação dos óvulos, que podem ser negativamente afetados por períodos prolongados de déficit hídrico (CARDOSO et al., 2015). Além disso, a menor disponibilidade de água no enchimento de grãos leva ao carreamento deficiente de assimilados e nutrientes, reduzindo sua massa (CARVALHO et al., 2014).

Embora o efeito da deficiência hídrica não seja tão pronunciado na fase carboxilativa da fotossíntese em plantas C4 como o milho, Kunz et al. (2007) demonstraram que a eficiência de interceptação e uso da radiação fotossinteticamente ativa diminui nestas condições. A redução da área foliar e ocorrência de enrolamento das folhas foram os principais responsáveis por essa resposta. Os autores observaram que tais efeitos foram amenizados pelo uso do sistema plantio direto em comparação ao convencional, pois o primeiro conserva água por mais tempo no solo.

2.2 NITROGÊNIO EM MILHO E SOJA

2.2.1 Aquisição, Assimilação e Uso pelas Plantas

O nitrogênio (N) é o nutriente de maior demanda pelas plantas de milho e soja, que acumulam, respectivamente, em torno de 25 e 103 kg Mg⁻¹ grãos produzidas (VON PINHO et al., 2009; KURIHARA et al., 2013). O elemento é absorvido da solução do solo pelas raízes, sendo um dos únicos capazes de adentrar as células em diferentes formas químicas, principalmente os íons amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻), mas também como compostos orgânicos (NÄSHOLM et al., 2009).

Heinrichs et al. (2006) avaliaram a forma inorgânica preferencialmente absorvida por plantas de milho e soja em início de desenvolvimento. Os autores observaram que, quando aplicado na semeadura, o N foi igualmente absorvido nas formas de NH₄⁺ e NO₃⁻ pelas duas culturas. No entanto, quando a aplicação ocorreu dez dias após a emergência das plântulas, tanto a soja quanto o milho demonstraram uma absorção preferencial de amônio.

Esta preferência é explicada pela necessidade do nitrogênio absorvido na forma nítrica ser reduzido à amônio, por meio do complexo de enzimas redutase do nitrato (RN) e redutase do nitrito (RNi), antes de ser incorporado à aminoácidos por meio das enzimas Glutamina sintetase (GS) e Glutamato-oxoglutarato aminotransferase (GOGAT). Essas transformações representam um custo energético adicional para as plantas (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000).

Por outro lado, o processo de assimilação de nitrato é melhor distribuído entre as raízes e a parte aérea das plantas, devido este íon ser mais facilmente transportado nos tecidos vasculares, além de poder ser estocado em maiores quantidades nos vacúolos. Com isso, apesar de em algumas situações haver preferência pela absorção de uma ou outra forma iônica, maior crescimento e produtividade das plantas são obtidos com a aplicação combinada de ambas (HAWKESFORD et al., 2011).

Ainda, no caso da soja, grande parte da demanda de nitrogênio da planta é suprida pelo processo de fixação biológica (FBN), intermediado pela simbiose com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*. Por meio de sinalizações entre a planta e os microrganismos, estes infectam os tecidos das raízes dando origem aos nódulos (CARVALHO et al., 2012).

É nestas estruturas nodulares que há a ocorrência das reações bioquímicas que terminam na redução de N_2 e formação de duas moléculas de amônia (NH_3). Este processo é intermediado pela enzima nitrogenase, composta por duas subunidades, uma Fe-proteína (que transfere elétrons) e uma MoFe-proteína (com função catalítica) (HOFFMAN et al., 2013). Em contato com o meio aquoso, a amônia é convertida em NH_4^+ e este é assimilado pelo complexo enzimático GS/GOGAT, sendo o N orgânico transportado para a parte aérea da soja principalmente na forma de ureídeos e asparagina (FAGAN et al., 2007).

O nitrogênio inorgânico assimilado em glutamato e glutamina pode ser prontamente utilizado para a síntese de outras amidas, bem como aminoácidos, ureídeos, peptídeos, proteínas, ácidos nucleicos e outros compostos nitrogenados, exercendo diversas funções no metabolismo vegetal (HAWKESFORD et al., 2011).

A eficiência no uso do nitrogênio depende da capacidade de produção biológica e econômica das plantas em função do N disponibilizado e absorvido, podendo apresentar variações genotípicas (CANCELLIER et al., 2011; CARVALHO et al., 2011; DOVALE et al., 2012). De acordo com Borges et al. (2006), uma maior eficiência no uso de N não está relacionada apenas à assimilação do nitrogênio inorgânico absorvido, mas também a uma remobilização mais eficiente.

2.2.2 Manejo de Fornecimento

A grande demanda das plantas por nitrogênio e a dinâmica complexa do nutriente no sistema solo-planta faz com que um manejo adequado do seu fornecimento seja essencial para a obtenção de elevadas produtividades, com eficiência econômica e sustentabilidade. Para a cultura da soja, Kaschuk et al. (2016) demonstraram que a FBN sozinha é capaz de suprir a demanda de nitrogênio mesmo em cultivares modernos de elevado potencial produtivo, uma vez que estas não apresentaram resposta produtiva à adubação nitrogenada de semeadura ou de cobertura.

De forma semelhante, Aratani et al. (2008) observaram que a produtividade da soja não foi influenciada pela adubação nitrogenada, independentemente da época de aplicação, em relação à não aplicação de N. Mais recentemente, Yokoyama et al. (2018) também não obtiveram resposta produtiva da soja com a aplicação de 30 kg ha^{-1} de N mineral na semeadura, ainda que a mesma

tenha proporcionado aumento na área foliar e no índice SPAD durante o crescimento vegetativo e florescimento da cultura.

Mesmo em alguns estudos em que foram observadas respostas na produtividade da soja em função da fertilização nitrogenada, os autores têm destacado que os incrementos obtidos não justificam economicamente a adoção desta prática (MENDES et al., 2008; PETTER et al., 2012). Além disso, a fertilização de N diretamente na soja pode comprometer a nodulação (NOGUEIRA et al., 2010; PARENTE et al., 2015; KASCHUK et al., 2016; ZUFFO et al., 2019).

Dessa forma, práticas que favoreçam o estabelecimento da simbiose devem ser priorizadas, uma vez que diversas características do solo como pH, salinidade, umidade, temperatura e teor de outros nutrientes podem influenciar a nodulação e o processo de fixação de N₂ (COOPER; SCHERER, 2011).

A inoculação/re-inoculação de estirpes de *Bradyrhizobium spp.* é uma destas estratégias, pois a população destas bactérias no solo pode ser reduzida drasticamente em condições adversas, mesmo quando se realiza um cultivo contínuo de soja na área (ZILLI et al., 2013). A inoculação na semente e no sulco de semeadura (NETO et al., 2008), além da pulverização em cobertura, de forma complementar em casos emergenciais (ZILLI et al., 2008), são algumas formas que podem ser adotadas. Além disso, a co-inoculação das sementes de soja com *Bradyrhizobium spp.* associada à bactéria promotora de crescimento *Azospirillum brasilense* também tem demonstrado potencial para incrementar ainda mais a produtividade da cultura (HUNGRIA et al., 2015).

A aplicação de cobalto (Co) e molibdênio (Mo), na semente ou em pulverização foliar, também é uma prática que favorece a nodulação e, conseqüentemente, melhora os aspectos produtivos da soja (DOURADO NETO et al., 2012). Estes elementos desempenham um papel essencial na fisiologia da FBN, por fazerem parte, respectivamente, de precursores da síntese de leghemoglobina e da estrutura da nitrogenase (FAGAN et al., 2007). Por fim, Silva et al. (2002) relataram que a adição de calcário beneficiou o processo de FBN na soja, por reduzir os teores de Al³⁺ e elevar o Ca²⁺ e Mg²⁺, mais do que pelo efeito no pH.

A baixa eficiência da adubação nitrogenada realizada diretamente na soja, principalmente com altas doses, é bem estabelecida na literatura, seja pelos efeitos negativos na nodulação ou pela ausência de retorno econômico desta prática. Entretanto, Cooper e Scherer (2011) argumentam que, nos estádios iniciais do

desenvolvimento, quando a infecção pelas bactérias ainda não ocorreu, deficiências de N no solo dificultam a formação de uma área foliar grande o suficiente para suprir os carboidratos necessários ao próprio crescimento e atividade dos nódulos. Desta forma, o aproveitamento pelas plantas de soja do N residual, aplicado no sistema produtivo na cultura antecessora, poderia representar uma forma de elevar a eficiência do manejo deste nutriente, havendo carência de estudos realizados com este intuito.

Diferentemente da soja, o fornecimento de nitrogênio ao milho é muito mais dependente da adição de fertilizantes. As principais fontes utilizadas são solúveis em água e de rápida liberação (ureia, sulfato de amônio e nitrato de amônio). Dependendo das condições de solo e clima, a eficiência destes insumos pode ser bastante reduzida, principalmente pelas perdas decorrentes de lixiviação e volatilização (CANTARELLA; MARCELINO, 2008). Somado a isso, a dinâmica do nitrogênio no solo é bastante complexa e envolve interações entre as fases orgânica e inorgânica, o que dificulta prever sua disponibilidade por meio de análise de solo (CANTARELLA, 2007). Portanto, o manejo de fornecimento de N na cultura do milho tem sido orientado por estudos de resposta à fertilização, realizados em diferentes condições edafoclimáticas e sistemas de produção.

Souza e Soratto (2006) estudaram fontes e doses de N (0, 30, 60 e 120 kg ha⁻¹) no cultivo de milho segunda safra em sucessão à soja em Chapadão do Sul-MS. Os autores observaram que o número de grãos por espiga e a produtividade de grãos aumentou linearmente com as doses, independente da fonte utilizada. Avaliando também fontes alternativas e doses de N (0, 30, 60 e 120 kg ha⁻¹) em milho segunda safra após a soja em Chapadão do Céu-GO, Soratto et al. (2010) relataram aumento em função das doses na maioria das características relacionadas ao desempenho produtivo.

Ainda em cultivo de segunda safra, na região de Londrina-PR, Gazola et al. (2014) obtiveram resposta linear crescente em função do aumento nas doses de N de 0 a 180 kg ha⁻¹, para as características altura de planta e de inserção da primeira espiga, número de grãos por fileira e número de grãos por espiga. O comprimento da espiga, a massa de mil grãos e a produtividade de grãos tiveram aumento quadrático, com máximos obtidos nas doses de 135,3; 157 e 149,5 kg ha⁻¹, respectivamente.

Em cultivo na safra de primavera-verão, na região de Votuporanga-SP, Duete et al. (2008) avaliaram doses de N de 0, 55, 95, 135 e 175 kg ha⁻¹ e estratégias de parcelamento do nitrogênio em cobertura. Obtiveram maior

produtividade de grãos e aproveitamento do N do fertilizante na dose de 135 kg ha⁻¹, parcelada em três vezes até o estágio de oito folhas expandidas.

Na região de Lages-SC, também em cultivo de verão, Mota et al. (2015) observaram que o híbrido de milho P30R50H apresentou incremento linear no teor de N foliar, no índice relativo de clorofila e na produtividade de grãos em resposta a doses de N em cobertura de 0 a 280 kg ha⁻¹. Avaliaram ainda fontes convencionais (nitrato de amônio e ureia comum) e estabilizadas (ureia com inibidor de urease e ureia com inibidor de nitrificação), as quais não diferiram em termos de eficiência, resultado que os autores atribuíram à ausência de condições favoráveis para ocorrência de lixiviação de NO₃⁻ e volatilização de NH₃.

Além dos fertilizantes nitrogenados, o milho pode adquirir nitrogênio de resíduos vegetais. Dependendo da espécie presente anteriormente na área, existem diferenças no aproveitamento do nutriente e consequente produtividade de matéria seca pelo milho, conforme relataram Silva et al. (2008). Segundo estes autores, os resíduos de crotalária (*Crotalaria juncea*) proporcionaram maior aproveitamento de N, seguido dos resíduos de milheto e da palha da própria cultura do milho. Torres e Pereira (2014) observaram também maior produtividade de milho cultivado após crotalária (*Crotalaria juncea*) em comparação à braquiária (*Urochloa brizantha*), milheto e pousio.

Lange et al. (2006) relataram que quantidades de palhada de 0 a 12 Mg ha⁻¹, provenientes dos resíduos do próprio milho e aplicadas superficialmente no solo durante dez anos, não influenciaram o estado nutricional nem a produtividade da cultura. Os autores atribuíram este fato à baixa concentração de nutrientes e elevada relação C/N dos resíduos do milho, além da sua aplicação superficial, que pode levar à volatilização de N e S antes destes serem liberados para absorção pelas plantas.

Por fim, alguns estudos têm sido realizados com o objetivo de avaliar a viabilidade da inoculação com bactérias do gênero *Azospirillum*, de forma isolada ou combinada com a adubação nitrogenada, contudo os resultados ainda são controversos. Quadros et al. (2014) relataram estímulo no desenvolvimento vegetativo do milho inoculado com uma mistura de três espécies de *Azospirillum* (*A. brasilense*, *A. lipoferum* e *A. oryzae*). Costa et al. (2015) observaram que a inoculação de *A. brasilense* nas sementes favoreceu um grande número de características do crescimento e desempenho produtivo do milho, mesmo na ausência de adubação nitrogenada, bem como Thomazini et al. (2019), que obtiveram incremento na

produtividade de grãos do milho quando realizada a inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, independentemente da adubação nitrogenada mineral.

Por outro lado, demais autores não observaram efeito da inoculação com *A. brasilense* sobre a produtividade de grãos do milho, independente da associação com adubação nitrogenada (REPKE et al., 2013; MATOS et al., 2017) e de doses e formas de inoculação (SANTINI et al., 2018). Assim, a adoção dessa prática nem sempre pode substituir o N mineral, tampouco permitir a redução na dose de fertilizante nitrogenado, algo sugerido por autores como Mumbach et al. (2017). Por sua vez, Kaneko et al. (2015) concluíram que a viabilidade econômica da inoculação com *A. brasilense* depende da época em que o milho é cultivado, tendo sido viável somente na “primeira safra” e, principalmente, na ausência de adubação nitrogenada de cobertura.

2.3 CONSÓRCIO DE MILHO COM FORRAGEIRAS

A consorciação do milho com espécies forrageiras, especialmente do gênero *Urochloa* (Poaceae), comumente conhecidas como ‘braquiárias’, tem se difundido nos últimos anos como um sistema que pode proporcionar maior produção de alimentos e palhada para o sistema plantio direto (SANTOS et al., 2014a).

As forrageiras do gênero *Urochloa* têm o centro de origem na África, comportando aproximadamente 100 espécies (ARROYAVE et al., 2013). As principais espécies de braquiária utilizadas em consórcio com o milho são: 1) *Urochloa brizantha*; 2) *Urochloa ruziziensis*; 3) *Urochloa decumbens*; 4) *Urochloa humidicola*; e 5) *U. plantaginea*. A espécie *U. brizantha* é a mais difundida no Brasil, com destaque para os cultivares Marandu, MG-4, Paiaguás, Piatã e Xaraés. No entanto, no estado do Paraná, tem se utilizado principalmente a *U. ruziziensis*, que apresenta rápido crescimento inicial, elevada qualidade da forragem, cobertura do solo e facilidade de manejo para implantação da soja (CECCON, 2008).

A identificação das espécies do gênero *Urochloa* geralmente é feita por meio do porte, da pilosidade das folhas e do tipo de inflorescência. A espécie *U. ruziziensis* possui alto grau de pilosidade em suas folhas que são decumbentes e onduladas nos bordos, enquanto a *U. decumbens* possui folhas eretas, com pouca pilosidade e bordos planos. É válido salientar que em condições de deficiência hídrica, as folhas da *U. decumbens* podem se tornar decumbentes, dificultando a

identificação. Para alguns cultivares a pilosidade das bainhas também pode ser utilizada como critério de identificação (MACHADO et al., 2013).

No gênero *Urochloa* a espiguetta é sustentada pela ráquis. As duas estruturas unidas formam o racemo que contém os órgãos reprodutivos. A distribuição das sementes na ráquis também se difere entre espécies, sendo que a *U. brizantha* possui uma fileira de sementes e as demais supracitadas possuem duas. Geralmente os cultivares de *U. humidicola* não possuem pilosidade e seus ráccemos e folhas são estreitos e curtos em relação às outras espécies do gênero, o que facilita sua identificação (BRITO; RODELLA, 2002).

As espécies do gênero *Urochloa* possuem épocas de florescimento distintas. As mais precoces são *U. decumbens* e *U. humidicola*, seguidas pela *U. ruziziensis*. De modo geral, a *U. brizantha* (cv. Xaraés) é a mais tardia. Quanto à competição com a cultura do milho, o cultivar Marandu (*U. brizantha*) têm apresentado maior impacto em comparação com os cultivares da espécie *U. ruziziensis* (CHIODEROLI et al., 2010). Porém, existem relatos contrários como os de Pariz et al. (2011b), que reportaram maior competição por parte da *U. ruziziensis*.

Para Ferreira et al. (2010), a *U. ruziziensis* é a melhor das espécies do gênero para o consórcio com o milho. Isso se deve a sua elevada produção de massa seca, promovendo boa cobertura do solo, bem como sua baixa resistência à dessecação. Contudo, outras espécies do gênero costumam manifestar resultados satisfatórios, como os reportados por Fortes et al. (2016) nos quais o consórcio de milho com *U. brizantha* promoveu um incremento médio de 33,3% em cobertura do solo pela palhada quando comparado ao cultivo de milho solteiro.

Batista et al. (2011), trabalhando em Latossolos de quatro municípios paulistas, observaram que a produção máxima de massa seca na ocasião da dessecação para as espécies *U. ruziziensis* e *U. brizantha* não diferiram na maioria dos municípios, sendo as quantidades médias de 1689,5 kg ha⁻¹ e 1820,5 kg ha⁻¹, respectivamente.

Por outro lado, Ferreira et al. (2010) estudando o acúmulo de massa seca em forrageiras sem consorciação, reportaram as produções de 14777 kg ha⁻¹ para *U. decumbens*, 12451 kg ha⁻¹ para *U. brizantha* cv. Marandu, 12228 kg ha⁻¹ para *U. brizantha* cv. MG-4, 10671 kg ha⁻¹ para *U. brizantha* cv. Piatã e 10465 kg ha⁻¹ para *U. brizantha* cv. Xaraés. Os valores observados por Ferreira et al. (2010) reforçam o potencial produtivo das forrageiras em condições favoráveis ao seu crescimento.

Contudo, no cultivo em consórcio, a falta de luminosidade e a competição por água e nutrientes com o milho restringem o pleno desenvolvimento dessas plantas (MACHADO et al., 2013). Com isso, o milho é uma das plantas que mais se adapta à integração de lavouras, dado a sua competitividade com outras espécies, bem como o elevado porte e inserção das espigas que possibilita a colheita mecanizada com menores riscos de embuchamento (ALVARENGA et al., 2006).

Garcia et al. (2014) demonstraram a elevada produção e manutenção de palhada para o sistema plantio direto proporcionada pela consorciação de milho com espécies dos gêneros *Panicum* e *Urochloa* adubadas com nitrogênio. Os autores procederam um estudo de decomposição dessa palhada, após o último corte das forrageiras, realizado anteriormente à semeadura da soja. Observaram que, após 60 dias, de 50 a 60% da palhada inicial ainda se encontrava remanescente no solo, independente da espécie utilizada no consórcio. Pariz et al. (2011a) e Mendonça et al. (2015), em estudo semelhante, relataram que, além do incremento no aporte de palhada, a consorciação do milho com espécies de *Panicum* e *Urochloa* adubadas com nitrogênio se mostrou uma técnica viável para a ciclagem de nutrientes no sistema plantio direto.

Além da cobertura na superfície, o consórcio milho-braquiária pode proporcionar benefícios sobre atributos do próprio solo, como observado por Loss et al. (2011). Estes autores obtiveram maiores índices de agregação (0,0 a 0,10 m), teores de matéria orgânica leve, carbono orgânico total e nitrogênio (0,0 a 0,05 m) e formação de agregados estáveis (0,05 a 0,10 m) em sistema de plantio direto com Integração Lavoura-Pecuária (milho-*Urochloa ruziziensis*), comparado ao SPD (17 anos de adoção) sem a presença da braquiária.

Seidel et al. (2014) também observaram efeitos benéficos do consórcio de braquiária com milho em características físicas do solo, como o aumento da porosidade total e redução da densidade, com apenas um ciclo de cultivo. Além disso, uma contribuição importante do cultivo consorciado é também a capacidade das forrageiras em suprimir o crescimento de diferentes plantas daninhas (SEVERINO et al., 2006).

A despeito desses benefícios que a consorciação proporciona ao sistema produtivo, ainda existem controvérsias quanto ao impacto que a introdução das forrageiras pode acarretar sobre o desempenho produtivo do milho. Autores como Fiorentin et al. (2012), Garcia et al. (2012), Garcia et al. (2013), Freitas et al. (2013) e

Ikeda et al. (2013) não observaram influência da consorciação com diferentes espécies de gramíneas na produtividade de grãos do milho.

Apesar disso, a produtividade da cultura neste sistema pode sofrer interferência de aspectos como a espécie (CHIODEROLI et al., 2010) e a época de implantação da forrageira (RICHART et al., 2010; PARIZ et al., 2011b), a modalidade de cultivo, compreendendo o arranjo e densidade das plantas no consórcio (BORGHI; CRUSCIOL, 2007; CHIODEROLI et al., 2010; FERREIRA et al., 2014; SILVA et al., 2015a), além do controle de plantas daninhas e do cultivar de milho adotado (SILVA et al., 2014; MAIA et al., 2015).

Um outro aspecto que pode ser determinante no desempenho produtivo do milho em consórcio com forrageiras está relacionado à competição por nutrientes e, em especial, o nitrogênio, que tem elevada exigência pelas plantas. Poucos estudos têm sido realizados atualmente com o objetivo de avaliar doses de nitrogênio no milho consorciado comparado ao solteiro, sendo que a maioria dos trabalhos se refere aos efeitos da aplicação de N na forrageira após o milho (COSTA et al., 2014a; COSTA et al., 2014b; GARCIA et al., 2014) ou a resposta à adubação nitrogenada apenas no sistema consorciado (BATISTA et al., 2011; COSTA et al., 2012; LANGE et al., 2014; SEIDEL et al., 2015).

Podem se destacar os trabalhos realizados por Jakelaitis et al. (2005) e Gonçalves et al. (2016). Os primeiros avaliaram cinco doses de N aplicadas em cobertura no consórcio de milho com *Urochloa brizantha* e uma testemunha de monocultivo de milho adubada com 120 kg ha⁻¹ de N, enquanto os últimos utilizaram-se de três doses de N (0, 40 e 80 kg ha⁻¹) tanto no milho cultivado solteiro como em consórcio com *Urochloa ruziziensis*. Para Jakelaitis et al. (2005), houve maior teor de clorofila, N foliar, produtividade e massa de mil grãos do milho consorciado em função das doses de N de até 240 kg ha⁻¹, ao passo que na dose de 120 kg ha⁻¹, não houveram diferenças entre o cultivo do milho solteiro e consorciado. Por sua vez, Gonçalves et al. (2016) não observaram interação entre as doses de N e os sistemas de cultivo, obtendo-se aumento linear na maioria dos componentes de produção do milho tanto no cultivo solteiro como em consórcio.

3 ARTIGO A

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E NUTRICIONAIS DE MILHO E SOJA COM A ADOÇÃO DO CONSÓRCIO MILHO-BRAQUIÁRIA ASSOCIADO A DOSES DE NITROGÊNIO

3.1 RESUMO

O consórcio de milho com forrageiras tem sido adotado com o objetivo principal de promover melhorias sobre aspectos físicos do solo. Entretanto, poucos estudos foram realizados para melhor entendimento do sistema quanto aos atributos químicos do solo e nutricionais das plantas cultivadas. Ademais, a competição interespecífica por nutrientes em cultivos consorciados, bem como a resposta a aplicação, deve ser levada em consideração para aprimoramento do manejo de adubação no sistema. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi verificar se sistemas de cultivo de milho segunda safra envolvendo ou não a consorciação com braquiária (*Urochloa ruziziensis*), associados a doses de N, promovem modificações sobre os atributos químicos do solo e nutricionais das plantas de milho consorciadas e de soja cultivadas em sucessão. O experimento foi conduzido em condições de campo em um Nitossolo Vermelho Eutroférico no município de Itambé-PR (23° 42' 36.74" S; 52° 02' 00.91" W; 318 m de altitude), durante três anos agrícolas. O delineamento experimental foi de blocos casualizados em esquema fatorial 2x4, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em dois sistemas de cultivo de milho segunda safra (outono-inverno), solteiro e consorciado com *Urochloa ruziziensis* (3,0 kg ha⁻¹ de sementes puras e viáveis), associados a quatro doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ N) aplicadas na forma de nitrato de amônio (30% N), parte na semeadura (40 kg ha⁻¹ N) e o restante em cobertura no cultivo do milho. A semeadura das plantas foi realizada em sistema plantio direto (SPD), adotado há cerca de quinze anos na área, e os tratos culturais realizados de acordo com as recomendações para a região. Foram realizadas avaliações quanto aos seguintes atributos químicos do solo: pH CaCl₂, Carbono Orgânico Total, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Soma de Bases, H + Al, CTC_{pH7,0}, V% e P Mehlich-1, na camada de 0,0 a 0,20 m, bem como os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Mn, Fe, Cu e B nas folhas-índice do milho e da soja. Os atributos químicos do solo não foram influenciados pelos sistemas de cultivo e doses de N, mesmo após três anos de milho e soja cultivados em sucessão. Para o milho, os teores foliares de P nas maiores doses de nitrogênio, além de K, S e Cu foram afetados negativamente pelo consórcio com *U. ruziziensis*, enquanto a soja não teve o estado nutricional influenciado pelos sistemas de cultivo. Para o milho, as doses de N promoveram aumento linear sobre os teores de P, S e Cu, independente do sistema de cultivo adotado, enquanto para o Ca houve redução linear, porém apenas no cultivo solteiro. As doses de N aplicadas no milho também promoveram incremento linear sobre os teores de Mn nas folhas-índice da soja em sucessão.

Palavras-chave: *Glycine max* L. Merrill. *Urochloa ruziziensis*. *Zea Mays* L. Adubação nitrogenada. Competição interespecífica. Estado nutricional.

SOIL CHEMICAL AND NUTRITIONAL ATTRIBUTES OF MAIZE AND SOYBEAN WHEN ADOPTED MAIZE-UROCHLOA INTERCROPPING ASSOCIATED TO NITROGEN RATES

3.2 Abstract

The intercropping of maize with forage plants has been adopted with the main goal of promoting benefits on soil physical aspects. Nonetheless, few studies were performed for a better understanding of soil chemical attributes and crops nutrition under this growing system. In addition, interspecific competition for nutrients, as well as the response to their application, must be taken in consideration to enhance the fertilization management. Thus, the aim was to verify whether maize growing systems involving or not the intercropping with *Urochloa ruziziensis*, associated to N rates, provide modifications on soil chemical attributes and nutritional status of maize and soybean grown in succession. The experiment was carried out in field conditions in a Eutroferic Red Nitosol in the municipality of Itambé-PR (23° 42' 36.74" S; 52° 02' 00.91" W; 318 m high), for three agricultural years. The experimental design was randomized blocks in factorial scheme 2x4, with four replications. The treatments consisted in two maize cropping systems in autumn/winter, sole and intercropped with *U. ruziziensis*, associated to four rates of nitrogen (0, 40, 80 and 120 kg ha⁻¹ N). N was applied as ammonium nitrate (30% N), part at sowing (40 kg ha⁻¹ N) and the rest at maize topdressing. The sowing was performed under no-till system, adopted at the area for approximately 15 years before the experiment installation, and the crop treatments were done in accordance with regional recommendations. The evaluations were performed to the following soil chemical attributes: pH CaCl₂, Total Organic Carbon, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Sum of Bases, H + Al, CEC_{pH7,0}, V% and P Mehlich-1, from 0,00 to 0,20 m depth, as well as the leaf contents of N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Mn, Fe, Cu and B for maize and soybean. The soil chemical attributes were not influenced by the cropping systems nor the N rates, even after three years of maize and soybean grown in succession. For maize, leaf contents of P with higher N rates, as well as K, S and Cu were negatively affected by intercropping with *U. ruziziensis*, while soybean nutritional status was not influenced by the cropping systems. The nitrogen rates provided, for maize, a linear raising on the contents of P, S and Cu, while Ca had a linear reduction within N rates only when maize was sole cropped. N rates applied for maize promoted linear increment of Mn leaf content for soybean in succession.

Keywords: *Glycine max* L. Merrill. *Urochloa ruziziensis*. *Zea Mays* L. Nitrogen fertilization. Nutrient competition. Nutritional status.

3.3 INTRODUÇÃO

O consórcio do milho com espécies forrageiras é uma prática que tem sido adotada como forma de aporte e persistência de palhada sobre o solo para efeito

de cobertura no sistema plantio direto (SPD) (CHIODEROLI et al., 2012; CECCON, 2013; GARCIA et al., 2014; GAZOLA et al., 2017; SILVA et al., 2019). Na região do Basalto Paranaense, onde predomina o sistema de produção de grãos envolvendo a sucessão soja-milho, a consorciação do milho no outono-inverno com forrageiras tropicais é prática relativamente recente e em franca expansão. Quando realizada, destaca-se a utilização da espécie *Urochloa ruziziensis*, que apresenta rápido crescimento inicial, elevada cobertura do solo e facilidade de manejo para posterior semeadura da soja (CECCON, 2008).

Além da proteção física e a redução do processo erosivo do solo que a presença de maior quantidade de cobertura morta em superfície pode promover (TARTARI et al., 2012), melhorias sobre atributos do próprio solo têm sido observadas em função do consórcio milho-braquiária, notadamente sobre os seus aspectos físicos (LOSS et al., 2011; CHIODEROLI et al., 2012; SEIDEL et al., 2014). No entanto, a literatura é mais escassa em se tratando de atributos químicos do solo e do estado nutricional das plantas cultivadas sob influência da prática de consórcio milho-braquiária. Considerando o impacto que os fatores químicos do solo apresentam sobre o comportamento das plantas, faz-se necessário realizar estudos especificamente voltados à essa temática.

O crescimento concomitante da braquiária com o milho gera ainda questionamentos quanto a competição interespecífica por nutrientes e a resposta à aplicação de fertilizantes (RESENDE et al., 2008; RICHART et al., 2010; BATISTA et al., 2011), especialmente quando a exigência pelas plantas é elevada, como no caso do nitrogênio (N) (VON PINHO et al., 2009). Acerca deste, a maior parte dos trabalhos diz respeito aos efeitos da fertilização nitrogenada sobre a forrageira após a colheita do milho (BARDUCCI et al., 2009; COSTA et al., 2014a; COSTA et al., 2014b; GARCIA et al., 2014) ou então apenas quanto a resposta ao fornecimento de N no cultivo do milho em sistema consorciado (BATISTA et al., 2011; COSTA et al., 2012; SEIDEL et al., 2015), não o comparando com o cultivo solteiro.

Para estudos comparativos de adubação nitrogenada entre esses diferentes sistemas, destacam-se os realizados por Jakelaitis et al. (2005) utilizando a *Urochloa brizantha* e, mais recentemente, por Gonçalves et al. (2016) com *Urochloa ruziziensis*. Ambos, contudo, foram conduzidos em condições de cultivo de primavera-verão, modalidade que ocupa área bem menor que o milho segunda safra (outono-inverno).

Ainda, a baixa eficiência da adubação nitrogenada realizada diretamente na soja, principalmente com doses elevadas, é bem estabelecida na literatura, seja pelos efeitos negativos na nodulação (NOGUEIRA et al., 2010; PARENTE et al., 2015; KASCHUK et al., 2016) ou ainda pela ausência de retorno econômico desta prática, mesmo nos casos em que há incremento na produtividade de grãos da cultura (MENDES et al., 2008; PETTER et al., 2012). Por outro lado, poucos estudos têm sido realizados com o intuito de avaliar a possibilidade de aproveitamento do N residual, aplicado na cultura antecessora, pelas plantas de soja, o qual pode representar uma forma de otimizar a nutrição da leguminosa no sistema de produção.

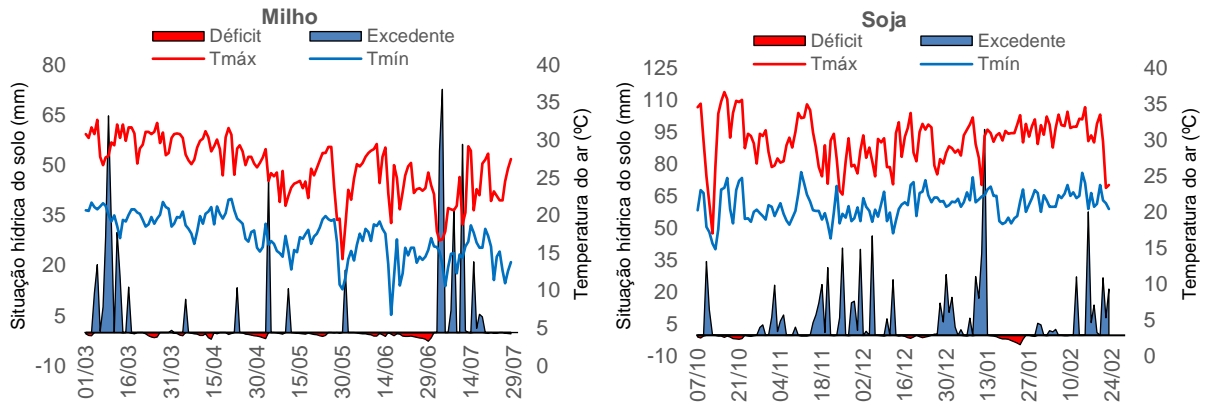
Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi verificar se sistemas de cultivo de milho de segunda safra envolvendo ou não a consorciação com *U. ruziziensis*, associados a doses de N, promovem modificações nos atributos químicos do solo e nutricionais das plantas de milho e soja em sucessão.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento teve início com a implantação da cultura do milho no outono-inverno e foi conduzido em condições de campo, durante três anos agrícolas consecutivos, na Área Experimental do Portal Ciência do Solo (ANEXO A) localizada em uma fazenda com cultivo comercial de grãos no município de Itambé, PR (23° 42' 37" S; 52° 02' 01" W; 318 m de Altitude). O clima, segundo classificação de Köppen, é caracterizado como mesotérmico úmido com verões quentes e sem estação seca definida (Cfa), apresentando médias anuais de temperatura entre 22 e 23 °C, precipitação entre 1400 e 1600 mm, evapotranspiração entre 1000 e 1100 mm e umidade relativa do ar entre 70 e 75% (NITSCHKE et al., 2019). O déficit e excedente hídricos (mm) foram estimados a partir de base de dados de estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2019), localizada em Maringá-PR, cerca de 30 km distante da área experimental (Figura 3.1).

O solo foi classificado como Nitossolo Vermelho Eutroférico (NVef) muito argiloso (72% de argila de 0,0 a 0,40 m), conforme classificação proposta por Santos (2013). A análise química do solo de 0,0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m foi realizada em amostra composta oriunda da coleta aleatória de 16 sub-amostras por camada na área total, anteriormente à instalação do experimento.

Figura 3.1 – Estimativas de déficit e excedente hídricos no solo (mm) e temperaturas do ar (°C) máxima e mínima obtidas em estação meteorológica do INMET localizada no município de Maringá-PR, entre os meses de março a julho (milho) e outubro a fevereiro (soja) do último ano agrícola.



Os resultados dos atributos químicos são apresentados na Tabela 3.1. Exceto pela $CTC_{pH7,0}$ e o teor de P Mehlich-1, considerados como médios, e o Al^{3+} , como muito baixo, para os demais parâmetros avaliados na camada mais superficial (0,0 a 0,20 m), a interpretação se situa entre os níveis alto e muito alto (PAULETTI; MOTTA, 2017).

Tabela 3.1 – Atributos químicos do solo nas camadas de 0,0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m, amostrados anteriormente à instalação do experimento.

Atributo químico							
Camada (m)	pH	COT ⁽¹⁾	MOS ⁽¹⁾	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	S.Bases
	CaCl ₂	g dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³			
0,0 a 0,20	5,97	18,05	31,05	6,09	2,22	0,69	8,99
0,20 a 0,40	5,91	14,76	25,39	5,02	1,85	0,41	7,27

Atributo químico								
Camada (m)	H+Al ⁽²⁾	CTC _{pH7,0}	Al ³⁺	V	Ca _{sat.}	Mg _{sat.}	K _{sat.}	P
	cmol _c dm ⁻³				%			mg dm ⁻³
0,0 a 0,20	3,48	12,47	0,00	71,80	48,51	17,82	5,47	7,31
0,20 a 0,40	3,41	10,68	0,00	67,98	46,85	17,34	3,78	3,87

⁽¹⁾Carbono orgânico total e Matéria orgânica do solo pelo método de Walkley-Black; ⁽²⁾Método SMP; Extratores: Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ = KCl 1N; P e K⁺ = Mehlich-1.

Fonte: O próprio autor.

O delineamento experimental foi de blocos casualizados em esquema fatorial 2x4, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em dois sistemas de cultivo de milho segunda safra, solteiro e consorciado com braquiária (*Urochloa ruziziensis*), associado a quatro doses de nitrogênio (N), 0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹, por meio da fonte nitrato de amônio (30% N). A aplicação do adubo nitrogenado foi parcelada entre semeadura (40 kg ha⁻¹ N) e cobertura no estágio fenológico V4 do milho (restante da dose, somente para os tratamentos 80 e 120 kg ha⁻¹ N). Nos três anos agrícolas o milho foi cultivado no outono-inverno, enquanto nas safras de primavera-verão foi cultivada exclusivamente a soja em todas as parcelas, sem aplicação de N na leguminosa.

As parcelas experimentais tiveram 7,0 m de comprimento por 3,6 m de largura (25,2 m² de área total), semeando-se oito linhas com espaçamento de 0,45 m, tanto para o milho segunda safra como para a soja, com densidade de semeadura de, respectivamente, 60.000 e 320.000 sementes ha⁻¹. A braquiária foi semeada na mesma linha do milho, misturando-se as sementes (3,0 kg ha⁻¹ de sementes puras e viáveis, ou 300 pontos de valor cultural, ajustando-se a dose conforme o VC das sementes utilizadas) com o fertilizante aplicado no sulco de semeadura. A área útil para ambas culturas foi de 7,2 m², composta pelas quatro linhas centrais, desprezando-se 1,5 metros em cada extremidade dessas linhas como bordadura.

A semeadura foi realizada de forma mecanizada em sistema plantio direto (SPD), adotado na área há cerca de 15 anos. Foram utilizados o híbrido simples de milho superprecoce BG7061 HX e a cultivar de soja com tipo de crescimento indeterminado M6210 IPRO, seguindo-se recomendações de posicionamento de genótipos para a região. As sementes receberam tratamento industrial com fungicida e inseticida e, para a soja, realizou-se a inoculação com bactérias da espécie *Bradyrhizobium japonicum*, por meio de inoculante líquido com 5 x 10⁹ UFC mL⁻¹ na dose de 2 mL kg⁻¹ de sementes. Ainda, foi realizada a aplicação foliar de 3 g ha⁻¹ de Co e 25 g ha⁻¹ de Mo, no estágio fenológico V3 da soja.

A semeadura do milho foi realizada sempre no último decêndio de fevereiro de cada ano, enquanto a soja foi semeada no primeiro decêndio de outubro. A braquiária foi dessecada 20 dias antes da semeadura da soja, por meio de pulverização tratorizada do herbicida glifosato na dose de 1,08 kg e.a. ha⁻¹, com volume de calda de 200 L ha⁻¹.

A adubação de base foi realizada no sulco de semeadura e consistiu na aplicação anual de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de K₂O, para a cultura do milho; além de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 80 kg ha⁻¹ de K₂O para a cultura da soja. Os fertilizantes utilizados foram o superfosfato simples (18% P₂O₅, 16% Ca e 8% S) e o cloreto de potássio (60% K₂O). As doses foram estabelecidas de acordo com as recomendações propostas para a cultura do milho por Embrapa (2010) e da soja por Embrapa (2011). O controle fitossanitário foi feito por meio da aplicação, conforme a necessidade, de defensivos químicos registrados para as culturas e liberados pela Adapar para uso no Paraná.

Para avaliação dos atributos químicos do solo (pH CaCl₂, Carbono Orgânico Total, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, H + Al, Soma de Bases, CTC_{pH7,0}, V% e P Mehlich-1), foram coletadas amostras em cada parcela experimental (3 sub-amostras por parcela, nas entrelinhas da soja) na camada de 0,0 a 0,20 m de profundidade, utilizando-se trado holandês, logo após a colheita da soja ao final do terceiro ano agrícola. Também durante o último ano agrícola, as folhas-índice do milho (folha abaixo e oposta à espiga principal) e da soja (terceiro trifólio a partir do ápice, com pecíolo) foram coletadas no florescimento pleno, em 10 pontos ao acaso na área útil da parcela.

O material vegetal foi seco em estufa de circulação de ar a 65 °C por 72 h, moído em moinho tipo Wiley e submetido a digestão via úmida para determinação analítica das concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe), cobre (Cu) e boro (B). Os atributos químicos do solo e os teores de nutrientes nos tecidos vegetais foram analisados segundo metodologias descritas por SILVA (2009), parte no Laboratório de Análises de Solo e Tecido Vegetal (LASTV) da Embrapa Soja e parte no Laboratório de Solos da Universidade Estadual de Londrina (UEL).

Os dados foram testados quanto aos pressupostos paramétricos de homocedasticidade e normalidade dos resíduos, respectivamente pelos testes de Hartley e Shapiro-Wilk. Atendidos os pressupostos, foram submetidos à análise de variância ($P < 0,05$) e, em caso de significância, as médias dos tratamentos qualitativos foram comparadas pelo teste F ($p < 0,05$), enquanto para os quantitativos foi realizada análise de regressão.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Atributos Químicos do Solo

Após três anos agrícolas de sucessão milho e soja, com consórcio milho-braquiária no outono-inverno e adição de doses crescentes de N no sistema, ainda assim não foi possível observar modificações em nenhum dos atributos químicos do solo avaliados na camada de 0,0 a 0,20 m (Tabela 3.2). Assim como para a situação inicial do solo (Tabela 3.1), as médias gerais obtidas ao final do experimento se encontraram, em sua maioria, dentro das classes de teores altos e muito altos (PAULETTI; MOTTA, 2017).

Tabela 3.2 – Resultado da análise de variância para os atributos químicos do solo em função de sistemas de cultivo de milho segunda safra com e sem consorciação com braquiária (*Urochloa ruziziensis*) associado a doses de nitrogênio (N), avaliados ao final do experimento na camada de 0,0 a 0,20 m de profundidade.

Atributo químico	Fonte de variação			Média geral	C.V. (%)
	Dose N (D)	Sistema de Cultivo (S)	D x S		
	p-valor				
pH CaCl ₂	0,1806 ^{ns}	0,2228 ^{ns}	0,1303 ^{ns}	5,30	4,38
COT ⁽¹⁾ , g dm ⁻³	0,7574 ^{ns}	0,5763 ^{ns}	0,4910 ^{ns}	17,13	10,66
Ca ²⁺ , cmol _c dm ⁻³	0,7971 ^{ns}	0,1951 ^{ns}	0,5016 ^{ns}	6,95	10,47
Mg ²⁺ , cmol _c dm ⁻³	0,7525 ^{ns}	0,5710 ^{ns}	0,1710 ^{ns}	1,92	12,79
K ⁺ , cmol _c dm ⁻³	0,2317 ^{ns}	0,8223 ^{ns}	0,9713 ^{ns}	0,63	33,29
S.Bases, cmol _c dm ⁻³	0,7037 ^{ns}	0,2508 ^{ns}	0,4270 ^{ns}	9,50	9,52
H + Al ⁽²⁾ , cmol _c dm ⁻³	0,9603 ^{ns}	0,3098 ^{ns}	0,2681 ^{ns}	4,04	12,58
CTC _{pH7,0} , cmol _c dm ⁻³	0,4544 ^{ns}	0,5015 ^{ns}	0,7618 ^{ns}	13,54	5,84
V, %	0,9892 ^{ns}	0,2323 ^{ns}	0,1981 ^{ns}	70,00	5,80
P Mehlich-1, mg dm ⁻³	0,0742 ^{ns}	0,2523 ^{ns}	0,9177 ^{ns}	8,35	63,90

^{ns}Não significativo pelo teste F. C.V.(%) = Coeficiente de variação.

⁽¹⁾Carbono orgânico total pelo método de Walkley-Black; ⁽²⁾Método SMP; Extratores: Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ = KCl 1N; P e K⁺ = Mehlich-1.

Fonte: o próprio autor.

Em diferentes sistemas de preparo em um Latossolo Amarelo Distrófico, Cruz et al. (2009) observaram redução do pH, Ca²⁺ + Mg²⁺, SB, CTC e V%

na camada de 0,0 a 0,20 m em função do consórcio com braquiária frente ao milho solteiro. Os autores atribuíram essas modificações à maior acidificação do solo promovida pela ação das raízes no consórcio, por meio do processo de absorção de cátions. Contudo, vale salientar que diferente do presente estudo, esses autores utilizaram outra espécie de forrageira no consórcio (*U. decumbens*) e com diferentes condições de clima, tipo de solo e fertilidade química inicial, podendo proporcionar particularidades nos processos de absorção iônica não compartilhadas pela espécie *U. ruziziensis* nas condições do presente trabalho.

Gazolla et al. (2015), divergindo do observado neste estudo, obtiveram maior conteúdo de carbono orgânico total (COT) para um Latossolo Vermelho Distroférico de textura argilosa quando adotado sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) com consórcio milho-*U. ruziziensis* em comparação a uma área em sistema plantio direto (SPD) somente com a sucessão entre soja e milho segunda safra solteiro. Em ambas as áreas, os sistemas foram adotados por cerca de 10 anos antes da avaliação. Assim como estes autores, Loss et al. (2011) também observaram aumento de COT na camada superficial de um Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa após 10 anos da adoção de um sistema de ILP com consórcio milho-*U. ruziziensis*, comparado ao SPD sem consorciação. Na mesma área, Loss et al. (2012) ainda observaram aumento no estoque de nutrientes como Ca, K, P e N e redução do Mg na camada de 0,0 a 0,40 m do solo no sistema ILP em comparação ao SPD sob monocultivo.

É importante salientar que os resultados obtidos pela maioria desses autores foram observados após períodos mais longos (cerca de 10 anos) e em solos caracterizados por condições originais de menor fertilidade do ponto de vista químico. Em contraste com a ausência de efeito observada para o solo do presente estudo, evidencia-se que as modificações dos atributos químicos sob influência do consórcio milho-braquiária dependem do tipo e condição inicial do solo e, além disso, podem demandar um tempo maior do que se tem observado em comparação aos atributos físicos (SEIDEL et al., 2014). Neste sentido, Santos et al. (2016), semelhante ao obtido neste trabalho, também não observaram modificações na maioria das propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Eutroférico na camada de 0,0 a 0,30 m de profundidade, após um ano de adoção do consórcio milho-*U. ruziziensis* semeados na mesma linha, em comparação ao cultivo de milho solteiro.

Em outro estudo conduzido por menor período, Crusciol et al. (2015) observaram melhorias na maioria dos atributos químicos de um Argissolo Amarelo em sistema de cultivo de milho consorciado com braquiária em comparação ao monocultivo de milho. No entanto, os autores utilizaram a espécie *Urochloa brizantha* cv. Marandu, que já foi relatada como mais eficiente que a *Urochloa ruziziensis* no acúmulo de biomassa e ciclagem de nutrientes (OLIVEIRA et al., 2019), além do consórcio ter sido realizado no período de primavera-verão, quando as condições climáticas são mais favoráveis ao crescimento e absorção de nutrientes pela forrageira, potencializando mais ainda a ciclagem. Além disso, o solo em que o experimento foi conduzido também apresentava condições iniciais de menor fertilidade química na camada de 0,0 a 0,40 m, para praticamente todos os atributos quando comparado ao solo do presente estudo (Tabela 3.1).

3.5.2 Estado Nutricional das Plantas Cultivadas

A despeito da ausência de efeito dos fatores estudados sobre os atributos químicos do solo, os teores de alguns nutrientes nas folhas-índice das plantas cultivadas foram influenciados tanto pela adubação nitrogenada como pelo sistema de cultivo. A interação entre a dose de N e o sistema de cultivo na segunda safra exerceu influência sobre os teores de P e Ca na folha-índice do milho, enquanto os teores de K e S nessa mesma cultura tiveram efeito de fatores isolados. Por outro lado, os nutrientes N e Mg no milho, bem como todos os macronutrientes avaliados nas folhas-índice da soja, não tiveram seus teores afetados por nenhum dos fatores estudados (Tabela 3.3).

As médias gerais dos demais nutrientes nas folhas-índice de milho e soja, que não tiveram influência dos fatores estudados, são apresentadas na Tabela 3.4, acompanhadas dos teores de referência de acordo com Pauletti e Motta (2017) para o estado do Paraná.

A ausência de efeito da adubação nitrogenada nos teores de N, sobretudo das folhas-índice do milho, apesar de não esperado, pode ser explicado por um aumento simultâneo da absorção do nutriente e consequente incremento no acúmulo de massa seca dos tecidos, o que promoveria a manutenção da concentração foliar do nutriente. O teor médio de N encontrado foi de 23,31 g kg⁻¹ (Tabela 3.4), abaixo da faixa considerada adequada para o estado do Paraná

(PAULETTI; MOTTA, 2017), o que indica a probabilidade de resposta a adubação com doses de N superiores aquelas utilizadas no trabalho.

Cruz et al. (2008b), avaliando a consorciação de milho com *U. decumbens*, também não observaram diferenças nos teores de nitrogênio na folha do milho e, de forma semelhante ao presente estudo, encontraram valores próximos a 23 g kg⁻¹, abaixo do considerado crítico.

Tabela 3.3 – Resultado da análise de variância para o teor de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) nas folhas-índice de milho e soja em função de doses de nitrogênio (N) e sistemas de cultivo de milho segunda safra.

Cultura	Fonte de variação			C.V.(%)
	Dose N (D)	Sistema de Cultivo (S)	D x S	
<i>p</i> -valor				
N				
Milho	0,3720 ^{ns}	0,1251 ^{ns}	0,0933 ^{ns}	16,88
Soja	0,3458 ^{ns}	0,0534 ^{ns}	0,2580 ^{ns}	8,17
P				
Milho	0,0001 ^{**}	0,0010 ^{**}	0,0361 [*]	4,98
Soja	0,2501 ^{ns}	0,6811 ^{ns}	0,7497 ^{ns}	6,78
K				
Milho	0,0979 ^{ns}	0,0254 [*]	0,4871 ^{ns}	7,99
Soja	0,7716 ^{ns}	0,5318 ^{ns}	0,5035 ^{ns}	6,80
Ca				
Milho	0,0697 ^{ns}	0,0167 [*]	0,0062 ^{**}	6,85
Soja	0,6849 ^{ns}	0,7563 ^{ns}	0,9488 ^{ns}	7,03
Mg				
Milho	0,7709 ^{ns}	0,1853 ^{ns}	0,1572 ^{ns}	13,90
Soja	0,4160 ^{ns}	0,1506 ^{ns}	0,0949 ^{ns}	4,44
S				
Milho	0,0001 ^{**}	0,0007 ^{**}	0,3479 ^{ns}	4,98
Soja	0,4123 ^{ns}	0,6115 ^{ns}	0,2050 ^{ns}	4,33

^{ns}Não significativo. ^{*}Significativo a 5%. ^{**}Significativo a 1%. C.V.(%) = Coeficiente de variação.

Fonte: o próprio autor.

Tabela 3.4 – Médias gerais dos teores de nutrientes nas folhas-índice de soja e milho que não apresentaram efeitos dos fatores estudados e os respectivos teores de referência para o estado do Paraná.

Macroutriante						
Cultura	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
Milho	23,30	*	*	*	2,60	*
Ref.⁽¹⁾	27,0-35,0	1,9-4,0	17,0-35,0	2,3-8,0	1,5-5,0	1,5-3,0
Soja	50,05	3,19	19,03	8,64	4,03	2,37
Ref.⁽¹⁾	41,0-49,0	2,8-3,6	22,0-27,0	8,0-11,0	3,0-4,8	2,5-3,5
Micronutriente						
Cultura	Zn	Mn	Fe	Cu	B	
	mg kg ⁻¹					
Milho	30,50	57,97	224,11	*	15,46	
Ref.⁽¹⁾	15,0-100,0	20,0-200,0	30,0-250,0	6,0-20,0	10,0-25,0	
Soja	43,03	*	90,53	7,91	55,60	
Ref.⁽¹⁾	22,0-38,0	40,0-94,0	119,0-211,0	8,0-11,0	52,0-60,0	

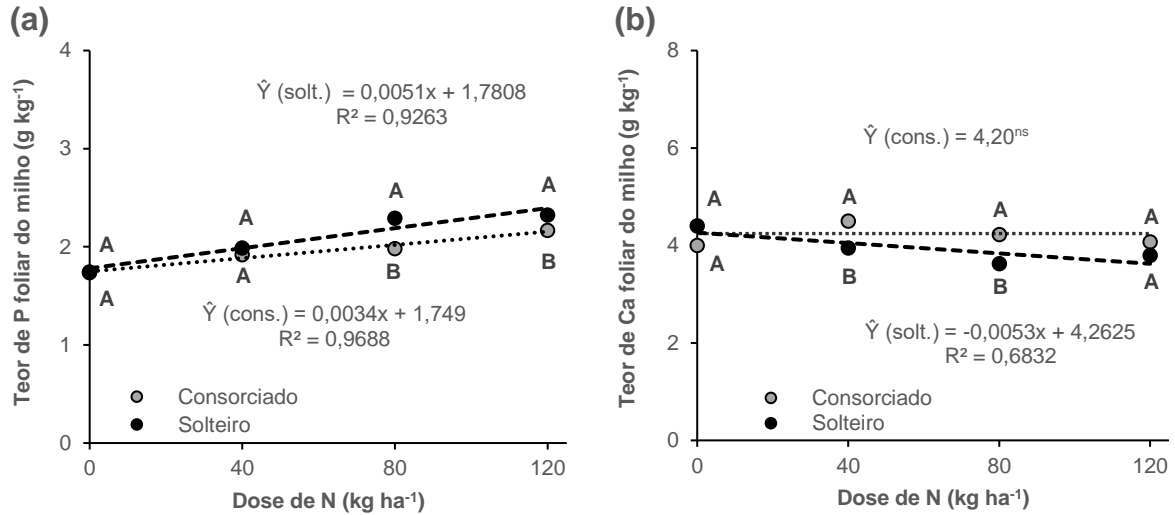
*Significativo pelo teste *F*. ⁽¹⁾Teores de referência segundo Pauletti e Motta (2017).

Fonte: o próprio autor.

O teor de P na folha-índice do milho teve aumento com as doses de N para ambos sistemas, ajustando-se a um modelo linear tanto para o milho em consórcio com a *U. ruziziensis* como para o cultivo solteiro (Figura 3.2a). É importante ressaltar que na ausência de adubação nitrogenada, os teores de P obtidos foram inferiores a faixa considerada adequada (PAULETTI; MOTTA, 2017), demonstrando a contribuição do N para adequada nutrição de fósforo no milho.

De acordo com Prado (2008), estudos têm demonstrado efeito sinérgico do N, principalmente na forma amoniacal, sobre o teor foliar de P. O autor explica que a redução do pH rizosférico pela absorção do N-NH₄⁺ e simultânea extrusão de prótons (H⁺) pelas células das raízes favorece o processo de absorção do fósforo. Neste sentido, Kappes et al. (2013) também relataram aumento no teor de P foliar do milho em resposta ao incremento da dose de N, reforçando a ideia de sinergismo entre esses nutrientes.

Figura 3.2 – Teores de fósforo (P, g kg⁻¹) (a) e cálcio (Ca, g kg⁻¹) (b) na folha-índice de milho em função da interação entre doses de nitrogênio (N) e sistemas de cultivo de milho segunda safra.



Letras maiúsculas diferenciam os sistemas de cultivo dentro de cada dose de N pelo teste *F* a 5% de significância.

Fonte: o próprio autor.

Nas maiores doses de N utilizadas (80 e 120 kg ha⁻¹), houve superioridade do cultivo solteiro para o teor de P na folha-índice do milho (Figura 3.2a), indicando competição da braquiária com a cultura pelo P disponível para absorção. Vale ressaltar que, de acordo com a análise química do solo realizada inicialmente, o teor de P disponível no solo se encontrava médio (Tabela 3.1) e, portanto, com maior propensão à competição interespecífica.

Silva et al. (2015a) relataram que o aumento da densidade de plantas de *Urochloa brizantha* em consórcio com o milho reduziu linearmente o teor foliar de P no cereal, o que atribuíram ao rápido crescimento inicial das raízes da forrageira e, conseqüentemente, a competição pelo fósforo do solo com a cultura. Ao considerar que o principal mecanismo de transporte do fósforo no solo é a difusão (COSTA et al., 2006), espera-se que a exploração de forma mais rápida da camada superficial do solo, onde o P está mais concentrado no sistema plantio direto (SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2000), proporcione à planta maior competitividade pelo nutriente. Além disso, a modalidade de semeadura das gramíneas na mesma linha pode ter contribuído para maior concorrência entre as espécies pelo P aplicado por meio da adubação de base.

Para o cálcio, o efeito das doses de N foram observados apenas no cultivo de milho solteiro, com redução linear. Ainda, nas doses intermediárias (40 e 80 kg ha⁻¹ N), houve maior teor de Ca na folha-índice do milho consorciado em comparação ao solteiro (Figura 3.2b). O fornecimento de nitrogênio por meio de fontes contendo elevada proporção de N-amoniacoal, como o nitrato de amônio (50/50), eleva a concentração de NH₄⁺ na solução do solo, podendo promover inibição da absorção de outros cátions, a exemplo do Ca²⁺, conforme observado por Terraza et al. (2012) em plantas de tomate.

No cultivo consorciado, no entanto, as plantas de braquiária podem ter contribuído para a retirada de parte do NH₄⁺ proveniente das doses intermediárias de N, amenizando a inibição deste cátion sobre o Ca²⁺, contribuição que deixou de ser significativa na aplicação da maior dose de N. Contudo, diferente do P, em todas as condições de fornecimento de N e sistemas de cultivo, os teores de Ca ficaram dentro da faixa adequada (PAULETTI; MOTTA, 2017). Dessa forma, tendo em vista os teores de N abaixo do nível crítico encontrados no tecido foliar do milho e, ao mesmo tempo, a adequada concentração de Ca, a inibição observada sobre este último não deve ser motivo de preocupação para a adoção da maior dose de N, mesmo no sistema de cultivo solteiro.

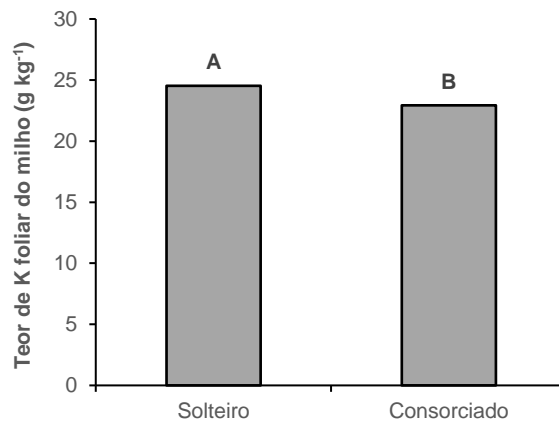
Os teores de potássio (Figura 3.3) e enxofre (Figura 3.4b) foram reduzidos no cultivo consorciado, ambos em torno de 6,5%. Esses resultados divergem daqueles obtidos por Silva et al. (2015a), em que K e S foram os únicos macronutrientes dos quais os teores foliares do milho não sofreram interferência da consorciação com *Urochloa brizantha* em diferentes densidades da forrageira, ao passo que P, Ca e Mg tiveram redução linear de acordo com o aumento na quantidade de plantas por área.

Dessa forma, evidencia-se que a competição por esses nutrientes pode variar conforme a espécie de braquiária utilizada no consórcio, bem como na interação com outros fatores de manejo e ambientais. Apesar das referidas reduções, os teores dos dois nutrientes permaneceram adequados em ambos sistemas de cultivo (PAULETTI; MOTTA, 2017).

Para o teor de S, houve ainda resposta linear para as doses de N, independente do sistema de cultivo (Figura 3.4a). Soratto et al. (2010) e Nascimento et al. (2012) obtiveram ajuste quadrático para o teor de S na folha de milho em função de doses de N de até 120 kg ha⁻¹, respectivamente no outono-inverno em sucessão a

soja e na primavera-verão em sucessão a aveia. Os valores máximos de S foram obtidos por estes autores com as respectivas doses de 65,8 e 101 kg ha⁻¹ de N, respostas essas inferiores a observada neste estudo.

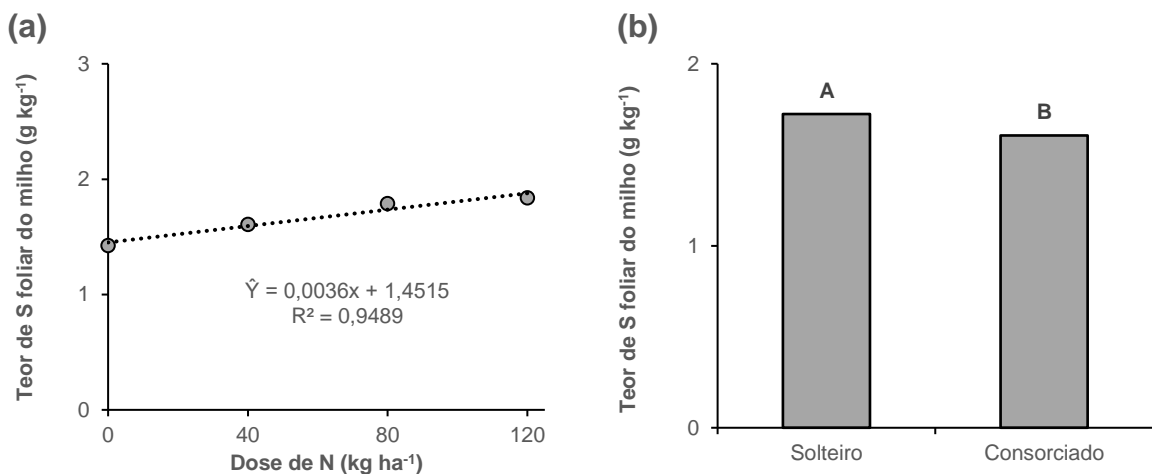
Figura 3.3 – Teor de potássio (K, g kg⁻¹) na folha-índice de milho em função de sistemas de cultivo na segunda safra.



Letras maiúsculas diferenciam os sistemas de cultivo pelo teste *F* a 5% de significância.

Fonte: o próprio autor.

Figura 3.4 – Teor de enxofre (S, g kg⁻¹) na folha-índice de milho em função de doses de nitrogênio (N) (a) e sistemas de cultivo na segunda safra (b).



Letras maiúsculas diferenciam os sistemas de cultivo pelo teste *F* a 5% de significância.

Fonte: o próprio autor.

Assim como para o P, o sinergismo entre N e S é relatado na literatura (MALAVOLTA; MORAES, 2007) e, na ausência de adubação nitrogenada (Figura 3.4a), o S também teve um teor abaixo do ideal (PAULETTI; MOTTA, 2017).

Com relação aos micronutrientes, para o milho houve efeito apenas sobre os teores de cobre em função das doses de N e dos sistemas de cultivo isoladamente. Para a cultura da soja, somente os teores de manganês foram afetados e exclusivamente em função do N (Tabela 3.5). Tsumanuma (2004), avaliando o consórcio de milho com três espécies de braquiária (*Urochloa decumbens*, *Urochloa brizantha* e *Urochloa ruziziensis*), bem como Cruz et al. (2008b) utilizando *Urochloa decumbens* na consorciação, não observaram qualquer alteração nos teores dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas do milho.

Tabela 3.5 – Resultado da análise de variância para os teores de zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe), cobre (Cu) e boro (B) nas folhas-índice de milho e soja em função de doses de nitrogênio (N) e sistemas de cultivo de milho segunda safra.

Cultura	Fonte de variação			C.V.(%)
	Dose N (D)	Sistema de Cultivo (S)	D x S	
<i>p</i> -valor				
Zn				
Milho	0,9247 ^{ns}	0,2381 ^{ns}	0,8442 ^{ns}	9,55
Soja	0,7834 ^{ns}	0,1269 ^{ns}	0,1233 ^{ns}	7,62
Mn				
Milho	0,8143 ^{ns}	0,8416 ^{ns}	0,8587 ^{ns}	11,27
Soja	0,0500*	0,0667 ^{ns}	0,6154 ^{ns}	10,98
Fe				
Milho	0,7790 ^{ns}	0,9184 ^{ns}	0,7642 ^{ns}	21,02
Soja	0,8159 ^{ns}	0,7997 ^{ns}	0,3553 ^{ns}	9,79
Cu				
Milho	0,0001**	0,0067**	0,3578 ^{ns}	7,89
Soja	0,8831 ^{ns}	0,3097 ^{ns}	0,1641 ^{ns}	6,44
B				
Milho	0,7032 ^{ns}	0,9462 ^{ns}	0,0996 ^{ns}	13,41
Soja	0,6864 ^{ns}	0,4342 ^{ns}	0,2755 ^{ns}	6,24

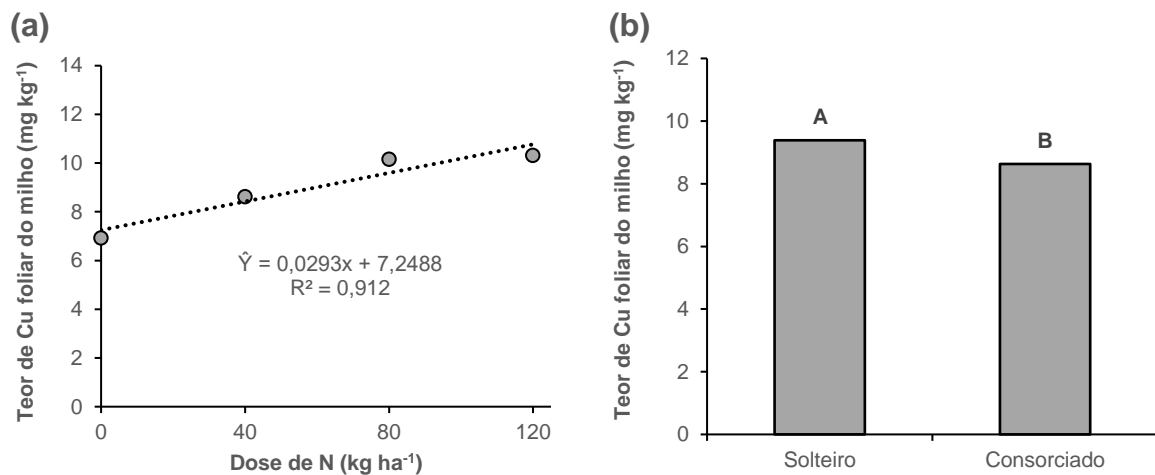
^{ns}Não significativo. *Significativo a 5%. **Significativo a 1%. C.V.(%) = Coeficiente de variação.

Fonte: o próprio autor.

A resposta obtida para o Cu foi semelhante aquela observada para o S, com ajuste a um modelo linear em função das doses de N aplicadas (Figura 3.5a). Nascimento et al. (2012) também relataram incremento linear nos teores de Cu na cultura do milho em função de doses crescentes de N na sucessão com aveia.

O cultivo consorciado reduziu em torno de 8% o teor de Cu na folha-índice do milho (Figura 3.5b). Cury et al. (2012), estudando o acúmulo e partição de nutrientes em cultivares de milho sob interferência de diferentes plantas daninhas, observaram redução no conteúdo relativo de Cu nas folhas da cultura entre 5% e 60%, respectivamente para as espécies de braquiária *Urochloa plantaginea* e *Urochloa brizantha*.

Figura 3.5 – Teor de cobre (Cu, mg kg⁻¹) na folha-índice de milho em função de doses de nitrogênio (N) (a) e sistemas de cultivo na segunda safra (b).

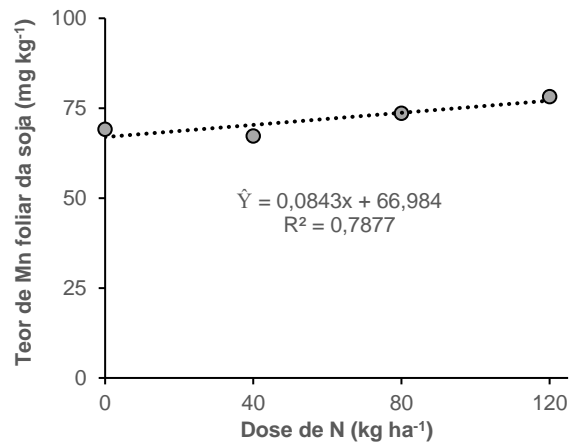


Letras maiúsculas diferenciam os sistemas de cultivo pelo teste *F* a 5% de significância.

Fonte: o próprio autor.

Na folha-índice da soja, o teor de manganês também aumentou de forma linear em função das doses de N aplicadas no milho segunda safra, atingindo 77,09 mg kg⁻¹ Mn (Figura 3.6). Este comportamento pode ser explicado pela acidificação da rizosfera provocada pela absorção dos íons NH₄⁺ e relatada anteriormente para a resposta do fósforo. Tendo em vista que a disponibilidade do Mn no solo é elevada linearmente com a redução no pH, espera-se que a absorção do mesmo pelas plantas siga esta tendência. Souza et al. (2010) argumenta que o decréscimo no pH rizosférico favorece a redução e aumenta a concentração de Mn²⁺, aumentando sua absorção pelas plantas.

Figura 3.6 – Teor de manganês (Mn, mg kg⁻¹) na folha-índice de soja em função de doses de nitrogênio (N).



Fonte: o próprio autor.

Conforme os resultados obtidos, evidencia-se que a consorciação do milho de segunda safra com a espécie *Urochloa ruziziensis* na modalidade de semeadura em mesma linha apresenta mais interferências negativas sobre a nutrição da própria cultura, do que as melhorias esperadas com a adoção da prática sob o ponto de vista químico do solo.

Mesmo após três anos agrícolas, a introdução da braquiária no sistema de produção não foi capaz de promover modificações significativas sobre os teores de nutrientes na camada do solo de 0,0 a 0,20 m, de maneira que a cultura da soja em sucessão pudesse ter seu estado nutricional beneficiado. A fertilidade química inicial do solo, adequada em termos gerais (Tabela 3.1), também deve ter sido fator contribuinte para maior dificuldade em se observar alterações sobre os atributos químicos do solo e na nutrição da soja em função do sistema de cultivo.

Esses resultados podem estar relacionados às condições edafoclimáticas pouco favoráveis ao aprofundamento das raízes da braquiária. Conforme Pimentel et al. (2016), modificações nas raízes de plantas forrageiras ocorrem com a escassez de água no solo, notadamente a redistribuição a maiores profundidades. No presente estudo, a baixa frequência de déficit hídrico ao longo do consórcio (Figura 3.1) pode não ter propiciado o estímulo necessário ao aprofundamento do sistema de raízes da forrageira. Com isso, o potencial para reciclagem de nutrientes de maiores profundidades do solo seria minimizado, o que ajuda a explicar a falta de influência do consórcio sobre os atributos químicos do solo.

Estudos de maior duração, englobando diferentes modalidades de implantação do consórcio na segunda safra, serão necessários para melhor elucidar a capacidade da espécie *Urochloa ruziziensis* em promover alterações nos atributos químicos de solos argilosos de alta fertilidade na região do Basalto Paranaense.

3.6 CONCLUSÕES

Em solo de alta fertilidade química inicial sob sistema plantio direto consolidado, o sistema de cultivo de milho segunda safra adotado, se solteiro ou consorciado com *Urochloa ruziziensis*, não promove modificações sobre os atributos químicos do solo após três anos agrícolas de milho e soja em sucessão.

A espécie forrageira *Urochloa ruziziensis* compete por nutrientes com o milho quando consorciados na mesma linha de semeadura em cultivo de outono-inverno, afetando negativamente os teores de P, K, S e Cu da folha-índice do milho.

O fornecimento de doses de N crescentes até 120 kg ha⁻¹ no cultivo de milho segunda safra, independente do sistema adotado, favorece o estado nutricional desta cultura, com aumento linear nos teores foliares de P, S e Cu, beneficiando também a nutrição da cultura da soja em sucessão ao incrementar linearmente o teor foliar de Mn.

O consórcio milho-braquiária no outono-inverno com a espécie *Urochloa ruziziensis*, após três anos agrícolas de adoção em um solo manejado sob sistema plantio direto e de alta fertilidade inicial, não afeta o estado nutricional das plantas de soja cultivadas em sucessão.

4 ARTIGO B

CONSORCIAÇÃO COM BRAQUIÁRIA ASSOCIADA A DOSES DE NITROGÊNIO SOBRE ASPECTOS FITOTÉCNICOS NO CULTIVO DE MILHO SEGUNDA SAFRA E DE SOJA EM SUCESSÃO

4.1 RESUMO

O consórcio de milho segunda safra com braquiária tem se difundido com o objetivo de promover melhorias no solo em sistema plantio direto e, por conseguinte, incrementar a produtividade de grãos do milho e da soja cultivados em sucessão. No entanto, para esta recomendação, são necessários estudos regionalizados, em diferentes anos agrícolas e sob condições diversas de fertilização, considerando a interação existente entre as plantas e características edafoclimáticas do ambiente de produção. Com isso, objetivou-se neste trabalho verificar quais efeitos a consorciação do milho segunda safra com braquiária, associada a doses de nitrogênio (N), podem proporcionar sobre aspectos fitotécnicos no cultivo do milho e da soja em sucessão, durante três anos agrícolas. O experimento foi conduzido a campo em um Nitossolo Vermelho Eutroférrico de textura argilosa sob sistema plantio direto (SPD) com quinze anos de adoção, no município de Itambé-PR (23° 42' 37" S; 52° 02' 01" W; 318 m de altitude). O delineamento experimental foi de blocos casualizados em esquema fatorial 2x4x3, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em dois sistemas de cultivo de milho segunda safra (outono-inverno), solteiro e consorciado com braquiária (*Urochloa ruziziensis*), associados a quatro doses de N (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) e por três anos agrícolas. Foram realizadas avaliações de produtividade de grãos das culturas de milho e soja e de massa seca da parte aérea da braquiária (MSB) na pré-dessecação. Após a semeadura da soja no último ano-agrícola, foi avaliada a porcentagem de cobertura do solo por palha. Os efeitos das doses de N sobre a MSB e a produtividade do milho foram variáveis conforme as condições meteorológicas do ano agrícola, sendo mais pronunciadas quando houve menor ocorrência de déficit hídrico, sem interação com o sistema de cultivo adotado. O impacto do consórcio com *U. ruziziensis* sobre a produtividade do milho também mostrou dependência do ano, com redução de até 15% no ano em que a MSB foi superior. Houve aumento da cobertura do solo por palha para o SPD com o cultivo de milho consorciado, no entanto, a produtividade da soja não foi influenciada com a adoção desse sistema. O N aplicado na cultura do milho promoveu incremento linear na produtividade de grãos da soja em sucessão.

Palavras-chave: *Glycine max* L. Merril. *Urochloa ruziziensis*. *Zea mays* L. Adubação nitrogenada. Cobertura do solo. Produtividade de grãos.

INTERCROPPING WITH UROCHLOA ASSOCIATED TO NITROGEN RATES ON PHYTOTECHNICAL ASPECTS OF OFF-SEASON MAIZE AND SOYBEAN IN SUCCESSION

4.2 ABSTRACT

The intercropping of off-season maize with *Urochloa* species has been widespread with the objective to promote soil improvements and, consequently, a greater yield of maize and soybean grown in succession. However, for this recommendation, regional studies along different agricultural years and distinct fertilization conditions are needed, considering the interaction between plants and edaphoclimatic characteristics of the production environment. Thus, the aim was to verify which effects the intercropping of off-season maize with *Urochloa ruziziensis*, associated to nitrogen (N) rates, may provide to phytotechnical aspects of maize and soybean grown in succession, over three agricultural years. The experiment was carried out in field conditions on a clayey Eutroferric Red Nitosol in the municipality of Itambé-PR (23° 42' 36.74" S; 52° 02' 00.91" W; 318 m high). The experimental design was randomized blocks in factorial scheme 2x4x3, with four replications. The treatments consisted in two maize cropping systems in autumn-winter season, sole and intercropped with *U. ruziziensis*, in addition to four nitrogen rates (0, 40, 80 and 120 kg ha⁻¹ N) and three agricultural years. The evaluations were performed to access grain yield of maize and soybean, besides the dry mass of the shoots of *Urochloa* (DMS) at pre-desiccation. After sowing soybean in the last agricultural year, the percentage of soil straw covering was assessed. The effects of N rates for DMS and maize yield was variable according to year weather conditions, being more pronounced the lower was the water deficit, not interacting with the cropping system adopted. The impact of intercropping with *U. ruziziensis* on maize yield also showed year-dependency, with 15% loss when DMS was the highest. The percentage of soil straw covering for no-tillage was raised with maize intercropping, however, soybean grain yield was not influenced by adopting such system. The N applied for maize provided linear increment for soybean grain yield in succession.

Keywords: *Glycine max* L. Merrill. *Urochloa ruziziensis*. *Zea mays* L. Nitrogen fertilization. Soil cover. Grain yield.

4.3 INTRODUÇÃO

A sucessão entre soja e milho segunda safra predomina como sistema de produção em boa parte das regiões de cultivo dessas espécies. No Paraná, as duas culturas ocupam a maior parte da área cultivada, destacando-se a soja na primavera-verão (primeira safra) e o milho no período de outono-inverno (segunda safra) (DERAL, 2019).

A interação das plantas com o ambiente é preponderante para a obtenção de altas produtividades, uma vez que é do ambiente, solo e atmosfera, que elas captam os recursos água, luz e elementos, necessários ao seu crescimento e

desenvolvimento (CASTRO et al., 2008). Dessa forma, é de fundamental importância que se proporcione condições de ambiente favoráveis a esses processos, notadamente ações de manejo que promovam maior disponibilidade de água e nutrientes no solo. Neste sentido, o uso de plantas de cobertura no sistema plantio direto (SPD) tem se difundido como estratégia para melhorar a cobertura e proteção do solo, a estrutura e, conseqüentemente, a capacidade de infiltração e armazenamento de água, bem como a ciclagem e disponibilização de nutrientes (TORRES et al., 2014; TIECHER et al., 2016).

Diante do sistema de raízes pouco profundo e da relativa baixa produção e persistência de restos culturais deixados pelas plantas de soja e milho em sucessão, tem-se utilizado forrageiras tropicais do gênero *Urochloa* (braquiárias) em consórcio com o milho segunda safra, no intuito de aumentar a produção de raízes para melhoria na qualidade estrutural do solo (SALTON; TOMAZI, 2014) e incrementar a produção de palha para cobertura da superfície no SPD (CHIODEROLI et al., 2012).

A despeito dos benefícios promovidos pela inserção de plantas forrageiras como a braquiária no sistema, ainda se questiona a possibilidade de competição interespecífica por fatores de produção entre essas plantas de cobertura e o milho, bem como o impacto sobre o desempenho produtivo da cultura de grãos. Neste contexto, encontram-se tanto estudos em que não houve interferência do consórcio (BATISTA et al., 2011; FIORENTIN et al., 2012; GARCIA et al., 2012; GARCIA et al., 2013; FREITAS et al., 2013; IKEDA et al., 2013) quanto aqueles em que a produtividade do milho foi afetada pela presença da forrageira (RICHART et al., 2010; PARIZ et al., 2011b; FERREIRA et al., 2014).

Com isso, infere-se que o impacto do consórcio sobre a resposta produtiva do milho é variável de acordo com aspectos inerentes ao ambiente de produção, como características de solo, clima e manejo. Esse fato leva à necessidade de desenvolvimento de estudos regionalizados, englobando condições diversas, em especial quanto a disponibilidade hídrica e de nutrientes. Neste sentido, elementos de elevada demanda pelas plantas, como o nitrogênio (N), podem afetar sobremaneira a produtividade das plantas, mais ainda em condições de competição interespecífica.

Os trabalhos realizados em adubação nitrogenada no consórcio milho-braquiária, por autores como Barducci et al. (2009), Batista et al. (2011), Costa et al. (2012) e Garcia et al. (2014), não tiveram como objetivo identificar as particularidades de resposta ao N desse sistema em comparação ao cultivo do milho

solteiro. Destaca-se, neste sentido, o estudo desenvolvido por Gonçalves et al. (2016), que compararam o fornecimento de N para ambos sistemas, porém, utilizando doses relativamente baixas (até 80 kg ha⁻¹ N). Além disso, o trabalho foi conduzido em condições de cultivo de primavera-verão, modalidade utilizada em regiões mais específicas do estado do Paraná, menos expressivas em termos de área cultivada e volume de produção e com condição climáticas contrastantes em relação ao milho cultivado no outono-inverno.

Em uma visão de sistema de produção, deve-se considerar os reflexos, tanto da prática de consórcio do milho com a braquiária quanto do efeito residual do aporte de N ao sistema, sobre a produtividade da soja cultivada em sucessão. Alguns trabalhos que avaliaram a produtividade da soja após o consórcio têm indicado efeito benéfico desta prática (ALVES et al., 2013; CORREIA et al., 2013; MIRANDA, 2015). Contudo, também se observam casos onde houve ausência de resposta produtiva da soja ao consórcio milho-braquiária (GARCIA et al., 2014) e, de modo semelhante, inconsistências de resultados ainda ocorrem quanto ao desempenho produtivo da leguminosa em função do fornecimento de N mineral (BAHRY et al., 2014; MIRANDA, 2015; FABRIS et al., 2018). Além do mais, são escassos na literatura estudos objetivando investigar a resposta produtiva da soja para a interação entre esses fatores.

Com isso, o objetivo do trabalho foi verificar quais efeitos a consorciação do milho segunda safra com braquiária, associada a doses de nitrogênio (N), podem proporcionar sobre aspectos fitotécnicos no cultivo do milho e da soja em sucessão, durante três anos agrícolas.

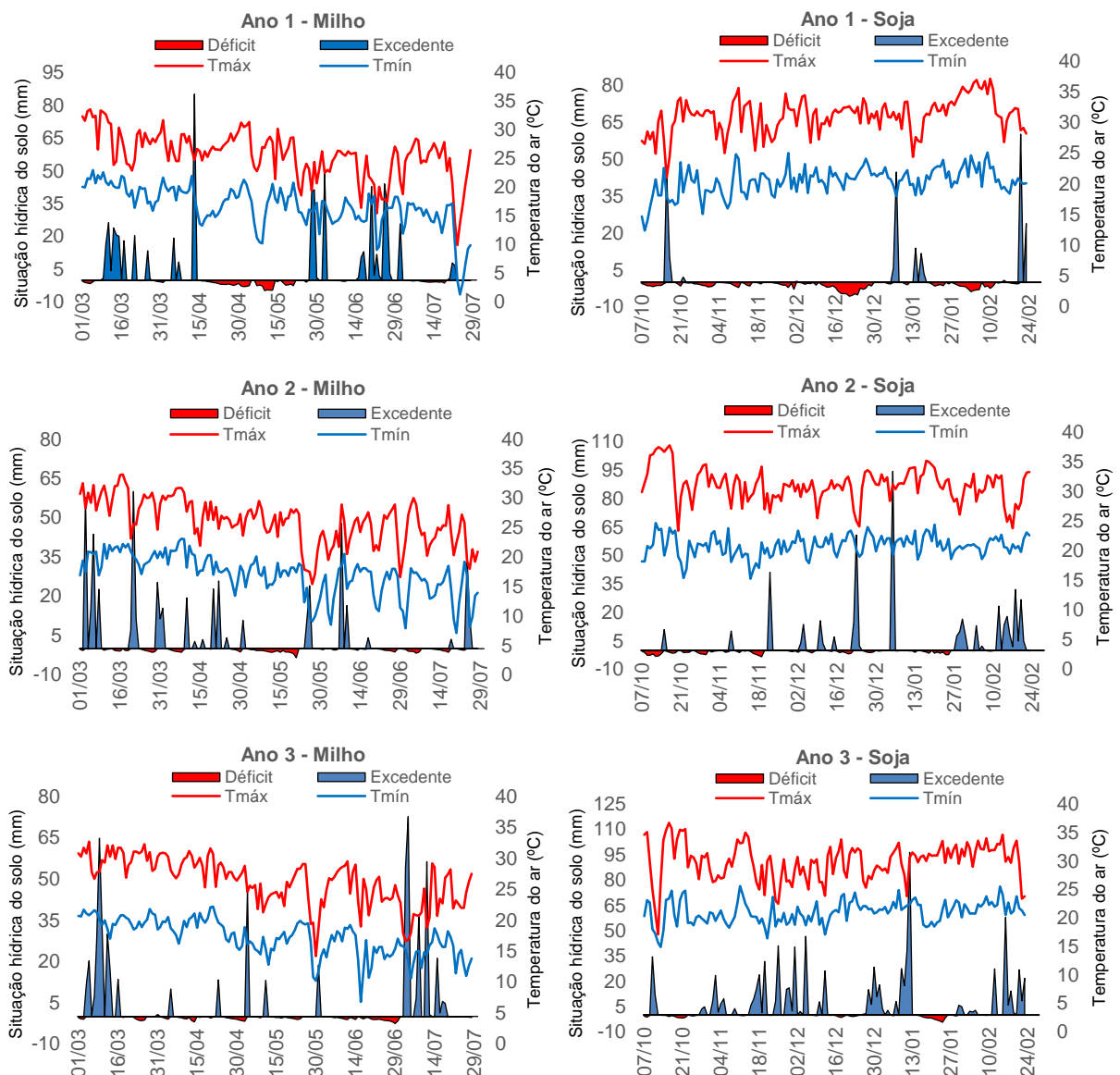
4.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi iniciado com a implantação da cultura do milho no outono-inverno e conduzido a campo, durante três anos agrícolas consecutivos, na Área Experimental do Portal Ciência do Solo (ANEXO A) localizada em uma fazenda com cultivo comercial de grãos no município de Itambé-PR (23° 42' 37" S; 52° 02' 01" W; 318 m de altitude). O clima, segundo classificação de Köppen, é caracterizado como mesotérmico úmido com verão quente e sem estação seca definida (Cfa), apresentando médias anuais de temperatura entre 22 e 23 °C, precipitação entre 1400

e 1600 mm, evapotranspiração entre 1000 e 1100 mm e umidade relativa do ar entre 70 e 75% (NITSCHKE et al., 2019).

As estimativas de déficit e excedente hídricos (mm) no solo bem como as temperaturas do ar ($^{\circ}\text{C}$) máxima e mínima (Figura 4.1) da região foram obtidos a partir de base de dados de estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2019), localizada em Maringá-PR, cerca de 30 km distante da área experimental.

Figura 4.1 – Estimativas de déficit e excedente hídricos no solo (mm) e temperaturas do ar ($^{\circ}\text{C}$) máxima e mínima obtidas em estação meteorológica do INMET localizada no município de Maringá-PR, entre os meses de março a julho (milho) e outubro a fevereiro (soja) de cada ano agrícola.



O solo foi classificado como Nitossolo Vermelho Eutroférrico (NVef) conforme classificação proposta por Santos (2013), de textura muito argilosa (72% de argila de 0,0 a 0,40 m). Foi realizada amostragem em zigue-zague na área total correspondente ao experimento, anteriormente à instalação do mesmo. Coletaram-se 16 sub-amostras de forma estratificada (0,0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m) para obtenção de uma amostra composta, que apresentou os resultados contidos na Tabela 4.1, após análise química conforme metodologias descritas por Silva (2009). Exceto pela $CTC_{pH7,0}$ e o teor de P Mehlich-1, considerados como médios, e o Al^{3+} , como muito baixo, para os demais parâmetros avaliados na camada mais superficial (0,0 a 0,20 m), a interpretação se situa entre os níveis alto e muito alto (PAULETTI; MOTTA, 2017).

Tabela 4.1 – Atributos químicos do solo nas camadas de 0,0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m, amostrados anteriormente à instalação do experimento.

Atributo químico							
Camada (m)	pH	COT ⁽¹⁾	MOS ⁽¹⁾	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	S.Bases
	CaCl ₂	g dm ⁻³	g dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³
0,00 a 0,20	5,97	18,05	31,05	6,09	2,22	0,69	8,99
0,20 a 0,40	5,91	14,76	25,39	5,02	1,85	0,41	7,27

Atributo químico								
Camada (m)	H+Al ⁽²⁾	CTC _{pH7,0}	Al ³⁺	V	Ca _{sat.}	Mg _{sat.}	K _{sat.}	P
	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	%	%	%	mg dm ⁻³
0,00 a 0,20	3,48	12,47	0,00	71,80	48,51	17,82	5,47	7,31
0,20 a 0,40	3,41	10,68	0,00	67,98	46,85	17,34	3,78	3,87

⁽¹⁾Carbono orgânico total e Matéria orgânica do solo pelo método de Walkley-Black; ⁽²⁾Método SMP; Extratores: Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ = KCl 1N; P e K⁺ = Mehlich-1.

Fonte: o próprio autor.

O delineamento experimental foi de blocos casualizados em esquema fatorial 2x4x3, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em dois sistemas de cultivo de milho segunda safra, solteiro e consorciado com braquiária (*Urochloa ruziziensis*), associado a quatro doses de nitrogênio (N), 0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ N, por meio da fonte nitrato de amônio (30% N), em três anos agrícolas. A aplicação do adubo nitrogenado foi parcelada entre semeadura (40 kg ha⁻¹ N) e cobertura no estágio fenológico V4 do milho (restante da dose, somente para os tratamentos 80 e 120 kg ha⁻¹ N). Em todos os anos o milho foi cultivado no outono-inverno enquanto

nas safras de primavera-verão, cultivou-se exclusivamente a soja em todas as parcelas, sem aplicação de N na leguminosa.

As parcelas experimentais tiveram 7,0 m de comprimento por 3,6 m de largura (25,2 m² de área total), semeando-se oito linhas com espaçamento de 0,45 m, tanto para o milho segunda safra como para a soja, com densidade de semeadura de, respectivamente, 60.000 e 320.000 sementes ha⁻¹. A braquiária foi semeada na mesma linha do milho, misturando-se as sementes (3,0 kg ha⁻¹ de sementes puras e viáveis, ou 300 pontos de valor cultura, ajustando-se a dose conforme o VC das sementes) com o fertilizante aplicado no sulco de semeadura. A área útil para ambas culturas foi de 7,2 m², composta pelas quatro linhas centrais, desprezando-se 1,5 metros em cada extremidade dessas linhas como bordadura.

A semeadura foi realizada de forma mecanizada em sistema plantio direto (SPD), adotado na área há cerca de 15 anos. Foram utilizados, nos três anos agrícolas, o híbrido simples de milho superprecoce BG7061 HX e a cultivar de soja com tipo de crescimento indeterminado M6210 IPRO, seguindo-se recomendações de posicionamento de genótipos para a região. As sementes receberam tratamento industrial com fungicida e inseticida e, para a soja, realizou-se a inoculação com bactérias da espécie *Bradyrhizobium japonicum*, por meio de inoculante líquido contendo 5×10^9 UFC mL⁻¹ na dose de 2 mL kg⁻¹ de sementes. Ainda, foi realizada aplicação foliar de 3 g ha⁻¹ de Co e 25 g ha⁻¹ de Mo, no estágio fenológico V3 da soja. A semeadura do milho foi realizada sempre no último decêndio de fevereiro de cada ano, enquanto a soja foi semeada no primeiro decêndio de outubro. A braquiária foi dessecada 20 dias antes da semeadura da soja, pela pulverização tratorizada do herbicida glifosato na dose de 1,08 kg e.a. ha⁻¹, com volume de calda de 200 L ha⁻¹.

A adubação de base foi realizada no sulco de semeadura e consistiu na aplicação anual de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de K₂O, para a cultura do milho; além de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 80 kg ha⁻¹ de K₂O para a cultura da soja. Os fertilizantes utilizados foram o superfosfato simples (18% P₂O₅, 16% Ca e 8% S) e o cloreto de potássio (60% K₂O). As doses foram estabelecidas de acordo com as recomendações propostas para o milho por Embrapa (2010) e para a soja por Embrapa (2011). O controle fitossanitário foi feito pela aplicação, conforme a necessidade, de defensivos químicos registrados para as culturas e liberados pela Adapar para uso no Paraná.

A massa seca da parte aérea da braquiária (MSB) foi avaliada anualmente na pré-dessecação, anteriormente à semeadura da soja, por meio do

corte rente à superfície do solo das plantas presentes em 0,50 m² na área útil da parcela. Após coletado, o material foi seco em estufa de ventilação de ar forçada a 65 °C por 72 h e pesado em balança semi-analítica de precisão, convertendo-se a massa seca obtida para kg ha⁻¹. Ainda, após a semeadura da cultura da soja no último ano, foi avaliada a porcentagem de cobertura do solo por palha (COB), por meio da captura de imagens com uma câmera fotográfica multiespectral acoplada a um veículo aéreo não tripulado (VANT) e o tratamento das imagens foi realizado com auxílio de software (ANEXO B).

A colheita da soja foi realizada com colhedora de parcelas e do milho de forma manual com posterior trilha mecânica. A produtividade de grãos foi avaliada na área útil da parcela (kg m⁻²), convertendo-se os dados para kg ha⁻¹ com umidade corrigida para 13%.

Os dados foram testados quanto aos pressupostos paramétricos de homocedasticidade e normalidade dos resíduos, respectivamente pelos testes de Hartley e Shapiro-Wilk. Atendidos os pressupostos, os dados foram submetidos à análise de variância ($p < 0,05$). Em caso de significância, as médias dos tratamentos qualitativos foram comparadas pelo teste de *Tukey* ($p < 0,05$), enquanto para os quantitativos foi realizada análise de regressão. Quando ajustados polinômios de 2º grau ($y = ax^2 + bx + c$), foram calculadas as doses de N para máxima eficiência técnica (DMET), conforme a seguinte equação:

$$\text{DMET (kg ha}^{-1}\text{ N)} = \frac{dy}{dx} = \frac{(-b)}{(2a)}$$

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Massa Seca da Parte Aérea da Braquiária e Cobertura do Solo por Palha

Houve interação entre as doses de nitrogênio (N) utilizadas em consorciação com o milho e o ano agrícola para a massa seca da parte aérea da braquiária (MSB) (Tabela 4.2). O N aplicado no sistema de consórcio exerceu efeito sobre a MSB apenas no terceiro ano, com um comportamento quadrático (Figura 4.2a). A máxima eficiência técnica foi obtida com a dose de 55,45 kg ha⁻¹ de N, proporcionando MSB superior a 10.000 kg ha⁻¹. Doses maiores reduziram

expressivamente a produtividade de matéria seca, de forma que na maior quantidade de N aplicada, de 120 kg ha⁻¹, foram obtidos valores inclusive inferiores àqueles observados na ausência de adubação nitrogenada (Figura 4.2a).

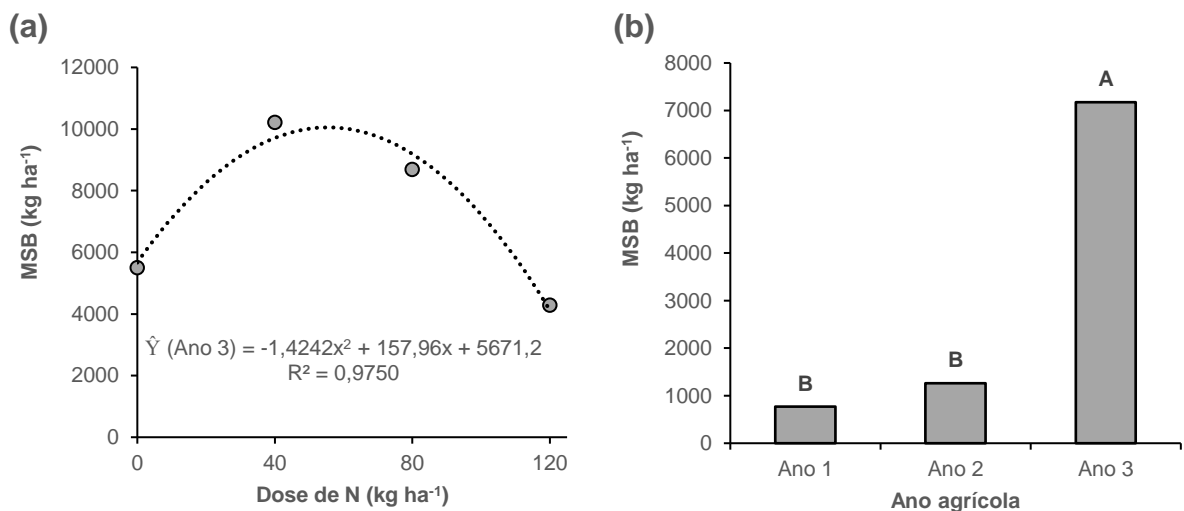
Tabela 4.2 – Resultado da análise de variância para a massa seca da parte aérea da braquiária (MSB) e porcentagem de cobertura do solo por palha (COB) após a semeadura da soja em função de doses de nitrogênio (N), sistemas de cultivo de milho segunda safra e ano agrícola.

Variável	Fonte de variação					C.V.(%)
	Dose N (D)	Sistema de Cultivo (S)	Ano (A)	D x S	D x A	
	p-valor					
MSB	0,0045**	-	0,0001**	-	0,0001**	42,31
COB	0,6178 ^{ns}	0,0001**	-	0,7694 ^{ns}	-	9,73

^{ns}Não significativo. *Significativo a 5%. **Significativo a 1%. C.V.(%) = Coeficiente de variação.

Fonte: o próprio autor.

Figura 4.2 – Massa seca (kg ha⁻¹) da parte aérea da braquiária (MSB) no último ano agrícola em função de doses de nitrogênio (N) aplicadas em consórcio com milho segunda safra (a) e dos diferentes anos agrícolas (b).



Letras maiúsculas diferenciam os anos agrícolas pelo teste de *Tukey* a 5% de significância.

Fonte: o próprio autor.

Batista et al. (2011) avaliando o consórcio de milho com cinco espécies de forrageiras em Latossolos Vermelhos férricos de diferentes localidades,

observaram que, entre as braquiárias, apenas a *Urochloa decumbens* cv. Basilisk respondeu a doses de nitrogênio de até 90 kg ha⁻¹ e, ainda, somente em um dos locais. Para a referida espécie, a massa seca por ocasião da dessecação pré-plantio da soja apresentou um incremento linear em função das doses de N, atingindo 1.575 kg ha⁻¹, valor inferior ao observado no presente estudo.

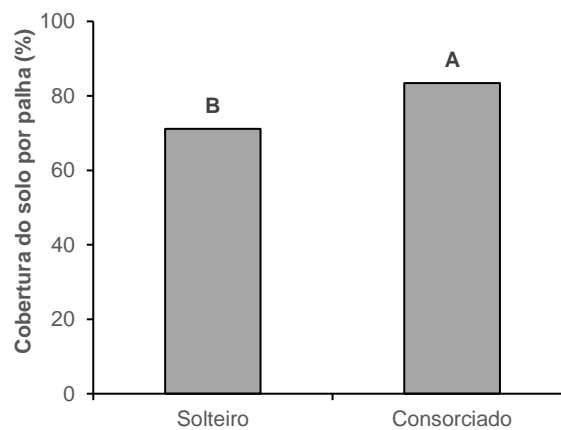
Ao analisar os anos agrícolas, observa-se que no terceiro ano houve pronunciada superioridade na MSB em relação aos dois anos anteriores (Figura 4.2b), atingindo valor quase dez vezes superior comparado ao primeiro ano. Essa discrepância pode ter relação com os regimes hídricos nas diferentes entressafras, tendo em vista que nos dois primeiros anos houve menor oferta hídrica na pós-maturação do milho (Figura 4.1), período em que a braquiária pode apresentar maior crescimento (SEREIA et al., 2012). Por outro lado, o terceiro ano foi marcado por abundância de precipitações no inverno, registrando-se mais de 300 mm somente no mês de julho, bem acima das médias históricas (NITSCHE et al., 2019).

Essa condição hídrica pode estar relacionada inclusive com a resposta da MSB às doses de N aplicadas no terceiro ano agrícola, com um favorecimento da utilização pela braquiária do N aplicado até a DMET em função da abundância de água no solo. Por outro lado, nas maiores doses, o nutriente pode ter proporcionado um favorecimento maior para a cultura do milho, intensificando a supressão da forrageira com consequente redução na MSB. Lima et al. (2016) também observaram maior resposta a doses de N sobre a produtividade de massa seca de *Urochloa ruziziensis* em períodos mais chuvosos. Contudo, o incremento observado por esses autores, até a dose de 300 kg ha⁻¹ N, foi observado em cultivo solteiro da forrageira, sem competição com milho.

O sistema de cultivo de milho segunda safra influenciou a cobertura do solo por palha avaliada após a semeadura da soja no último ano agrícola (Tabela 4.2), sendo 17,25% superior no consórcio milho-braquiária em relação ao sistema de cultivo de milho solteiro (Figura 4.3). A adubação nitrogenada, no entanto, não exerceu efeito sobre a porcentagem de solo coberto (Tabela 4.2), ainda que a massa seca da parte aérea da braquiária tenha sido superior com doses intermediárias de N (Figura 4.2a). Uma vez que, mesmo no tratamento com ausência de aplicação do nutriente no outono-inverno do terceiro ano agrícola, a MSB foi bastante elevada (5671,2 kg ha⁻¹) (Figura 4.2a), é compreensível que a porcentagem de área do solo coberta por palha tenha sido incrementada pela simples presença da braquiária,

independente de se ter ou não aplicado N. Por outro lado, a maior MSB pode promover aumento na persistência da cobertura sobre o solo, principalmente nos primeiros meses após a dessecação em pré-semeadura da soja, em função da maior quantidade de material vegetal de elevada relação C/N (acima de 30) a ser decomposto (CALONEGO et al., 2012).

Figura 4.3 – Cobertura do solo por palha (%) após a semeadura da soja em função de sistemas de cultivo de milho segunda safra no último ano agrícola.



Letras maiúsculas diferenciam os anos agrícolas pelo teste *F* a 5% de significância.

Fonte: o próprio autor.

Garcia et al. (2014), avaliando a decomposição de espécies de *Panicum* e *Urochloa* em região de Cerrado, observaram que o aumento das doses de N aplicadas após o consórcio com milho promoveram incremento na massa seca de palha remanescente nos primeiros 30 dias após o manejo de corte das forrageiras. No entanto, entre os 30 e 150 dias, a massa seca de palha foi igualada nas diferentes doses de N, apresentando decomposição semelhante e percentual de palhada remanescente na ordem de 50 a 60% aos 60 dias e 10 a 20% ao final do período de avaliação. Considerando-se as condições mais propícias à decomposição na região do Cerrado, com maiores temperaturas do ar e pluviosidade, o potencial de persistência de cobertura morta sobre o solo na região do presente estudo pode ser ainda maior.

O aumento na cobertura do solo por palha, obtido no presente estudo pela consorciação do milho com *U. ruziziensis*, representa contribuição importante para melhoria no sistema plantio direto (SPD), uma vez que a palhada sobre a

superfície do solo apresenta diversos benefícios sob o ponto de vista conservacionista. A princípio, quanto menor a área do solo descoberta, menor o impacto das gotas de chuva sobre o solo e, conseqüentemente, a sua desagregação (TARTARI et al., 2012), fatores responsáveis por promover o início do processo erosivo (PANACHUKI et al., 2006).

A cobertura morta sobre o solo desempenha ainda relevante papel sobre a sua regulação térmica, reduzindo a ocorrência de variações bruscas de temperatura no perfil (GASPARIM et al., 2005). Além disso, Mechi et al. (2018) demonstraram que o consórcio milho-braquiária, ao aumentar a massa total de resíduos sobre o solo, inibiu a presença de plantas daninhas de difícil controle, como a buva (*Coniza* spp.) e o capim-amargoso (*Digitaria* spp.), o que atribuíram a uma maior barreira física proporcionada pela cobertura vegetal contra a incidência de raios solares, dificultando a germinação e desenvolvimento das plantas invasoras.

4.5.2 Produtividade de Grãos do Milho Segunda Safra

A produtividade de grãos do milho foi influenciada pelo sistema de cultivo, observando-se uma interação desse fator com o ano agrícola (Tabela 4.3). No primeiro ano, em que a produtividade foi a menor dentre os três avaliados (Figura 4.5a), não houve diferença significativa entre os cultivos solteiro e consorciado. Nos dois anos seguintes, contudo, a consorciação reduziu a produtividade de grãos do milho, de forma ainda mais pronunciada no último ano agrícola, com uma diferença aproximada de 15% em relação ao cultivo solteiro.

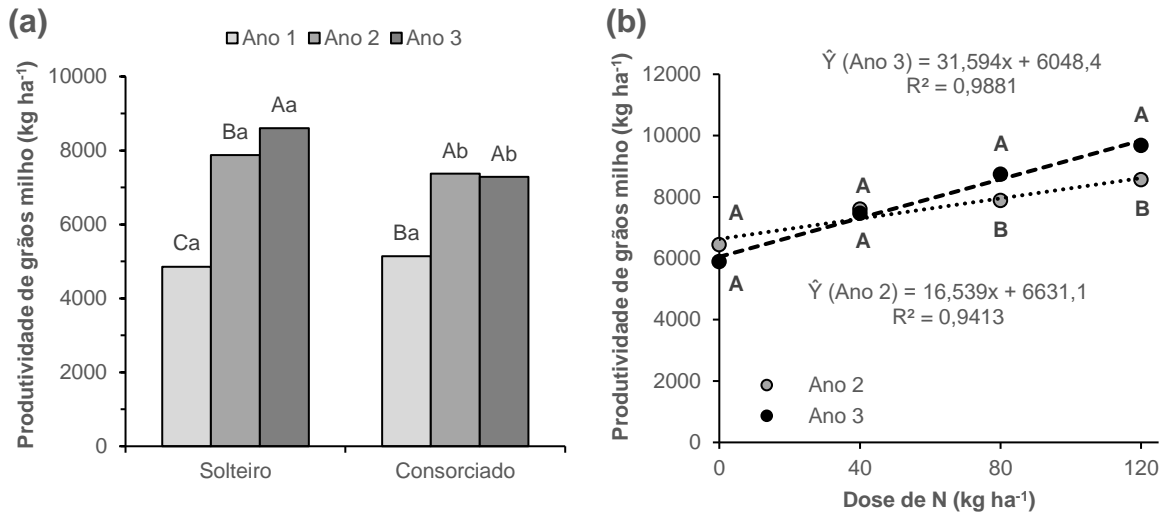
Tabela 4.3 – Resultado da análise de variância para a produtividade de grãos de milho e soja em função de doses de nitrogênio (N), sistemas de cultivo de milho segunda safra e ano agrícola.

Cultura	Fonte de variação							C.V.(%)
	Dose N (D)	Sistema (S)	Ano (A)	D x S	D x A	S x A	D x S x A	
	p-valor							
Milho	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,7168 ^{ns}	0,0000**	0,0000**	0,9667 ^{ns}	8,17
Soja	0,0092**	0,3960 ^{ns}	0,0000**	0,0972 ^{ns}	0,7196 ^{ns}	0,8808 ^{ns}	0,1371 ^{ns}	15,67

^{ns}Não significativo. *Significativo a 5%. **Significativo a 1%. C.V.(%) = Coeficiente de variação.

Fonte: o próprio autor.

Figura 4.4 – Produtividade de grãos de milho (kg ha^{-1} , 13% U) em diferentes anos agrícolas e sua interação com sistemas de cultivo de milho segunda safra (a) e doses de nitrogênio (N) (b).



Letras maiúsculas diferenciam os anos agrícolas dentro de cada sistema de cultivo ou dose de N, enquanto letras minúsculas diferenciam os sistemas de cultivo de milho segunda safra dentro de cada ano agrícola pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Fonte: o próprio autor.

Fiorentin et al. (2012), Garcia et al. (2013) e Freitas et al. (2013) não observaram impacto da consorciação com *Urochloa ruziziensis* sobre a produtividade de grãos do milho segunda safra. No entanto, esses autores avaliaram o consórcio em maiores espaçamentos da cultura (0,5 a 0,9 m) que aquele utilizado no presente estudo e, ainda, realizando a semeadura da braquiária na entrelinha da cultura, de forma simultânea ou por ocasião da adubação nitrogenada de cobertura no estágio V6 do milho. Nestas condições, minimiza-se a competição interespecífica, contudo, espaçamentos mais reduzidos têm proporcionado maior produtividade na cultura do milho segunda safra (TAKASU et al., 2014; ZOZ et al., 2019).

Mesmo com a possibilidade de realizar a semeadura da forrageira na entrelinha do milho em espaçamentos reduzidos, utilizando-se da terceira caixa da semeadora específica para esta finalidade, como realizado por Freitas et al. (2013), parte dos agricultores ainda demonstra preferência por maior praticidade na implantação do consórcio milho-braquiária, com a semeadura da forrageira na mesma linha do milho.

A produtividade de grãos do milho consorciado pode sofrer ainda a interferência de aspectos como a espécie de forrageira utilizada (CHIODEROLI et al., 2010) e a época de implantação da mesma (RICHART et al., 2010; PARIZ et al., 2011b), a modalidade de cultivo, compreendendo o arranjo e densidade das plantas no consórcio (BORGHI; CRUSCIOL, 2007; CHIODEROLI et al., 2010; FERREIRA et al., 2014; SILVA et al., 2015a), além do controle de plantas daninhas e do cultivar de milho adotado (SILVA et al., 2014; MAIA et al., 2015).

Outro fator que pode influenciar o impacto da consorciação sobre a produtividade de grãos do milho é o regime hídrico durante o período de convivência com a braquiária. Ao analisar os diferentes anos agrícolas, pode-se observar que o primeiro ano apresentou déficit hídrico mais frequente para o período de cultivo do milho (Figura 4.1). Dessa forma, ao contrário do que se esperava, a maior disponibilidade hídrica nos dois últimos anos pode ter intensificado a competição entre as espécies, não pelo fator água, mas principalmente por luz e nutrientes, dado o favorecimento do crescimento em parte aérea da forrageira. Por ser uma planta de metabolismo fotossintético C4, o milho apresenta elevada resposta fotossintética a interceptação de radiação solar (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014), o que explica a maior produtividade de grãos da cultura com menor competição por luz.

Isso fica evidenciado de forma mais clara com a elevada MSB no terceiro ano agrícola (Figura 4.2b), que justifica a redução mais pronunciada na produtividade de grãos do milho consorciado no ano em questão. Com isso, demonstra-se que a competição e a interferência na produtividade de grãos do milho segunda safra em função do consórcio com *Urochloa ruziziensis* é dependente das condições ambientais específicas de cada ano.

Da mesma forma que o observado em relação ao sistema de cultivo, houve interação dos anos agrícolas com a dose de nitrogênio para a produtividade de grãos do milho segunda safra (Tabela 4.3). Apenas no primeiro ano agrícola não houve resposta à adubação nitrogenada, enquanto nos dois anos seguintes a produtividade de grãos do milho seguiu um ajuste linear, com maior incremento em função do aumento na dose de N ocorrendo no terceiro ano em relação ao segundo (Figura 4.4b). A ausência de resposta à adubação nitrogenada no primeiro ano pode estar relacionada à maior ocorrência de déficit hídrico relatada anteriormente, uma vez que a disponibilidade e absorção de N pelo milho está relacionada ao teor de água no solo (FRANÇA et al., 2011).

Soratto et al. (2010), semelhante ao observado no presente estudo, também obtiveram aumento linear na produtividade de grãos do milho de segunda safra cultivado solteiro em sucessão à soja em Chapadão do Céu-GO, em função de doses de N até 120 kg ha^{-1} em cobertura (estádios V5-V6) + 12 kg ha^{-1} N em semeadura. Gazola et al. (2014), por sua vez, obtiveram ajuste quadrático para a produtividade de grãos de milho segunda safra solteiro na região de Londrina-PR, com valores de máxima eficiência técnica obtidos para a dose de $149,5 \text{ kg ha}^{-1}$ N em cobertura (estádio V5) + 10 kg ha^{-1} N na semeadura, quantidade superior àquela fornecida no presente estudo.

No sistema consorciado com *Urochloa brizantha*, Lange et al. (2014) obtiveram aumento linear na produtividade de grãos de milho segunda safra em função de doses de N de até 75 kg ha^{-1} em cobertura (estádio V8) + 16 kg ha^{-1} N na semeadura, após cultivo de arroz na região de Alta Floresta-MT. Já em cultivo de primavera-verão em área localizada no município de Selvíria-MS, Costa et al. (2012) também observaram incremento linear sobre a produtividade de grãos do milho em consórcio com duas espécies de braquiária (*U. brizantha* 'Xaraés' e *U. ruziziensis*). A resposta foi obtida com doses de N bastante superiores, aplicando-se até 200 kg ha^{-1} em cobertura + 24 kg ha^{-1} N na semeadura. Entretanto, tais resultados ocorreram em apenas um dos dois anos agrícolas em que o experimento foi conduzido, além do estudo ter sido realizado sob cultivo irrigado, o que pode potencializar a resposta da cultura à adubação nitrogenada.

Em Marechal Cândido Rondon-PR, Seidel et al. (2015) observaram, por outro lado, um comportamento quadrático com máxima produtividade de grãos de milho obtida na dose de 85 kg ha^{-1} N em cobertura (estádio V5) + 30 kg ha^{-1} N em semeadura. Esses autores também realizaram o cultivo na primavera-verão, utilizando a espécie *Urochloa ruziziensis*, contudo sem o uso de irrigação.

Os resultados obtidos no presente estudo em conjunto com aqueles reportados na literatura evidenciam que, não só no cultivo de primavera-verão mas também no outono-inverno, há potencial significativo de resposta produtiva do milho em relação a adubação nitrogenada, especialmente em anos com maior oferta hídrica. Mais que isso, as respostas observadas têm sido obtidas com o fornecimento de doses de N superiores às comumente utilizadas pelos agricultores da região estudada, que muitas vezes negligenciam inclusive a adubação nitrogenada de cobertura no milho segunda safra.

A produtividade de grãos do milho em função das doses de N não apresentou ainda interação com o sistema de cultivo (Tabela 4.3). Esse comportamento demonstra que a introdução da forrageira no sistema não afeta a recuperação pelas plantas de milho do N aplicado, nem a resposta à adubação nitrogenada, divergindo da hipótese inicial. Os resultados deste trabalho concordam com os obtidos por Almeida (2008) em estudo sobre o balanço de N no sistema solo-planta em cultivo de milho solteiro e consorciado com *Urochloa ruziziensis*, em que a forrageira não restringiu a disponibilidade do nutriente e nem afetou a eficiência de uso do fertilizante nitrogenado pelo milho.

Lara-Cabezas e Pádua (2007) também concluíram que a *U. ruziziensis* em consórcio com o milho não afetou a eficiência do N-aplicado, sendo que a maior proporção (próximo de 97%) do N-fertilizante assimilado pelas plantas foi recuperada pelo milho. Neste sentido, Gonçalves et al. (2016) também não observaram interação entre doses de N em cobertura e sistemas de cultivo de milho solteiro e consorciado com *Urochloa ruziziensis*, sobre a produtividade de grãos da cultura na cidade de Palotina-PR, no período de primavera-verão. A resposta a adubação nitrogenada observada por estes autores, como no presente estudo, também foi linear e com fornecimento de N semelhante, de até 80 kg ha⁻¹ em cobertura + 30 kg ha⁻¹ em semeadura.

4.5.3 Produtividade de Grãos da Soja

Não foi possível observar efeito do sistema de cultivo de milho segunda safra sobre a produtividade de grãos da soja em sucessão, para nenhum dos anos agrícolas (Tabela 4.3). Esperava-se que o sistema de consórcio milho-braquiária pudesse proporcionar melhor desempenho produtivo da soja, em função dos benefícios desse sistema demonstrados por outros autores, principalmente sobre atributos físicos do solo associados às relações hídricas (LOSS et al., 2011; CHIORDEROLI et al., 2012; SEIDEL et al., 2014), ou mesmo pelo próprio aumento na cobertura do solo demonstrada nos resultados dessa pesquisa (Figura 4.3). Entretanto, não se observou correlação entre a produtividade de grãos da soja e a porcentagem de cobertura do solo por palha avaliada após a semeadura da mesma no último ano agrícola (coeficiente de correlação de Pearson: $r = -0,0167$).

De fato, autores como Alves et al. (2013) e Correia et al. (2013) obtiveram incrementos sobre a produtividade de grãos da soja cultivada em sucessão ao milho em consórcio com *Urochloa ruziziensis*. A ausência de efeito dos sistemas de cultivo sobre a produtividade da soja (Tabela 4.3), no entanto, pode ser explicada pela interação com as condições climáticas.

Maior ocorrência de déficit hídrico no solo foi observada somente no cultivo da soja no primeiro ano agrícola (Figura 4.1), logo após a implantação do consórcio, tempo que pode ter sido insuficiente para observar os referidos efeitos benéficos sobre atributos físicos do solo relacionados a maior disponibilidade hídrica. Por outro lado, nos dois últimos anos agrícolas houve muito mais excedente hídrico no solo do que déficit ao longo dos meses de outubro e fevereiro, bem como as temperaturas máximas raramente ultrapassaram os 35 °C (Figura 4.1), de modo que as possíveis melhorias nos atributos físicos do solo seriam menos determinantes para a obtenção de melhores produtividades de grãos da soja no sistema com consórcio milho-braquiária.

Ribeiro et al. (2018), também não observaram aumento de produtividade na cultura da soja em sucessão ao consórcio milho-braquiária (*Urochloa ruziziensis*) comparado ao milho solteiro, especialmente em anos sem restrição hídrica. Mendonça et al. (2014) avaliaram o desempenho agrônômico da soja em sucessão ao consórcio de milho com diferentes espécies forrageiras dos gêneros *Urochloa* (*U. brizhanta* e *U. ruziziensis*) e *Panicum* (*P. maximum* cv. Tanzânia e *P. maximum* cv. Áries) e, de modo semelhante ao presente estudo, não obtiveram diferenças na produtividade de grãos da soja em comparação à modalidade de cultivo em sucessão ao milho solteiro. Os autores ressaltam que esses resultados podem ser explicados pelo fato da área estar ocupada há dez anos com sistema plantio direto, semelhante ao SPD consolidado utilizado neste estudo; além de não apresentar restrições hídricas por se tratar de agricultura irrigada. Isso reforça a ideia de que, sem a ocorrência de estresse hídrico, os benefícios do consórcio do milho com forrageiras sobre o desempenho produtivo da soja são mais dificilmente observados.

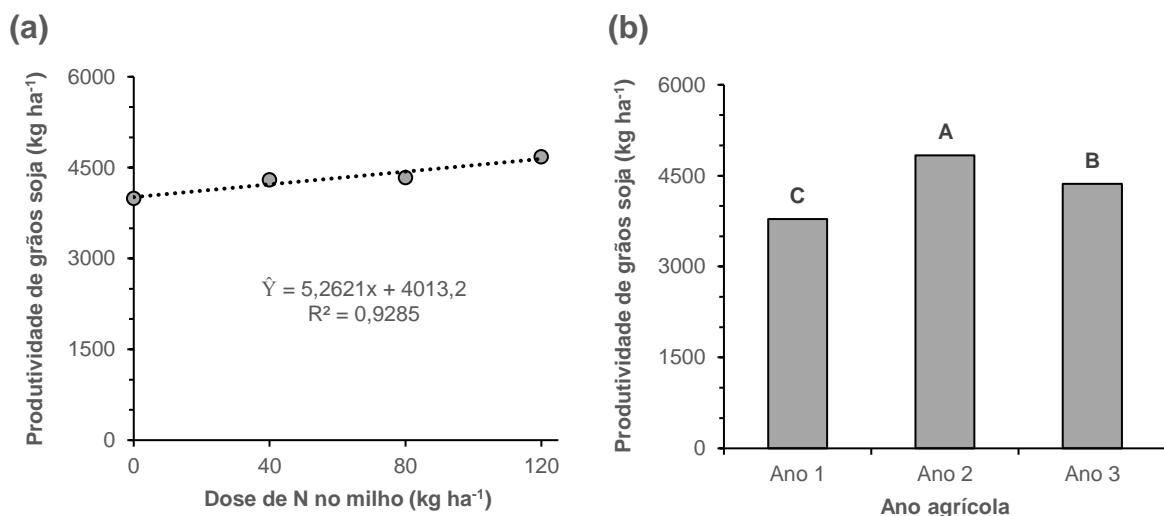
As doses de N aplicadas na cultura do milho exerceram efeito sobre a produtividade de grãos da soja em sucessão, sem interação com os demais fatores (Tabela 4.3), com aumento linear de até 15,73% na maior dose de N (Figura 4.5a) em relação à ausência de adubação nitrogenada no milho. Os anos agrícolas também diferiram quanto a produtividade da soja (Tabela 4.3). Houve destaque para o segundo

ano (Figura 4.5b), em virtude das condições termo-hídricas mais favoráveis, com menor ocorrência de extremos de déficit e excedente hídricos no solo e menor oscilação nas temperaturas do ar (Figura 4.1). No primeiro ano, de menor produtividade, observa-se déficit hídrico mais frequente, bem como temperaturas mais elevadas na fase final do desenvolvimento das plantas. Contudo, independente do ano, manteve-se sempre elevado desempenho produtivo ao longo das safras, superiores a média paranaense (IBGE, 2019).

Diversos autores têm observado ausência de resposta produtiva da soja a aplicação de doses de N mineral (PEREIRA et al., 2010; BAHRY et al., 2014; KASCHUK et al., 2016; PIEROZAN JUNIOR, 2016; WERNER et al., 2016; SILVEIRA, 2018; YOKOYAMA et al., 2018). No entanto, em todos os casos, o N foi aplicado diretamente na cultura, quer seja na semeadura ou no desenvolvimento das plantas.

O N proveniente de fertilizantes aplicados na soja pode inibir o processo de fixação simbiótica com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (KASCHUK et al., 2016; ZUFFO et al., 2019) e, nesses casos, a elevada demanda pelo nutriente, acima de 100 kg Mg⁻¹ de grãos (KURIHARA et al., 2013), pode não ser suprida apenas pelo nitrogênio fornecido via adubação, principalmente se considerando a utilização de doses relativamente baixas.

Figura 4.5 – Produtividade de grãos de soja (kg ha⁻¹, 13% U) em função de doses de nitrogênio (N) aplicadas no cultivo antecessor de milho segunda safra (a) e de diferentes anos agrícolas (b).



Letras maiúsculas diferenciam os anos agrícolas pelo teste de *Tukey* a 5% de significância.

Fonte: o próprio autor.

Por outro lado, os resultados obtidos no presente estudo evidenciam que as plantas de soja podem ser beneficiadas pelo N residual aplicado no cultivo antecessor de milho, respondendo as doses em termos de produtividade. Dado que a exportação de N pelos grãos de milho se situa em torno de 14 kg Mg⁻¹ de grãos (SILVA, 2016), o aumento na dose aplicada desempenha um papel importante para garantir maior reciclagem do nutriente no sistema de produção.

Sendo assim, o N acumulado na palhada, tanto do milho quanto da braquiária, pode ser liberado gradualmente no solo, tendo em vista a elevada relação C/N dos resíduos das duas plantas (CALONEGO et al., 2012). De fato, Calonego et al. (2012) observaram que a liberação acumulada de N da palha de milho e *Urochloa brizantha* alcançou apenas 41% aos 135 dias após a deposição no solo. Santos et al. (2014b) também observaram liberação gradual do N da palhada de milho e *Urochloa ruziziensis* consorciados, com tempo de meia vida de 128 dias.

Dessa forma, a concentração do N reciclado na solução do solo após a aplicação no cultivo de milho não seria tão elevada como quando o nutriente é aplicado diretamente sobre a soja. Nessa condição, a possibilidade de interferência sobre o processo de simbiose da soja com as bactérias do gênero *Bradyrhizobium* spp. seria minimizada. Ao mesmo tempo, garantiria-se boa disponibilidade de N às plantas nos estádios iniciais do desenvolvimento, quando a infecção pelas bactérias ainda não ocorreu e deficiências de N no solo podem dificultar a formação de uma área foliar suficiente para suprir os carboidratos necessários ao próprio crescimento e atividade dos nódulos, conforme argumentado por Cooper e Scherer (2011). Além disso, maior disponibilidade de N no solo poderia contribuir com a demanda da planta em períodos com ocorrência de algum estresse que comprometa a atividade das bactérias simbióticas e, conseqüentemente, a fixação biológica do nitrogênio (FBN).

Essa ideia é reforçada pelos resultados obtidos por Alves et al. (2006), em que a FBN foi responsável por contribuir com 83 a 88% do N acumulado pelas plantas de soja, indicando que parte do nutriente utilizado pela cultura, ainda que minoritária, deve ser advinda do solo por meio do processo de mineralização da matéria orgânica.

Fabris et al. (2018), avaliando sistemas de produção para aporte de palha (Tremoço, milho-*Urochloa brizantha* e *U. brizantha* solteira) com aplicação de doses de N ao longo do cultivo dessas plantas e antecedendo a soja, concluíram que

a adubação nitrogenada distribuída ao longo do ano agrícola nesses cultivos tem potencial para aumentar a produtividade da soja subsequente, principalmente em anos sem restrição severa de água.

Caioni et al. (2017), ao utilizarem doses de nitrogênio e molibdênio na cultura do milho segunda safra em SPD na região de Selvíria-MS, também observaram efeito residual de ambos os nutrientes sobre a produtividade de grãos da soja em sucessão. O ajuste obtido para o N foi linear, assim como o obtido neste estudo, porém com doses aplicadas no outono-inverno ainda maiores, de até 180 kg ha⁻¹ N.

Os resultados obtidos neste estudo confirmam a contribuição da consorciação do milho segunda safra com *Urochloa ruziziensis* sobre a área coberta com palha na superfície do solo. Apesar da maior proteção do solo contra a erosão que a cobertura de palha proporciona, fica evidenciado que, em SPD consolidado, nem sempre se observam benefícios oriundos desse incremento na cobertura do solo sobre o desempenho produtivo das culturas. Especialmente quando as condições edafoclimáticas são favoráveis ao desenvolvimento das plantas, o impacto da consorciação se mostrou mais negativo para a cultura do milho do que positivo para a soja.

O aumento da adubação nitrogenada no outono-inverno, por outro lado, se mostrou uma prática bastante favorável ao sistema de produção, proporcionando incremento de produtividade tanto para o milho como para a soja em sucessão. Considerando as respostas lineares obtidas para as duas culturas, sugere-se realizar novos estudos utilizando doses de N ainda maiores que 120 kg ha⁻¹. Pesquisas futuras também são necessárias com o objetivo de avaliar características fisiológicas e nutricionais da soja, desde o início do desenvolvimento, para melhor entender a resposta produtiva observada nesse estudo.

4.6 CONCLUSÕES

A produtividade do milho segunda safra em consorciação com *Urochloa ruziziensis* pode ser impactada negativamente de acordo com as condições climáticas do ano agrícola e a consequente intensidade de crescimento da forrageira. A porcentagem de cobertura do solo por palha é incrementada após três anos de

adoção do sistema, contribuindo para o manejo conservacionista do solo em sistema plantio direto (SPD).

A resposta em produtividade do milho a doses crescentes de nitrogênio também depende do ano, sendo mais pronunciada quanto menor o déficit hídrico no solo ao longo do cultivo. A consorciação com braquiária, no entanto, não modifica a referida resposta do milho ao N.

O aumento do N aplicado no milho segunda safra proporciona efeito benéfico sobre a produtividade da soja em sucessão, diferente da adoção do consórcio-milho braquiária que, principalmente quando seguida de anos com condições meteorológicas pouco limitantes às plantas, não promove melhorias em termos produtivos para a leguminosa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O consórcio de milho segunda safra com a espécie de braquiária *Urochloa ruziziensis* associado a doses de nitrogênio (N), após três anos de adoção, não altera os atributos químicos do solo estudado, de alta fertilidade inicial e sob sistema plantio direto consolidado. O aspectos nutricionais do milho e, também a sua produtividade de grãos, podem ser afetados negativamente pela competição direta com as plantas de braquiária quando na modalidade de implantação do consórcio na mesma linha de semeadura.

Os atributos da nutrição da soja, por outro lado, não sofreram influência do sistema de cultivo anterior muito em função da ausência de efeito da consorciação sobre a fertilidade química do solo. Além disso, a condição termo-hídrica adequada às plantas no decorrer dos últimos anos agrícolas também se mostrou fator determinante para a ausência de melhoria na produtividade da soja após a adoção do sistema de consórcio milho-braquiária.

Ainda que se tenha observado maior porcentagem de cobertura por palha na superfície do solo com o sistema de cultivo consorciado, os teores de nutrientes na camada de 0,0 a 0,20 m permaneceram semelhantes ao analisado inicialmente. Isso evidencia que as condições edafoclimáticas favoreceram mais a produção de massa seca da braquiária sobre o solo do que o aprofundamento das raízes da forrageira, limitando a reciclagem de nutrientes.

Por fim, a adoção de doses de N de até 120 kg ha⁻¹ no cultivo de milho segunda safra, independente se consorciado com *Urochloa ruziziensis* ou não, é justificada agronomicamente, considerando o aumento nos teores foliares de determinados nutrientes para o milho e o incremento na produtividade tanto desta cultura como da soja em sucessão.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R.C.; COBUCCI, T.; KLUTHCOUSKI, J.; WRUCK, F.J.; CRUZ, J.C.; GONTIJO NETO, M.M. **A cultura do milho na Integração Lavoura-Pecuária**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 12p. (Circular Técnica, 80)
- 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, n.3, p.449-456, 2006.
- ALVES, V.B.; PADILHA, N.S.; GARCIA, R.A.; CECCON, G. Milho safrinha consorciado com *Urochloa ruziziensis* e produtividade da soja em sucessão. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.12, n.3, p.280-292, 2013.
- ALMEIDA, Rodrigo Estevam Munhoz de. **Balanço de ¹⁵N em sistemas de produção de milho para adoção do plantio direto no Oeste baiano**. 2008. 85f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2008.
- ARATANI, R.G.; LAZARINI, E.; MARQUES, R.R.; BACKES, C. Adubação nitrogenada em soja na implantação do sistema plantio direto. **Bioscience Journal**, v.24, n.3, p.31-38, 2008.
- ARROYAVE, C.; TOLRÀ, R.; THUY, T.; BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C. Differential aluminum resistance in *Brachiaria* species. **Environmental and Experimental Botany**. v 89, p 11-18, 2013.
- BAHRY, C.A.; NARDINO, M. VENSKE, E.; FIN, S.S.; ZIMMER, P.D.; SOUZA, V.Q.; CARON, B.O. Efeito do nitrogênio suplementar sobre os componentes de rendimento da soja em condição de estresse hídrico. **Revista Ceres**, v.61, n.2, p.155-160, 2014.
- BATISTA, K.; DUARTE, A.P.; CECCON, G.; MARIA, I.C.; CANTARELLA, H. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em forrageiras consorciadas com milho safrinha em função da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1154-1160, 2011.
- BARDUCCI, R.S.; COSTA, C.; CRUSCIOL, C.A.C.; BORGHI, E.; PUTAROV, T.C.; SARTI, L.M.N. Produção de *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum* com milho e adubação nitrogenada. **Archivos de Zootecnia**, v.58, n.222, p.211-222, 2009.
- BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2014. 84p.
- BORGES, E.A.; FERNANDES, M.S.; LOSS, A.; SILVA, E.E.; SOUZA, S.R. Acúmulo e remobilização de nitrogênio em variedades de milho. **Revista Caatinga**, v.19, n.3, p.278-286, 2006.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C.A.C. Produtividade de milho, espaçamento e modalidade de consorciação com *Brachiaria brizantha* em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.2, p.163-171, 2007.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C.M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, v.30, n.2, p.365-372, 2000.

BRITO, C. J. F. A.; RODELLA, R. A. Caracterização morfo-anatômica da folha e do caule de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf e *B. humidicola* (Rendle) Schweick. (Poaceae). **Revista Brasileira de Botânica.**, v 25, n 2, p 221-228, 2002.

CAIONI, S.; LAZARINI, E.; PARENTE, T.L.; BOSSOLANI, J.W.; SOUZA, L.G.M.; PIVETTA, R.S.; DICKMANN, L. Efeito residual da adubação nitrogenada e molíbdica no milho sobre a soja cultivada em sucessão. **Revista Espacios**, v.38, n.19, p.4-14 2017.

CALONEGO, J.C.; GIL, F.C.; ROCCO, V.F.; SANTOS, E.A. Persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, braquiária e labe-labe. **Bioscience Journal**, v.28, n.5, p.770-781, 2012.

CANCELLIER, L.L.; AFFÉRI, F.S.; CARVALHO, E.V.; DOTTO, M.A.; LEÃO, F.F. Eficiência no uso de nitrogênio e correlação fenotípica em populações tropicais de milho no Tocantins. **Revista Ciência Agrônômica**, v.42, n.1, p.139-148, 2011.

CANTARELLA, H. **Nitrogênio**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). Fertilidade do solo. 2.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.375-470.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. **Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho**. Piracicaba: IPNI, 2008. p.12-14 (Informações Agrônômicas, 122)

CASAROLI, D.; FAGAN, E.B.; SIMON, J.; MEDEIROS, S.P.; MANFRON, P.A.; DOURADO NETO, D.; van LIER, Q.J.; MÜLLER, L.; MARTIN, T.N. Radiação solar e aspectos fisiológicos na cultura de soja – Uma revisão. **Revista da FZVA**, v.14, n.2, p.102-120, 2007.

CARDOSO, M.J.; CARVALHO, H.W.L.; BASTOS, E.A.; PACHECO, C.A.P.; ROCHA, L.M.P. Rendimento de grãos e eficiência do uso de água no cultivo de milho geneticamente modificado no município de Teresina – PI, Brasil, em condições climáticas contrastantes. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, n.4, p.697-704, 2015.

CARVALHO, R.P.; VON PINHO, R.G.; DAVIDE, L.M.C. Desempenho de cultivares de milho quanto à eficiência de utilização de nitrogênio. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.10, n.2, p.108-120, 2011.

CARVALHO, G.A.B.; BATISTA, J.S.S.; MARCELINO, F.C.; HUNGRIA, M. Subtractive library of soybean roots in response to inoculation with *Bradyrhizobium japonicum*. **BBR – Biochemistry and Biotechnology Reports**, v.1, n.1, p.3-8, 2012.

CARVALHO, I.R.; SOUZA, V.Q.; FOLLMANN, D.N.; NARDINO, M.; SCHMIDT, D. Desempenho agrônomo de híbridos de milho em ambiente irrigado e sequeiro. **Enciclopédia Biosfera**, v.10, n.18, p.1144-1153, 2014.

CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A.; SESTARI, I. **Manual de Fisiologia Vegetal: Fisiologia de Cultivos**. Ouro Fino-MG: Agronômica Ceres, 2008. 864p.

CECCON, G. (Ed.). **Consórcio Milho-Braquiária**. Brasília-DF: Embrapa, 2013. 175p.

CECCON, G. **Milho safrinha com braquiária em consórcio**. Dourados-MS, Embrapa, 2008. 7p (Comunicado Técnico, 140)

CHAVARRIA, G.; DURIGON, M.R.; KLEIN, V.A.; KLEBER, H. Restrição fotossintética de plantas de soja sob variação de disponibilidade hídrica. **Ciência Rural**, v.45, n.8, p.1387-1393, 2015.

CHIODEROLI, C.A.; MELLO, L.M.M.; GRIGOLLI, P.J.; SILVA, J.O.R.; CESARIN, A.L. Consorciação de braquiárias com milho outonal em plantio direto sob pivô central. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.6, p.1101-1109, 2010.

CHIODEROLI, C.A.; MELLO, L.M.M.; HOLANDA, H.V.; FURLANI, C.E.A.; GRIGOLLI, P.J.; SILVA, J.O.R.; CESARIN, A.L. Consórcio de *Urochloas* com milho em sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.42, n.10, p.1804-1810, 2012.

CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária. **Queda na produção do milho reduz estimativa da safra de grãos da CONAB**. Central de Comunicação – Arquivos Técnicos. Disponível em: <http://www.cnabrazil.org.br/artigos-tecnicos/queda-na-producao-do-milho-reduz-estimativa-da-safra-de-graos-da-conab>. Acesso em: 25 jul. 2018.

CONFALONE, A.; NAVARRO DUJMOVICH, M. Influência do “déficit” hídrico sobre a eficiência da radiação solar em soja. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.5, n.3, p.195-198, 1999.

COOPER, J.E.; SCHERER, H.W. **Nitrogen fixation**. In: MARSCHNER, P. (Ed.). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Waltham: Academic Press, 2011. p.389-408.

CORREIA, N.M.; LEITE, M.B.; FUZITA, W.E. Consórcio de milho com *Urochloa ruziziensis* e os efeitos na cultura da soja em rotação. **Bioscience Journal**, v.29, n.1, p.65-76, 2013.

COSTA, J.P.V.; BARROS, N.F.; ALBUQUERQUE, A.W.; MOURA FILHO, G.; SANTOS, J.R. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.4, p.828-835, 2006.

COSTA, N.R.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; LOPES, K.S.M.; SANTOS, F.G.; PARIZ, C.M. Acúmulo de macronutrientes e decomposição da palhada de braquiárias em razão da adubação nitrogenada durante e após o consórcio com a cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1223-1233, 2014a.

COSTA, N.R.; ANDREOTTI, M.; GAMEIRO, R.A.; PARIZ, C.M.; BUZETTI, S.; LOPES, K.S.M. Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.8, p.1030-1047, 2012.

COSTA, N.R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K.S.M.; SANTOS, F.G.; PARIZ, C.M. Adubação nitrogenada em capins do gênero *Urochloa* implantados em consórcio com a cultura do milho. **Agrária – Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.9, n.3, p.376-383, 2014b.

COSTA, R.R.G.F.; QUIRINO, G.S.F.; NAVES, D.C.F.; SANTOS, C.B.; ROCHA, A.F.S. Efficiency of inoculant with *Azospirillum brasilense* on the growth and yield of second-harvest maize. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, n.3, p.304-311, 2015.

CRUSCIOL, C.A.C.; NASCENTE, A.S.; BORGHI, E.; SORATTO, R.P.; MARTINS, P.O. Improving soil fertility and crop yield in a tropical region with palisadegrass cover crops. **Agronomy Journal**, v.107, p.2271-2280, 2015.

CRUZ, J.C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M.A.R.; MAGALHÃES, P.C. (Eds.). **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008a. 517p.

CRUZ, S.C.S.; PEREIRA, F.R.S.; BICUDO, S.J.; ALBUQUERQUE, A.W.; SANTOS, J.R.; MACHADO, C.G. Nutrição do milho e da *Brachiaria decumbens* cultivados em consórcio em diferentes preparos do solo. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v.30, supl., p.733-739, 2008b.

CRUZ, S.C.S.; PEREIRA, F.R.S.; BICUDO, S.J.; SANTOS, J.R.; ALBUQUERQUE, A.W.; MACHADO, C.G. Consórcio de milho e *Brachiaria decumbens* em diferentes preparos de solo. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v.31, n.4, p.633-639, 2009.

CURY, J.P.; SANTOS, J.B.; SILVA, E.B.; BYRRO, E.C.M.; BRAGA, R.R.; CARVALHO, F.P.; VALADÃO SILVA, D. Acúmulo e partição de nutrientes de cultivares de milho em competição com plantas daninhas. **Planta Daninha**, v.30, n.2, p.287-296, 2012.

DERAL – Departamento de Economia Rural. **Comparativo de área, produção e rendimento de culturas selecionadas – Safras 18/19 – 19/20**. Paraná. 2019a. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/Pagina/Estimativa-de-Safra>. Acesso em: 22 set. 2019.

DOURADO NETO, D.; DARIO, G.J.A.; MARTIN, T.N.; SILVA, M.R.; PAVINATO, P.S.; HABITZREITER, T.L. Adubação mineral com cobalto e molibdênio na cultura da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.1, p.2741-2752, 2012.

DOVALE, J.C.; FRITSCHÉ-NETO, R.; BERMUDEZ, F.; MIRANDA, G.V. Efeitos gênicos de caracteres associados à eficiência no uso de nitrogênio em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.3, p.385-392, 2012.

DUETE, R.R.C.; MURAOKA, T.; SILVA, E.C.; TRIVELIN, P.C.O.; AMBROSANO, E.J. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (¹⁵N) pelo milho em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.161-171, 2008.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivo do milho**. 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Sistema de Produção, 1). Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/manejomilho.htm. Acesso em: 10 jul. 2016.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja - região central do Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 261p. (Sistemas de Produção, 15)

FAGAN, E.B.; MEDEIROS, S.L.P.; MANFRON, P.A.; CASAROLI, D.; SIMON, J.; DOURADO NETO, D.; van LIER, Q.J.; SANTOS, O.S.; MÜLLER, L. Fisiologia da fixação biológica de nitrogênio em soja – revisão. **Revista da FZVA**, v.14, n.1., p.89-106, 2007.

FABRIS, L.B.; CALONEGO, J.C.; SANTOS, C.H.; MOREIRA, A.C.M. Aporte de palha e nitrogênio no sistema de produção de soja no oeste paulista. **Colloquium Agrariae**, v.14, n.2, p.24-34, 2018.

FERREIRA, A.C.B.; LAMAS, F.M.; CARVALHO, M.C.S.; SALTON, J.C.; SUASSUNA, N. D. Produção de biomassa por cultivos de cobertura do solo e produtividade do algodoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. V.45, n.6, p.546-553, 2010.

FERREIRA, E.A.; COLETTI, A.J.; SILVA, W.M.; MACEDO, F.G.; ALBUQUERQUE, A.N. Desempenho e uso eficiente da terra de modalidades de consorciação com milho e forrageiras. **Revista Caatinga**, v.27, n.3, p.22, 2014.

FIORENTIN, C.F.; LEMOS, L.B.; FORNASIERI FILHO, D.; JARDIM, C.A. Influência da consorciação com *Brachiaria ruziziensis* e do nitrogênio residual na cultura do milho. **Revista de Ciências Agrárias**, v.35, n.1, p.184-192, 2012.

FRANÇA, S.; MIELNICZUK, J.; ROSA, L.M.G.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J.I. Nitrogênio disponível ao milho: Crescimento, absorção e rendimento de grãos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.11, p.1143-1151, 2011.

FOCOAGRO. **Veja como funciona a negociação de milho e soja no mercado de commodities**. Disponível em: <<http://www.focoagro.com.br/noticias/38-veja-como-funciona-a-negociacao-de-milho-e-soja-no-mercado-de-commodities.html>>. Acesso em: 27 jun. 2016.

FORTES, D.G.; ROSA JUNIOR, E.J.; ROSA, Y.B.C.J.; SOUZA, F.R.; GELAIN, E. Successive Cultivation of Soybean/Corn Intercropped with *Urochloa brizantha* topdressed with Nitrogen. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.40, e0140198, 2016.

FREITAS, R.J.; NASCENTE, A.S.; SANTOS, F.L.S. População de plantas de milho consorciado com *Urochloa ruziziensis*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.43, n.1, p.79-87, 2013.

GARCIA, C.M.P.; ANDREOTTI, M.; TARSITANO, M.A.A.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; LIMA, A.E.S.; BUZETTI, S. Análise econômica da produtividade de grãos de milho consorciado com forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum* em sistema plantio direto. **Revista Ceres**, v.59, n.2, p.157-163, 2012.

GARCIA, C.M.P.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; BUZETTI, S.; CELESTRINO, T.S.; LOPES, K.S.M. Desempenho agrônomo da cultura do milho e espécies forrageiras em sistema de Integração Lavoura-Pecuária no Cerrado. **Ciência Rural**, v.43, n.4, p.589-595, 2013.

GARCIA, C.M.P.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; LOPES, K.S.M.; BUZETTI, S. Decomposição da palhada de forrageiras em função da adubação nitrogenada após o consórcio com milho e produtividade da soja em sucessão. **Bragantia**, v.73, n.2, p.143-152, 2014.

GARCIA, R.A.; CECCON, G.; SUTIER, G.A.S.; SANTOS, A.L.F. Soybean-corn succession according to seeding date. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.53, n.1, p.22-29, 2018.

GASPARIM, E.; PRANDINI, R.R. SILVA, S.L.; DALLACORT, R.; GNOATTO, E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum: Biological Sciences**, v.27, n.1, p.107-114, 2005.

GAZOLA, R.N.; MELO, L.M.M.; DINALLI, R.P.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; CELESTRINO, T.S. Cultura da soja em sucessão ao cultivo de milho em consórcio com braquiárias. **Cultura Agrônômica**, v. 26, n.3, p.225-236, 2017.

GAZOLA, D.; ZUCARELI, C.; SILVA, R.R.; FONSECA, I.C.B. Aplicação foliar de aminoácidos e adubação nitrogenada de cobertura na cultura do milho safrinha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.7, p.700-707, 2014.

GAZOLLA, P.R.; GUARESCHI, R.F.; PERIN, A.; PEREIRA, M.G.; ROSSI, C.Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, v.36, n.2, p.693-704, 2015.

GHANNOUM, O.; CONROY, J.P.; DRISCOLL, S.P.; PAUL, M.J.; FOYER, C.H.; LAWLOR, D.W. Nonstomatal limitations are responsible for drought-induced photosynthetic inhibition in four C₄ grasses. **New Phytologist**, v.159, p.599-608, 2003.

GONÇALVES, A.K.A.; SILVA, T.R.B.; BRANDÃO, A.G. Manejo de adubação nitrogenada em milho solteiro e em consorciado com *Brachiaria ruziziensis*. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.15, n.2, p.318-327, 2016.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MOLLER, I.S.; WHITE, P. **Functions of macronutrients**. In: MARSCHNER, P. (Ed.). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Waltham: Academic Press, 2011. p.135-190.

HEINRICH, R.; GAVA, G.; CORAZZA, E.; DUETE, R.; VILLANUEVA, F.; MURAOKA, T. Forma preferencial de absorção de nitrogênio (¹⁵NH₄⁺ ou ¹⁵NO₃⁻) pelas culturas de soja, feijão, arroz e milho. **Científica**, v.34, n.1, p.25-30, 2006.

HOFFMAN, B.M.; LUKOYANOV, D.; DEAN, D.R.; SEEFELDT, L.C. Nitrogenase: a draft mechanism. **Accounts of Chemical Research**, v.46, n.2, p.587-595, 2013.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Soybean seed co-inoculation with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense*: a new biotechnological tool to improve yield and sustainability. **American Journal of Plant Sciences**, v.6, p.811-817, 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola**: Estatística da produção agrícola. Rio de Janeiro, dez. 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>. Acesso em: 26 jan. 2020.

IKEDA, F.S.; VICTORIA FILHO, R.; MARCHI, G.; DIAS, C.T.S.; PELISSARI, A. Interferências no consórcio de milho com *Urochloa* spp. **Ciência Rural**, v.43, n.10, p.1763-1770, 2013.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Balanço hídrico de cultivo e perda de produtividade**. Disponível em: <http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/monitoramento/bhc>. Acesso em: 28 set. 2019.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A.; FERREIRA, L.R. Efeitos do nitrogênio sobre o milho cultivado em consórcio com *Brachiaria brizantha*. **Acta Scientiarum: Biological Sciences**, v.27, n.1, p.39-46, 2005.

KANEKO, F.H.; SABUNDJIAN, M.T.; ARF, O.; FERREIRA, J.P.; GITTI, D.C.; NASCIMENTO, V.; LEAL, A.J.F. Análise econômica do milho em função da inoculação com *Azospirillum*, fontes e doses de N em Cerrado de baixa altitude. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.14, n.1, p.23-37, 2015.

KAPPES, C.; ARF, O.; ANDRADE, J.A.C. Coberturas vegetais, manejo do solo, doses de nitrogênio e seus efeitos na nutrição mineral e nos atributos agrônômicos do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1322-1333, 2013.

KASCHUK, G.; NOGUEIRA, M.A.; LUCA, M.J.; HUNGRIA, M. Response of determinate and indeterminate soybean cultivars to basal and topdressing N fertilization compared to sole inoculation with *Bradyrhizobium*. **Field Crops Research**, 2016.

KLUGE, R.A.; TEZOTTO-ULIANA, J.V.; SILVA, P.P.M. Aspectos fisiológicos e ambientais da fotossíntese. **Revista Virtual de Química**, v.7, n.1, p.56-73, 2015.

KUNZ, J.H.; BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; HECKLER, B.M.M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.11, p.1511-1520, 2007.

KURIHARA, C.H.; VENEGAS, V.H.A.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em soja, como variável do potencial produtivo. **Revista Ceres**, v.60, n.5, p.690-698, 2013.

KUTSCHERA, U.; PIERUSCHKA, R.; BERRY, J.A. Leaf development, gas exchange characteristics, and photorespiratory activity in maize seedlings. **Photosynthetica**, v.48, n.4, p.617-622, 2010.

LANDAU, E.C.; CRUZ, J.C.; HIRSCH, A.; GUIMARÃES, D.P. **Expansão potencial da produção de milho 2ª safra no Brasil no sistema de sucessão soja-milho considerando o zoneamento de risco climático 2014/15**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 26p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Milho e Sorgo, 124)

LANGE, A.; CAIONE, G.; SCHONINGER, E.L.; SILVA, R.G. Produtividade de milho safrinha em consórcio com capim-marandu em função de fontes e doses de nitrogênio em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.13, n.1, p.35-47, 2014.

LANGE, A.; CARVALHO, J.L.N.; DAMIN, V.; CRUZ, J.C.; GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.J. Doses de nitrogênio e de palha em sistema plantio direto de milho no Cerrado. **Revista Ceres**, v.56, n.306, p.171-178, 2006.

LARA-CABEZAS, W.A.R.; PÁDUA, R.V. Eficiência e distribuição de nitrogênio aplicado em cobertura na cultura de milho consorciada com *Brachiaria ruziziensis*, cultivada no sistema Santa Fé. **Bragantia**, v.66, p.131-140, 2007.

LIMA, J.E.S.; NASCENTE, A.S.; LEANDRO, W.M.; SILVEIRA, P.M. *Urochloa ruziziensis* responses to sources and doses of urea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.5, p.401-407, 2016.

LORSCHTEIT, A.; NONNENMACHER, C.M.; PANISSON, D.; LEITE, D.; LUSA, F.; DALSSASSO, T.C.; SLAVIERO, A.; STAKONSKI, C.A.; URIO, E.A.; SCOLARI, L.C. Morfologia e histologia do milho (*Zeamays*). In: MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IDEAU, 5., Caxias do Sul, Rio Grande do Sul. **Anais...** Disponível em: <http://mostra.ideau.com.br/2015/mostra_ideau_2015_anais/2015/artigos/2015025013.pdf> Acesso em: 28 jun. 2016.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; BEUTLER, S.J.; PERIN, A.; ANJOS, L.H.C. Densidade e fertilidade do solo sob sistemas de plantio direto e de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v.55, n.4, p.260-268, 2012.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; PERIN, A.; DOS ANJOS, L.H.C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1269-1276, 2011.

MACHADO, L.A.Z.; CECATO, U.; JANK, L.; VERZIGNASSI, J.R.; VALLE, C.B. **Identificação de características de forrageiras perenes para o consórcio com milho**. In: CECCON, G. (Ed.). Consórcio Milho-Braquiária. 1 ed. Dourados-MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 175 p. 2013.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; CARNEIRO, N.P.; PAIVA, E. **Fisiologia do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 23p. (Circular Técnica, 22)

MAIA, P.B.; REZENDE, I.S.; TSUMURA, F.H. Desempenho de híbridos de milho e da forrageira *Brachiaria brizantha* em cultivo consorciado. **Revista Verde**, v.10, n.1, p.81-87, 2015.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F. **Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas**. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Eds.). Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2007. p.189-249.

MATOS, F.B.; OLIVEIRA, F.F.; PIETROSKI, M.; MULLER, P.F.; TAKESHITA, V.; CAIONE, G. Uso de *Azospirillum brasilense* para o aumento da eficiência da adubação nitrogenada em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.16, n.1, p.131-141, 2017.

MECHI, I.A.; SANTOS, A.L.F.; RIBIRO, L.M.; CECCON, G. Infestação de plantas daninhas de difícil controle em função de anos de consórcio milho-braquiária. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.5, n.3, p.49-54, 2018.

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

MENDONÇA, V.Z.; MELLO, L.M.M.; ANDREOTTI, M.; PARIZ, C.M.; YANO, E.H.; PEREIRA, F.C.B.L. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.183-193, 2015.

MENDONÇA, V.Z.; MELLO, L.M.M.; PEREIRA, F.C.B.L.; CESARIN, A.L.; YANO, E.H. Desempenho agrônômico da soja em sucessão ao consórcio de milho com forrageiras no cerrado. **Revista Agrarian**, v.7, n.23, p.26-33, 2014.

MIRANDA, Renata de Azambuja Silva. **Atributos químicos de um Latossolo e produtividade de soja e milho em sistema de consórcio milho e *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em função de fontes de nitrogênio**. 2015. 71f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2015.

MISSÃO, M.R. Soja: origem, classificação, utilização e uma visão abrangente do mercado. **Maringá Management: Revista de Ciências Empresariais**, v.3, n.1, p.7-15, 2006.

MOTA, M.R.; SANGOI, L.; SCHENATTO, D.E.; GIORDANI, W.; BONIATTI, C.M.; DALL'IGNA, L. Fontes estabilizadas de nitrogênio como alternativa para aumentar o rendimento de grãos e a eficiência de uso do nitrogênio pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.512-522, 2015.

MUMBACH, G.L.; KOTOWSKI, I.E.; SCHNEIDER, J.A.; MALLMANN, M.S.; BONFADA, E.B.; PORTELA, V.O.; BONFADA, E.B.; KAISER, D.R. Resposta da inoculação com *Azospirillum brasilense* nas culturas de trigo e milho safrinha. **Revista Scientia Agraria**, v.18, n.2, p.97-103, 2017.

NASCIMENTO, F.M.; BICUDO, S.J.; FERNANDES, D.M.; RODRIGUES, J.G.L.; FERNANDES, J.C. Diagnose foliar em plantas de milho em sistema de semeadura direta em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v.5, n.1, 67-86, 2012.

NÄSHOLM, T.; KIELLAND, K.; GANETEG, U. Uptake of organic nitrogen by plants. **New Phytologist**, v.182, p.31-48, 2009.

NETO, S.A.V.; PIRES, F.R.; MENEZES, C.C.E.; MENEZES, J.F.S.; SILVA, A.G.; SILVA, G.P.; ASSIS, R.L. Formas de aplicação de inoculante e seus efeitos sobre a nodulação da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.861-870, 2008.

NITSCHKE, P.R.; CARAMORI, P.H.; RICCE, W.S.; PINTO, L.F.D. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 2019. Disponível em: <http://www.iapar.br/pagina-677.html>. Acesso em: 24 set. 2019.

NOGUEIRA, P.D.M.; JÚNIOR, D.G.S.; RAGAGNIN, V.A. Clorofila foliar e nodulação em soja adubada com nitrogênio em cobertura. **Global Science and Technology**, v.3, n.2, p.117-124, 2010.

OLIVEIRA, S.M.; ALMEIDA, R.E.M.; PIEROZAN JUNIOR, C.; REIS, A.F.B.; SOUZA, L.F.N.; FAVARIN, J.L. Contribution of corn intercropped with Brachiaria species to nutrient cycling. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.49, e55018, 2019.

PANACHUKI, E.; SOBRINHO, T.A.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F.; URCHEI, M.A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, p.261-268, 2006.

PARENTE, T.L.; LAZARINI, E.; CAIONI, S.; PIVETTA, R.S.; SOUZA, L.G.M.; BOSSOLANI, J.W. Adubação nitrogenada em genótipos de soja associada à inoculação em semeadura direta no Cerrado. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.10, n.2, p.249-255, 2015.

PARIZ, C.M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; BERGAMASCHINE, A.F.; ULIAN, N.A.; FURLAN, L.C.; MEIRELLES, P.R.; 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, 2011a.

PARIZ, C.M.; ANDREOTTI, M.; AZENHA, M.V.; BERGAMASCHINE, A.F.; MELLO, L.M.M.; LIMA, R.C. Produtividade de grãos de milho e massa seca de braquiárias em consórcio no sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, v.41, n.5, p.875-882, 2011b.

PAULETTI, V.; MOTTA, A.C.V. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: SBCS-NEPAR, 2017.482p.

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**, v.6, n.10, p.1-5, 2010.

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

PIEROZAN JUNIOR, Clovis. **Eficiência da adubação nitrogenada no sistema solo-soja em ambiente tropical e subtropical**. 2016. 100f. Tese (Doutorado em Ciências), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2016.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica: EDUR, 1998. 150p.

PIMENTEL, C. **Respostas fisiológicas à falta d’água: limitação difusiva ou metabólica?** In: NOGUEIRA, R.M.C.; ARAÚJO, E.L.; WILLADINO, L.G.; CAVALCANTE, U.M.T. (Eds.). Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas. Recife: Imprensa Universitária UFRPE, 2005. p.13-21.

PIMENTEL, R.M.; BAYÃO, G.F.V.; LELIS, D.L.; CARDOSO, A.J.S.; SALDARRIAGA, F.V.; MELO, C.C.V.; SOUZA, F.B.M.; PIMENTEL, A.C.S.; FONSECA, D.M.; SANTOS, M.E.R. Ecofisiologia de plantas forrageiras. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.10, n.9, p.666-679, 2016.

PRADO, R.M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 407p.

QUADROS, P.D.; ROESCH, L.F.W.; SILVA, P.R.F.; VIEIRA, V.M.; ROEHRS, D.D.; CAMARGO, F.A.O. Desempenho agrônômico a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. **Revista Ceres**, v.61, n.2, p.209-218, 2014.

REPKE, R.A.; CRUZ, S.J.S.; SILVA, C.J.; FIGUEIREDO, P.G.; BICUDO, S.J. Eficiência da *Azospirillum brasilense* combinada com doses de nitrogênio no desenvolvimento de plantas de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.12, n.3, p.214-226, 2013.

RESENDE, A.V.; SHIRATSHUCHI, L.C.; FONTES, J.R.A.; ARNS, L.L.K.; RIBEIRO, L.F. Adubação e arranjo de plantas no consórcio milho e braquiária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.38, n.4, p.269-275, 2008.

RIBEIRO, L.M.; CECCON, G.; MECCHI, I.A.; SANTOS, A.L.F.; FACHINELLI, R.; MAKINO, P.A. Produtividade da soja em sucessão a cultivos de outono-inverno. **Revista Agrarian**, v.11, n.40, p.120-131, 2018.

RICHART, A.; PASLAUSKI, T.; NOZAKI, M.H.; RODRIGUES, C.M.; FEY, R. Desempenho do milho safrinha e da *Brachiaria ruziziensis* cv. Comum em consórcio. **Agrária – Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, n.4, p.497-502, 2010.

SALTON, J.C.; TOMAZI, M. **Sistema radicular de plantas e qualidade do solo**. Dourados-MS: Embrapa, 2014. 6p (Comunicado Técnico, 198)

SANTINI, J.M.K.; BUZZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; GALINDO, F.S.; COAGUILA, D.N.; BOLETA, E.H.M. Doses and forms of *Azospirillum brasilense* inoculation on maize crop. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.6, p.373-377, 2018.

SANTOS, H.G. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SANTOS, F.C.; KURIHARA, C.H.; RESENDE, A.V.; ALVARENGA, R.C.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. **Arranjo de plantas de braquiária em consórcio com a cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2014a. 6p. (Circular Técnica, 202)

SANTOS, F.C.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; VILELA, L.; FERREIRA, G.B.; CARVALHO, M.C.S.; VIANA, J.H.M. Decomposição e liberação de macronutrientes da palhada de milho e braquiária, sob integração lavoura-pecuária no Cerrado Baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.6, p.1855-1861, 2014b.

SANTOS, P.R.A.; NICOLAU, F.E.A.; AMORIM, M.Q.; MENDONÇA, C.A.; LOPES, J.E.L.; NASCIMENTO, E.M.S.; CHIODEROLI, C.A.; MONTEIRO, L.A. Soil chemical properties under a no-tillage system: Forage grass seeding modes of gender *Urochloa* intercropped with maize. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n.50, p.5050-5058, 2016.

SCHLINDWEIN, J.A.; ANGHINONI, I. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.30, p.611-617, 2000.

SEDIYAMA, T. (Org.). **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenaz, 2009. 314p.

SEIDEL, E.P.; GERHARDT, I.F.S.; CASTAGNARA, D.D.; NERES, M.A. Efeito da época e sistema de semeadura da *Brachiaria brizantha* em consórcio com o milho, sobre os componentes de produção e propriedades físicas do solo. **Semina: Ciência Agrárias**, v.35, n.1, p.55-66, 2014.

SEIDEL, E.P.; REIS, W.; BARTZEN, B.; KNAUL, J.; CASSIANO, A.D.; FREDRICH, J.E. Nitrogen and potassium topdressing in maize intercropped with *Brachiaria ruziziensis*. **Sustainable Agriculture Research**, v.4, n.4, p.49-56, 2015.

SEREIA, R.C.; LEITE, L.F.; ALVES, V.B.; CECCON, G. Crescimento de *Brachiaria* spp. e milho safrinha em cultivo consorciado. **Revista Agrarian**, v.5, n.18, p.349-355, 2012.

SEVERINO, F.J.; CARVALHO, S.J.P.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Interferências mútuas entre a cultura do milho, espécies forrageiras e plantas daninhas em um sistema de consórcio. III – Implicações sobre as plantas daninhas. **Planta Daninha**, v.24, n.1, p.53-60, 2006.

SILVA, A.F.; FREITAS, A.D.S.; STAMFORD, N.P. Efeito da inoculação da soja (cv. Tropical) com rizóbios de crescimento rápido e lento em solo ácido submetido à calagem. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v.24, n.5, p.1327-1333, 2002.

SILVA, A.G.; ASSIS, R.L.; OLIVEIRA, C.A.A.; FERREIRA, C.J.B.; TEIXEIRA, I.R.; ALMEIDA, K.L.; CARMO, E.L. Variabilidade dos atributos físicos do solo e dinâmica da palhada em sistema integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.18, n.3, p.429-440, 2019.

SILVA, Carine Gregorio Machado. **Absorção e exportação de macronutrientes em milho transgênico sob dois níveis de investimento em adubação**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias), Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei, 2016.

SILVA, D.V.; PEREIRA, G.A.M.; FREITAS, M.A.M.; SILVA, A.A.; SEDIYAMA, T.; SILVA, G.S.; FERREIRA, L.R.; CECON, P.R. Produtividade e teor de nutrientes do milho em consórcio com braquiária. **Ciência Rural**, v.45, n.8, p.1394-1400, 2015a.

SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; BUZZETTI, S.; ESPINAL, F.S.C.; TRIVELIN, P.C.O. Utilização do nitrogênio da palha de milho e de adubos verdes pela cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2853-2861, 2008.

SILVA, F. C. (Org.) **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

SILVA, J.A.G.; ARENHARDT, E.G.; KRÜGER, C.A.M.B.; LUCHESE, O.A.; METZ, M.; MAROLLI, A. A expressão dos componentes de produtividade do trigo pela classe tecnológica e aproveitamento do nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.1, p.27-33, 2015b.

SILVA, M.R.; MARTIN, T.N.; ORTIZ, S.; BERTONCELLI, P.; VONZ, D. Desempenho agrônomo de genótipos de milho sob condições de restrição hídrica. **Revista de Ciências Agrárias**, v.35, n.1, p.202-212, 2012.

SILVA, P.I.B.; FONTES, D.R.; MORAES, H.M.F.; GONÇALVES, V.A.; SILVA, D.V.; FERREIRA, L.R.; FELIPE, R.S. Crescimento e rendimento do milho e da braquiária em sistema consorciado com diferentes manejos de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v.32, n.2, p.301-309, 2014.

SILVEIRA, Lucas da. **Implicações de plantas de cobertura e de doses de nitrogênio no rendimento de grãos da soja**. 2018. 59f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2018.

SORATTO, R.P.; PEREIRA, M.; COSTA, T.A.M.; LAMPERT, V.N. Fontes alternativa e doses de nitrogênio no milho safrinha em sucessão à soja. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.4, p.511-518, 2010.

SOUZA, E.F.C.; SORATTO, R.P. Efeito de fontes e doses de nitrogênio em cobertura, no milho safrinha, em plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, n.3, p.395-405, 2006.

SOUZA, L.H.; NOVAIS, R.F., ALVAREZ V., V.H.; VILLANI, E.M.A. Efeito do pH do solo rizosférico e não rizosférico de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.5, p.1641-1652, 2010.

TARTARI, D.T.; NUNES, M.C.M.; SANTOS, F.A.S.; FARIA JUNIOR, C.A.; SERAFIM, M.E. Perda de solo e água por erosão hídrica em Argissolo sob densidades de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.7, n.3, p.85-93, 2012.

TERRAZA, S.P.; MURRIETA, P.L.; ROMERO, M.V.; VERUGO, S.H. Crecimiento de plantas y rendimiento de tomate en diversas relaciones nitrato/amonio y concentraciones de bicarbonato. **Revista Fitotec. Mex.**, v.35, n.2, p.143-153, 2012.

TIECHER, T. (Ed.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil**: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água. Porto Alegre: UFRGS, 2016. 186p.

THOMAZINI, G.; REICHEMACK, M.P.; ARF, O.; GERLACH, G.A.X.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, R.A.F. Inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* e doses de nitrogênio mineral em milho cultivado em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.18, n.3, p.396-407, 2019.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G. Produção e decomposição de resíduos culturais antecedendo milho e soja num Latossolo no Cerrado mineiro. **Comunicata Scientiae**, v.5, n.4, p.419-426, 2014.

TORRES, F.E.; SOUZA, L.C.F.; ANDRADE, L.H.L.; PEDROSO, F.F.; MATOSO, A.O.; TORRES, L.D.; BENETT, C.G.S.; BENETT, K.S.S. Influência da cobertura do solo e doses de nitrogênio na cultura do milho safrinha. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.9, n.1, p.36-41, 2014.

TAKASU, A.T.; RODRIGUES, R.A.F.; GOES, R.J.; ARF, O.; HAGA, K.I. Desempenho agrônômico do milho sob diferentes arranjos populacionais e espaçamento entrelinhas. **Revista Agrarian**, v.7, n.23, p.34-41, 2014.

TSUMANUMA, G.M. **Desempenho do milho consorciado com diferentes espécies de braquiárias, em Piracicaba, SP**. 2004. 83f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Fitotecnia), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2004.

USDA/NRCS – United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. **Classification**. Disponível em: <<http://plants.usda.gov/classification.html>>. Acesso em: 28 jun. 2016.

VON PINHO, R.G.; BORGES, I.D.; PEREIRA, J.J.A.R.; DOS REIS, M.C. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8, n.2, p.157-173, 2009.

WERNER, F.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; FERREIRA, A.S.; SILVA, M.A.A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C. Soybean growth affected by seeding rate and mineral nitrogen. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.8, p.734-738, 2016.

YOKOYAMA, A.H.; RIBEIRO, R.H.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; ZUCARELI, C. Índices de área foliar e SPAD da soja em função de culturas de entressafra e nitrogênio e sua relação com a produtividade. **Revista de Ciências Agrárias**, v.41, n.4, p.953-962, 2018.

ZILLI, J.E.; MARSON, L.C.; MARSON, B.F.; GIANLUPPI, V.; CAMPO, R.J.; HUNGRIA, M. Inoculação de *Bradyrhizobium* em soja por pulverização em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.4, p.541-544, 2008.

ZILLI, J.E.; PEREIRA, G.M.D.; FRANÇA JÚNIOR, I.; SILVA, K.; HUNGRIA, M. ROUWS, J.R.C. Dinâmica de rizóbios em solo de cerrado de Roraima durante período de estiagem. **Acta Amazonica**, v.43, n.2, p.153-160, 2013.

ZOZ, T.; LANA, M.C.; STEINER, F.; ZOZ, A.; ZOZ, J.; ZUFFO, A.M. Densidade populacional, espaçamento e adubação nitrogenada na semeadura de milho de segunda safra. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.12, n.1, p.103-125, 2019.

ZUFFO, A.M.; STEINER, F.; BUSCH, A.; SANTOS, D.M.S. Adubação nitrogenada na soja inibe a nodulação e não melhora o crescimento inicial das plantas. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.12, n.2, p.333-349, 2019.

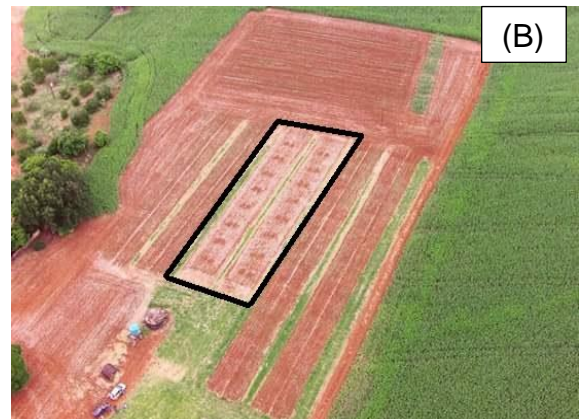
ANEXOS

ANEXO A

Imagens aéreas obtidas por meio de veículo aéreo não tripulado (VANT) da Área Experimental do Portal Ciência do Solo localizada no município de Itambé-PR, com destaque para o experimento utilizado na presente tese.



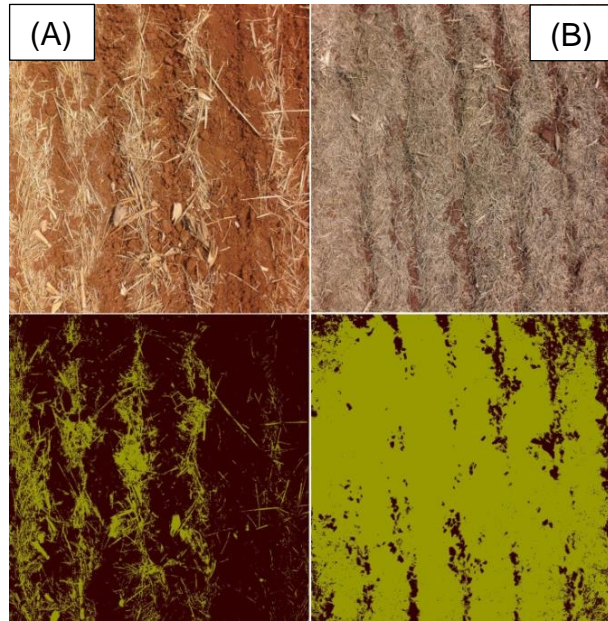
(A) Cultura da soja em desenvolvimento.



(B) Pós-colheita da soja no último ano.

ANEXO B

Avaliação da porcentagem de cobertura do solo por palha por meio do tratamento de imagens obtidas com câmera multiespectral acoplada a um veículo aéreo não tripulado (VANT) após a semeadura da soja no último ano agrícola.



(A) Sistema de cultivo de milho solteiro. (B) Sistema de cultivo de milho consorciado.