

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL – PPGPV

ANTONIO EDUARDO COELHO

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E ECONÔMICO DO MILHO SEGUNDA SAFRA
CONSORCIADO COM BRAQUIÁRIA E DA SOJA EM SUCESSÃO, EM FUNÇÃO
DA DENSIDADE DE PLANTAS E DA APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NO MILHO**

LAGES, SC

2022

ANTONIO EDUARDO COELHO

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E ECONÔMICO DO MILHO SEGUNDA SAFRA
CONSORCIADO COM BRAQUIÁRIA E DA SOJA EM SUCESSÃO, EM FUNÇÃO
DA DENSIDADE DE PLANTAS E DA APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NO MILHO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Luis Sangoi

Co-orientador: Prof. Dr. Alvadi Antonio Balbinot Junior

LAGES, SC

2022

Ficha catalográfica elaborada pelo autor, com
auxílio do programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC

Coelho, Antonio Eduardo

Desempenho agrônômico e econômico do milho
segunda safra consorciado com braquiária e da soja
em sucessão, em função da densidade de plantas e
da aplicação de nitrogênio no milho / Antonio
Eduardo Coelho- Lages, 2022.

143 p.

Orientador: Prof. Dr. Luis Sangoi

Co-Orientador: Dr. Alvadi Antonio Balbinot Junior
Tese (Doutorado) - Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Produção Vegetal, Lages, 2022.

1. *Zea mays*. 2. Produtividade de grãos. 3. Sistema
soja milho safrinha. 4. *Urochloa Ruziziensis*. I.
Sangoi, Luis. II. Balbinot Junior, Alvadi Antonio.
III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro
de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-
Graduação em Produção Vegetal. IV. Desempenho
agrônômico e econômico do milho segunda safra
consorciado com braquiária e da soja em sucessão, em
função da densidade de plantas e da aplicação de
nitrogênio no milho.

ANTONIO EDUARDO COELHO

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E ECONÔMICO DO MILHO SEGUNDA SAFRA
CONSORCIADO COM BRAQUIÁRIA E DA SOJA EM SUCESSÃO, EM FUNÇÃO
DA DENSIDADE DE PLANTAS E DA APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NO MILHO**

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

BANCA EXAMIONADORA

Orientador:

Prof. Dr. Luis Sangoi
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

Membros:

Prof. Dr. Paulo Regis Ferreira Da Silva
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Prof. Dr. Samuel Luiz Fioreze
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Prof. Dr. Clovis Arruda de Souza
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

Prof. Dr. Alvaro Luiz Mafra
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

Lages, 25 de fevereiro de 2022

A Deus, a minha namorada
Renata, a minha mãe Ivanir, a
e minha irmã Ivânia, pelo
incentivo, amor, e carinho.

Ofereço e dedico!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela minha vida e por ter me dado força para superar as dificuldades.

A minha mãe pela vida, pela educação, pelo amor, pelas orações, pelo exemplo e pelo esforço para que eu conseguisse cumprir mais essa etapa na minha vida.

A minha namorada Renata e minha irmã Ivânia, pelo incentivo, ajuda, apoio, amor, carinho e, acima de tudo, pela dedicação e paciência nos momentos em que precisei.

Ao meu “pai” científico, professor Dr. Luis Sangoi, pela paciência, confiança depositada, por todo auxílio e ensinamento proporcionado, pelo acolhimento em sua equipe, e pelo exemplo de profissional.

Ao meu coorientador Dr. Alvadi Antonio Balbinot Junior, pela confiança depositada, por todo auxílio e incentivo, pelo acolhimento em Londrina e na equipe de manejo do solo e da cultura da EMBRAPA Soja

Aos colegas de trabalho e amigos do grupo “Zea mays”, e da EMBRAPA Soja.

A todos os professores e colegas que contribuíram de alguma forma em minha formação.

A banca avaliadora, pelas contribuições, críticas e disponibilidade.

A toda equipe do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, e da EMBRAPA Soja pela estrutura, ajuda e pela formação profissional.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo auxílio financeiro.

E a todos que de maneira direta ou indireta contribuíram com este trabalho ou fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder o entusiasmo.”. (Autor desconhecido)

RESUMO

COELHO, ANTONIO E. Desempenho agronômico e econômico do milho segunda safra consorciado com braquiária e da soja em sucessão, em função da densidade de plantas e da aplicação de nitrogênio no milho. 2022. 143 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, 2022.

A adequação da densidade de plantas e da adubação nitrogenada de cobertura no milho pode beneficiar o sistema de consórcio envolvendo milho e *Urochloa ruziziensis* na segunda safra, proporcionando aumento na quantidade de palha e raízes, bem como incremento na ciclagem de nutrientes no sistema. Estas alterações podem impactar positivamente tanto as plantas consorciadas quanto a soja cultivada em sucessão. Este trabalho foi conduzido com objetivo de avaliar os efeitos do consórcio de milho com *U. ruziziensis*, da aplicação de nitrogênio (N) em cobertura e da densidade de plantas de milho na segunda safra sobre o desempenho agronômico do milho e da soja em sucessão. O experimento foi implantado a campo, em duas safras, no delineamento experimental de blocos completos casualizados, dispostos em parcelas sub-subdivididas, com quatro repetições. Na parcela principal foram alocadas duas modalidades de cultivo (milho solteiro e consorciado com *U. ruziziensis*). Nas subparcelas foram testadas duas doses de N em cobertura (0 e 80 kg de N ha⁻¹). Nas sub-subparcelas foram avaliadas quatro densidades de milho (40, 60, 80 e 100 mil plantas ha⁻¹). Avaliou-se a produção de palha do milho e da braquiária, a produtividade de grãos e componentes do milho e da soja e o desempenho econômico dos sistemas de produção. A taxa de semeadura ótima agronômica do milho foi atingida em populações que variaram de 79 a 100 mil plantas ha⁻¹. O aumento da densidade de plantas de milho mitigou a competição da braquiária sobre as plantas de milho, sendo recomendável o aumento da densidade de plantas de milho em 10% quando em consórcio. À medida que se elevou a densidade de plantas de milho, maiores foram os benefícios da adubação nitrogenada para a cultura. A adubação nitrogenada no milho aumentou 180 kg ha⁻¹ a produtividade da soja em sucessão. Além de elevar a produção de palha e a ciclagem de N ao sistema, o consórcio com braquiária aumentou a produtividade de grãos de soja em 232 kg ha⁻¹ no segundo ano. A menor receita bruta e o maior custo operacional do milho com a inserção da *U. ruziziensis* em consórcio foram compensados pela maior lucratividade

da soja cultivada em sucessão. A adubação nitrogenada no milho elevou a lucratividade do milho e da soja cultivada em sucessão. A máxima lucratividade acumulada no sistema foi encontrada com densidade de 93 mil plantas ha⁻¹ de milho. O aumento da densidade de plantas de milho, a adubação nitrogenada e o consórcio de milho com *U. ruzizensis* são estratégias de manejo recomendadas para aumentar a produtividade de proteínas e a sustentabilidade econômica e ambiental de sistemas de produção de grãos com milho segunda safra/soja.

Palavras-chave: *Zea mays*. Produtividade de grãos. Sistema soja milho safrinha. *Urochloa ruzizensis*. Agricultura conservacionista. Plantas de cobertura. Ciclagem de nitrogênio.

ABSTRACT

The adjustment of plant density and nitrogen fertilization in maize can benefit the intercropping system involving maize and *Urochloa ruziziensis* in the second crop, providing an increase in the amount of straw and roots, as well as an increase in the cycling of nutrients in the system. These changes can affect positively both intercropped plants and soybeans grown in succession. This work was carried out aiming to evaluate the effects of intercropping maize with *U. ruziziensis*, nitrogen application in topdressing and maize plant density in the second crop, on the agronomic performance of maize and soybean in succession. The experiment was set in the field, during two growing seasons. The experimental design was a complete randomized block, arranged in split split-plots, with four replications. Two types of growing systems were allocated in the main plots: single maize and maize intercropped with *U. ruziziensis*. Two nitrogen top-dress rates were tested in the split plots: 0 and 80 kg of N ha⁻¹. Four maize densities were evaluated in the split split-plots: 40, 60, 80 and 100 thousand plants ha⁻¹. Straw production, grain yield and its components of maize and soybean and the economic performance of the growing systems were assessed. The optimal agronomic sowing rate of maize was achieved in populations ranging from 79 to 100 thousand plants ha⁻¹. The increase in the population of maize plants mitigated the competition of brachiaria over maize plants. Therefore, it is recommended to increase the density of maize plants by 10% when intercropped with *U. ruziziensis*. As the population of maize plants increased, the benefits of nitrogen fertilization for maize also enhanced. Nitrogen fertilization in maize increased 180 kg ha⁻¹ the soybean yield. In addition to increasing straw production and N cycling to the system, the intercropping with *U. ruziziensis* provided an increase in soybean grain yield of 232 kg ha⁻¹ in the second experimental year. The lower gross revenue and the higher operating cost of maize with the insertion of *U. ruziziensis* in a intercropping was compensated by the higher profitability of soybeans grown in succession. Nitrogen fertilization in maize increased the profitability of maize and soybean grown in succession. The maximum accumulated profitability in the system was found with a density of 93 thousand maize plants ha⁻¹. The increase in the population of maize plants, nitrogen fertilization, and the intercropping of maize with *U. ruziziensis* are recommended management practices

to increase protein productivity, and the economic and environmental sustainability of grain production systems with soybean/maize second crop.

Key words: *Zea mays*. Grain yield. Off-season corn. *Urochloa ruziziensis*. Nitrogen Fertilization. Conservation agriculture. Cover crop. Nitrogen cycling.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 — Balanço hídrico sequencial, conforme metodologia descrita por Thornthwaite e Mather (1955). Deficiência hídrica; Excedente hídrico; Armazenamento de água; Radiação global diária e temperatura média do ar. S: Semeadura; R1: Estádio de embonecamento do milho; H: Colheita. Londrina, PR.52
- Figura 2 — Produtividade de grãos de milho em função da densidade de plantas de milho, adubação nitrogenada e consórcio com braquiária na safra 2018.56
- Figura 3 — Produtividade de grãos de milho em função da densidade de plantas de milho e consórcio com braquiária (A), e em função da densidade de plantas de milho e adubação nitrogenada (B) na safra 2019. * Médias diferem aplicação de N e consórcio pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Londrina, PR57
- Figura 4 — Número de grãos por espiga em 2018 (A) e porcentagem de plantas sem espigas em 2019 (B) em função do consórcio de milho com braquiária e adubação nitrogenada. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas para adubação nitrogenada e minúscula para consórcio diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Londrina, PR.....58
- Figura 5 — Número de espigas por planta (A), número de grão m^{-2} (B), número de grãos por espiga (C), massa de mil grãos (D), porcentagem de plantas sem espiga (E), número de grãos por fileira (F) e massa de matéria seca da braquiária na colheita do milho (H) em função da densidade de plantas de milho em 2018 e 2019 e índice de colheita (G) em função da densidade de plantas de milho em 2019. Londrina, PR.60
- Figura 6 — Balanço hídrico sequencial, conforme metodologia descrita por Thornthwaite e Mather (1955). Deficiência hídrica; Excedente hídrico; Armazenamento de água; Radiação global diária e temperatura média do ar. S: Semeadura; R5: Início de enchimento de grãos; H: Colheita. Londrina, PR.71
- Figura 7 — Massa de matéria seca da palha de milho e braquiária em 2018 (A) e 2019 (B), quantidade de N ciclado pela palha em 2018 (C) e 2019 (D) em função da densidade de plantas de milho e da presença e ausência

do consórcio de milho com braquiária, e quantidade de N ciclado pela palha em 2018 (E) e 2019 (F) em função da adubação nitrogenada no milho. *Médias diferem aplicação de N e consórcio pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$) e . Londrina, PR.76

Figura 8 — Índice de área foliar da soja no estágio V4/V5 em função da adubação nitrogenada na cultura antecessora na safra 2019/20 (A) e densidade de plantas de milho em consórcio com braquiária na safra 2019/20 (C), quantidade de N na biomassa da soja no estágio V4/V5 em função do consórcio do milho com braquiária na safra 2019/20 (B), índice de clorofila SPAD no estágio V4/V5 nas safras 2018/19 (E) e 2019/20 (D) em função da densidade de plantas de milho e adubação nitrogenada, e massa de matéria seca da soja em função da densidade de plantas de milho nas safras 2018/19 e 2019/20 (E). *Médias diferem aplicação de N e consórcio pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Londrina, PR.78

Figura 9 — Massa de matéria seca da soja no estágio R2 na safra 2018/19 (A), índice de área foliar da soja no estágio R2 na safra 2019/20 (B), quantidade de N na biomassa da soja no estágio R2 na safra 2018/19 (C) em função do consórcio de milho com braquiária e adubação nitrogenada, matéria seca da soja em R2 em função da densidade de plantas de milho na safra 2019/20 (D) e quantidade de N na biomassa da soja no estágio R2 na safra 2018/19 em função da densidade de plantas de milho e adubação nitrogenada (E). Londrina, PR. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas para adubação nitrogenada e minúsculas para consórcio diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$).80

Figura 10 — Índice de área foliar no estágio R5 em função do consórcio do milho com braquiária (A), e densidade de plantas de milho e adubação nitrogenada (B), teor relativo de clorofila SPAD da soja no estágio R5 (C) e quantidade de N na biomassa da soja no estágio R5 (D) em função da densidade de plantas de milho, na safra 2018/19. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Ns: não significativo. Londrina, PR.82

Figura 11 — Massa de mil grãos em 2018/19 (A) e número de grãos m^{-2} em 2019/20 (B) da soja em função da adubação nitrogenada e densidade de plantas de milho. Índice de colheita da soja em função da densidade de

- plantas de milho, adubação nitrogenada e consórcio com braquiária em 2018/19. *Médias diferem aplicação de N e consórcio pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Londrina, PR.84
- Figura 12 — Produtividade de grãos de soja em função da adubação nitrogenada na cultura antecessora, na safra 2018/19 (A) e 2019/20 (B), em função da densidade de plantas de milho em 2018/19 (C), e em função do consórcio de milho com braquiária em 2019/20 (D). Londrina, PR. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas para adubação nitrogenada e minúscula para consórcio diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$).....85
- Figura 13 — Produtividade de proteínas de milho em função da densidade de plantas de milho e adubação nitrogenada na safra 2018 (A), 2019 (B). Produtividade de proteínas de milho em função do consórcio de milho com braquiária na safra 2018 (C), 2019 (D). *Médias diferem aplicação de N pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Londrina, PR. 101
- Figura 14 — Produtividade de proteína (A) e de óleo (B) da soja em função da densidade de plantas de milho na safra 2018/19. Produtividade de proteína em função da adubação nitrogenada no milho, na safra 2018/19 (C). Produtividade de óleo da soja em função da adubação nitrogenada (D), e consórcio de braquiária com milho (E), na safra 2019/20. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas para adubação nitrogenada e minúsculas para consórcio diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Londrina, PR. 103
- Figura 15 — Produtividade de proteínas do sistema (milho+soja) acumulado em duas safras, em função da adubação nitrogenada no milho (A), e em função da densidade de plantas de milho (B). Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Londrina, PR..... 104
- Figura 16 — Receita bruta (A), custos operacionais (B), e lucro (C) do milho em função da densidade de plantas de milho, adubação nitrogenada e consórcio com braquiária na safra 2018. Londrina, PR..... 105
- Figura 17 — Receita bruta (A), custos operacionais (B) e lucro (C) do milho em função da densidade de plantas de milho e adubação nitrogenada na safra 2019. Lucro do milho em função do consórcio de milho com

- braquiária (D). *Médias diferem aplicação de N pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Londrina, PR. 107
- Figura 18 — Receita bruta, custo operacional e lucro da soja na safra 2018/19 em função da densidade de plantas de milho (A). Lucro da soja em função da adubação nitrogenada no milho na safra 2018/19 e 2019/20 (B). Lucro da soja em função do consórcio de milho com braquiária na safra 2019/20 (C). Médias seguidas por letras distintas maiúsculas para adubação nitrogenada e minúscula para consórcio diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Londrina, PR. 108
- Figura 19 — Receita bruta e custo operacional da safra 2018/19 (milho+soja) em função da adubação nitrogenada no milho (A) e em função da densidade de plantas de milho (C). Custo operacional da safra 2018/19 (milho+soja) em função do consórcio do milho com braquiária (B). Médias seguidas por letras distintas maiúsculas para adubação nitrogenada e minúsculas para consórcio diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Londrina, PR. 110
- Figura 20 — Receita bruta, custo operacional e lucro da safra 2019/20 (milho+soja) em função da adubação nitrogenada no milho (A). Receita bruta (B), custo operacional (C) e lucro (C), da safra 2019/20 (milho+soja) em função da densidade de plantas de milho e consórcio. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). *Médias diferem consórcio pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Londrina, PR. 112
- Figura 21 — Receita bruta, custo operacional e lucro do sistema (milho+soja) acumulado em duas safras, em função da adubação nitrogenada no milho (A). Custos operacionais do sistema (milho+soja) acumulado em duas safras, em função do consórcio de milho com braquiária (B). Lucro do sistema (milho+soja) acumulado em duas safras, em função da densidade de plantas de milho (C). Médias seguidas por letras distintas maiúsculas para adubação nitrogenada e minúscula para consórcio diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Londrina, PR. 113

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 — Resumo da análise econômica, custos de produção e valores de mercado para as safras de milho 2018 e 2019, em Londrina, PR (CONAB, 2021a; CONAB, 2021b; CONAB, 2021c; CEPEA-ESALQ, 2021a; CEPEA-ESALQ, 2021b).....97
- Tabela 2 — Resumo da análise econômica, custos de produção e valores de mercado para as safras de soja 2018/19 e 2019/20, em Londrina, PR (CONAB, 2021a; CONAB, 2021b; CONAB, 2021c; CEPEA-ESALQ, 2021a; CEPEA-ESALQ, 2021b).....98

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	35
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	41
2.1	MILHO SEGUNDA SAFRA	41
2.2	CONSÓRCIO DE MILHO COM PLANTAS DE COBERTURA.....	42
2.3	NITROGÊNIO EM COBERTURA NO MILHO	43
2.4	DENSIDADE DE PLANTAS DE MILHO NA SEGUNDA SAFRA	45
3	ARTIGO 1: DENSIDADE DE PLANTAS, ADUBAÇÃO NITROGENADA E CONSÓRCIO DO MILHO SEGUNDA SAFRA COM <i>UROCHLOA RUZIZIENSIS</i>: I. COMPONENTES DO RENDIMENTO E PRODUTIVIDADE DO MILHO SEGUNDA SAFRA.....	47
3.1	RESUMO	47
3.2	ABSTRACT	48
3.3	INTRODUÇÃO.....	49
3.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	50
3.4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	50
3.4.2	IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	53
3.4.3	AVALIAÇÕES	54
3.4.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA	55
3.5	RESULTADOS	55
3.5.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DE DADOS METEOROLÓGICOS	55
3.5.2	PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO.....	56
3.5.3	COMPONENTES DO RENDIMENTO DO MILHO	58
3.6	DISCUSSÃO	61
3.7	CONCLUSÕES.....	64
4	ARTIGO 2: DENSIDADE DE PLANTAS, ADUBAÇÃO NITROGENADA E CONSÓRCIO DO MILHO SEGUNDA SAFRA COM <i>UROCHLOA RUZIZIENSIS</i>: II. DESEMPENHO DA SOJA EM SUCESSÃO	67
4.1	RESUMO.....	67
4.2	ABSTRACT	68
4.3	INTRODUÇÃO.....	69
4.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	70

4.4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	70
4.4.2	IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	72
4.4.3	AVALIAÇÕES NA PALHA DE MILHO E BRAQUIÁRIA	72
4.4.4	AVALIAÇÕES NA SOJA	73
4.4.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA	73
4.5	RESULTADOS	74
4.5.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DE DADOS METEOROLÓGICOS	74
4.5.2	PALHA E CICLAGEM DE N PELO MILHO E BRAQUIÁRIA	74
4.5.3	VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS DA SOJA	76
4.5.4	COMPONENTES DO RENDIMENTO DA SOJA	82
4.5.5	PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE SOJA	84
4.6	DISCUSSÃO	85
4.6.1	PALHA E CICLAGEM DE N PELO CULTIVO ANTECESSOR	85
4.6.2	VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS DA SOJA	86
4.6.3	PRODUTIVIDADE DA SOJA	87
4.7	CONCLUSÃO	88
5	ARTIGO 3: DENSIDADE DE PLANTAS, ADUBAÇÃO NITROGENADA E CONSÓRCIO DO MILHO SEGUNDA SAFRA COM <i>UROCHLOA RUZIZIENSIS</i>: III. PRODUTIVIDADE DE ÓLEO E PROTEÍNA E LUCRATIVIDADE DO SISTEMA DE SUCESSÃO MILHO/SOJA.....	91
5.1	RESUMO	91
5.2	ABSTRACT	92
5.3	INTRODUÇÃO.....	93
5.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	94
5.4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	94
5.4.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	95
5.4.3	IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	95
5.4.4	ANÁLISE DE PRODUTIVIDADE DE ÓLEO E PROTEÍNA	96
5.4.5	ANÁLISE ECONÔMICA	96
5.4.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA	99
5.5	RESULTADOS	99
5.5.1	PRODUTIVIDADE DE PROTEÍNA DO MILHO	99
5.5.2	PRODUTIVIDADE DE PROTEÍNA E ÓLEO DA SOJA.....	101

5.5.3	PRODUTIVIDADE DE PROTEÍNA DO SISTEMA.....	104
5.5.4	DESEMPENHO ECONÔMICO DO MILHO.....	104
5.5.5	DESEMPENHO ECONÔMICO DA SOJA EM SUCESSÃO.....	107
5.5.6	DESEMPENHO ECONÔMICO DO SISTEMA MILHO SEGUNDA SAFRA/SOJA.....	109
5.6	DISCUSSÃO.....	114
5.6.1	PRODUTIVIDADE DE ÓLEO E PROTEÍNA.....	114
5.6.2	DESEMPENHO ECONÔMICO DO MILHO.....	115
5.6.3	DESEMPENHO ECONÔMICO DA SOJA.....	115
5.6.4	DESEMPENHO ECONÔMICO DO SISTEMA.....	116
5.7	CONCLUSÃO.....	118
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	119
	REFERÊNCIAS.....	121
	APÊNDICES.....	133

1 INTRODUÇÃO GERAL

A produção de milho segunda safra e soja possui destaque no Brasil. A soja e o milho são as principais espécies cultivadas em Sistema Plantio Direto (SPD) no país. Na safra 2020/21, a soja ocupou cerca de 38,9 milhões de hectares (CONAB, 2022a), sendo a cultura mais importante do agronegócio brasileiro, com produção de 137 milhões de toneladas do grão na safra 2020/21. Na última década, houve aumento expressivo da sucessão milho segunda safra/soja, sendo que na última entressafra da soja foram cultivados 15 milhões de ha com milho (CONAB 2022 b).

De acordo com a FAO (2015), até 2050 será necessário um aumento de 60% na produção de alimentos para suprir a demanda da crescente população mundial (FAO, 2015). O milho, por ser o cereal mais cultivado no mundo, possui elevado potencial produtivo, ter uma excelente composição química, elevado valor nutritivo em seus grãos, ser multifacetado e ter como principal uso a alimentação humana e animal, desempenha papel fundamental no contexto de aumento na produção mundial de alimentos (AWIKA, 2011). No entanto, as demandas da sociedade vão além da maior oferta de alimentos. É necessário que as melhorias nos índices de produtividade sejam feitas visando um modelo de agricultura sustentável, preservando os recursos naturais (VELTEN et al., 2015).

A falta de rotação de culturas, visando maior ganho econômico a curto prazo, tem resultado em baixa diversificação de cultivos no sistema produtivo milho segunda safra/soja. Kappes (2015) destacou que 60% das áreas do Mato Grosso que não cultivam o milho segunda safra ficam em pousio no período de outono (período referente ao cultivo de segunda safra), prática com maior potencial de degradação comparado com o cultivo do milho em sucessão à soja.

A qualidade do solo no SPD e a estabilidade de produção das culturas são influenciadas pelo aporte de biomassa da parte aérea e das raízes no sistema (NOGUEIRA et al., 2014; FRANCHINI et al., 2012; BALBINOT et al., 2017). Alta quantidade de palha, com elevada porcentagem de cobertura do solo, é fundamental para a sustentabilidade do SPD. Ela reduz a amplitude térmica, preserva a umidade do solo e o protege contra a erosão, diminui a incidência de plantas daninhas

(BALBINOT et al., 2008; CARVALHO et al., 2013) e melhora o desempenho agrônomo da soja (FRANCHINI et al., 2015b; BALBINOT et al., 2017).

A baixa diversificação de cultivos, o pousio na entressafra da soja e a produção de palhada insuficiente para o SPD, têm comprometido a sustentabilidade dos sistemas produtivos de grãos, sobretudo em regiões tropicais, aumentando a degradação do solo e a infestação de plantas daninhas de difícil controle (BALBINOT et al., 2008; CARVALHO et al., 2013). O consórcio de espécies graníferas com plantas de cobertura no outono/inverno é uma alternativa promissora para elevar a quantidade de palha e a ciclagem de nutrientes no SPD, permitindo maior retorno econômico (BARDUCCI et al., 2009; CECCON et al., 2013; DE MENDONÇA et al., 2015). Nesse contexto, o consórcio mais promissor no Brasil é o milho segunda safra com espécies de braquiária. Porém, para o sucesso deste sistema é necessário que a cultura de cobertura possa se estabelecer de forma satisfatória, tendo baixo impacto na produção de grãos de milho, o que pode ser ajustado através da adequação do arranjo de plantas e da suplementação nitrogenada.

O ajuste da densidade de plantas e adubação nitrogenada em cobertura são estratégias de manejo que possibilitam o incremento do potencial produtivo da cultura do milho. Por sua vez, o melhor entendimento do impacto destas estratégias de manejo sobre a produção da cultura consorciada e na cultura da soja em sucessão, possibilitarão identificar estratégias de manejo que fomentem uma visão holística do sistema, deixando de manejar as culturas individualmente para manejar o sistema produtivo como um todo.

A menor resposta do milho segunda safra, em relação ao milho cultivado na primeira safra à adubação nitrogenada em cobertura, em função de fatores meteorológicos desfavoráveis (CAVIGLIA; MELCHIORI; SADRAS, 2014), tem levado a supressão ou não utilização desta prática cultural no cultivo de segunda safra. Entretanto, a maior produção de fitomassa e maior concentração de nitrogênio (N) nos resíduos vegetais, tanto de milho como de braquiárias, pode proporcionar benefícios à soja cultivada em sucessão (CHEN et al., 2015; CARMEIS FILHO et al., 2016). A aplicação de fertilizantes nitrogenados em culturas de entressafra da soja influencia positivamente na produtividade da oleaginosa, em função da redução da

relação C/N da palhada e consequente disponibilização de nutrientes à soja semeada em sucessão (CÂMARA, 2014).

É possível que o fornecimento de N de forma gradual, através da palhada da cultura antecessora, possa mitigar a deficiência de N no início do ciclo da cultura da soja, sem prejudicar o processo de nodulação. Como constatado por Tanaka et al. (2019), a aplicação de N mineral em culturas de entressafra da soja aumenta a ciclagem de nutrientes e reduz a relação C/N da palhada, aumentando a disponibilidade desse e de outros nutrientes à soja em sucessão. A aplicação de N em gramíneas, além de propiciar maior crescimento vegetativo e maior acúmulo de N na parte aérea, também estimula o crescimento e acúmulo de N nas raízes (MELO; FERNANDES; GALVÃO, 2015; OKUMURA; MARIANO; ZACCHEO, 2011). No entanto, os efeitos da adubação nitrogenada no milho sobre a soja subsequente ainda não foram elucidados, sobretudo do milho consorciado com braquiária.

Embora a utilização de N em cobertura tenha menor resposta no milho segunda safra, em relação ao milho primeira safra, a aplicação de N pode diminuir a competição entre culturas consorciadas. Além disto, a cobertura nitrogenada pode incrementar o crescimento e a concentração de N nos tecidos vegetativos (SANGOI et al., 2019a), contribuindo positivamente para o cultivo de soja em sucessão, via suprimento de N mineralizado.

O aumento da densidade de plantas de milho na segunda safra pode ser uma alternativa eficiente para incrementar a produtividade de grãos, haja visto que atualmente cultivam-se híbridos com arquitetura de planta compacta e ciclo curto. Contudo, deve-se considerar que quando em consórcio, além da competição intraespecífica, o milho também compete com a cultura consorciada. Isto indica que no cultivo consorciado existem outros parâmetros a serem considerados na determinação da densidade ideal de plantas. O incremento na densidade de plantas aumenta a interceptação da radiação solar pela cultura do milho, provocando o fechamento mais rápido do dossel (SANGOI, 2002). Isto pode mitigar a competição interespecífica exercida pelas plantas de cobertura que são inseridas em consórcio, principalmente espécies de braquiária. No cultivo solteiro de milho, o objetivo do manejo é determinar o arranjo espacial que potencializa o desempenho agrônomico da cultura (SANGOI et al., 2002a). Já no milho consorciado com braquiária deve-se

buscar um equilíbrio entre desempenho agrônomo da cultura com adequado crescimento das plantas destinadas à cobertura do solo.

A competição entre plantas pode incrementar o crescimento radicular (DE FREITAS, 2016). Como os sistemas radiculares de gramíneas cultivadas antes da soja podem ter maior impacto na produtividade de grãos da oleaginosa em comparação a parte aérea (BALBINOT JUNIOR et al., 2017), o maior crescimento radicular com a utilização de N em cobertura e incrementos na densidade de plantas de milho podem trazer benefícios à soja em sucessão. A competição interespecífica no consórcio com braquiária pode provocar um maior crescimento radicular na cultura do milho (DE FREITAS, 2016).

Os benefícios nos atributos físicos do solo proporcionados pelo consórcio do milho com braquiária têm despertado grande interesse de pesquisadores, técnicos e produtores. Esses benefícios são atribuídos à agressividade do crescimento radicular das braquiárias. Além disso, o aumento da densidade de plantas pode estimular o aprofundamento do sistema radicular e maior acúmulo de nutrientes na parte aérea, o que pode ser intensificado com a disponibilidade de N às plantas. Deve-se considerar que além dos benefícios físicos, a maior exploração do solo pelas raízes pode contribuir para se ter uma maior ciclagem de nutrientes, bem como aumentar a eficiência do uso dos fertilizantes. Com isso, o maior entendimento das interações entre o consórcio de plantas de milho com braquiária, da aplicação de N em cobertura, bem como da densidade de plantas de milho com a ciclagem de nutrientes no sistema produtivo, pode contribuir para a sustentabilidade do sistema de sucessão milho segunda safra/soja.

Diante do exposto, elaboraram-se as seguintes hipóteses:

I A densidade ideal de semeadura do milho segunda safra é influenciada pelo consórcio com *Urochloa ruziziensis* e utilização de nitrogênio em cobertura.

II O incremento na densidade de plantas de milho reduz os efeitos da competição com *U. ruziziensis* por água, luz e nutrientes.

III A aplicação de nitrogênio em cobertura mitiga a competição de *U. ruziziensis* com plantas de milho.

IV O cultivo de milho em consórcio com *U. ruziziensis* com adubação nitrogenada de cobertura e com densidade adequada proporciona vantagens agronômicas à soja cultivada em sucessão.

V O consórcio de milho segunda safra com *U. ruziziensis*, a adubação nitrogenada no milho e o ajuste de densidade de plantas de milho aumentam a lucratividade do sistema milho segunda safra/soja.

O trabalho teve como objetivos investigar o impacto do consórcio de milho com *Urochloa ruziziensis* ou cultivado de forma solteira, da adubação nitrogenada em cobertura e da densidade de plantas de milho na segunda safra e da interação entre esses fatores sobre os desempenhos agronômicos do milho e da soja em sucessão, e a lucratividade do sistema.

A tese foi estruturada em três capítulos. O primeiro aborda o impacto nos componentes do rendimento e na produtividade do milho segunda safra. O segundo descreve o desempenho agronômico da soja em sucessão. O terceiro enfoca nas produtividades de óleo e proteína do milho segunda safra e da soja em sucessão e a análise econômica do sistema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MILHO SEGUNDA SAFRA

O milho segunda safra, popularmente conhecido como “milho safrinha”, é cultivado logo após a colheita das culturas de primavera/verão, sobretudo a soja, sendo colhido no outono ou início do inverno. O cultivo de milho segunda safra iniciou no final da década de 70, tendo rápido crescimento nas décadas de 80 e 90 (CONAB, 2022b). Diversos fatores contribuíram para o crescimento da área semeada com milho segunda safra no Brasil. Entre eles merecem destaque o desenvolvimento de cultivares de soja e milho mais precoces, a adoção do Sistema Plantio Direto (SPD), as vantagens financeiras em relação ao trigo e ao girassol, o manejo mais eficiente da ferrugem asiática e de percevejos com a colheita precoce da soja que antecede o milho e a necessidade de otimização da área, benfeitorias e maquinário, elevando a produção agrícola sem aumentar o desmatamento, maior resistência a doenças dos novos híbridos de milho (KAPPES, 2015). Além disso, a soja e o milho são *commodities* que apresentam sólidos fundamentos de mercado (CATTELAN; DALL’AGNOL, 2018; MATTOS; DA SILVEIRA, 2018).

Atualmente, o sistema produtivo milho segunda safra/soja apresenta papel de destaque no Brasil, devido a sua grande importância socioeconômica. A CONAB (2022b), prevê produção anual brasileira de milho segunda safra de 86 milhões de toneladas, no ano agrícola 2020/21, correspondendo a 76% do total de milho previsto no país. O milho segunda safra ocupou 15 milhões de hectares no ano agrícola 2020/21, correspondendo a 38,5% da área cultivada com soja no Brasil (CONAB, 2022b).

Devido a maior rentabilidade, grande parcela dos produtores que buscam ganhos econômicos em curto prazo tem deixado de fazer rotação de culturas. No longo prazo, a falta de diversificação de culturas na sucessão milho segunda safra/soja é vista como insustentável, pois pode provocar a degradação do solo (DENARDIN et al., 2014). A ausência de rotação de culturas ocasiona problemas, como compactação do solo, erosão, elevada infestação de plantas daninhas resistentes a herbicidas e altas incidências de algumas doenças e fitonematoides (BALBINOT JUNIOR; FRANCHINI; DEBIASI, 2016). Além disto, acentua a

vulnerabilidade à instabilidade econômica e climática. Todavia, Kappes (2015) destaca que 60% das áreas do Mato Grosso que não cultivam o milho segunda safra ficam em pousio no período de outono (período referente ao cultivo de segunda safra), prática com maior potencial de degradação que o cultivo do milho em sucessão à soja.

2.2 CONSÓRCIO DE MILHO COM PLANTAS DE COBERTURA

As temperaturas elevadas e alta umidade na primavera/verão, características das regiões de clima tropical, aceleram a decomposição dos resíduos vegetais, diminuindo a sua persistência. No SPD, o uso de plantas de cobertura com alta capacidade de produção de fitomassa é uma alternativa para aumentar a persistência da palhada no solo, aumentando a sustentabilidade dos modelos de produção de grãos (DENARDIN et al., 2014).

No sistema produtivo milho segunda safra/soja, observa-se um período entre a colheita do milho e a implantação da cultura da soja. É comum neste período as áreas ficarem em pousio, acelerando a degradação da matéria orgânica do solo e dos resíduos culturais, tendo consequências negativas sobre as propriedades físicas e químicas do solo. Neste mesmo período nas regiões de clima tropical, há uma baixa oferta hídrica, dificultando o estabelecimento e produção de biomassa das plantas de cobertura. Buscando a implantação mais rápida da cultura de cobertura, produtores têm usado grades de disco para a cobertura de sementes distribuídas a lanço, o que compromete o SPD, bem como a sustentabilidade do sistema produtivo.

O consórcio da cultura do milho com plantas de cobertura é uma alternativa para eliminar a necessidade de implantar uma cultura de cobertura no inverno/primavera (BARDUCCI et al., 2009). A utilização de plantas de cobertura de alta capacidade de produção de biomassa no outono consorciadas com o milho proporciona elevada quantidade de palhada, além de aumentar a ciclagem de nutrientes no SPD (DE MENDONÇA et al., 2015). Neste consórcio, o estabelecimento da planta de cobertura ocorre junto à cultura do milho, mas o maior acúmulo de matéria seca ocorre após a colheita do milho (BATISTA et al., 2012).

Para um correto manejo de consórcios, o conhecimento do comportamento das espécies na competição por água, luz e nutrientes torna-se de grande importância para o êxito da produtividade satisfatória de ambas as culturas (PARIZ et al., 2011). A densidade de plantas utilizada e o fornecimento de nitrogênio em cobertura podem afetar a interação entre os componentes do sistema produtivo.

2.3 NITROGÊNIO EM COBERTURA NO MILHO

O N é o elemento mineral absorvido em maior quantidade pelas plantas, sendo essencial para o seu crescimento e desenvolvimento. O N é indispensável em processos como fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular. É constituinte de aminoácidos, aminas, proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas e outros componentes das células vegetais e pode ser absorvido na forma amoniacal ou nítrica (TAIZ; ZEIGER, 2013). O N é o elemento que causa maiores efeitos nas características relacionadas ao crescimento e desenvolvimento do milho, sendo o nutriente que mais afeta a produtividade da cultura (OKUMURA; MARIANO; ZACCHEO, 2011).

A menor resposta do milho segunda safra à adubação nitrogenada em cobertura, em relação ao milho primeira safra, tem levado a sua não utilização no cultivo de segunda safra (CAVIGLIA; MELCHIORI; SADRAS, 2014; SAPUCAY et al., 2020). Porém, a maior produção de fitomassa e maior concentração de N nos resíduos vegetais, tanto de milho como de braquiárias, pode proporcionar benefícios à soja cultivada em sucessão (CHEN et al., 2015; CARMEIS FILHO et al., 2016). Nesse contexto, é necessário avaliar os efeitos do N em cobertura no sistema milho segunda safra/soja como um todo e não somente no milho.

Em função do alto teor proteico de sua biomassa, a cultura da soja apresenta elevada demanda por N. Estima-se que sejam necessários cerca de 80 kg de N por Mg de grãos de soja produzido (HUNGRIA et al., 2001). Essa demanda pode ser atendida basicamente de três formas: com a mineralização da matéria orgânica, pela fixação simbiótica e pela adubação.

La Menza et al. (2017) evidenciaram em experimentos em que se aplicou até 870 kg N ha⁻¹ que a produtividade da soja é limitada pela oferta de N em ambientes

com produtividade acima de $2,5 \text{ Mg ha}^{-1}$. Entretanto, a aplicação de N mineral na semeadura da soja pode reduzir o potencial produtivo, pois concentrações elevadas de nitrato no solo podem inibir a formação de nódulos, prejudicando a FBN. Isso ocorre devido a soja ter preferência em absorver o N-inorgânico do solo em detrimento da fixação biológica do N (FBN), por ter menor custo energético (LIU et al., 2010). Mugendi et al. (2010) destacam que quando a nodulação é eficiente, a FBN elimina a necessidade de N-mineral na soja, por suprir a exigência desse nutriente juntamente com o N oriundo do solo. Em estudos de Zilli et al. (2010), a produtividade de grãos de soja com nodulação eficiente foi equivalente a 200 kg ha^{-1} de N mineral.

O início da fixação biológica de N se dá por volta de 15 dias após a emergência da soja (HUNGRIA et al., 2001). Antes do estabelecimento da fixação biológica de N, a cultura da soja é dependente do N proveniente da semente e do solo. Porém, o N é o nutriente essencial mais dinâmico e instável no solo e sua disponibilidade é influenciada por uma série de fatores. É importante salientar que plantas que têm um estabelecimento mais rápido possuem uma maior capacidade de resistir a estresses que interfiram no seu crescimento e desenvolvimento (DAN et al., 2011).

É frequente encontrar em lavouras de soja no início do ciclo, antes do estabelecimento da fixação biológica de nitrogênio (FBN), plantas com amarelecimento e com crescimento e desenvolvimento reduzido. Com o objetivo de ter um melhor “arranque inicial”, são comumente utilizadas doses de 20 a 30 kg ha^{-1} de N mineral na semeadura, com a finalidade de disponibilizar N às plantas até o estabelecimento da nodulação. Isto pode diminuir o potencial produtivo da cultura, principalmente em cultivares precoces semeadas no início do período indicado. No meio técnico existem questionamentos constantes sobre o eventual impacto positivo da adubação nitrogenada mineral na implantação da soja, especialmente quando esta é semeada sobre palhada de espécies de gramíneas, que apresentam alta relação C/N. Vários estudos demonstraram que a adubação nitrogenada na soja incrementou o crescimento e o acúmulo de N no início do ciclo de desenvolvimento da cultura, mas não teve efeito positivo na sua produtividade (BALBINOT JUNIOR et al., 2016; FRANCHINI et al., 2015a). Franchini et al. (2015b) observaram que a adição de 30 kg ha^{-1} de N aumentou a altura de plantas e de inserção da primeira

vagem, o que pode favorecer a operação de colheita e reduzir perdas. No entanto, a utilização de N mineral aplicado no sulco de semeadura pode reduzir a nodulação e a eficiência da fixação biológica de N, por provocar grande aumento na concentração de N mineral no solo, reduzindo o potencial produtivo da soja (FOO et al., 2013; HUNGRIA et al., 2001; HUNGRIA et al., 2006; PARENTE et al., 2015).

Os processos de mineralização e imobilização de N são condicionados pela quantidade de resíduo (ACOSTA et al., 2014). Ambos os processos, de decomposição e liberação são regulados pela relação carbono/nitrogênio da fitomassa das plantas de cobertura (AITA; GIACOMINI, 2003). As palhadas com elevada relação C/N, como a produzida por espécies do gênero *Urochloa*, podem imobilizar temporariamente o N presente na solução do solo (CALONEGO et al., 2012). Porém, é possível que a maior concentração nos resíduos culturais, com a aplicação de N no milho (CHEN et al., 2015) e na braquiária (CARMEIS FILHO et al., 2016) disponibilize gradualmente N à cultura da soja, reduzindo os sintomas iniciais na cultura e não prejudicando a nodulação.

2.4 DENSIDADE DE PLANTAS DE MILHO NA SEGUNDA SAFRA

A densidade de plantas na lavoura interfere numa série de características importantes do milho. À medida que se aumenta a densidade, ocorre aumento na percentagem de plantas sem espiga, no intervalo entre antese/espigamento, no número de grãos por área, no acamamento de plantas, redução no número de grãos por espiga e redução no peso de mil grãos (SANGOI et al., 2002b). A maximização da resposta do rendimento à densidade de plantas é determinada pelo equilíbrio entre as reduções na produção por planta e os ganhos de produtividade pela comunidade de plantas, representados pela produção por unidade de área, através do aumento no número de plantas por área.

O aumento no número de plantas por área acarreta em incremento no número de grãos por área, em que inicialmente provoca um aumento na produtividade de grãos, até o momento em que a densidade de plantas alcança o valor crítico (máxima produtividade), ou taxa de semeadura ótima agrônômica (AOSR). A AOSR é alcançada quando há um equilíbrio entre a redução da produção por planta e o ganho de produtividade pela comunidade de plantas. A partir deste ponto, ocorre

redução na produtividade de grãos com o aumento da densidade, originando o conceito de densidade ideal de semeadura. A redução na produtividade de grãos após a densidade ideal é provocada pelo aumento excessivo na competição intraespecífica (DOURADO NETO et al., 2003).

O incremento na densidade de plantas aumenta a interceptação da radiação solar pela cultura do milho, provocando o fechamento mais rápido do dossel (SANGOI, 2002). Ele também reduz a competição interespecífica e aumenta a intraespecífica por luz, água e nutrientes. A competição interespecífica no consórcio com braquiária pode provocar **um maior crescimento radicular** na cultura do milho (DE FREITAS, 2016). **Já o aumento da densidade de plantas pode provocar maior crescimento radicular pela competição intraespecífica.**

A adequação do arranjo espacial de plantas é uma prática de manejo que busca diminuir a competição por água, luz e nutrientes, potencializando a produtividade da cultura (BALBINOT JUNIOR; FLECK, 2005). Contudo, deve-se considerar que quando em consórcio, além da competição intraespecífica, o milho também compete com a cultura consorciada. Isto indica que no cultivo consorciado existem outros parâmetros a serem considerados na determinação da densidade ideal de plantas. Num cultivo solteiro, o objetivo do manejo é determinar o arranjo que potencializa o desempenho agrônômico da cultura de interesse econômico. Por outro lado, no cultivo consorciado deve-se buscar um equilíbrio entre desempenho agrônômico do milho e da cultura de cobertura.

A aplicação de N em gramíneas, além de provocar maior crescimento vegetativo e maior acúmulo desse nutriente na parte aérea, também estimula o crescimento e acúmulo de N nas raízes (MELO; FERNANDES; GALVÃO, 2015; OKUMURA; MARIANO; ZACCHEO, 2011). A competição entre plantas pode incrementar o crescimento radicular (DE FREITAS, 2016). Como o sistema radicular das gramíneas tem maior impacto na produtividade de grãos da soja em comparação a parte aérea (BALBINOT JUNIOR et al., 2017; BALBINOT JUNIOR et al., 2020), o maior crescimento radicular com a utilização de N em cobertura e incrementos na densidade de plantas de milho podem trazer benefícios à soja em sucessão.

3 ARTIGO 1: DENSIDADE DE PLANTAS, ADUBAÇÃO NITROGENADA E CONSÓRCIO DO MILHO SEGUNDA SAFRA COM *Urochloa ruziziensis*: I. COMPONENTES DO RENDIMENTO E PRODUTIVIDADE DO MILHO SEGUNDA SAFRA

3.1 RESUMO

A inserção da braquiária em consórcio com o cultivo de milho modifica a dinâmica de competição por recursos ambientais pela comunidade de plantas. O ajuste da densidade de plantas e da adubação nitrogenada pode mitigar o impacto da competição interespecífica sobre a produtividade do milho. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar o impacto do consórcio de milho segunda safra com *Urochloa ruziziensis*, da adubação nitrogenada em cobertura e da densidade de plantas sobre o desempenho da cultura do milho. O experimento foi conduzido a campo, nas safras de 2018 e 2019. Os seguintes fatores foram investigados: modalidade de cultivo (milho cultivado solteiro e em consórcio com *U. ruziziensis*), adubação nitrogenada em cobertura (0 e 80 kg N ha⁻¹) e densidade de plantas de milho (40, 60, 80 e 100 mil plantas de milho ha⁻¹). A produtividade de grãos e os componentes do rendimento foram quantificados. Na presença de intensa limitação hídrica (safra 2018), o milho cultivado em consórcio com *U. ruziziensis* atingiu a maior produtividade na densidade de 84 mil plantas ha⁻¹. Contudo, quando o milho foi cultivado solteiro e com adubação nitrogenada, a taxa agrônômica de plantas ótima foi atingida em maiores densidades. Na safra com maior oferta hídrica (2019) e tetos produtivos mais altos, a máxima produtividade foi alcançada com 91 mil plantas de milho ha⁻¹ para o milho cultivado solteiro e 100 mil plantas de milho ha⁻¹ para o milho em consórcio com braquiária. Os dados obtidos indicam um aumento de 10% na densidade de plantas de milho, em relação ao milho solteiro, para mitigar a competição com a braquiária. À medida que se elevou a densidade de plantas de milho, maiores foram os benefícios da adubação nitrogenada para o milho. O número de grãos por área foi o componente do rendimento mais associado a produtividade de grãos, sendo também o mais afetado pela densidade de plantas de milho.

Palavras chave: Densidade de semeadura, braquiária, *Zea mays* L., milho safrinha.

3.2 ABSTRACT

The insertion of *Brachiaria* intercropped with maize modifies the dynamics of competition for environmental resources by the plant community. The adjustment of plant density and nitrogen fertilization can mitigate the impact of interspecific competition on maize productivity. This work was carried out with the objective of evaluating the impact of the intercropping of second crop maize with *Urochloa ruziziensis*, the top-dress nitrogen fertilization and the density of maize plants on maize grain yield. The experiment was conducted in the field, during the 2018 and 2019 growing seasons. The following factors were investigated: cultivation modality (sole maize and intercropped with *U. ruziziensis*), top-dress nitrogen fertilization rate (0 and 80 kg N ha⁻¹) and density of maize plants (40, 60, 80 and 100 thousand plants ha⁻¹). Grain yield and yield components were quantified. In the presence of intense water limitation (2018 growing seasons), maize intercropped with *U. ruziziensis* reached the highest yield at the density of 84,000 plants ha⁻¹. However, when maize was grown singly and with nitrogen fertilization, the optimal agronomic plant rate was reached at higher densities. In the growing season with better water supply (2019), with higher yields, the optimal agronomic plant rate was higher than 91,000 maize plants ha⁻¹ for maize grown single and 100 thousand maize plants ha⁻¹ for maize intercropped with *brachiaria*. An increase of 10% in the density of maize plants is indicated, in comparison to single maize, to mitigate the competition with *U. ruziziensis*. As the population of maize plants increased, the benefits of nitrogen fertilization for maize also enhanced. The number of grains per area was the yield component most associated with grain yield. It was also the most affected by maize plant density.

Keywords: Sowing density, *Brachiaria*, *Zea mays*, off-season corn.

3.3 INTRODUÇÃO

O ajuste da densidade de plantas e a adubação nitrogenada em cobertura são estratégias de manejo de suma importância para atingir elevados tetos produtivos no milho primeira safra (COELHO et al., 2022; SANGOI et al., 2019b). No entanto, a relação destas práticas de manejo em áreas de alta produtividade de milho segunda safra não estão completamente elucidadas, em especial no que se refere ao milho segunda safra consorciado com braquiária.

No Sistema Plantio Direto (SPD), o uso de plantas de cobertura com alta capacidade de produção de fitomassa é uma alternativa para aumentar a persistência da palhada no solo, aumentando a sustentabilidade dos modelos de produção de grãos (BALBINOT JUNIOR et al., 2011; BERTOLLO et al., 2021; DENARDIN et al., 2014). O consórcio de braquiária com o milho proporciona elevada quantidade de palhada (DE OLIVEIRA et al., 2018; MAKINO et al., 2019), o que pode aumentar a ciclagem de nutrientes no SPD (DE MENDONÇA et al., 2015). Enfatiza-se que espécies de braquiária apresentam alta capacidade de ciclar nutrientes (TANAKA et al., 2019; PARIZ et al., 2020; WERNER et al., 2021), sobretudo o potássio (WERNER et al., 2020). Porém, para o sucesso deste sistema é necessário que a cultura de cobertura possa se estabelecer de forma satisfatória, com o menor impacto possível na produtividade de grãos de milho, o que pode ser ajustado pela adequação do arranjo de plantas e da suplementação nitrogenada.

O nitrogênio (N) é o elemento mineral absorvido em maior quantidade pelas plantas, sendo essencial para o crescimento e desenvolvimento do milho. Porém, a baixa resposta do milho segunda safra a adubação nitrogenada em cobertura tem levado a sua não utilização (SAPUCAY et al., 2020). A ausência de adubação nitrogenada provoca balanço negativo de N no sistema, o que reduz os teores de matéria orgânica ao longo do tempo e os teores de N total e mineral do solo (LADHA et al., 2011; DUAN et al., 2019; YOKOYAMA et al., 2019). Isso pode causar degradação da qualidade do solo (PALM et al., 2014; LORENZ et al., 2019) e limitar o potencial produtivo em cultivos posteriores (OLDFIELD; BRADFORD; WOOD, 2019). A competição com braquiária em consórcio reduz a concentração de N nos tecidos do milho (MAKINO et al., 2019), o que pode alterar a quantidade de N necessária no sistema para suprir adequadamente a demanda do milho. É possível

que a resposta da cultura do milho a densidade de plantas e ao consórcio com braquiária seja dependente da adubação nitrogenada, pois estas práticas modificam a competição das plantas pelo N disponível no solo.

O aumento da densidade de plantas de milho na segunda safra pode ser uma alternativa eficiente para incrementar a produtividade de grãos, haja visto que atualmente cultivam-se híbridos com arquitetura de planta compacta e ciclo curto, visando alta produtividade (SANGOI et al., 2002a). Contudo, deve-se considerar que quando em consórcio, além da competição intraespecífica, o milho também compete com a cultura consorciada. Isto indica que no cultivo consorciado existem outros parâmetros a serem considerados na determinação da densidade ideal de plantas. O incremento na densidade de plantas aumenta a interceptação da radiação solar pela cultura do milho, provocando o fechamento mais rápido do dossel (SANGOI, 2002). Isto pode mitigar a competição interespecífica exercida pelas plantas de cobertura que eventualmente são inseridas em consórcio, principalmente espécies de braquiária.

A resposta agrônômica do milho segunda safra à densidade de plantas pode ser dependente da adubação nitrogenada e do consórcio de milho com braquiária. O objetivo desse trabalho foi avaliar o impacto do consórcio de milho segunda safra com *Urochloa ruziziensis*, da adubação nitrogenada em cobertura e da densidade de plantas sobre o desempenho agrônômico da cultura do milho.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

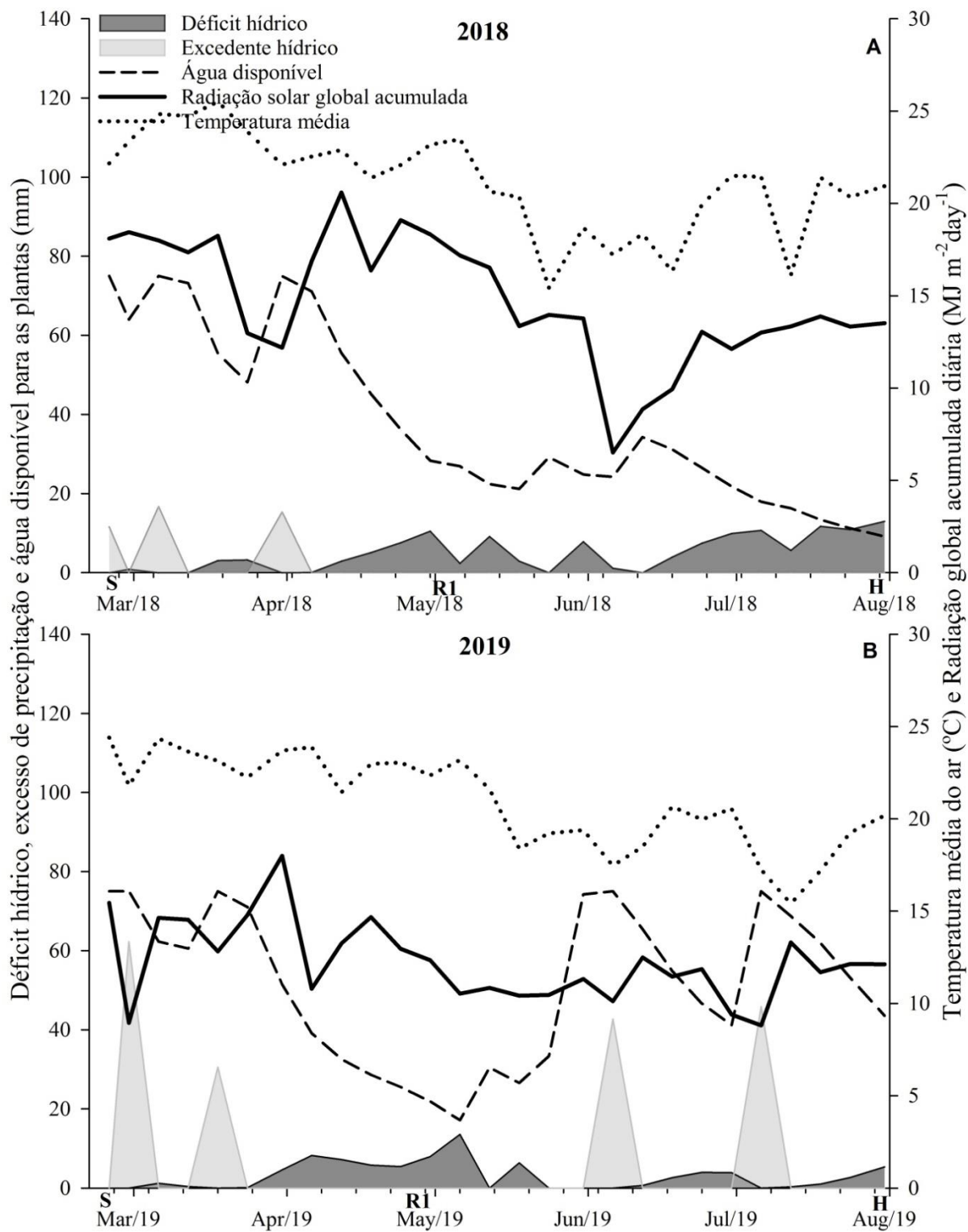
3.4.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em Londrina, PR (23°11'57" sul, 51°10'40" oeste e altitude média de 585 m). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distroférico com textura muito argilosa (EMBRAPA, 2018), apresentando os seguintes atributos químicos: carbono orgânico total: 18,11 g dm⁻³; pH em CaCl₂: 5,11; Ca, 3,7 cmolc dm⁻³; Mg: 1,87 cmolc dm⁻³; Al: 0,0 cmolc dm⁻³; K: 0,39 cmolc dm⁻³; P (Mehlich 1): 28,82 mg dm⁻³; CTC: 11,11 cmolc dm⁻³ e saturação por bases de 53,65%. A área experimental foi manejada em SPD nos últimos 15 anos, sendo cultivada em esquema de rotação, com a soja como cultura principal.

No outono de 2016 foi realizada a correção química do solo e implantado o cultivo de braquiária de cobertura. No verão de 2017 a braquiária foi dessecada e a cultura da soja foi semeada (safra 2017/18).

Os dados meteorológicos foram coletados na estação experimental meteorológica da Embrapa Soja, Londrina, PR, localizada a 400 m da área experimental. Na Figura 1 é apresentado o balanço hídrico sequencial, conforme metodologia descrita por Thornthwaite e Mather (1955), considerando os dados meteorológicos do período e a capacidade de água disponível (CAD) de 75 mm (FARIAS; SIBALDELLI; GONCALVES, 2021). A deficiência hídrica foi determinada considerando quanto o sistema solo-planta deixou de evapotranspirar. O excedente hídrico correspondeu à água que não pode ser retida e drenada em profundidade (água gravitacional). Como forma complementar é apresentado na Figura 1 a água armazenada no solo.

Figura 1 — Balanço hídrico sequencial, conforme metodologia descrita por Thornthwaite e Mather (1955). Deficiência hídrica; Excedente hídrico; Armazenamento de água; Radiação global diária e temperatura média do ar. S: Semeadura; R1: Estádio de embonecamento do milho; H: Colheita. Londrina, PR.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

3.4.2 Implantação e condução do experimento

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados, dispostos em parcelas sub-subdivididas, com quatro repetições. Na parcela principal foram alocadas duas modalidades de cultivo do milho: solteiro e consorciado com braquiária (*Urochloa ruziziensis*). Nas subparcelas foram alocadas duas doses de N em cobertura: 0 e 80 kg de N ha⁻¹, aplicado em V5 (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993), utilizando nitrato de amônio como fonte de N. Nas sub-subparcelas foram testadas quatro densidades de plantas de milho: 40, 60, 80 e 100 mil plantas ha⁻¹. Cada unidade experimental foi composta por seis linhas de milho, espaçadas a 85 cm entre si, e com oito metros de comprimento. Considerou-se as quatro linhas centrais como área útil e as linhas externas como bordadura. Os tratamentos foram conduzidos da mesma forma em todas as safras, nas mesmas sub-subparcelas, objetivando quantificar o efeito cumulativo nas duas safras.

A adubação de base do milho foi composta por 25 kg ha⁻¹ de N, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 80 kg ha⁻¹ de K₂O, para obtenção de tetos produtivos de 10 Mg ha⁻¹. Estas doses foram definidas seguindo as recomendações do Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (NEPAR-SBCS, 2017) e os valores da análise de solo.

A semeadura do híbrido simples de milho AG9050 PRO3, supreprecoce e de arquitetura de planta compacta, foi realizada manualmente após a colheita da soja, em 10/03/2018 e 01/03/2019, utilizou-se uma semeadora-adubadora com mecanismo sulcador do tipo guilhotina para abertura das linhas e posicionamento do adubo. Foram utilizadas semeadoras manuais, depositando-se três sementes por cova nas linhas previamente riscadas. A braquiária foi implantada na entrelinha do milho (42,5 cm das linhas do milho), sem adubação. Para a implantação da braquiária ruziziensis (*Urochloa ruziziensis*) foi utilizado o sistema mecanizado de caixa dosadora de semente miúda e discos duplos defasados, regulado para a deposição de cinco quilos de sementes viáveis por hectare, na mesma operação de posicionamento do adubo nas linhas de milho. As sementes de milho foram tratadas industrialmente com clotianidina (210 ml ai /100 kg) inseticida sistêmico do grupo dos neonicotinoide + fludioxonil (3,75 g ai/100 kg) fungicida de contato do grupo dos fenilpirrol. Para maior segurança contra o ataque de percevejo, utilizou-se mais tiametoxam (neonicotinóide) 42 g ia para cada 60.000 sementes de milho. Quando

as plantas estavam em V2, foi feito o desbaste para ajustar a densidade de plantas aos valores almejados.

O controle de plantas daninhas foi realizado em pré-semeadura, com glifosato ($1,5 \text{ kg. e. a. ha}^{-1}$) e em pós emergência do milho, no estágio V3, com atrazina ($1,75 \text{ l i. a. ha}^{-1}$), para também proporcionar a supressão desejada do crescimento da braquiária, visando reduzir a sua competitividade com o milho. Foi aplicado em V3 e V6 o inseticida zeta-cipermetrina $105 \text{ g a. i. ha}^{-1}$ (piretróide), para o controle de percevejos.

3.4.3 Avaliações

No estágio R6 (maturação fisiológica) do milho foram coletadas plantas de braquiária em um metro linear para a determinação da massa de matéria seca da braquiária.

Quando todas as folhas do milho estavam senescidas e a umidade dos grãos abaixo de 25%, foram contabilizados o número de plantas, o número de espigas, e o número de plantas sem espigas em duas linhas de oito metros de cada sub-subparcela. Foram consideradas plantas sem espigas ou estéreis, aquelas que não produziram espigas ou cujas espigas produzidas tiveram menos de 12 grãos. No dia da colheita também foi avaliado os números de plantas acamadas e quebradas.

A colheita foi feita manualmente quando a umidade dos grãos estava abaixo de 25%, em 16/08/2018 e 20/08/2019. As espigas foram colhidas e trilhadas. Os grãos foram pesados e, após a pesagem, determinou-se a produtividade de grãos, expressa em kg ha^{-1} na umidade padrão de 13%. A massa de 1000 grãos foi determinada com base em uma sub-amostra de 500 grãos da área útil de cada unidade amostral, que foi separada e pesada, extrapolando para 1000 grãos. O número de grãos por espiga foi estimado indiretamente através da relação entre a massa de 500 grãos, a massa total de grãos e o número de espigas colhidas em cada sub-subparcela. Foi contabilizado o número de fileiras de grãos das espigas de seis plantas previamente marcadas e o número de grãos por fileira pela razão entre número de grãos por espiga e número de fileiras por espiga. O índice de colheita foi obtido pela relação entre a produção de matéria seca de grãos e a produção de matéria seca total da parte aérea da planta.

Quando o modelo quadrático apresentou o melhor ajuste para descrever a resposta da produtividade da cultura em função da densidade de semeadura, a produtividade máxima da curva de resposta foi considerada a taxa de semeadura ótima agrônômica (AOSR). A AOSR foi calculada como:

$$AOSR \text{ (mil sementes } ha^{-1}) = -\frac{b}{2a} \quad (1)$$

onde “b” é o coeficiente linear e “a” é o coeficiente quadrático da equação quadrática.

3.4.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e à homogeneidade de variâncias (Hartley). Em seguida, eles foram submetidos à análise de variância pelo Teste F ($p \leq 0,05$). Quando significativos, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey e por análise de regressão polinomial, ao nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$). Os coeficientes de correlação de Pearson foram submetidos ao teste t de Student ($p < 0,05$).

3.5 RESULTADOS

3.5.1 Contextualização de dados meteorológicos

Na safra 2018 ocorreu adequada distribuição de chuvas no início do desenvolvimento do milho (Figura 1A). Da semeadura até o estágio V10 (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993) foram registrados aproximadamente 165 mm. Tal fato, somado a boa condição física do solo (CAD 75 mm), uma precipitação acumulada de 15 mm entre V19 e VT (pendoamento) e de 23 mm entre VT e R2 (grãos em bolha), permitiu um bom desenvolvimento vegetativo e polinização da cultura. Contudo, de R3 (grão leitoso) até R6 (maturação fisiológica) ocorreu uma deficiência hídrica acumulada de 86 mm, com precipitação pluviométrica acumulada de apenas 27 mm, muito abaixo da normal climatológica da região no período, que é de 148 mm (FARIAS; SIBALDELLI; GONCALVES, 2021).

No início do ciclo do milho na safra de 2019, a partir do estágio V5 (21/03/19) até R1 (28/04/19), se teve uma baixa disponibilidade hídrica (Figura 1 B), com precipitação pluviométrica acumulada no período de 26,2 mm, o que acarretou em

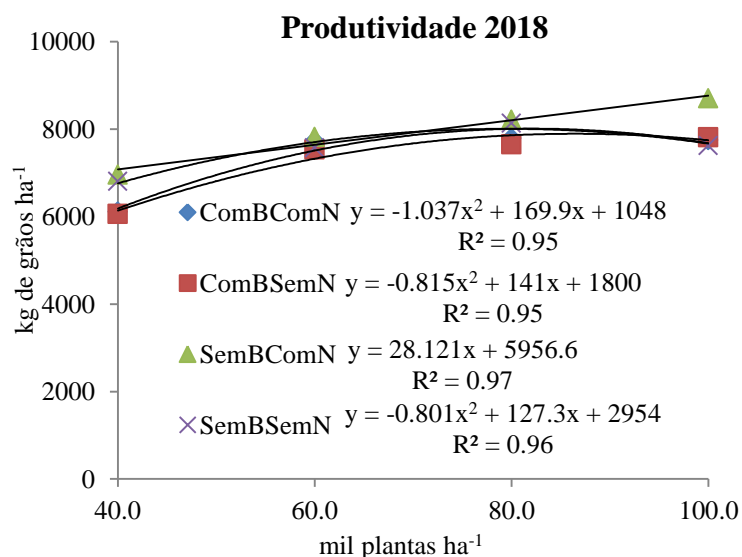
um crescimento vegetativo inferior ao observado em 2018. Já no período reprodutivo, a disponibilidade hídrica foi superior à normal climatológica da região, o que favoreceu o enchimento de grãos.

3.5.2 Produtividade de grãos de milho

O experimento teve como objetivo altos tetos produtivos, visando a expectativa de produtividade de 10 Mg ha⁻¹ do milho segunda safra. A produtividade de grãos variou de 5.562 a 9.356 kg ha⁻¹ na safra 2018 e de 6.772 a 12169 kg ha⁻¹ na safra 2019.

Na safra 2018, a produtividade de grãos de milho foi afetada pela interação tripla entre consórcio com braquiária, adubação nitrogenada e densidade de plantas de milho (Apêndice A). A medida que se aumentou a densidade de plantas, houve um incremento quadrático na produtividade de grãos, com ponto de máxima teórico de 8.013kg ha⁻¹ na densidade de 82 mil plantas ha⁻¹, 7.896 kg ha⁻¹ na densidade de 86 mil plantas ha⁻¹, e 8.009 kg ha⁻¹ na densidade de 79 mil plantas ha⁻¹ para o milho cultivado em consórcio com N, sem N e milho solteiro sem N, respectivamente (Figura 2). O milho cultivado solteiro com adubação nitrogenada apresentou resposta linear ao incremento da densidade de plantas, com produtividade estimada pela equação de 8.769kg ha⁻¹ na densidade de 100 mil plantas ha⁻¹. Nas densidades de plantas de 40 e 100 mil plantas ha⁻¹, o cultivo de milho com braquiária limitou a produtividade de grãos de milho (Figura 2).

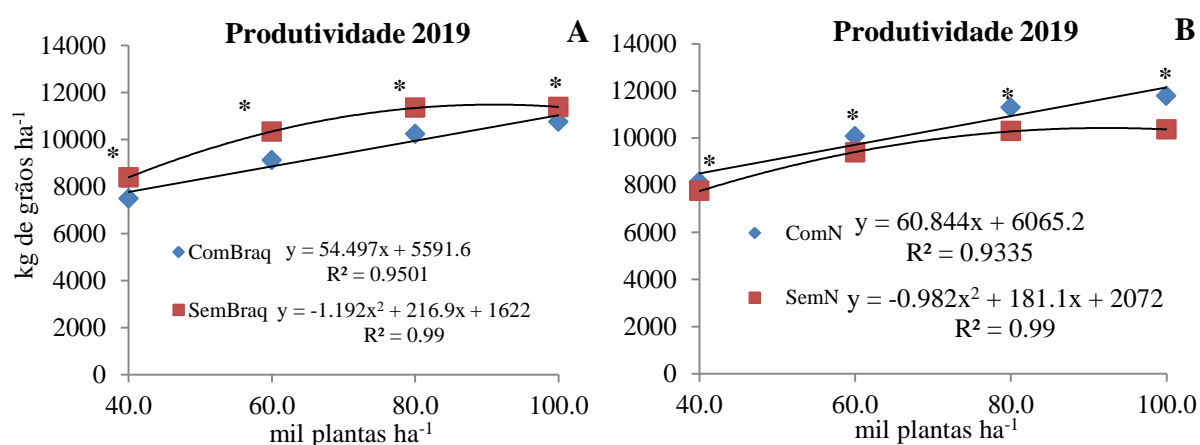
Figura 2 — Produtividade de grãos de milho em função da densidade de plantas de milho, adubação nitrogenada e consórcio com braquiária na safra 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Na safra 2019, a produtividade foi impactada pela interação entre o consórcio com braquiária e a densidade de plantas de milho, e pela interação entre adubação nitrogenada de cobertura e densidade de plantas de milho (Apêndice B). O milho cultivado consorciado apresentou resposta linear ao incremento da densidade de plantas, com produtividade estimada pela equação de 11.041kg ha^{-1} na densidade de 100 mil plantas ha^{-1} (Figura 3 A). O ponto de máxima produtividade teórica do milho cultivado solteiro foi de 11.488 kg ha^{-1} na densidade de 91 mil plantas ha^{-1} . Independentemente da densidade de plantas, o milho cultivado solteiro apresentou maior produtividade de grãos que o milho consorciado com braquiária (Figura 3 A). O milho cultivado com N elevou linearmente a produtividade de grãos com o aumento da densidade de plantas, com produtividade estimada pela equação de 12.150 kg ha^{-1} na densidade de 100 mil plantas ha^{-1} (Figura 3 B). Quando não se utilizou N, o milho apresentou resposta quadrática na produtividade de grãos à medida que se elevou a densidade de plantas de milho (Figura 3 B), com máxima produtividade teórica de 10.426 kg ha^{-1} na densidade de plantas de 92 mil plantas ha^{-1} . Conforme houve aumento da densidade de plantas de milho se incrementaram os benefícios em produtividade da adubação nitrogenada.

Figura 3 — Produtividade de grãos de milho em função da densidade de plantas de milho e consórcio com braquiária (A), e em função da densidade de plantas de milho e adubação nitrogenada (B) na safra 2019. * Médias diferem aplicação de N e consórcio pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Londrina, PR

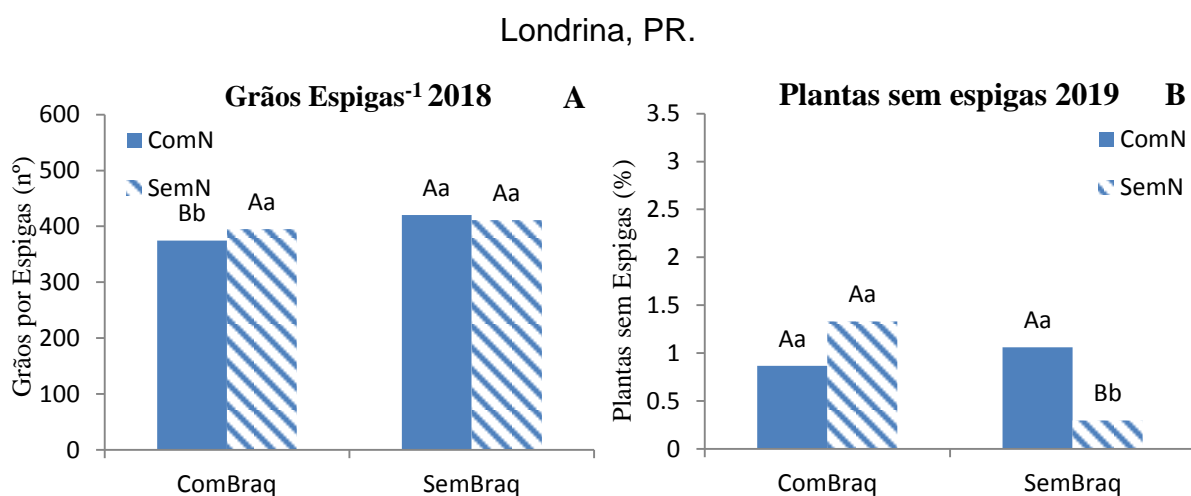


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

3.5.3 Componentes do rendimento do milho

O número de grãos por espiga do milho foi afetado pela interação entre consórcio e adubação nitrogenada de cobertura na safra 2018 (Apêndice A). Quando aplicado N em cobertura, a competição com plantas de braquiária limitou o número de grãos de milho. Não foram observadas diferenças quando o milho foi cultivado solteiro ou sem a aplicação de N em cobertura (Figura 4 A). A porcentagem de plantas sem espigas na safra 2019 também foi afetada pela interação entre consórcio e adubação nitrogenada de cobertura (Apêndice B). Houve menor número de plantas sem espigas quando o milho foi cultivado solteiro e sem adubação nitrogenada (Figura 4 B).

Figura 4 — Número de grãos por espiga em 2018 (A) e porcentagem de plantas sem espigas em 2019 (B) em função do consórcio de milho com braquiária e adubação nitrogenada. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas para adubação nitrogenada e minúscula para consórcio diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$).



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

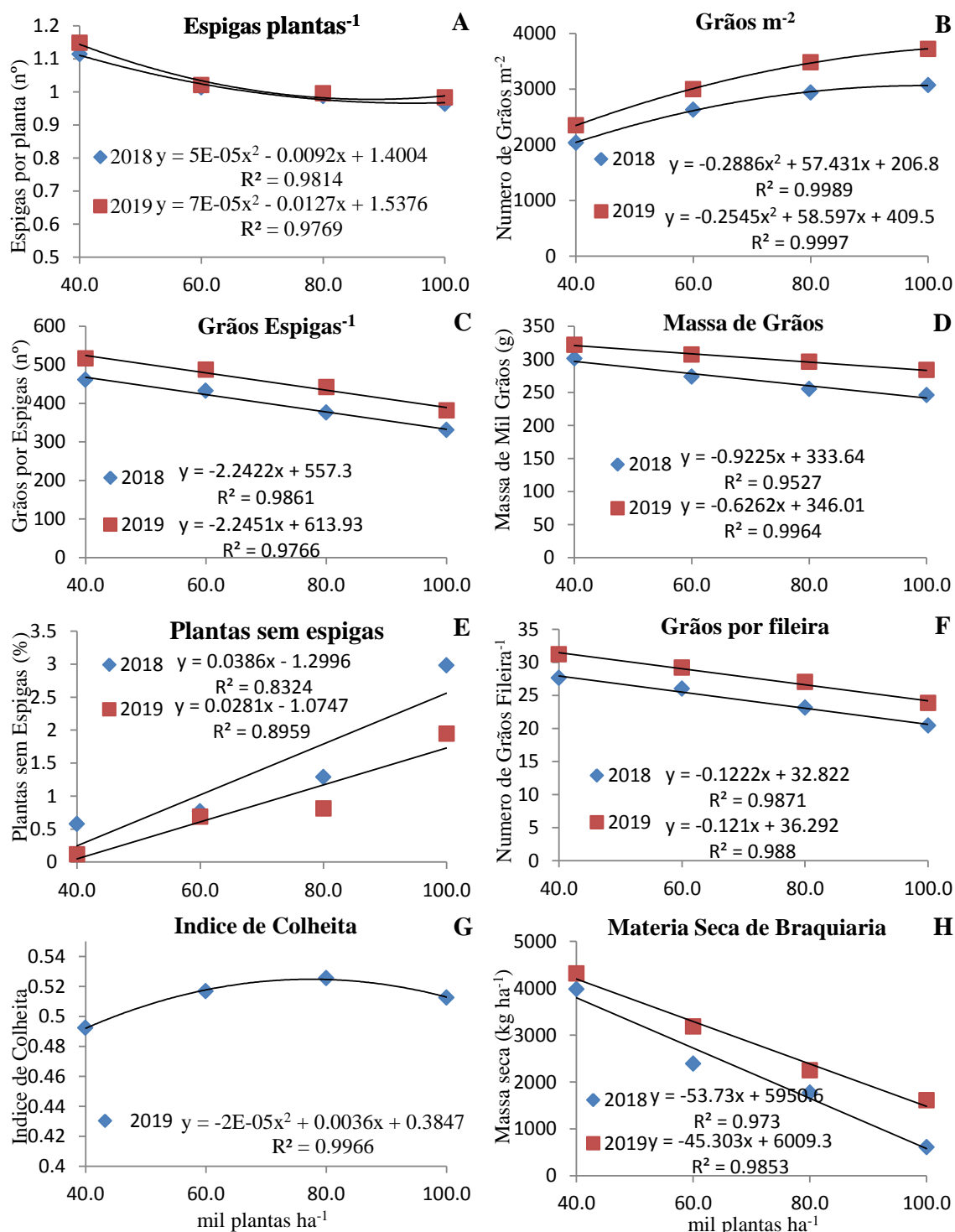
O consórcio com braquiária afetou o número de grãos por fileira em 2018 (Apêndice A), o número de grãos m^{-2} , o número grãos por espiga e o número de grãos por fileira em 2019 (Apêndice B). O consórcio com braquiária reduziu em 7,2% o número de grãos por fileira em 2018. Em 2019 o consórcio com braquiária reduziu em 10% o número de grãos m^{-2} , em 9,2% o número de grãos por espiga e em 9,7% o número de grãos por fileira.

A massa de mil grãos foi afetada pela aplicação de N em cobertura na safra 2018 (Apêndice B). Houve aumento de 2% na massa de grãos quando foi aplicado N. Em 2019 a aplicação de N aumentou em 4% o número de grãos m^{-2} , em 4% o número de grãos por espiga, em 3% a massa de mil grãos e em 4% o número de grãos por fileira.

A densidade de plantas de milho afetou o número de espigas por planta, número de grão m^{-2} , número de grãos por espiga, massa de mil grãos, porcentagem de plantas sem espiga, número de grãos por fileira e massa de matéria seca da braquiária na colheita do milho na safra 2018 (Apêndice A) e 2019 (Apêndice B). O índice de colheita também foi afetado pela densidade de plantas de milho na safra 2019 (Apêndice A).

Figura 5 — Número de espigas por planta (A), número de grão m^{-2} (B), número de grãos por espiga (C), massa de mil grãos (D), porcentagem de plantas sem espiga (E), número de grãos por fileira (F) e massa de matéria seca da braquiária na colheita do milho (H) em função da densidade de plantas de milho em 2018 e 2019 e índice de colheita (G) em função da densidade de plantas de milho em 2019.

Londrina, PR.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A medida que aumentou a densidade de plantas de milho, se reduziu o número de espigas por planta (Figura 5 A), número de grãos por espiga (Figura 5 C), massa de mil grãos (Figura 5 D) e o número de grãos por fileira (Figura 5 F) nas duas safras em estudo. O número de grãos m^{-2} (Figura 5 B) e a porcentagem de plantas sem espiga (Figura 5 F) aumentou à medida que se elevou a densidade de plantas de milho, nas duas safras.

O índice de colheita do milho respondeu de forma quadrática ao aumento da densidade de plantas de milho na safra 2019, com ponto de máxima estimado com 78,7 mil plantas ha^{-1} (Figura 5 G). A medida que se elevou a densidade de plantas de milho houve redução na produtividade de massa de matéria seca da braquiária em consórcio (Figura 5 H), com taxas de decréscimo de 53,7 $kg\ ha^{-1}$, em 2018, e 45,3 $kg\ ha^{-1}$ em 2019.

3.6 DISCUSSÃO

A densidade de plantas de milho segunda safra interferiu mais na produtividade de grãos que o consórcio ou adubação nitrogenada. O aumento da densidade de plantas afetou todos os componentes do rendimento, com exceção do número de grãos fileira⁻¹. Os componentes do rendimento mais afetados pelo número de plantas por área foram o número de grãos por área, massa de grãos e o número de grãos por espiga. Destes três, o número de grãos por área foi o componente do rendimento mais associado à produtividade de grãos do milho ($r=0,93^{**}$ em 2018/19 e $0,94^{**}$ em 2019/20).

Na safra 2018, quando se teve maior limitação hídrica durante o enchimento de grãos (Figura 1 A), o cultivo de milho com braquiária limitou a produtividade de grãos nas densidades de 40 e 100 mil plantas ha^{-1} (Figura 2). A densidade de 40 mil plantas ha^{-1} favoreceu o crescimento da braquiária (Figura 5 H), elevando a sua competitividade com o milho. Com o aumento da densidade de plantas de milho, se eleva a competição intraespecífica por recursos, reduzindo a produtividade individual por planta (SANGOI et al., 2002a; LI et al., 2015), devido a diminuição no número de grãos e peso grãos (LI et al., 2015; SANGOI et al., 2002a). Possivelmente na densidade de 100 mil plantas ha^{-1} a alta competição intraespecífica acentuou o

impacto da competição da braquiária sobre a produtividade de grãos do milho, mesmo com a braquiária apresentando menor produção de matéria seca em R6 nesta densidade.

No segundo ano de estudo, a braquiária limitou a produtividade do milho em todas as populações. O milho apresentou maiores tetos produtivos, com menor limitação hídrica nos estádios reprodutivos (Figura 1 B). Uma vez que a disponibilidade hídrica apresentou menor limitação à produtividade de grãos, o estresse decorrente da competição interespecífica passou a ter maior magnitude de interferência sobre a produtividade do milho. Trabalhos de Mingotte et al. (2021) e Sarto et al. (2021) também constataram que em anos com maior oferta hídrica, o impacto da braquiária sobre a produtividade de grãos do milho é maior. No presente estudo, na safra com maior oferta hídrica, em populações maiores que 60 mil plantas de milho ha^{-1} , quanto maior foi a densidade de plantas de milho menor foi a diferença encontrada em produtividade entre o milho solteiro e consorciado (Figura 3 A). Quanto maior foi a densidade de plantas de milho, menor foi o crescimento da braquiária (Figura 5 H), assim como ocorre com outras plantas de cobertura em consórcio com o milho (YOUNGERMAN et al., 2018). Conseqüentemente, com o aumento da densidade de plantas de milho, menor foi a competição exercida pela planta de cobertura.

Na safra 2018 a taxa de semeadura ótima agrônômica (AOSR) foi atingida em densidades superiores a 80 mil plantas de milho ha^{-1} , mesmo num ano com elevada restrição hídrica no enchimento de grãos (Figura 1). Quando cultivado solteiro, a adubação nitrogenada permitiu incrementos de produtividade lineares a cultura, à medida que se elevou a densidade de plantas, com AOSR superior ao milho cultivado sem N (Figura 2). No entanto, quando cultivado em consórcio, o milho que recebeu N apresentou AOSR em uma densidade inferior ao milho sem N (Figura 2). Embora quando em consórcio a adubação nitrogenada tenha reduzido o número de grãos por espiga (Figura 4 A), possivelmente a adubação nitrogenada auxiliou na mitigação do impacto da competição interespecífica em densidades menores, em que a competição intraespecífica acabou limitando a produtividade da cultura em uma densidade menor do que quando o milho foi cultivado em consórcio sem N, devido a elevada restrição hídrica no enchimento de grãos na safra 2018 (Figura 1 A).

Na safra 2019 o milho apresentou AOSR em densidades superiores a 90 mil plantas de milho ha^{-1} . A maior oferta hídrica durante o enchimento de grãos (Figura 1 B) permitiu ao milho atingir maiores patamares produtivos, com AOSR atingido em densidades maiores as encontradas em 2018. A AOSR foi atingida em densidade 9,9% maior no milho em consórcio, em relação ao milho cultivado solteiro (Figura 3 A). A AOSR foi alcançada em densidade 8,7% maior no milho com N do que o milho sem N (Figura 3 B). Além das maiores produtividades de grãos, permitindo maior distinção de tratamentos, é possível que a maior diferenciação em 2019 seja decorrente também do efeito acumulado de dois anos dos tratamentos em estudo (BALBINOT JUNIOR et al., 2020; GARBELINI et al., 2020).

O número de grãos é o componente do rendimento que mais afeta a produtividade do milho (COELHO et al., 2022). A presença da braquiária em consórcio com o milho reduziu o número de grãos m^{-2} , número de grãos espiga⁻¹, e o número de grãos por fileira, o que acarretou em redução na produtividade de grãos quando em consórcio. Isto demonstra que o principal impacto da competição interespecífica ocorreu durante o desenvolvimento vegetativo do milho.

O período crítico de interferência das plantas daninhas no milho está compreendido entre os estádios V2 e V7 (KOZLOWSKI, 2002). A inserção da braquiária na entrelinha do milho cria nichos ecológicos entre as duas espécies, reduzindo a competição inicial, e assegurando um adequado estabelecimento da cultura de cobertura. Wenneck et al. (2021) demonstraram que o cultivo em linhas intercaladas de milho e braquiária apresenta produtividade de grãos superior às demais modalidades de consorciação. Porém, Curran et al. (2018) evidenciaram que quando plantas de cobertura são semeadas antes de V3 em linha na entrelinha do milho, a produtividade de grãos do milho é afetada negativamente. A aplicação da sub dose de 1,75 l i.a. ha^{-1} de atrazina não foi suficiente para evitar o impacto negativo da braquiária sobre a produtividade de grãos do milho no presente estudo. É possível que o uso de doses maiores de atrazina ou o uso de outros herbicidas (LIMA et al., 2019; SILVA et al., 2016) e/ou a redução da densidade de semeadura da braquiária (SILVA et al., 2020; DE FREITAS et al., 2018) reduzam a magnitude da interferência da braquiária sobre o milho.

Na safra 2018 a aplicação de N em cobertura no milho consorciado reduziu o número de grãos por espiga (Figuras 4 A), o que sugere que no início do ciclo da cultura, ou início do desenvolvimento reprodutivo, a adubação nitrogenada favoreceu a braquiária, elevando a competição da planta de cobertura com o milho. No entanto, a adubação nitrogenada não afetou a produtividade de grãos, provavelmente por ter elevado a massa de mil grãos, e do aumento do número de espigas por área ter se elevado com o aumento do número de plantas por área, não afetando o número de grãos por área.

Na safra 2019, a adubação nitrogenada elevou o número de grãos m^{-2} , número de grãos espiga⁻¹, a massa de mil grãos e o número de grãos por fileira. Isto proporcionou uma maior produtividade de grãos no milho que recebeu N em cobertura, diferença que se acentuou à medida que se elevou a densidade de plantas de milho. Schwalbert et al. (2018) constataram que a resposta do milho a doses de N é maximizada à medida que a densidade de plantas de milho aumentou de 56 a 88 mil plantas ha^{-1} .

A baixa variação na taxa de absorção de N por planta, à medida que a densidade de plantas aumenta, acarreta em aumento na absorção de N por área com o adensamento (CIAMPITTI e VYN, 2012). Quando o aumento da densidade de plantas resulta em incrementos na produtividade de milho, ocorre aumento na eficiência de recuperação de N (YAN et al., 2017), elevando a demanda por N à medida que a densidade de plantas de milho é aumentada.

3.7 CONCLUSÕES

A densidade de plantas de milho tem maior interferência na produtividade de grãos do que o consórcio com *Urochloa ruziziensis* ou adubação nitrogenada no milho segunda safra.

Quando cultivado em elevada restrição hídrica na fase de enchimento de grãos, o milho consórcio com *Urochloa ruziziensis* tem a taxa de semeadura ótima agrônômica atingida com 82 mil plantas ha^{-1} . Contudo, quando o milho é cultivado solteiro com adubação nitrogenada, a taxa de semeadura ótima agrônômica é atingida em 100 mil plantas ha^{-1} .

Em safras com maior oferta hídrica e tetos produtivos mais altos, a taxa de semeadura ótima agrônômica é de 91 mil plantas de milho ha⁻¹, para o milho cultivado solteiro e 100 mil plantas de milho ha⁻¹ para o milho em consórcio com braquiária.

Indica-se um aumento de 10% na densidade de plantas de milho quando consorciado com braquiária, em relação às recomendações para o milho cultivado solteiro.

À medida que se eleva a densidade de plantas de milho, maiores são os benefícios da adubação nitrogenada para o milho.

4 ARTIGO 2: DENSIDADE DE PLANTAS, ADUBAÇÃO NITROGENADA E CONSÓRCIO DO MILHO SEGUNDA SAFRA COM *Urochloa ruzizensis*: II. DESEMPENHO DA SOJA EM SUCESSÃO

4.1 RESUMO

O consórcio do milho com braquiária ruzizensis e a adubação nitrogenada aumentam a produção de biomassa e a ciclagem de nutrientes no sistema, o que pode favorecer o crescimento e a produtividade da soja cultivada em sucessão. Este trabalho foi conduzido com objetivo de avaliar o impacto do consórcio de milho segunda safra com braquiária, da adubação nitrogenada em cobertura e da densidade de plantas de milho sobre o desempenho agrônômico da soja em sucessão. O experimento foi implantado a campo, nas safras de 2018/19 e 2019/20. Foram investigados os seguintes fatores: modalidade de cultivo (milho cultivado solteiro e em consórcio com *Urochloa ruzizensis*), adubação nitrogenada em cobertura (0 e 80 kg N ha⁻¹) e densidade de plantas de milho (40, 60, 80 e 100 mil plantas de milho ha⁻¹). A produtividade de palha, a ciclagem de N no outono inverno, o crescimento vegetativo, a produtividade de grãos e os componentes do rendimento da soja foram quantificados. O consórcio de milho com *U. ruzizensis* elevou a produtividade de palha (2.365 kg ha⁻¹) e a ciclagem de N (50 kg ha⁻¹) no outono inverno, assim como proporcionou maior produtividade de grãos a soja (232 kg ha⁻¹) cultivada em sucessão, na safra com boa disponibilidade hídrica. A densidade de plantas de milho não impactou de forma consistente o desempenho da soja cultivada em sucessão. A adubação nitrogenada no milho elevou em 180 kg ha⁻¹ a produtividade de grãos da soja cultivada em sucessão.

Palavras chave: Adubação nitrogenada. Plantas de cobertura. Ciclagem de nitrogênio.

4.2 ABSTRACT

The increase in the amount of straw and nitrogen cycling in the system, with the insertion of *Urochloa ruziziensis* intercropped with maize and nitrogen fertilization, may favor the development and grain yield of soybeans grown in succession. This work was conducted with the objective of evaluating the impact of the intercropping of second crop maize with brachiaria, the top-dress of nitrogen fertilization and the density of maize plants on the agronomic performance of soybean in succession. A field experiment was set in the 2018/19 and 2019/2020 growing seasons. The following factors were investigated: cultivation modality (sole maize and maize intercropped with *U. ruziziensis*), nitrogen top-dress fertilization rate (0 and 80 kg N ha⁻¹); and density of maize plants (40, 60, 80 and 100 thousand plants ha⁻¹). Straw production, nitrogen cycling in fall-winter, vegetative growth, grain yield and soybean yield components were quantified. The intercropping of maize with *U. ruziziensis* increased straw production (2,365 kg ha⁻¹) and N cycling (50 kg ha⁻¹) during fall and winter. It also provided higher grain yield (232 kg ha⁻¹) of soybean cultivated in succession in the growing seasons with good water availability. Maize plant density did not consistently affect the performance of soybeans grown in succession. Nitrogen top-dress fertilization of maize increased 180 kg ha⁻¹ grain yield of soybean cultivated in succession.

Keywords: Nitrogen Fertilization. Cover crop. Nitrogen cycling.

4.3 INTRODUÇÃO

A inclusão de espécies forrageiras em consórcio com o milho cultivado na segunda safra é uma opção para diversificar a sucessão milho/soja. A diversificação de culturas propicia cobertura uniforme do solo, eleva a ciclagem de nutrientes, minimiza a compactação do solo, reduz a erosão hídrica, suprime plantas daninhas e reduz a amplitude térmica no solo (BALBINOT JUNIOR et al., 2008; CARVALHO et al., 2013; SEVERINO et al., 2006). Além disso, pode-se melhorar o desempenho agrônomo da soja em sucessão, no Sistema Plantio Direto (FRANCHINI et al., 2015b; BALBINOT JUNIOR et al., 2017).

O incremento na produtividade das espécies cultivadas, bem como a ciclagem de nutrientes para os cultivos sucessores, depende da adubação nitrogenada (BERNARDON et al., 2020). Nesse sentido, a adubação no outono/inverno visando atender a nutrição do sistema produtivo aumenta a eficiência de uso do nitrogênio (N) pelas plantas e a capacidade de ciclar nutrientes, disponibilizando-o às culturas subsequentes (MOMESSO et al., 2019). O fornecimento de N ao milho cultivado em consórcio com a braquiária pode promover incrementos significativos na produtividade da soja (COSTA et al., 2021; BALBINOT JUNIOR et al., 2017; FRANCHINI et al., 2015b). A aplicação de N mineral em culturas de entressafra da soja influencia positivamente na produtividade da oleaginosa, em função da redução da relação C/N da palhada e a consequente disponibilização de nutrientes à soja semeada em sucessão, além de potencializar a ciclagem de outros nutrientes (CÂMARA, 2014).

Quando cultivado solteiro, o aumento da densidade de plantas de milho pode promover um maior acúmulo de biomassa (SHAO et al., 2018) e nutrientes na parte aérea (CIAMPITTI e VYN, 2013). Este processo pode ser intensificado com a adubação nitrogenada de cobertura (CIAMPITTI e VYN, 2013). O incremento na densidade de plantas de milho também pode mitigar a competição interespecífica exercida pelas plantas que eventualmente são inseridas em consórcio, o que pode afetar essa dinâmica.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto do consórcio de milho segunda safra com braquiária, da adubação nitrogenada em cobertura e da densidade de plantas de milho sobre o desempenho agrônomo da soja em sucessão.

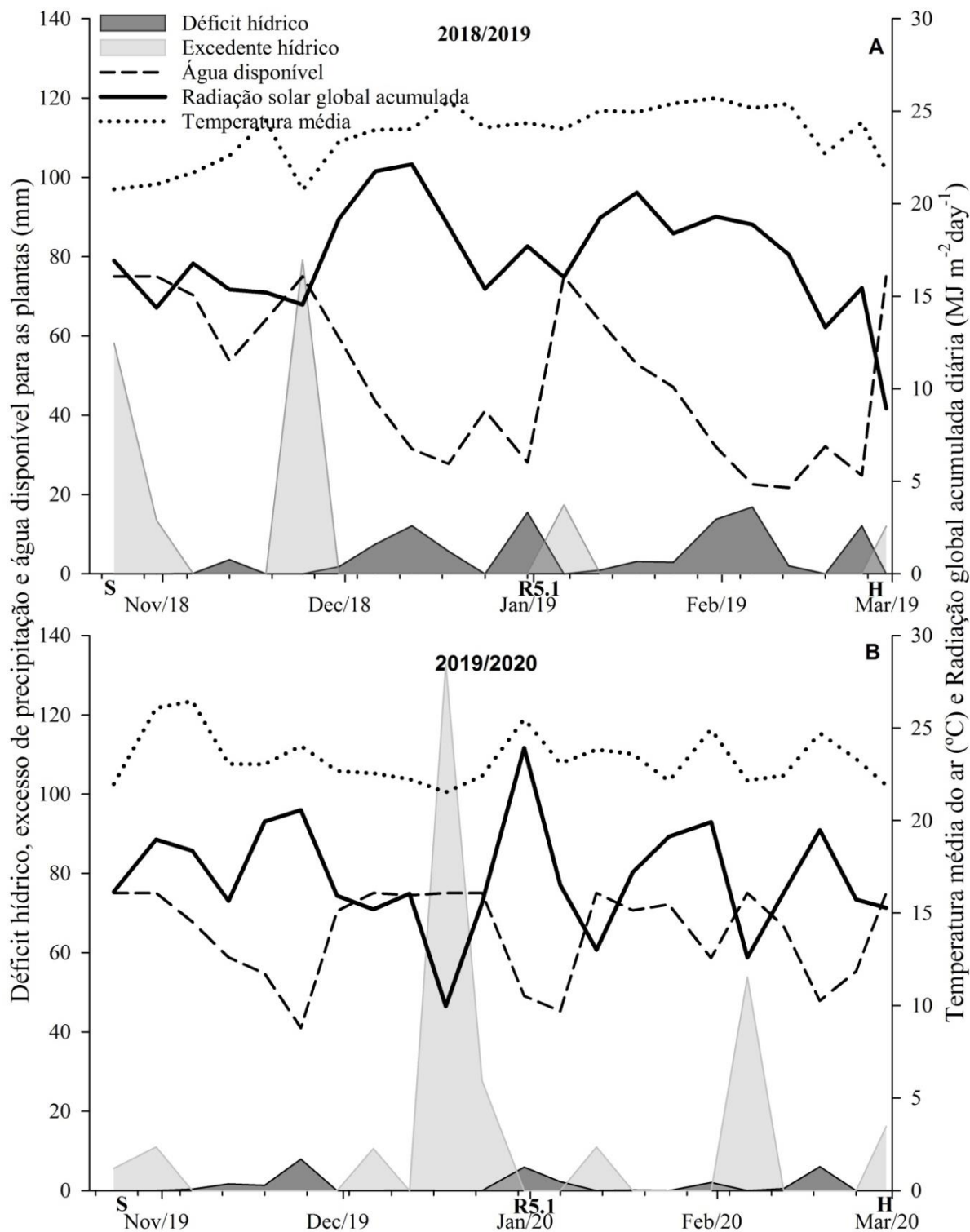
4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Caracterização da Área Experimental

O experimento foi conduzido a campo, nas safras 2018/19 e 2019/20, em Londrina, PR (23°11'57" sul, 51°10'40" oeste, com altitude média de 585 m). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distroférico com textura muito argilosa (EMBRAPA, 2018), apresentando os seguintes atributos químicos: carbono orgânico total: 18,11 g dm⁻³; Ph em CaCl₂: 5,11; Ca, 3,7 cmolc dm⁻³; Mg: 1,87 cmolc dm⁻³; Al: 0,0 cmolc dm⁻³; K: 0,39 cmolc dm⁻³; P (Mehlich 1): 28,82 mg dm⁻³; CTC: 11,11 cmolc dm⁻³ e saturação por bases de 53,65%.

De acordo com a classificação de Koppen, o clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes e geadas pouco frequentes. Na Figura 6 são apresentadas a temperatura média, a radiação diária global acumulada e o balanço hídrico sequencial, conforme metodologia descrita por Thornthwaite e Mather (1955), considerando os dados meteorológicos do período e a capacidade de água disponível (CAD) de 75 mm (FARIAS; SIBALDELLI; GONCALVES, 2021). A deficiência hídrica foi determinada considerando a diferença entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração potencial. O excedente hídrico correspondeu à água que não pode ser retida e drenada em profundidade (água gravitacional). A água disponível armazenada no solo (ARM) correspondeu ao saldo de água no solo.

Figura 6 — Balanço hídrico sequencial, conforme metodologia descrita por Thornthwaite e Mather (1955). Deficiência hídrica; Excedente hídrico; Armazenamento de água; Radiação global diária e temperatura média do ar. S: Semeadura; R5: Início de enchimento de grãos; H: Colheita. Londrina, PR.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.4.2 Implantação e condução do experimento

O experimento foi implantado a campo, no delineamento experimental de blocos completos casualizados, em esquema de parcelas sub-subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas principais foram alocadas duas modalidades de cultivo, milho híbrido AG9050 PRO3 solteiro e consorciado com braquiária *ruziziensis* (*Urochloa ruziziensis*). Nas subparcelas foram avaliadas duas doses de N em cobertura, 0 e 80 kg ha⁻¹ de N. Nas sub-subparcelas, foram avaliadas quatro densidades de plantas de milho, 40, 60, 80 e 100 mil plantas ha⁻¹. O tamanho das sub-subparcelas foi de 5 x 8 m (40m²) e área útil de 3,2 x 6 m (19,2 m²).

A semeadura da soja foi realizada em 16/10/2018 e 25/10/2019, após a dessecação da área com glifosato na dose de 2 kg e. a. ha⁻¹, aplicando um volume de calda de 200 L ha⁻¹. Utilizou-se uma semeadora-adubadora com mecanismos sulcadores do tipo guilhotina para posicionamento do adubo e discos duplos defasados para a semente, regulada para 300 mil sementes de soja ha⁻¹, com espaçamento de 0,45 m entre linhas. Foi utilizada a cultivar BRS 1003 IPRO, que possui hábito de crescimento indeterminado, grupo de maturidade relativa de 6.3 e arquitetura compacta de plantas. A adubação de base da soja foi composta por 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 70 kg ha⁻¹ de K₂O, realizada no momento da semeadura, utilizando-se a formulação 0-20-20, conforme análise química do solo e as recomendações nutricionais da cultura. As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* no dia da semeadura. O manejo de plantas daninhas, pragas e doenças na cultura da soja foi a mesma em toda a área experimental e seguiu as recomendações técnicas para a cultura (EMBRAPA, 2011).

4.4.3 Avaliações na palha de milho e braquiária

Quando o milho se encontrava no estágio R6, conforme escala de Ritchie et al.(1993), foram coletadas três plantas por sub-subparcela para a determinação da massa de matéria seca acumulada. Nesta avaliação se excluiu a massa de grãos da massa total, obtendo-se a massa de matéria seca do milho em R6. Na dessecação para a semeadura da soja foram coletadas plantas de braquiária em um metro linear para a determinação da massa de matéria seca da braquiária na dessecação. Para determinação da produtividade total de palha na safra de outono/inverno, se somou a massa de matéria seca do milho em R6 e a massa de matéria seca da braquiária na dessecação.

O teor de N na palha, composta por plantas de milho e braquiária, foi determinado após digestão sulfúrica pelo método Kjeldhal (EMBRAPA, 1997). A quantidade de N acumulado na palha na safra de outono/inverno foi calculada com base nos dados de massa de matéria seca e no teor de N no tecido.

4.4.4 Avaliações na soja

Nos estádios V4/V5, R2 e R5 da escala de Fehr e Caviness (1977) da soja, avaliou-se o índice de área foliar (IAF) obtido com a utilização do equipamento LAI 2200 da LI-COR, o índice de clorofila SPAD, amostrado em 15 plantas por parcelas, a massa de matéria seca da parte aérea da soja, por meio da colheita de um metro linear de plantas por sub-subparcela, as quais foram secas em estufa a 65°C até atingir massa constante. O teor de N na fitomassa aérea das plantas coletadas foi determinado após digestão sulfúrica pelo método Kjeldhal (EMBRAPA, 1997). A quantidade de N acumulada na fitomassa aérea da soja foi calculada com base nos dados de massa de matéria seca da parte aérea.

O número de vagens por m², número de grãos m⁻², número de grãos por vagem e massa de mil grãos foram determinados em um metro linear de plantas por sub-subparcela, amostradas no estádio R8 (maturação de colheita). O índice de colheita foi obtido pela relação entre a produção de matéria seca de grãos e a produção de matéria seca total, das plantas amostradas para análise de componentes. A produtividade de grãos foi determinada pela colheita de três linhas de oito metros de comprimento em cada sub-subparcela, em 20/02/2019 e 28/02/2020, sendo a massa de grãos corrigida na umidade padrão de 13% e expressa em kg ha⁻¹.

4.4.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e à homogeneidade de variâncias (Hartley). Em seguida, foram submetidos à análise de variância pelo Teste F ($p < 0,05$). Quando a hipótese nula foi rejeitada, as comparações de médias foram realizadas com o teste de Tukey e por análise de regressão polinomial, ambas ao nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

4.5 RESULTADOS

4.5.1 Contextualização de dados meteorológicos

Na safra de soja 2018/19, a partir de V5 ocorreu uma deficiência hídrica de 26,3 mm, concentrada no mês de dezembro (Figura 6 A). A partir do estágio R5.2 a deficiência hídrica se acentuou, o que foi agravado devido às elevadas temperaturas no enchimento de grãos, tendo impacto maior nos tratamentos com maior crescimento vegetativo. Na safra 2019/20, houve uma menor oferta hídrica no início do crescimento vegetativo (Figura 6 B), em relação 2018/19, porém não foi uma diferença expressiva. De forma geral, a safra 2019/20 apresentou adequada oferta hídrica, o que permitiu um melhor desempenho agrônômico da soja, em relação à safra 2018/19.

4.5.2 Palha e ciclagem de N pelo milho e braquiária

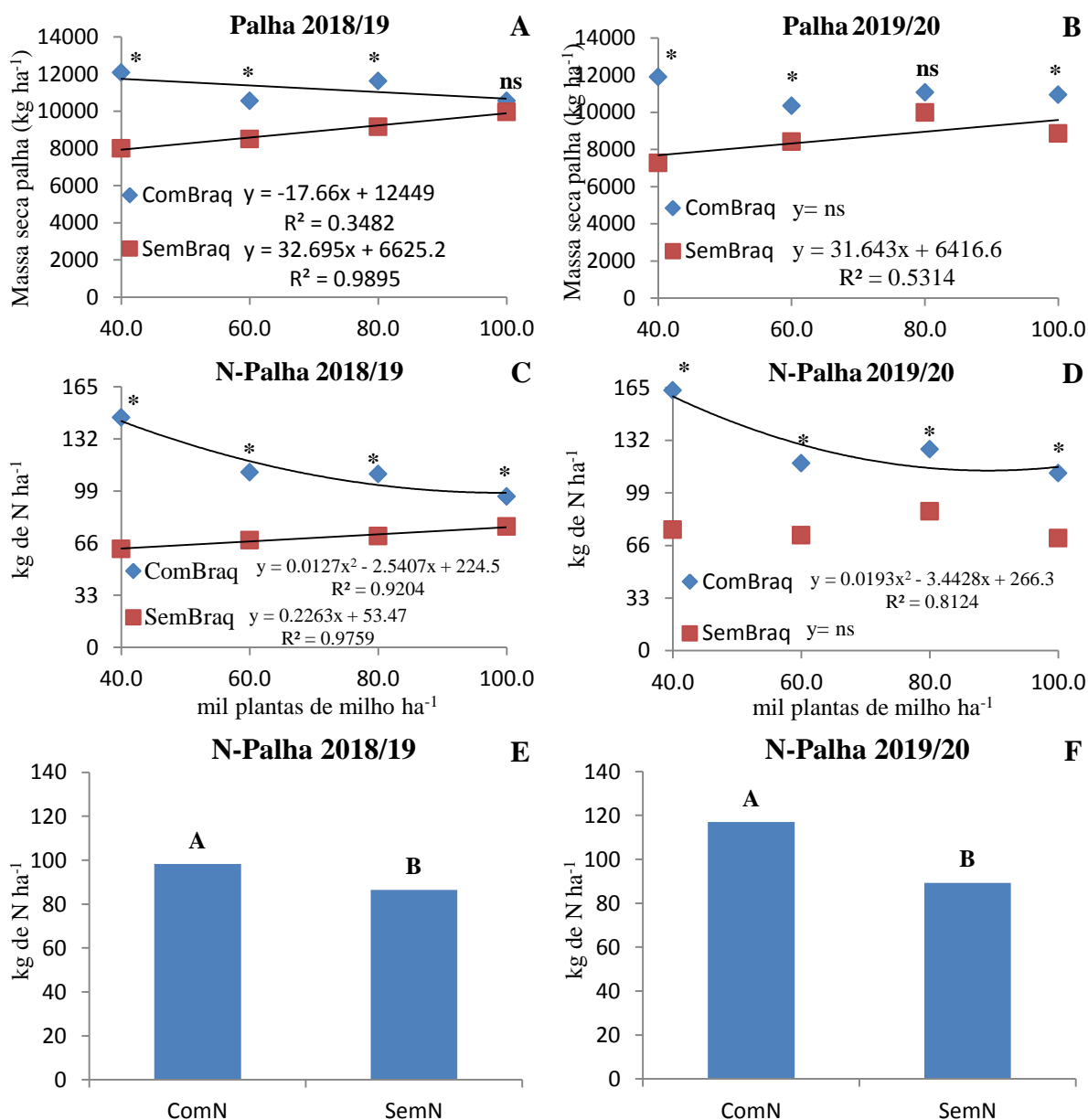
Ao somar a produtividade de massa de matéria seca do milho em R6 e da braquiária na dessecação, obteve-se a produtividade total de palha no cultivo de outono/inverno (Palha). Esta variável foi afetada pela interação entre densidade de plantas de milho e consórcio (Apêndice C e D), nas duas safras em estudo.

Em cultivo solteiro, a produtividade de palha elevou-se de forma linear conforme aumentou a densidade de plantas de milho, com taxa de aumento de 33 kg ha⁻¹ em 2018 (Figura 7 A) e 32 kg ha⁻¹ em 2019 (Figura 7 A) a cada mil plantas ha⁻¹ de aumento na densidade de plantas de milho. Na presença do consórcio de milho com braquiária, na safra 2018 à medida que se elevou a densidade de plantas de milho se reduziu a quantidade de palha em 18 kg ha⁻¹ a cada mil plantas ha⁻¹ de aumento na densidade de plantas de milho. Quando consorciado, o milho com braquiária apresentou maior produtividade de palha, em relação ao milho cultivado solteiro, com exceção da densidade de 100 mil plantas ha⁻¹, na safra 2018, e 80 mil plantas ha⁻¹ na safra 2019.

A quantidade de N ciclado na palha foi afetada pela interação entre densidade de plantas de milho e consórcio e pelo efeito principal da aplicação de N em cobertura nas duas safras em estudo (Apêndice C e D). Quando o milho foi cultivado solteiro observou-se uma resposta linear de aumento na quantidade de N na palha em 2018 (Figura 7 C), não respondendo ao incremento na densidade de plantas de milho em 2019 (Figura 7 D). Porém, quando em consórcio ocorreu uma

resposta quadrática de redução do N ciclado pela palha, à medida que se elevou a densidade de plantas, o que foi observado nas duas safras em estudo (Figura 7 C e D). O milho consorciado com braquiária ciclou mais N no cultivo de outono/inverno, diferença que tendeu a diminuir à medida que se elevou a densidade de plantas de milho. Quando se aplicou N, a quantidade de N na palha no período de cultivo de outono/inverno foi 14% maior em 2018 (Figura 7 E) e 31% maior em 2019 (Figura 7 F), em relação a ausência de adubação nitrogenada.

Figura 7 — Massa de matéria seca da palha de milho e braquiária em 2018 (A) e 2019 (B), quantidade de N ciclado pela palha em 2018 (C) e 2019 (D) em função da densidade de plantas de milho e da presença e ausência do consórcio de milho com braquiária, e quantidade de N ciclado pela palha em 2018 (E) e 2019 (F) em função da adubação nitrogenada no milho. *Médias diferem aplicação de N e consórcio pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$) e . Londrina, PR.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

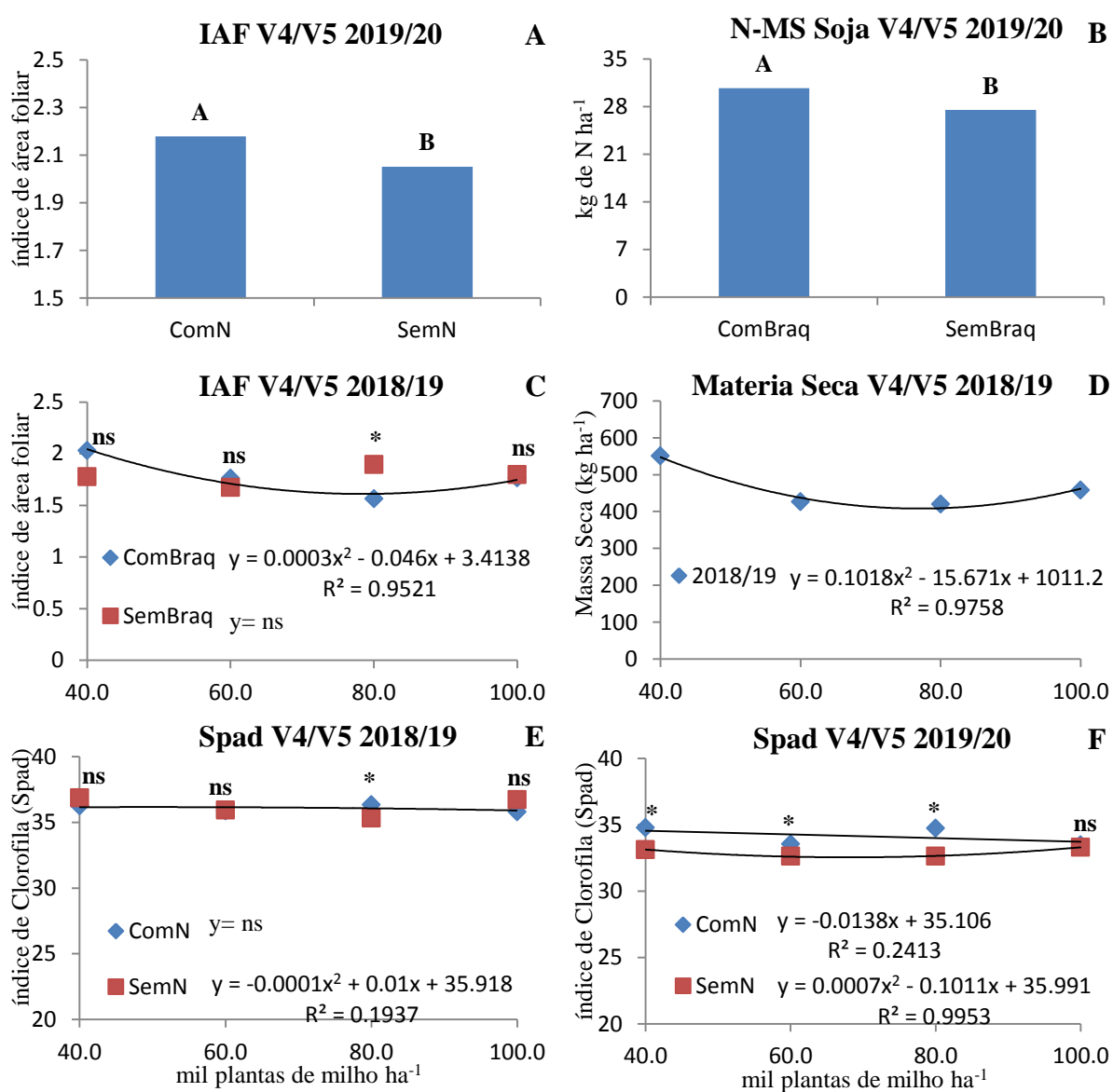
4.5.3 Variáveis biométricas da soja

No estágio V4/V5 o IAF da soja foi afetado pela adubação nitrogenada no milho e pela interação entre consórcio e densidade de plantas de milho, na safra

2019/20 (Apêndice E). Nas duas safras, a interação entre densidade de plantas de milho e adubação nitrogenada afetou o índice de clorofila SPAD da soja (Apêndice E). A densidade de plantas de milho afetou a massa de matéria seca da soja acumulada até V4/V5 (Apêndice E). Na safra 2019/20, a quantidade de N na biomassa da soja foi afetada pelo consórcio de milho com braquiária (Apêndice E).

Quando foi aplicado N no milho, a soja apresentou no estágio V4/V5 aumento de 6% no índice de área foliar (Figura 8 A) e 12% na quantidade de N na biomassa da cultura quando cultivada após o consórcio de milho com braquiária (Figura 8 B), na safra 2019/20. Quando a soja foi cultivada após o milho em consórcio com braquiária, o IAF da soja reduziu conforme se elevou a densidade de plantas de milho (Figura 8 C). Na safra 2018/19, a massa de matéria seca da soja reduziu à medida que aumentou a densidade de plantas de milho (Figura 8 D). A soja cultivada após o milho com 80 mil plantas ha⁻¹, apresentou maior índice de clorofila SPAD, quando o milho recebeu adubação nitrogenada na safra 2018/19 (Figura 8 E). Já na safra 2019/20, a soja apresentou maior índice SPAD quando cultivada após o milho com adubação nitrogenada com densidade de 40 até 80 mil plantas ha⁻¹.

Figura 8 — Índice de área foliar da soja no estágio V4/V5 em função da adubação nitrogenada na cultura antecessora na safra 2019/20 (A) e densidade de plantas de milho em consórcio com braquiária na safra 2019/20 (C), quantidade de N na biomassa da soja no estágio V4/V5 em função do consórcio do milho com braquiária na safra 2019/20 (B), índice de clorofila SPAD no estágio V4/V5 nas safras 2018/19 (E) e 2019/20 (D) em função da densidade de plantas de milho e adubação nitrogenada, e massa de matéria seca da soja em função da densidade de plantas de milho nas safras 2018/19 e 2019/20 (E). *Médias diferem aplicação de N e consórcio pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Londrina, PR.



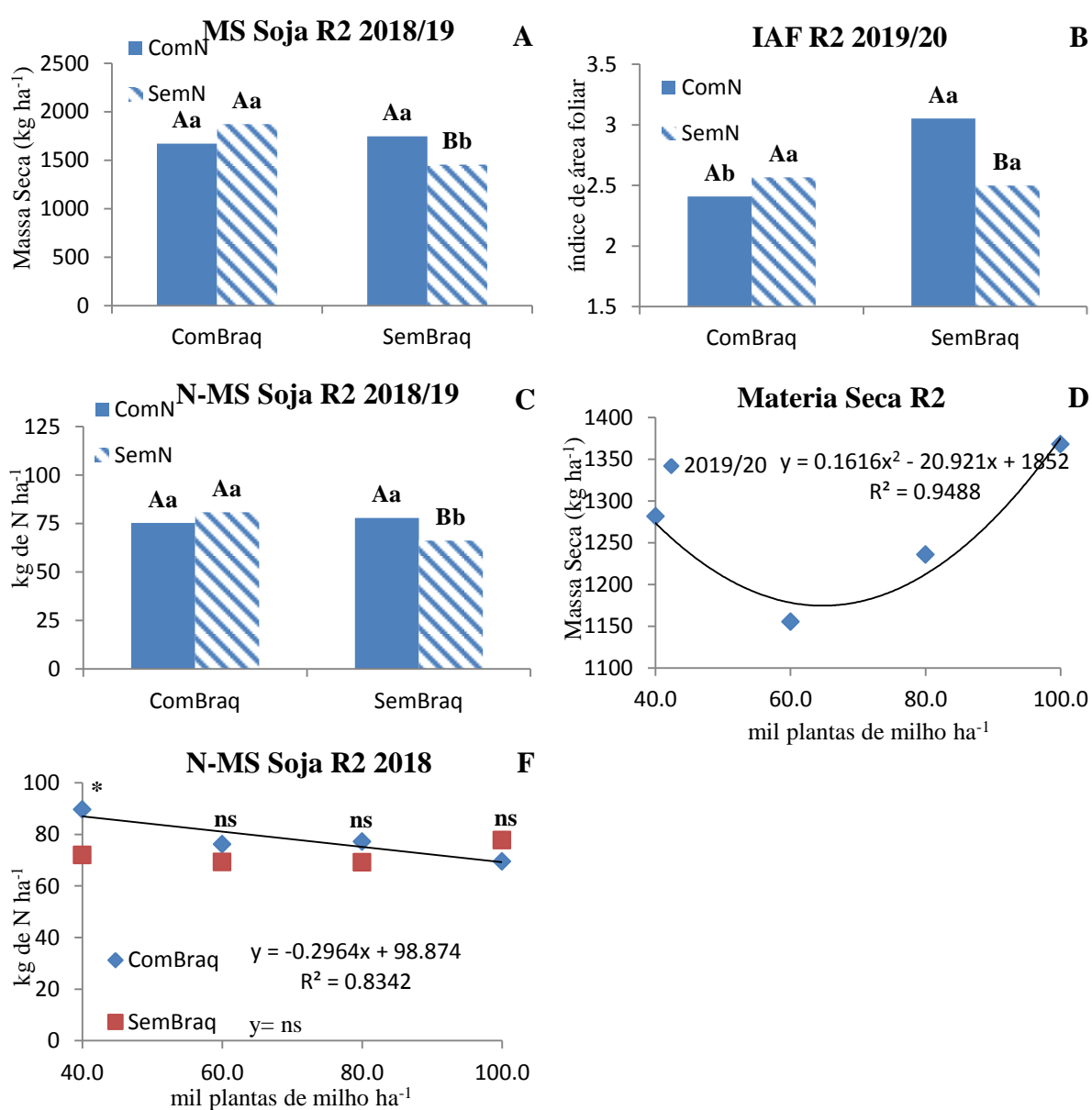
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Na safra 2018/19, a produtividade de massa de matéria seca da soja em R2 foi impactada pela interação entre adubação nitrogenada e consórcio com braquiária (Apêndice F). Na ausência da adubação nitrogenada no milho, o consórcio do milho com a braquiária promoveu aumento da massa de matéria seca da soja em R2 (Figura 9 A). Entretanto, com a adubação nitrogenada no milho, o consórcio não influenciou o crescimento da soja em sucessão.

O N acumulado na massa de matéria seca da soja até R2 foi afetado pelas interações entre adubação nitrogenada em cobertura no milho e consórcio do milho com braquiária e adubação nitrogenada e densidade de plantas de milho (Apêndice F). A soja cultivada após milho solteiro sem N em cobertura acumulou 15% menos N, comparativamente à cultivada após milho solteiro e com adubação nitrogenada em cobertura (Figura 9 C). Ao não utilizar N em cobertura no milho solteiro, a soja deixou de acumular 15 kg de N ha⁻¹ até R2. Quando a soja foi cultivada após o consórcio de milho com braquiária, à medida que se elevou a densidade de plantas de milho, a soja em R2 reduziu linearmente o acúmulo de N na massa de matéria seca na proporção de 0,3 kg de N mil planta⁻¹ de milho ha⁻¹ (Figura 9 E). Já a soja cultivada após o milho solteiro não apresentou resposta em função da densidade de plantas de milho. A soja em R2 quando cultivada após a densidade de 40 mil plantas ha⁻¹ de milho, apresentou 24% mais N acumulado quando cultivada após o consórcio de milho com braquiária comparada ao cultivo após o milho solteiro.

Na safra 2019/20, o IAF da soja em R2 foi impactado pela interação entre consórcio com braquiária e a aplicação de N em cobertura no milho (Apêndice F). A densidade de plantas de milho afetou a produtividade de matéria seca da soja em R2, na safra 2019/20. A soja cultivada após o consórcio de milho com braquiária, apresentou menor IAF, em relação a soja cultivada após o milho solteiro e sem aplicação de N (Figura 9 B). A aplicação de N no milho solteiro proporcionou um maior IAF na soja. Populações de plantas de milho maiores e menores que 65 mil plantas ha⁻¹ proporcionaram maior acúmulo de matéria seca na soja em R2 (Figura 9 D).

Figura 9 — Massa de matéria seca da soja no estágio R2 na safra 2018/19 (A), índice de área foliar da soja no estágio R2 na safra 2019/20 (B), quantidade de N na biomassa da soja no estágio R2 na safra 2018/19 (C) em função do consórcio de milho com braquiária e adubação nitrogenada, matéria seca da soja em R2 em função da densidade de plantas de milho na safra 2019/20 (D) e quantidade de N na biomassa da soja no estágio R2 na safra 2018/19 em função da densidade de plantas de milho e adubação nitrogenada (E). Londrina, PR. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas para adubação nitrogenada e minúsculas para consórcio diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$).

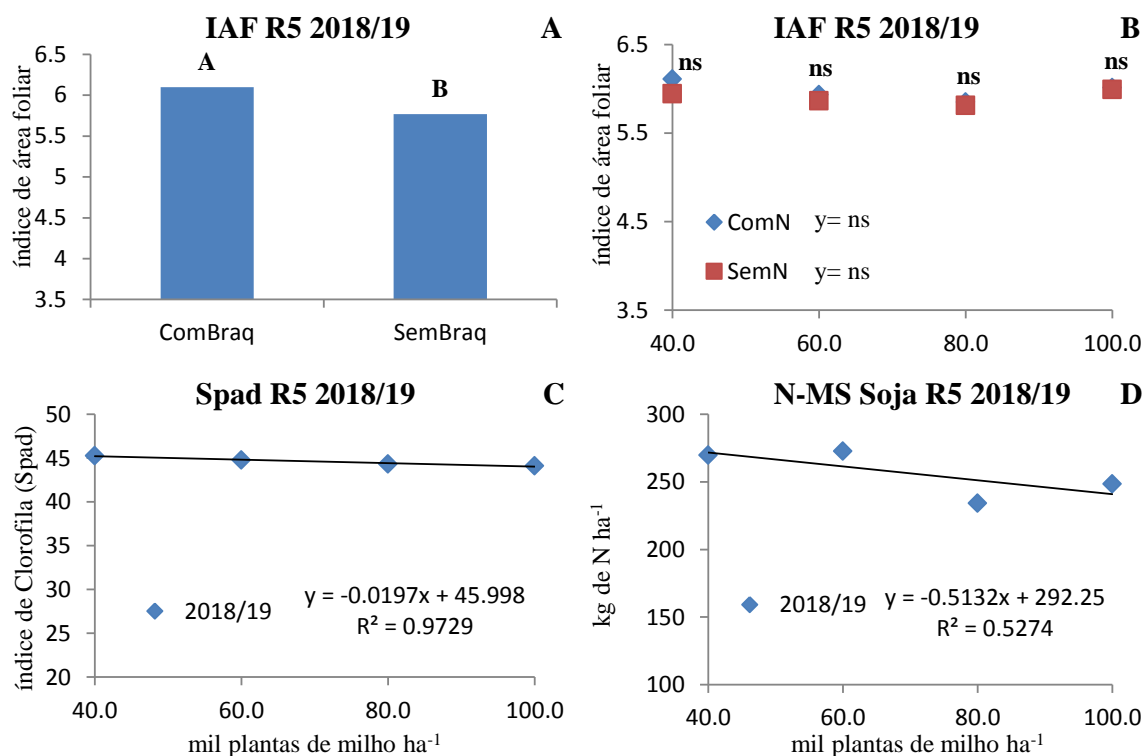


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Na safra 2018/19, o IAF da soja em R5 foi afetado pelo consórcio (Apêndice G). O IAF da soja em R5 foi 6% maior quando cultivada após o milho consorciado com braquiária (Figura 10 A). Embora significativo pelo teste F, a interação entre adubação nitrogenada e densidade de plantas de milho não apresentou diferenças de médias pelo teste de Tukey, em ajuste significativo de regressões polinomiais (Figura 10 B).

Na safra 2018/19, o índice de clorofila SPAD e a quantidade de N acumulado na massa de matéria seca da soja até R5 foram afetados pela densidade de plantas de milho (Apêndice G). Houve redução de 0,02 no índice SPAD a cada incremento de mil plantas⁻¹ de milho ha⁻¹ (Figura 10 C) e redução na quantidade de N acumulado na massa de matéria seca da soja até R5 de 0,5 kg a cada mil planta⁻¹ de milho ha⁻¹ (Figura 10 D).

Figura 10 — Índice de área foliar no estágio R5 em função do consórcio do milho com braquiária (A), e densidade de plantas de milho e adubação nitrogenada (B), teor relativo de clorofila SPAD da soja no estágio R5 (C) e quantidade de N na biomassa da soja no estágio R5 (D) em função da densidade de plantas de milho, na safra 2018/19. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Ns: não significativo. Londrina, PR.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.5.4 Componentes do rendimento da soja

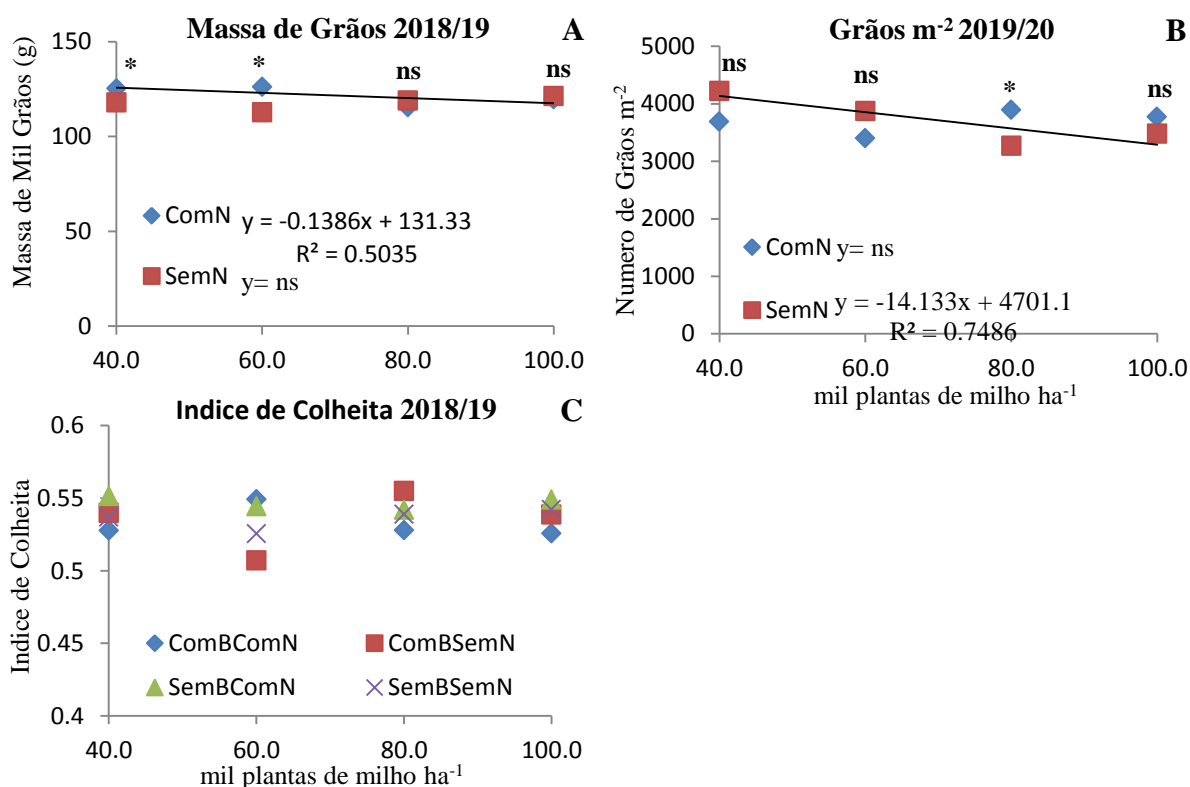
Na safra 2018/19, os componentes do rendimento número de vagens m⁻² (média geral: 1682), número de grãos m⁻² (média geral: 4250) e número de grãos vagem⁻¹ (média geral: 2,53), não foram afetados pelos fatores experimentais (Apêndice C). A massa de mil grãos da soja foi afetada pela interação entre densidade de plantas de milho e adubação nitrogenada. O índice de colheita da soja foi afetado pela interação tripla entre densidade de plantas de milho, consórcio e adubação nitrogenada (Apêndice C).

Conforme se aumentou a densidade de plantas de milho, a massa de mil grãos da soja diminuiu linearmente, quando cultivada após o milho que recebeu N em cobertura, a uma taxa de -0,14 kg a cada mil planta⁻¹ de milho ha⁻¹ (Figura 11 A).

Quando cultivada após a ausência da aplicação de N em cobertura, a massa de mil grãos de soja não respondeu a densidade de plantas de milho. A massa de mil grãos de soja foi maior nas parcelas de 40 e 60 mil plantas de milho ha^{-1} quando se utilizou N em cobertura no milho. A soja cultivada após o milho que recebeu N, apresentou maior índice de colheita quando em consórcio, nas populações de 40 e 100 mil plantas de milho ha^{-1} (Figura 11 C).

Na safra 2019/20, os componentes do rendimento número de vagens m^{-2} (média geral: 1506), número de grãos vagem⁻¹ (média geral: 2,46) e massa de mil grãos (média geral: 160 g), não foram afetados pelos fatores experimentais (Apêndice D). A interação entre densidade de plantas de milho e adubação nitrogenada, afetou o número de grãos de soja m^{-2} (Apêndice D). Quando cultivada após o milho que não recebeu adubação nitrogenada, a soja reduziu o número de grãos por área, linearmente a uma taxa de -14 grãos m^{-2} para cada mil plantas de milho ha^{-1} (Figura 11 B). Quando cultivada após o milho com N, a densidade de plantas de milho não afetou o número de grãos por área de soja. A soja cultivada após o milho que recebeu N apresentou maior número de grãos por área, na densidade de 80 mil plantas de milho ha^{-1} . A soja cultivada após o milho sem N apresentou um aumento no índice de colheita de 3% (Apêndice D).

Figura 11 — Massa de mil grãos em 2018/19 (A) e número de grãos m^{-2} em 2019/20 (B) da soja em função da adubação nitrogenada e densidade de plantas de milho. Índice de colheita da soja em função da densidade de plantas de milho, adubação nitrogenada e consórcio com braquiária em 2018/19. *Médias diferem aplicação de N e consórcio pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Londrina, PR.



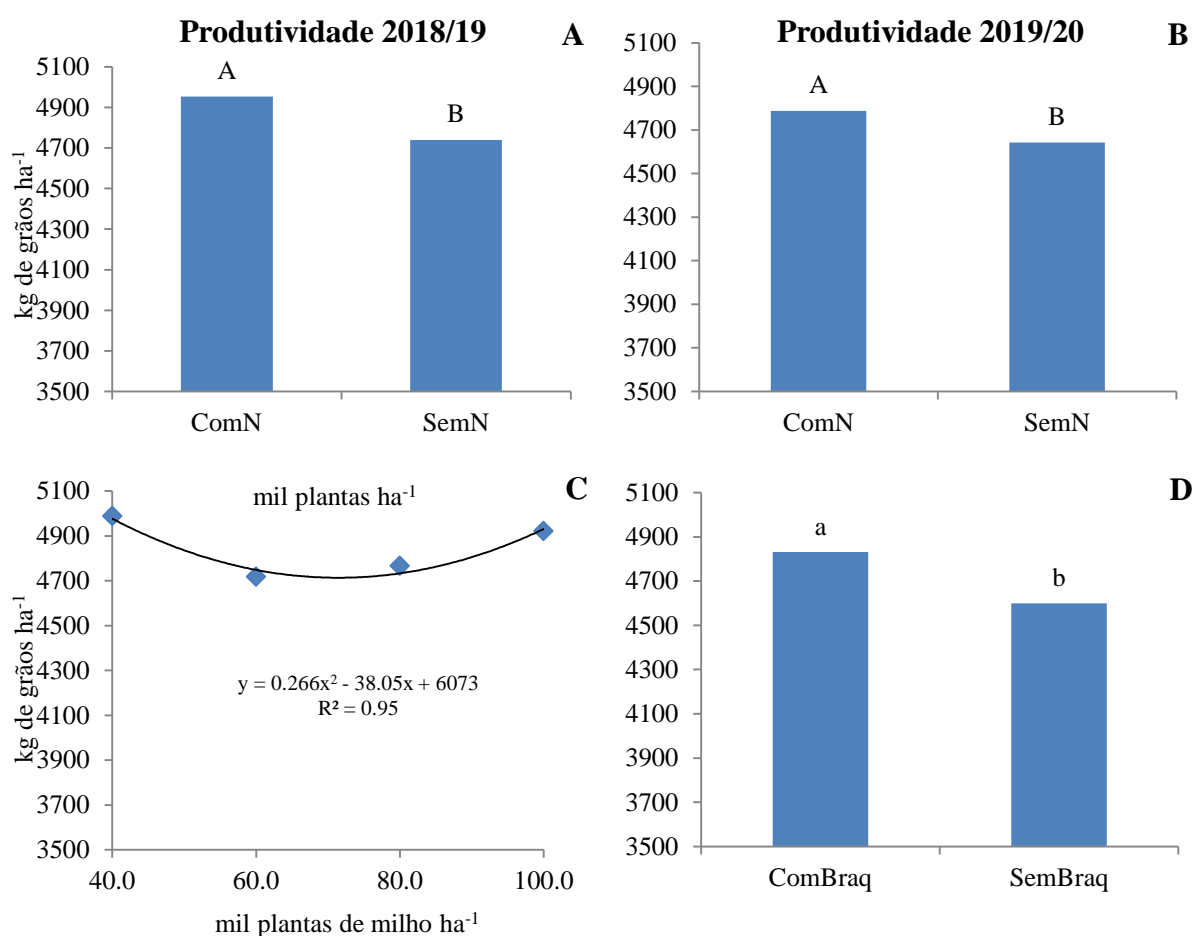
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.5.5 Produtividade de grãos de soja

Foi observado efeito principal da densidade de plantas de milho e adubação nitrogenada em cobertura no milho sobre a produtividade da soja em sucessão na safra 2018/19 (Apêndice C). Já na safra 2019/20, a produtividade de soja foi afetada pelos efeitos principais de adubação nitrogenada no milho e consórcio de milho com braquiária (Apêndice D). A aplicação de $80 \text{ kg } ha^{-1}$ de N no cultivo antecessor a soja elevou a produtividade de grãos da soja em $214 \text{ kg } ha^{-1}$ na safra 2018/19 (Figura 12 A), e $144 \text{ kg } ha^{-1}$, na safra 2019/20 (Figura 12 B). Na safra 2018/19, a soja cultivada após a densidade de $60 \text{ mil plantas } ha^{-1}$ de milho apresentou menor produtividade em relação a $40 \text{ mil plantas } ha^{-1}$, quando a soja cultivada após populações maiores e menores que $70 \text{ mil plantas de milho } ha^{-1}$, tendeu a aumentar (Figura 12 C). A soja

cultivada após o milho consorciado com braquiária apresentou produtividade de grãos 232 kg ha⁻¹ maior que após o milho solteiro, na safra 2019/20 (Figura 12 D).

Figura 12 — Produtividade de grãos de soja em função da adubação nitrogenada na cultura antecessora, na safra 2018/19 (A) e 2019/20 (B), em função da densidade de plantas de milho em 2018/19 (C), e em função do consórcio de milho com braquiária em 2019/20 (D). Londrina, PR. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas para adubação nitrogenada e minúsculas para consórcio diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$).



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.6 DISCUSSÃO

4.6.1 Palha e ciclagem de N pelo cultivo antecessor

A competição interespecífica exercida pela braquiária em consórcio reduziu a quantidade de N ciclado e a matéria seca do milho em R6. Com o aumento

da densidade de plantas e a adubação nitrogenada, o impacto da competição interespecífica foi mitigado, elevando a quantidade de N e de matéria seca produzida pelo milho. Porém, quando em consórcio o aumento da densidade de plantas de milho de 40 para 100 mil plantas ha^{-1} reduziu de 11.998 para 10.751 kg ha^{-1} a quantidade de massa de matéria seca da palha total e de 155 para 103 kg de N ha^{-1} a quantidade de N ciclado pela palha, na média das safras. Na densidade de 40 mil plantas de milho ha^{-1} , a produtividade total de palha foi 4.358 kg ha^{-1} menor na média das safras quando o milho foi cultivado solteiro, em relação a palha produzida pelo consórcio de milho com braquiária. Essa diferença reduziu com o aumento da densidade de plantas de milho, na densidade de 100 mil plantas de milho ha^{-1} em 2018, e 80 mil plantas ha^{-1} em 2019, a produtividade de palha foi semelhante na ausência ou presença de braquiária em consórcio com o milho. A adubação nitrogenada no milho aumentou em 22% na ciclagem de N pela palhada produzida na safra de outono/inverno.

Embora o milho produza maior quantidade de palha em relação à braquiária, a braquiária proporciona maior produtividade à soja cultivada em sucessão (YOKOYAMA et al., 2022), apresentando maior concentração de N na sua biomassa, em relação ao milho (MINGOTTE et al., 2020). A maior produtividade de palha pelo sistema consorciado, além de elevar a ciclagem de nutrientes (DE MENDONÇA et al., 2015), também pode reduzir a amplitude térmica, melhorando a manutenção hídrica, protegendo o solo contra a erosão e diminuindo a incidência de plantas daninhas (BALBINOT et al., 2008; CARVALHO et al., 2013; SEVERINO et al., 2006). A adubação nitrogenada no período da safra de outono/inverno favoreceu uma maior ciclagem de N (Figura 7 E e F), o que é vantajoso para a cultura cultivada em sucessão (COSTA et al., 2021; MOMESSO et al., 2019).

4.6.2 Variáveis biométricas da soja

A adubação nitrogenada no milho propiciou um maior crescimento vegetativo a cultura da soja, com maior IAF em V4/V5 na safra 2019/20 (Figura 8 A). Isso é mais marcante na soja cultivada após o milho solteiro, comparada a soja cultivada após o milho solteiro que não recebeu adubação nitrogenada, a oleaginosa apresentou menor matéria seca (Figura 9 A), e menor quantidade de N na matéria seca em R2 na safra 2018/19 (Figura 9 C), além de apresentar menor IAF em 2019/20 (Figura 9 B). Estes dados indicam que quando cultivada após milho solteiro

que não recebe adubação nitrogenada ocorre um impacto negativo no crescimento da soja. Quando cultivado após o milho consorciado, a soja apresentou maior IAF em R5 na safra 2018/19 (Figura 10 A) e maior quantidade de N nos tecidos em V4/V5 na safra 2019/20 (Figura 8 B).

4.6.3 Produtividade da soja

Na safra 2018/19, a inserção da braquiária em consórcio com o milho não influenciou a produtividade da soja. A soja cultivada após o milho consorciado apresentou maior IAF em R5 (Figura 10 A). No entanto, no enchimento de grãos a cultura passou por um estresse hídrico rigoroso, agravado por elevadas temperaturas (Figura 6 A). Nos tratamentos que tiveram um crescimento vegetativo mais vigoroso, pode ter ocorrido um maior consumo de água no final do ciclo da oleaginosa, nivelando os tratamentos que apresentavam consórcio do milho com a braquiária e milho solteiro, o que pode explicar a ausência de incremento em produtividade em função do consórcio de milho com braquiária no primeiro ano em estudo.

Já na safra 2019/20, o consórcio de milho com braquiária aumentou a produtividade da soja em 232 kg ha⁻¹, em relação a soja cultivada após o milho solteiro (Figura 12 D). Uma vez que os benefícios da braquiária ao sistema são cumulativos (BAPTISTELLA et al., 2020), o maior impacto positivo do consórcio com *U. ruziziensis* na produtividade da soja em 2019/20 pode ser decorrente do efeito acumulado (BALBINOT JUNIOR et al., 2020; GARBELINI et al., 2020). Além disto, a maior oferta hídrica no enchimento de grãos (Figura 5) pode ter contribuído para uma maior discriminação dos tratamentos. Yokoyama et al. (2022) constataram que a soja apresenta maior produtividade quando cultivada após *U. ruziziensis*, do que em relação a cultivada após o milho. Embora ainda constatados os benefícios da braquiária quando inserida em consórcio com milho para a soja cultivada em sucessão, estes são menores em relação aos observados quando a planta de cobertura é cultivada solteira (BALBINOT JUNIOR et al., 2017; YOKOYAMA et al., 2022).

Embora a densidade de plantas de milho tenha afetado a quantidade total de palha produzida, e alterado a relação entre palha produzida pelo milho e palha produzida pela braquiária, não ficou claro o real impacto da densidade de plantas de

milho sobre a produtividade da soja. A maior produtividade de palha de braquiária, quando o consórcio se estabeleceu com baixa densidade de plantas de milho, não aumentou produtividade de grãos de soja, em relação à soja estabelecida após alta densidade de milho. Apesar da braquiária apresentar maior qualidade de palha, com maior concentração de nutrientes, em relação a palha do milho.

A adubação nitrogenada no milho segunda safra tem sido reduzida pelos produtores nos últimos anos (SAPUCAY et al., 2020), em função do alto risco agrometeorológico (NÓIA JÚNIOR e SENTELHAS, 2020) e da menor resposta da cultura do milho ao N nesta época de cultivo (SAPUCAY et al., 2020). Contudo, esta estratégia de manejo pode ser um fator depreciativo no contexto de produtividade do “sistema de produção”. Diferentemente da adubação nitrogenada na soja (MOURTZINIS et al., 2018), a adubação nitrogenada no milho aumentou a produtividade da soja, em relação ao tratamento sem adição de N. A soja cultivada após o milho que recebeu N teve um acréscimo na produtividade de 214 kg ha⁻¹ de grãos em 2018/19 (Figura 12 A), e 144 kg ha⁻¹ em 2019/20 (Figura 12 B).

Não houve diferença em nenhum dos componentes da produtividade da soja em função do sistema de cultivo de milho. A avaliação dos componentes de rendimento pode indicar quais componentes foram mais afetados pelos manejos agrícolas que promoveram diferenças na produtividade de grãos. No entanto, em alguns casos, como no presente estudo, o manejo agrícola não afetou significativamente os componentes da produtividade. Desta forma, ressalta-se que a produtividade da soja é dada pela interação entre todos os componentes do rendimento e que a similaridade dos mesmos frente aos tratamentos aplicados nem sempre significa similaridade na produtividade de grãos.

4.7 CONCLUSÃO

O consórcio de milho com *Urochloa ruziziensis* eleva a produtividade de palha e a ciclagem de N no outono inverno, assim como aumentou a produtividade de grãos da soja cultivada em sucessão.

A densidade de plantas de milho aumenta a produtividade de palha na segunda safra, sem efeito no desempenho da soja cultivada em sucessão.

A adubação nitrogenada de cobertura no milho segunda safra aumenta a produtividade da soja cultivada em sucessão, independentemente do consórcio do milho com braquiária e da densidade de plantas de milho.

5 ARTIGO 3: DENSIDADE DE PLANTAS, ADUBAÇÃO NITROGENADA E CONSÓRCIO DO MILHO SEGUNDA SAFRA COM *Urochloa ruziziensis*: III. PRODUTIVIDADE DE ÓLEO E PROTEÍNA E LUCRATIVIDADE DO SISTEMA DE SUCESSÃO MILHO/SOJA

5.1 RESUMO

A quantificação das produtividades de óleo e proteína e da lucratividade é importante para determinar a viabilidade de sistemas de produção agropecuários. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar o impacto do consórcio de milho segunda safra com *Urochloa ruziziensis*, da adubação nitrogenada no milho e da densidade de plantas de milho sobre a produtividade de óleo e proteína e da lucratividade no sistema milho segunda safra/soja. O experimento foi conduzido a campo, por duas safras. Foram investigadas duas modalidades de cultivo (milho cultivado solteiro e em consórcio com *U. ruziziensis*), adubação nitrogenada de cobertura no milho (0 e 80 kg N ha⁻¹) e densidade de plantas de milho (40, 60, 80 e 100 mil plantas de milho ha⁻¹). A produtividade de proteína no milho, a produtividade de óleo e proteína na soja, a receita bruta, custos operacionais e lucratividade do sistema foram quantificados. A adubação nitrogenada no milho elevou em 8,4% a produtividade de proteína do milho e em 4% a produtividade de proteína e óleo da soja, na média das safras. O consórcio com *U. ruziziensis* reduziu em 9,5% a produtividade de proteína do milho. Contudo, quando se considerou a produtividade de proteína da soja e do milho somados, o consórcio não afetou a produtividade de proteínas acumulada pelo sistema. Embora apresente um maior custo operacional em relação ao milho solteiro, o consórcio de milho com *U. ruziziensis* não afetou a lucratividade do sistema. A adubação nitrogenada no milho aumentou em 601 R\$ ha⁻¹ no lucro acumulado no sistema, em relação a ausência da cobertura nitrogenada no milho. A máxima lucratividade acumulada no sistema foi observada na densidade de 93 mil plantas ha⁻¹ de milho.

Palavras chave: *Zea mays*, Custos de produção, Análise econômica, Agricultura sustentável.

5.2 ABSTRACT

The quantification of oil and protein productivity and profitability is important to determine the viability of production systems. This work was carried aiming to evaluate the impact of intercropping maize second crop with *Urochloa ruziziensis*, nitrogen fertilization in maize and maize plant density on oil and protein productivity and profitability in the soybean/maize second crop system. The experiment was set in the field, during two growing seasons. Two types of maize cropping systems were investigated (maize grown single and intercropped with *U. ruziziensis*), nitrogen top-dress fertilization in maize (0 and 80 kg N ha⁻¹) and density of maize plants (40, 60, 80 and 100 thousand maize plants ha⁻¹). Maize protein yield, soybean oil and protein yield, gross revenue, operating costs and system profitability were quantified. Nitrogen fertilization in maize increased 8.4% the productivity of maize proteins and 4% the productivity of soybean protein and oil, on the average of the growing seasons. The intercropping with *U. ruziziensis* reduced 9.5% maize protein yield. However, when the soybean and maize protein yields were assessed together, the intercropping did not affect the protein yield accumulated by the system. Although it presents higher operational cost in relation to single maize, the intercropping of maize with *U. ruziziensis* did not affect the profitability of the system. Nitrogen fertilization in maize provided an increase of 601 R\$ ha⁻¹ of accumulated profit in the system, in relation to the lack of N top-dressing. The maximum accumulated profitability in the system was registered in the density of 93 thousand maize plants ha⁻¹.

Keywords: *Zea mays*, Production costs, Economic analysis, Sustainable agriculture.

5.3 INTRODUÇÃO

Até 2050 será necessário um aumento de 60% na produção de alimentos para suprir a demanda da crescente população mundial (FAO, 2015). Diferentes alterações no manejo e nas características climáticas, como rotação de cultura, adubação nitrogenada, temperatura do ar e disponibilidade hídrica, afetam a produtividade e a composição de óleo e proteína dos grãos (ASSEFA et al., 2019). O milho e a soja desempenham papel de suma importância na elevação da oferta de óleo e proteína para o mundo (AWIKA, 2011; HARTMAN; WEST; HERMAN, 2011). No entanto, as demandas da sociedade vão além da maior oferta de alimentos. É necessário que as melhorias nos índices de produtividade sejam feitas visando um modelo de agricultura sustentável, com viabilidade econômica e com a conservação dos recursos naturais (VELTEN et al., 2015).

No Brasil, a sucessão milho segunda safra/soja é o principal sistema de produção de grãos (NÓIA JUNIOR; SENTELHAS, 2019). O consórcio do milho segunda safra com plantas de cobertura, como a braquiária, é uma alternativa promissora para elevar a quantidade de palha e a ciclagem de nutrientes no Sistema Plantio Direto (SPD) (BARDUCCI et al., 2009; BAPTISTELLA et al., 2020; DE MENDONÇA et al., 2015; MAKINO et al., 2019). Por sua vez, a adubação nitrogenada no milho segunda safra, além de aumentar a produtividade de palha, desempenha importante papel para o equilíbrio do balanço de nitrogênio (N) no sistema (COELHO et al., 2022), evitando a degradação ambiental e produtiva, pela manutenção ou elevação dos teores de matéria orgânica ao longo do tempo e os teores de N total e mineral do solo (LADHA et al., 2011; DUAN et al., 2019). Outra prática de manejo relevante no sistema milho segunda safra/soja é o ajuste da densidade de plantas do cereal, pois influencia no desempenho da cultura e na produtividade de biomassa de raízes e de palha, tanto em cultivo solteiro quanto consorciado (YOUNGERMAN et al., 2018). A resposta em produtividade de palha, raízes e grãos à adubação nitrogenada pode ser maximizada pelo aumento da densidade de plantas de milho (SCHWALBERT et al., 2018). Desta forma, o desempenho agrônomico e econômico do milho e das culturas cultivadas em sucessão pode ser modificado por essas estratégias de manejo.

Os benefícios ambientais têm estimulado pesquisadores a defenderem que o consórcio de culturas é a nova revolução verde (MARTIN-GUAY et al., 2018). Porém, os benefícios ambientais do consórcio de milho com braquiária (BAPTISTELLA et al., 2020) têm sido frequentemente desconsiderados pelos agricultores, pois a inserção da braquiária em consórcio pode reduzir a produtividade do milho (MINGOTTE et al., 2021) e aumentar os custos operacionais. Além disto, a menor resposta a adubação nitrogenada no milho segunda safra, associada aos elevados custos deste insumo, por vezes tem estimulado produtores a reduzirem a aplicação de N nos últimos anos (SAPUCAY et al., 2020). Por outro lado, o consórcio com braquiárias e a adubação nitrogenada podem trazer benefícios à soja cultivada em sucessão (COSTA et al., 2021; GARBELINI et al., 2020; TANAKA et al., 2019). Assim, é importante quantificar o impacto destas práticas na produtividade de óleo e proteína, bem como na eficiência econômica do sistema como um todo, e não de forma isolada em cada cultura, para a real avaliação da viabilidade destas técnicas de manejo.

Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar o impacto do consórcio de milho segunda safra com *Urochloa ruziziensis*, da adubação nitrogenada no milho e da densidade de plantas de milho sobre a produtividade de óleo e proteína e da lucratividade no sistema milho segunda safra/soja.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

5.4.1 Caracterização da Área Experimental

O experimento foi conduzido a campo, nas safras 2018/19 e 2019/20, em Londrina, PR (23°11'57" sul, 51°10'40" oeste, com altitude média de 585 m). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distroférico com textura muito argilosa (EMBRAPA, 2018), apresentando os seguintes atributos químicos: carbono orgânico total: 18,11 g dm⁻³; pH em CaCl₂: 5,11; Ca, 3,7 cmol_c dm⁻³; Mg: 1,87 cmol_c dm⁻³; Al: 0,0 cmol_c dm⁻³; K: 0,39 cmol_c dm⁻³; P (Mehlich 1): 28,82 mg dm⁻³; CTC: 11,11 cmol_c dm⁻³ e saturação por bases de 53,65%. De acordo com a classificação de Koppen, o clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes e geadas pouco frequentes.

5.4.2 Delineamento experimental

O experimento foi implantado a campo, no delineamento experimental de blocos completos casualizados, em esquema de parcelas sub-subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas principais foram alocadas duas modalidades de cultivo, milho solteiro e consorciado com *U. ruziziensis*. Nas subparcelas foram avaliadas duas doses de N em cobertura, 0 e 80 kg ha⁻¹ de N. Nas sub-subparcelas foram avaliadas quatro densidades de plantas de milho, 40, 60, 80 e 100 mil plantas ha⁻¹. O tamanho das sub-subparcelas foi de 5 x 8 m (40 m²) e área útil de 3,2 x 6 m (19,2 m²).

5.4.3 Implantação e condução do experimento

A adubação de base do milho foi composta por 25 kg ha⁻¹ de N, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 80 kg ha⁻¹ de K₂O, para obtenção de tetos produtivos de 10 Mg ha⁻¹. Estas doses foram definidas seguindo as recomendações do Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (NEPAR-SBCS, 2017) e os valores da análise de solo.

A semeadura do híbrido simples de milho AG9050 PRO3 foi realizada após a colheita da soja, com a utilização de uma semeadora-adubadora com mecanismo sulcador do tipo guilhotina para abertura das linhas e posicionamento do adubo. Foram utilizadas semeadoras manuais, depositando-se três sementes por cova nas linhas previamente riscadas. A braquiária foi implantada na entrelinha do milho (42,5 cm das linhas do milho), sem adubação. Para a implantação da braquiária foi utilizado o sistema de caixa dosadora de semente miúda e discos duplos defasados, regulado para a deposição de oito quilos de sementes ha⁻¹. Quando as plantas estavam em V2, foi feito o desbaste para ajustar a densidade de plantas ao valor almejado.

O controle de plantas daninhas no milho foi feito em duas épocas. A primeira foi em pré semeadura com a aplicação do herbicida glifosato (1,5 kg e. a. ha⁻¹). O segundo controle foi efetivado quando as plantas estavam em V3, com a aplicação de 1,75 kg i.a. ha⁻¹ de atrazina. Foi aplicado em V3 e V6 o inseticida zeta-cipermetrina 105 g i.a. ha⁻¹ (piretróide), para o controle de percevejos.

A semeadura da soja foi realizada após a dessecação da área, com glifosato na dose de 2 kg e.a. ha⁻¹. Utilizou-se uma semeadora-adubadora com mecanismos

sulcadores do tipo guilhotina para deposição do adubo, e discos duplos defasados para a semente, regulada para 300 mil sementes de soja ha^{-1} , com espaçamento de 0,45 m entre linhas. Foi utilizada a cultivar BRS 1003 IPRO, que possui tipo de crescimento indeterminado, grupo de maturidade relativa de 6.3 e arquitetura compacta de plantas. A adubação de base da soja foi composta por 70 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 72 kg ha^{-1} de K_2O , conforme análise química do solo e as recomendações nutricionais da cultura (NEPAR-SBCS, 2017). As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* no dia da semeadura. O manejo de plantas daninhas, pragas e doenças foi semelhante em toda a área experimental e seguiu as recomendações técnicas para a cultura da soja (EMBRAPA, 2011).

5.4.4 Análise de produtividade de óleo e proteína

A colheita do milho foi feita manualmente quando a umidade dos grãos estava entre 20 e 25% de umidade. Após a trilha os grãos foram pesados para a determinação da produtividade de grãos, expressa em kg ha^{-1} na umidade padrão de 13%. Para a soja a produtividade de grãos foi determinada pela colheita de três linhas de oito metros de comprimento em cada unidade experimental, sendo a massa de grãos corrigida para 13% de umidade e convertida para kg ha^{-1} .

O teor de N nos grãos de milho foi determinado após digestão sulfúrica pelo método Kjeldhal (EMBRAPA, 1997). Considerou-se que há 5,68 kg de proteína bruta nos grãos de milho para cada kg^{-1} de N (SRIPERM et al., 2011). Multiplicou-se a produtividade de grãos de milho pelo teor de N nos grãos e pelo fator 5,68 (SRIPERM et al., 2011) para a obtenção da produtividade de proteína, expressa em kg ha^{-1} .

As concentrações de óleo e proteína na soja foram determinadas por espectroscopia FT-NIR, em grãos inteiros e limpos, seguindo metodologia descrita por Heil (2010). As produtividades de óleo e proteína, expressas em kg ha^{-1} , foram calculadas multiplicando a produtividade de grãos de soja pelas respectivas concentrações de óleo e proteína presentes nos grãos.

5.4.5 Análise econômica

A análise econômica de cada unidade experimental foi feita considerando os valores de mercado em cada safra em estudo (CONAB, 2021a; CONAB, 2021b;

CONAB, 2021c; CEPEA-ESALQ, 2021a; CEPEA-ESALQ, 2021b). Estes valores estão apresentados na Tabela 1, para o milho, e Tabela 2, para a soja.

Tabela 1 — Resumo da análise econômica, custos de produção e valores de mercado para as safras de milho 2018 e 2019, em Londrina, PR (CONAB, 2021a; CONAB, 2021b; CONAB, 2021c; CEPEA-ESALQ, 2021a; CEPEA-ESALQ, 2021b).

Discriminação	Unidade	2018	2019
I - DESPESAS DE CUSTEIO DA LAVOURA			
1 - Operação com máquinas:			
1.1- Tratores	R\$ ha ⁻¹	177,62	214,23
1.2 Colheita	R\$ saca ⁻¹ de grãos	0,88	0,97
2. Mão-de-obra	R\$ ha ⁻¹	108,10	8,51
3. Administração	R\$ ha ⁻¹	93,80	154,00
4. Fertilizantes			
4.1 Adubação de base	R\$ ha ⁻¹	501,60	716,00
4.2 Nitrogênio em cobertura (fonte nitrato de amônio)	R\$ kg ⁻¹ de N	3,92	5,25
5. Agroquímicos	R\$ ha ⁻¹	334,85	363,84
6. Sementes			
6.2 Sementes de milho	R\$ mil planta ⁻¹	11,11	9,44
6.2 Sementes de <i>Urochloa ruziziensis</i>	R\$ kg ⁻¹ de semente	16,60	12,00
II - OUTRAS DESPESAS			
7. Transporte externo	R\$ Mg ⁻¹ de grãos	1,80	1,94
8. Despesas Administrativas	R\$ ha ⁻¹	49,41	61,21
9. Despesas de armazenagem	R\$ ha ⁻¹	140,57	122,36
10. Seguridade Social Rural	R\$ ha ⁻¹	38,29	41,80
III - DESPESAS FINANCEIRAS			
11- Juros do Financiamento	R\$ ha ⁻¹	68,80	74,30
IV - DEPRECIACÕES			
12. Depreciação de benfeitorias/instalações	R\$ ha ⁻¹	5,81	10,58
13. Depreciação de implementos	R\$ ha ⁻¹	116,11	125,77
14. Depreciação de máquinas	R\$ ha ⁻¹	61,60	113,39
V - OUTROS CUSTOS FIXOS			
15. Manutenção periódica de benfeitorias/instalações	R\$ ha ⁻¹	32,63	65,89
16. Encargos sociais	R\$ ha ⁻¹	42,76	70,21
17. Seguro do capital fixo	R\$ ha ⁻¹	9,45	13,35
CUSTO OPERACIONAL = I+II+III+IV+V			
VI- RECEITA			
18. Valor médio anual da saca de milho após a colheita (01/ago-31/jul)	R\$ saca ⁻¹	37,31	46,55
RECEITA BRUTA= VI * produtividade de grãos (sacas ha⁻¹)			
LUCRO= RECEITA BRUTA -CUSTO OPERACIONAL			

Tabela 2 — Resumo da análise econômica, custos de produção e valores de mercado para as safras de soja 2018/19 e 2019/20, em Londrina, PR (CONAB, 2021a; CONAB, 2021b; CONAB, 2021c; CEPEA-ESALQ, 2021a; CEPEA-ESALQ, 2021b).

Discriminação	Unidade	2018/19	2019/20
I - DESPESAS DE CUSTEIO DA LAVOURA			
1 - Operação com máquinas:			
1.1- Tratores	R\$ ha ⁻¹	243,31	306,85
1.2 Colheita	R\$ saca ⁻¹ de grãos	2,18	2,44
2. Mão-de-obra	R\$ ha ⁻¹	279,09	280,00
3. Administração	R\$ ha ⁻¹	160,80	154,00
4. Fertilizantes	R\$ ha ⁻¹	330,00	530,31
5. Agroquímicos	R\$ ha ⁻¹	710,54	781,89
6. Sementes	R\$ ha ⁻¹	355,91	404,42
II - OUTRAS DESPESAS			
7. Transporte externo	R\$ saca ⁻¹ de grãos	1,67	1,86
8. Despesas administrativas	R\$ ha ⁻¹	64,64	70,00
9. Despesas de armazenagem	R\$ ha ⁻¹	104,51	81,67
10. Seguridade social rural	R\$ ha ⁻¹	62,44	61,18
III - DESPESAS FINANCEIRAS			
11- Juros do financiamento	R\$ ha ⁻¹	60,21	83,69
IV - DEPRECIACÕES			
12. Depreciação de benfeitorias/instalações	R\$ ha ⁻¹	68,92	201,34
13. Depreciação de implementos	R\$ ha ⁻¹	177,06	204,95
14. Depreciação de máquinas	R\$ ha ⁻¹	90,34	129,23
V - OUTROS CUSTOS FIXOS			
15. Manutenção periódica benfeitorias/instalações	R\$ ha ⁻¹	27,19	65,89
16. Encargos sociais	R\$ ha ⁻¹	73,31	70,21
17. Seguro do capital fixo	R\$ ha ⁻¹	13,59	14,41
CUSTO OPERACIONAL = I+II+III+IV+V			
VI- RECEITA			
18. Valor médio anual da saca de soja após a colheita (01/mar-28/fev)	R\$ saca ⁻¹	78,39	128,55
RECEITA BRUTA= VI * produtividade de grãos (sacas ha⁻¹)			
LUCRO= RECEITA BRUTA -CUSTO OPERACIONAL			

Para calcular a receita bruta multiplicou-se a produtividade de grãos por hectare pelo preço médio anual pago ao produtor, em cada safra. Para compor a média anual foi utilizado o valor médio diário da colheita da safra atual até a colheita da safra subsequente, considerando o período de 01 de agosto a 31 de julho, para o

milho, e 01 de março a 28 de fevereiro, para a soja. Para calcular o custo operacional de produção foram considerados os custos com insumos, transporte, impostos e operações agrícolas, bem como os custos indiretos, que se referem às despesas com administração e gestão da propriedade. Para calcular o lucro foram deduzidos da receita os custos operacionais totais.

Quando o modelo quadrático apresentou o melhor ajuste para descrever a resposta em lucratividade das culturas e sistemas em função da densidade de semeadura, a lucratividade máxima da curva de resposta foi considerada a Taxa de semeadura ótima econômica (EOSR). A EOSR foi calculada como:

$$EOSR \text{ (mil sementes } ha^{-1}) = -\frac{b}{2a}$$

onde “b” é o coeficiente linear e “a” é o coeficiente quadrático da equação quadrática.

5.4.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e à homogeneidade de variâncias (Hartley). Em seguida, eles foram submetidos à análise de variância pelo Teste F ($p \leq 0,05$). Quando significativos, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey e por análise de regressão polinomial, ao nível de significância de 5% ($P \leq 0,05$).

5.5 RESULTADOS

5.5.1 Produtividade de proteína do milho

O consórcio com braquiária e a interação entre densidade de plantas de milho e adubação nitrogenada afetaram a produtividade de proteína do milho (Apêndice H). O consórcio com braquiária reduziu a produtividade de proteína em 7,7% na safra 2018 (Figura 13 C) e 10,9% na safra 2019 (Figura 13 D).

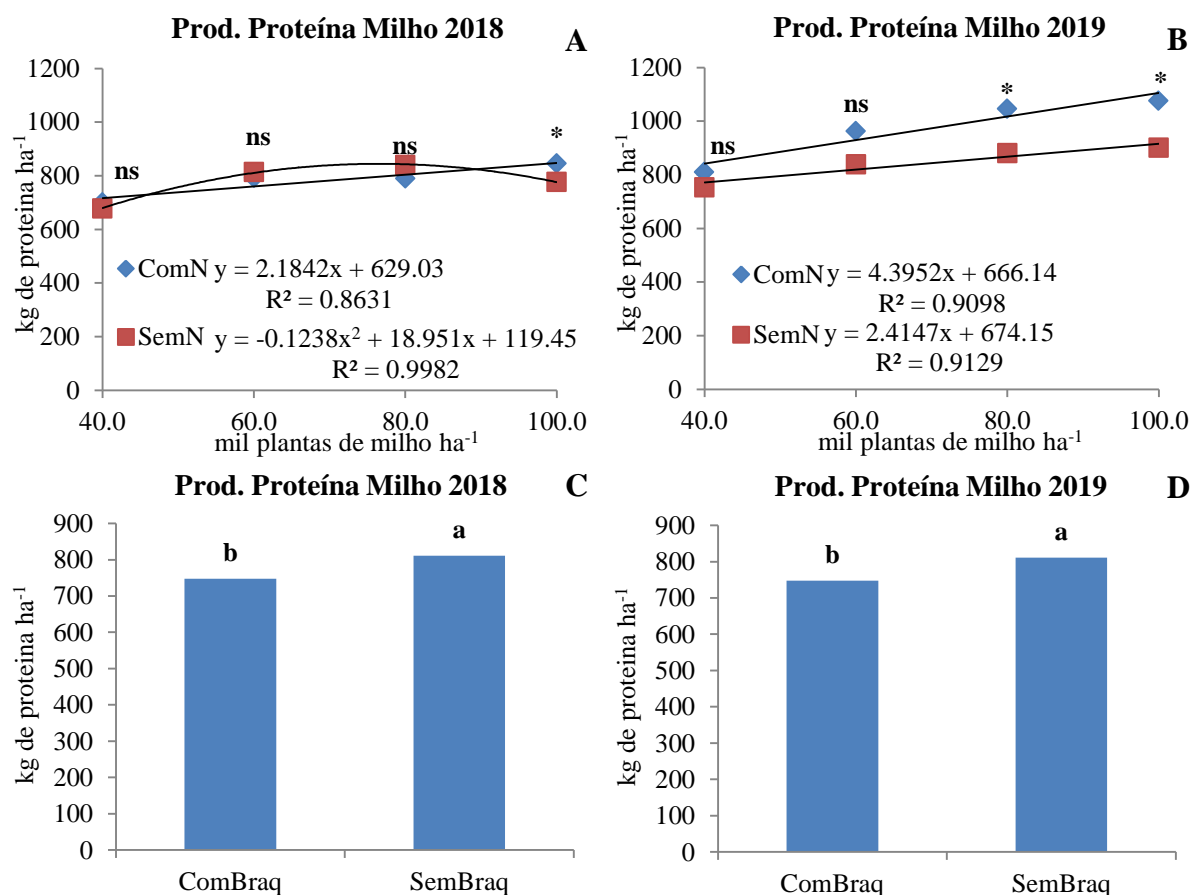
Na safra 2018, quando o milho recebeu adubação nitrogenada em cobertura a produtividade de proteína aumentou linearmente à medida que se elevou a densidade de plantas, a uma taxa de 2,2 kg de proteína a cada mil plantas ha^{-1} de

aumento na densidade de plantas (Figura 13 A). O milho que recebeu adubação nitrogenada apresentou um acréscimo de 69 kg ha^{-1} na produtividade de proteína na densidade de 100 mil plantas ha^{-1} , em relação ao milho que não recebeu N.

Na safra 2019, a produtividade de proteína do milho também aumentou linearmente à medida que se elevou a densidade de plantas de milho, com taxa de 4,4 e $2,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de proteína a cada mil plantas ha^{-1} de aumento na densidade, para o milho que recebeu adubação nitrogenada e que não recebeu, respectivamente (Figura 13 B). À medida que aumentou a densidade de plantas de milho, maior foi a diferença observada de produtividade de proteína, entre o milho que recebeu e não recebeu N. O milho que recebeu N em cobertura teve maior produtividade de proteína na densidade mais alta.

Figura 13 — Produtividade de proteínas de milho em função da densidade de plantas de milho e adubação nitrogenada na safra 2018 (A), 2019 (B). Produtividade de proteínas de milho em função do consórcio de milho com braquiária na safra 2018 (C), 2019 (D). *Médias diferem aplicação de N pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Londrina,

PR.



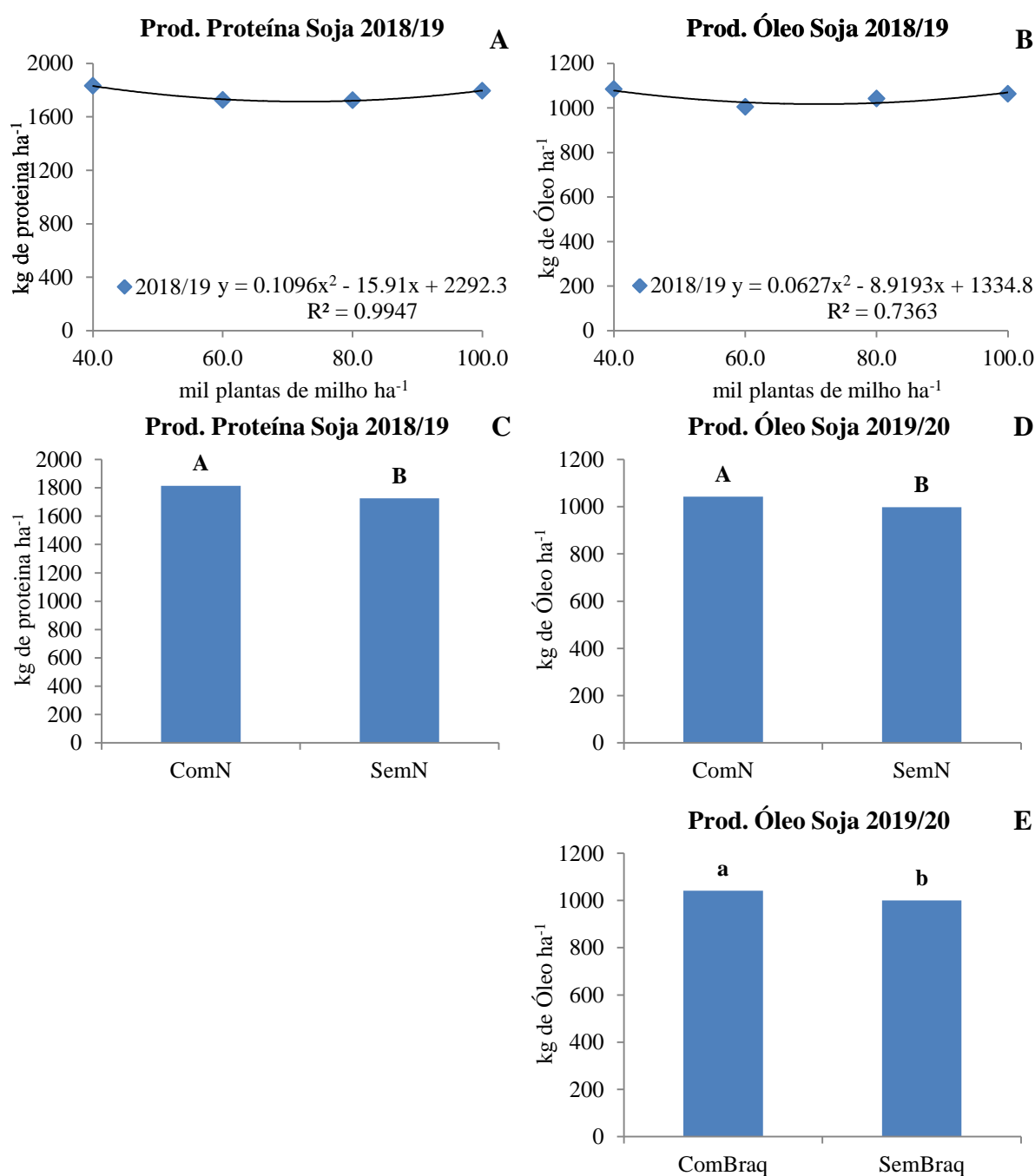
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

5.5.2 Produtividade de proteína e óleo da soja

Na safra 2018/19, a produtividade de óleo e proteína da soja foi afetada pela densidade de plantas de milho (Apêndice H). As produtividades de proteína (Figura 14 A) e de óleo (Figura 14 B) da soja apresentaram resposta quadrática à densidade de plantas de milho, com baixa magnitude de interferência. Houve maior produtividade de proteína e de óleo nas densidades de 40 e 100 mil plantas de milho ha⁻¹.

A soja cultivada após o milho que recebeu N em cobertura elevou a produtividade de proteína em 5,2% na safra 2018/19 (Figura 14 C) e 4,5% na produtividade de óleo em 2019/20 (Figura 14 D), em relação à soja cultivada após o milho que não recebeu N. Na safra 2019/20, o consórcio de milho com braquiária aumentou a produtividade de óleo da soja cultivada em sucessão em 4,1% (Figura 14 E).

Figura 14 — Produtividade de proteína (A) e de óleo (B) da soja em função da densidade de plantas de milho na safra 2018/19. Produtividade de proteína em função da adubação nitrogenada no milho, na safra 2018/19 (C). Produtividade de óleo da soja em função da adubação nitrogenada (D), e consórcio de braquiária com milho (E), na safra 2019/20. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas para adubação nitrogenada e minúsculas para consórcio diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Londrina, PR.

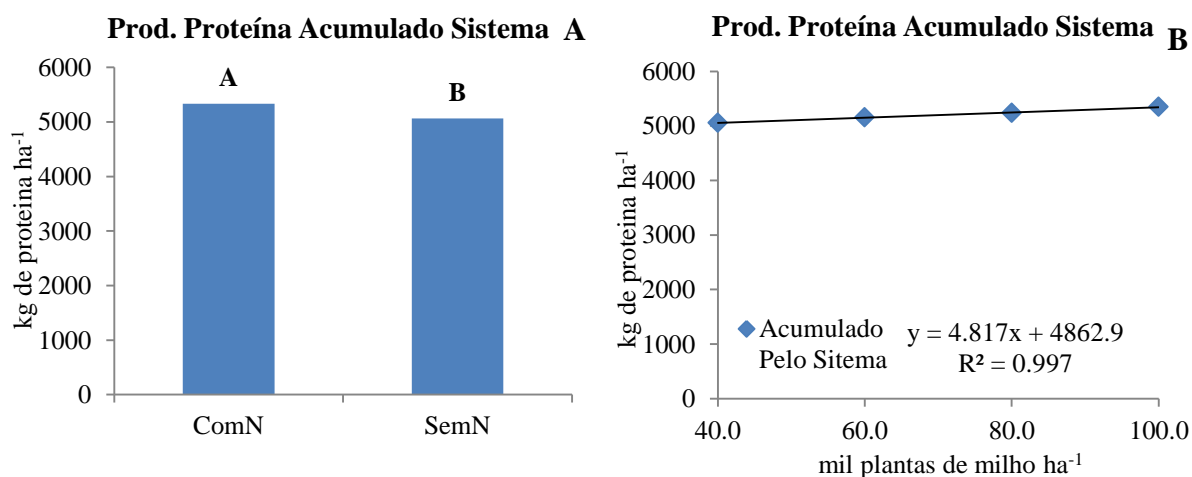


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

5.5.3 Produtividade de proteína do sistema

Ao somar a produtividade de proteína da soja e do milho obtida nas duas safras, observou-se que a produtividade de proteína acumulada no sistema foi 5,4% maior quando se utilizou N em cobertura no milho (Figura 15 A). A produtividade de proteína acumulada pelo sistema aumentou linearmente a uma taxa de 4,8 kg de proteína a cada mil plantas ha^{-1} de aumento na densidade de plantas de milho (Figura 15 B).

Figura 15 — Produtividade de proteínas do sistema (milho+soja) acumulado em duas safras, em função da adubação nitrogenada no milho (A), e em função da densidade de plantas de milho (B). Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Londrina, PR.



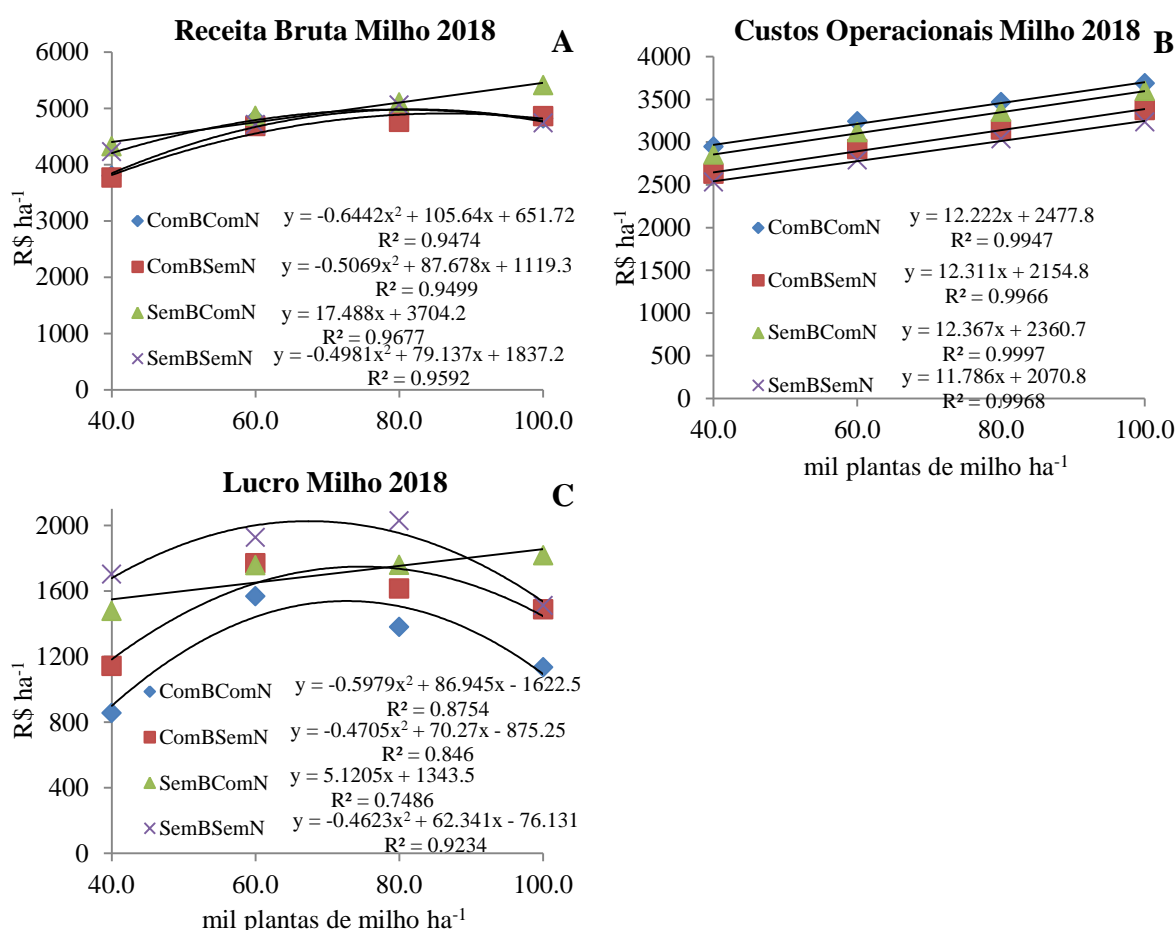
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

5.5.4 Desempenho econômico do milho

Na safra 2018, a receita bruta, os custos operacionais e a lucratividade do milho foram afetados pela interação tripla entre consórcio com braquiária, adubação nitrogenada e densidade de plantas de milho (Apêndice I). Houve aumento quadrático da receita bruta do milho com o incremento da densidade de plantas quando o milho foi consorciado com braquiária, com ou sem N, e quando solteiro sem adubação nitrogenada (Figura 16 A). No cultivado solteiro com adubação nitrogenada, a receita bruta aumentou de forma linear com o acréscimo da densidade de plantas.

Os custos operacionais do milho na safra 2018 responderam de forma linear ao aumento da densidade de semeadura, a taxas de 12,2, 13,3, 12,4 e 11,8 R\$ ha⁻¹ para o milho cultivado em consórcio com N, em consórcio sem N, solteiro com N e solteiro sem N, respectivamente (Figura 16 B). Em todas as densidades estudadas os custos operacionais do milho foram maiores quando se utilizou adubação nitrogenada (Média= 324 R\$ ha⁻¹), ou quando o milho foi cultivado consorciado com braquiária (Média= 114 R\$ ha⁻¹).

Figura 16 — Receita bruta (A), custos operacionais (B), e lucro (C) do milho em função da densidade de plantas de milho, adubação nitrogenada e consórcio com braquiária na safra 2018. Londrina, PR.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Na safra 2018, à medida que se aumentou a densidade de plantas houve um incremento quadrático na lucratividade do milho, com ponto de máxima teórico de 1.538 R\$ ha⁻¹ na densidade de 73 mil plantas ha⁻¹, 1.748 R\$ ha⁻¹ na densidade de

75 mil plantas ha^{-1} , e 2.025 R\$ ha^{-1} na densidade de 67 mil plantas ha^{-1} , para o milho cultivado em consórcio com N, em consórcio sem N e solteiro sem N, respectivamente (Figura 16 C). O milho cultivado solteiro com adubação nitrogenada apresentou resposta linear ao incremento da densidade de plantas, com lucratividade estimada pela equação de 1.856 R\$ ha^{-1} na densidade de 100 mil plantas ha^{-1} .

Na safra 2019, a interação entre adubação nitrogenada e densidade de plantas de milho afetou a receita bruta, os custos operacionais e a lucratividade do milho (Apêndice I). Quando se utilizou adubação nitrogenada, a receita bruta do milho aumentou linearmente a medida que se elevou a densidade de plantas, a uma taxa de 47 R\$ ha^{-1} para cada mil plantas de aumento na densidade (Figura 17 A). Quando não se utilizou N em cobertura, a receita bruta do milho respondeu de forma quadrática à elevação da densidade de plantas. A adubação nitrogenada aumentou a receita bruta do milho em 2019, o que se acentuou com o aumento da densidade de plantas. Na densidade de 40 mil plantas ha^{-1} o milho que recebeu N apresentou um acréscimo de receita de 295 R\$ ha^{-1} . Já na densidade de 100 mil plantas ha^{-1} o aumento na receita decorrente da utilização de N foi de 1108 R\$ ha^{-1} .

Os custos operacionais do milho em 2019 se elevaram de forma linear a medida que aumentou a densidade de plantas de milho, com taxas de 12,4 e 11,6 R\$ ha^{-1} a cada mil plantas ha^{-1} de aumento na densidade de plantas, para o milho cultivado com e sem N (Figura 17 B). Em todas as densidades estudadas os custos operacionais do milho foram maiores quando se utilizou adubação nitrogenada (média= 462 R\$ ha^{-1}).

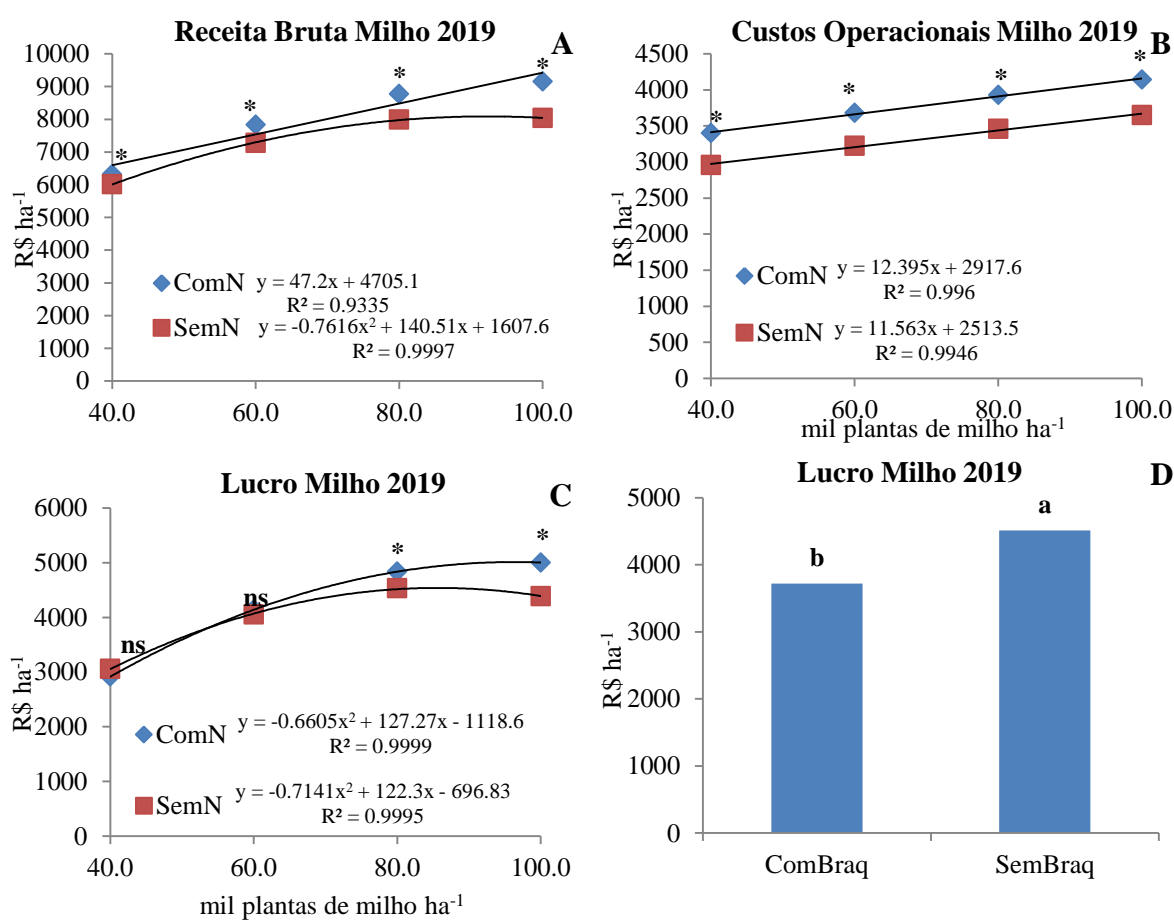
A lucratividade do milho em 2019 aumentou de forma quadrática à medida que se elevou a densidade de plantas de milho (Figura 17 C). O ponto de máxima teórico foi de 5.012 R\$ ha^{-1} com a densidade de 96 mil plantas ha^{-1} e 4.539 R\$ ha^{-1} com a densidade de 86 mil plantas ha^{-1} , para o milho cultivado com e sem N, respectivamente. A contribuição da adubação nitrogenada para a lucratividade do milho se acentuou a medida que aumentou a densidade de plantas de milho, com diferenças significativas observadas nas populações de 80 e 100 mil plantas ha^{-1} .

Na safra 2019, o consórcio com braquiária afetou a receita bruta, os custos operacionais e a lucratividade do milho (Apêndice I). O consórcio com braquiária

reduziu a receita do milho em 746 R\$ ha⁻¹, elevando os custos operacionais em 50 R\$ ha⁻¹, acarretando em uma redução na lucratividade do milho em 2019 de 795 R\$ ha⁻¹ (Figura 17 D).

Figura 17 — Receita bruta (A), custos operacionais (B) e lucro (C) do milho em função da densidade de plantas de milho e adubação nitrogenada na safra 2019.

Lucro do milho em função do consórcio de milho com braquiária (D). *Médias diferem aplicação de N pelo teste de Tukey (p≤ 0.05). Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey (p≤ 0.05). Londrina, PR.



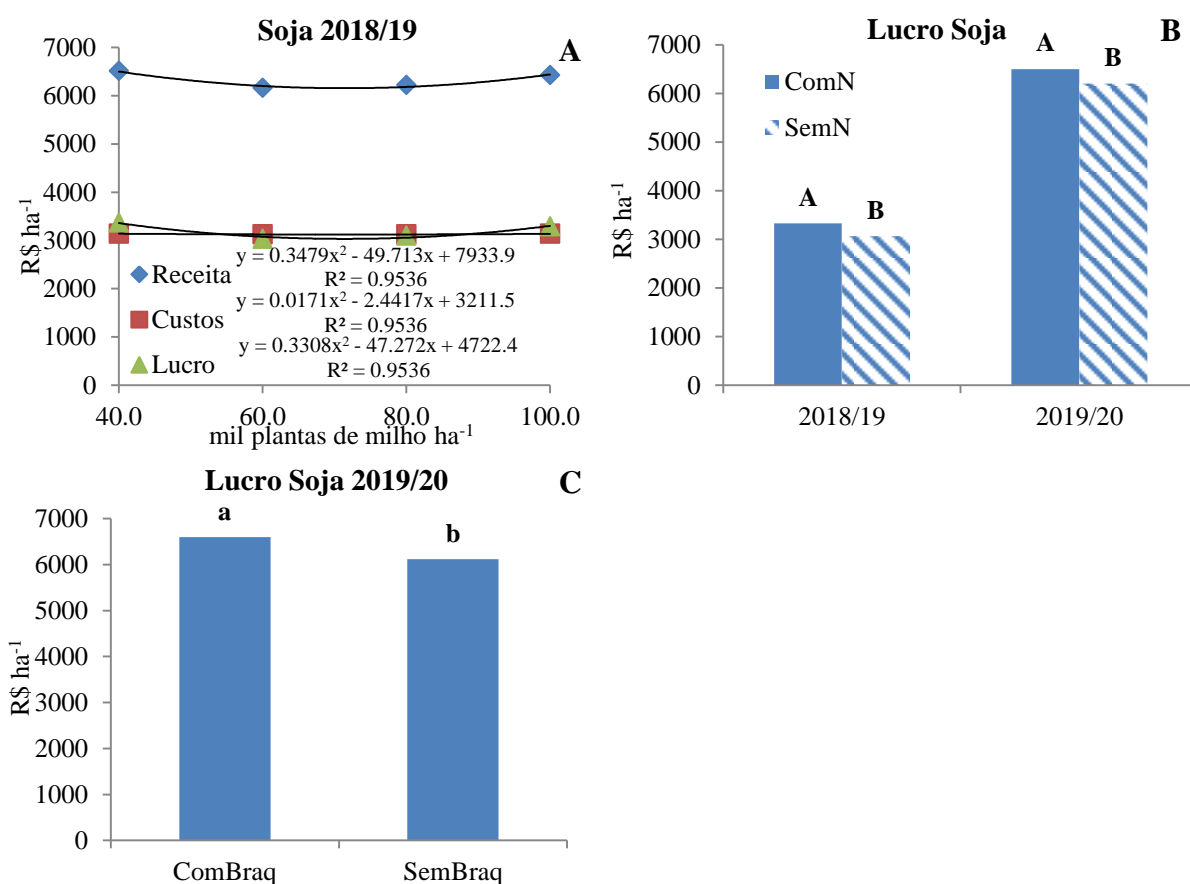
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

5.5.5 Desempenho econômico da soja em sucessão

A densidade de plantas de milho e a adubação nitrogenada no cereal afetaram a receita bruta, os custos operacionais e a lucratividade da soja na safra 2018/19 (Apêndice J). A soja cultivada após o milho em densidade próxima a 71 mil plantas ha⁻¹ de milho apresentou menor receita bruta, custos operacionais e lucratividade (Figura 18 A). A adubação nitrogenada elevou em 266 R\$ ha⁻¹ a lucratividade da soja na safra 2018/19 (Figura 18 B).

Na safra 2019/20, o consórcio de milho com braquiária e a adubação nitrogenada no cereal afetaram a receita bruta, os custos operacionais e a lucratividade da soja cultivada em sucessão (Apêndice J). A soja cultivada após o milho em consórcio com braquiária aumentou em 479 R\$ ha⁻¹ a lucratividade, em relação a soja cultivada após o milho solteiro (Figura 18 C). A adubação nitrogenada no milho elevou em 298 R\$ ha⁻¹ a lucratividade da soja na safra 2019/20 (Figura 18 B).

Figura 18 — Receita bruta, custo operacional e lucro da soja na safra 2018/19 em função da densidade de plantas de milho (A). Lucro da soja em função da adubação nitrogenada no milho na safra 2018/19 e 2019/20 (B). Lucro da soja em função do consórcio de milho com braquiária na safra 2019/20 (C). Médias seguidas por letras distintas maiúsculas para adubação nitrogenada e minúscula para consórcio diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Londrina, PR.

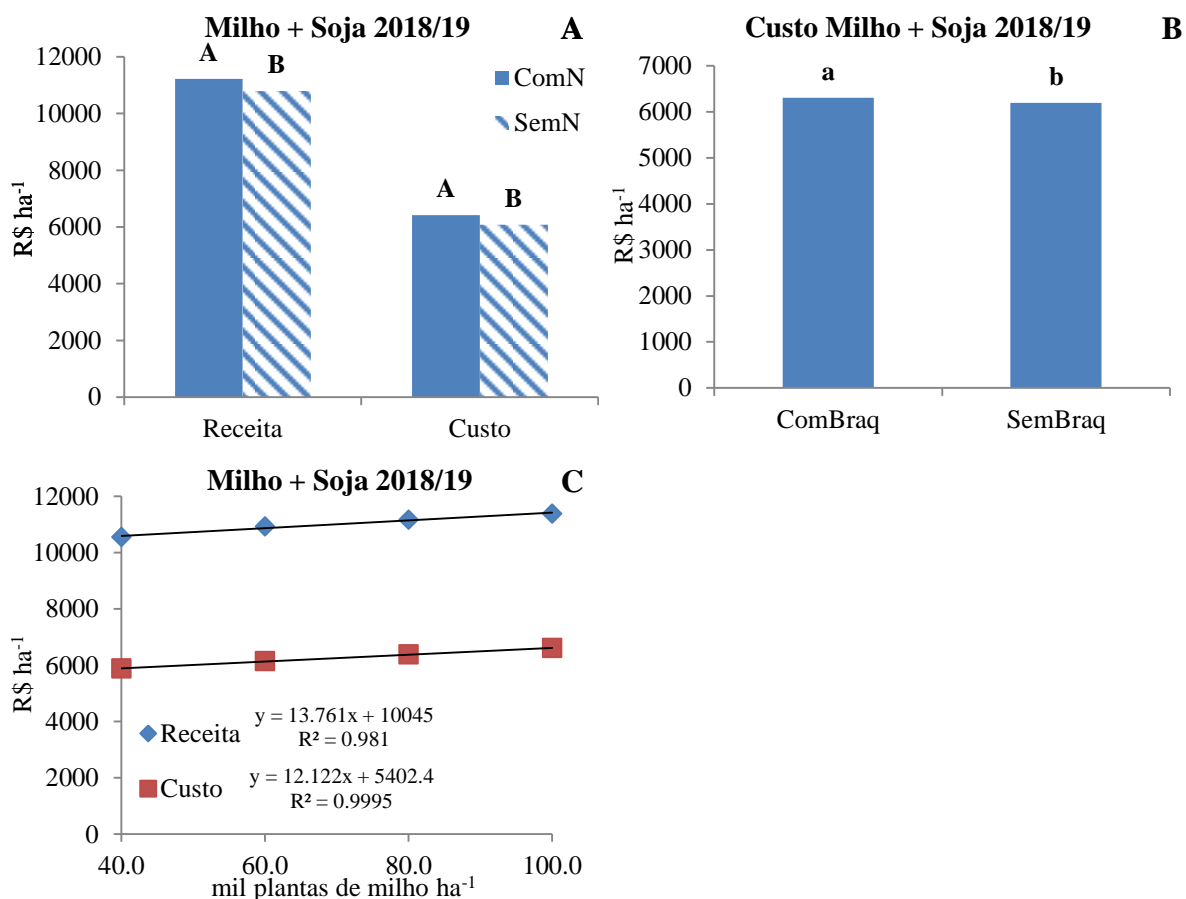


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

5.5.6 Desempenho econômico do sistema milho segunda safra/soja

O desempenho econômico do sistema milho/soja da safra 2018/19 foi obtido somando a receita bruta, os custos operacionais e a lucratividade do milho em 2018 e da soja na safra 2018/19. Para a safra 2019/20 foi feita a mesma soma, porém com o milho cultivado em 2019 e a safra 2019/20 de soja. A receita bruta do sistema na safra 2018/19 foi afetada pela densidade de plantas e adubação nitrogenada (Apêndice K). O custo operacional do sistema na safra 2018/19, foi afetado pelo consórcio, pela adubação nitrogenada e pela densidade de plantas do milho (Apêndice K). Quando utilizou adubação nitrogenada no milho aumentou a receita bruta do sistema na safra 2018/19 em 425 R\$ ha⁻¹, e os custos operacionais em 338 R\$ ha⁻¹ (Figura 19 A). Quando o milho foi cultivado em consórcio com braquiária o custo operacional do sistema foi 108 R\$ ha⁻¹ maior (Figura 19 B). À medida que aumentou a densidade de planta de milho a receita bruta do sistema em 2018/19 elevou linearmente a uma taxa de 13,8 R\$ ha⁻¹ e os custos operacionais a uma taxa 12,1 R\$ ha⁻¹ (Figura 19 C).

Figura 19 — Receita bruta e custo operacional da safra 2018/19 (milho+soja) em função da adubação nitrogenada no milho (A) e em função da densidade de plantas de milho (C). Custo operacional da safra 2018/19 (milho+soja) em função do consórcio do milho com braquiária (B). Médias seguidas por letras distintas maiúsculas para adubação nitrogenada e minúsculas para consórcio diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Londrina, PR.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

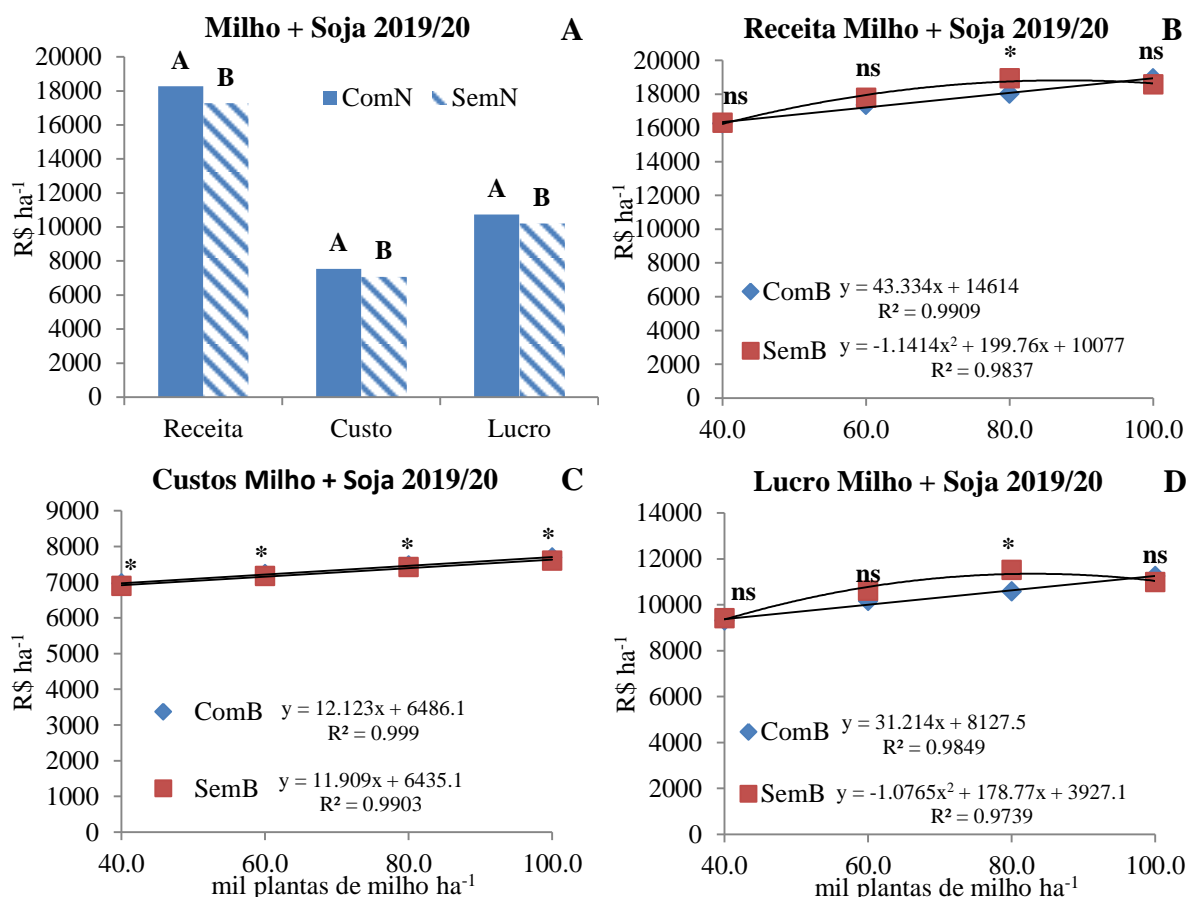
Na safra 2019/20, a adubação nitrogenada no milho e a interação entre densidade de plantas de milho e consórcio, afetaram a receita bruta, os custos operacionais e a lucratividade do sistema (Apêndice K). A adubação nitrogenada no milho elevou a receita bruta do sistema em 987 R\$ ha⁻¹, os custos operacionais em 473 R\$ ha⁻¹ e a lucratividade em 514 R\$ ha⁻¹ (Figura 20 A). À medida que aumentou a densidade de plantas do milho, a receita bruta do sistema incrementou de forma quadrática quando o milho foi cultivado solteiro, e linearmente quando o milho foi cultivado consorciado, a uma taxa de 43,3 R\$ ha⁻¹ (Figura 20 B). Os custos operacionais do sistema responderam de forma linear ao aumento da densidade de

plantas, a uma taxa de 12,1 e 11,9 R\$ ha⁻¹ quando o milho foi cultivado em consórcio, e solteiro, respectivamente (Figura 20 C). Em todas as densidades estudadas, os custos operacionais do sistema foram maiores com o consórcio de milho com braquiária (média= 66 R\$ ha⁻¹), em relação ao milho solteiro.

Na safra 2019/20, à medida que se aumentou a densidade de plantas, houve um incremento quadrático na lucratividade do sistema quando o milho foi cultivado solteiro, com ponto de máxima teórico de 11.349 R\$ ha⁻¹ na densidade de 83 mil plantas ha⁻¹ (Figura 20 D). A lucratividade do sistema em 2019/20 quando o milho foi cultivado em consórcio com braquiária apresentou resposta linear ao incremento da densidade de plantas, com lucratividade estimada pela equação de R\$ 11.249 ha⁻¹ na densidade de 100 mil plantas ha⁻¹. Na densidade de plantas de 80 mil plantas ha⁻¹, o cultivo de milho com braquiária limitou a lucratividade do milho (Figura 20 D).

Figura 20 — Receita bruta, custo operacional e lucro da safra 2019/20 (milho+soja) em função da adubação nitrogenada no milho (A). Receita bruta (B), custo operacional (C) e lucro (C), da safra 2019/20 (milho+soja) em função da densidade de plantas de milho e consórcio. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). *Médias diferem consórcio pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Londrina, PR.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

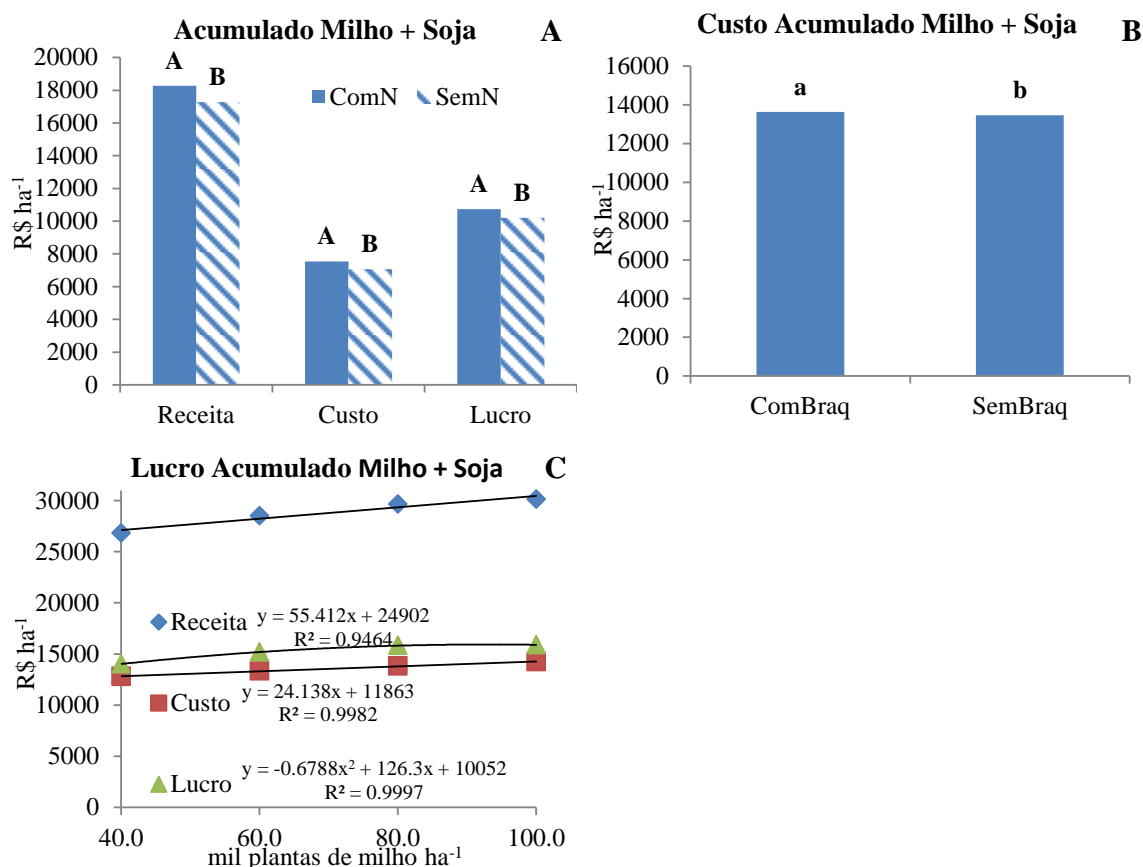
A receita bruta, os custos operacionais e a lucratividade totais acumulada pelo sistema milho/soja foram obtidos somando os indicadores econômicos do milho e da soja, nas safras 2018/19 e 2019/20. O consórcio de milho com braquiária afetou os custos operacionais acumulados no sistema (Apêndice K). Os custos operacionais acumulados no sistema nas duas safras em estudo foram 175 R\$ ha⁻¹ maiores quando o milho foi cultivado com braquiária (Figura 21 B)

A adubação nitrogenada no milho e a densidade de plantas de milho afetaram a receita bruta, os custos operacionais e a lucratividade totais acumulados do

sistema (Apêndice K). Quando utilizou adubação nitrogenada no milho aumentou a receita bruta acumulada no sistema em 1.411 R\$ ha⁻¹, os custos operacionais em 810 R\$ ha⁻¹, e a lucratividade em 601 R\$ ha⁻¹ (Figura 21 A).

À medida que se elevou a densidade de plantas de milho houve um aumento linear na receita bruta a uma taxa de 55,4 R\$ ha⁻¹, e o custos operacionais a uma taxa de 24,1 R\$ ha⁻¹, para cada mil plantas de aumento na densidade (Figura 21 C). A lucratividade acumulada no sistema respondeu de forma quadrática ao aumento da densidade de plantas, com ponto de máxima teórico de 15.927 R\$ ha⁻¹ na densidade de 93 mil plantas ha⁻¹ (Figura 21 C).

Figura 21 — Receita bruta, custo operacional e lucro do sistema (milho+soja) acumulado em duas safras, em função da adubação nitrogenada no milho (A). Custos operacionais do sistema (milho+soja) acumulado em duas safras, em função do consórcio de milho com braquiária (B). Lucro do sistema (milho+soja) acumulado em duas safras, em função da densidade de plantas de milho (C). Médias seguidas por letras distintas maiúsculas para adubação nitrogenada e minúscula para consórcio diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). Londrina, PR.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

5.6 DISCUSSÃO

5.6.1 Produtividade de óleo e proteína

Embora o aumento da densidade de plantas de milho tenha reduzido os teores de proteínas dos grãos de milho, esta estratégia de manejo aumentou a produtividade de proteínas de milho por área, em função do incremento da produtividade de grãos. A contribuição da adubação nitrogenada para o aumento da produtividade de proteína foi maximizada com o aumento da densidade de plantas de milho. Independentemente da densidade de plantas de milho, o consórcio com braquiária reduziu a produtividade de proteínas em 9,3%, na média das safras, em função da redução da produtividade do milho com a competição interespecífica com a braquiária.

A maior oferta de N no sistema pode aumentar a concentração de proteínas e óleo na soja, porém com menor impacto no teor de óleo (ROTUNDO et al., 2009; DE BORJA REIS et al., 2021). A maior produtividade de grãos da soja, em função da adubação nitrogenada no milho, elevou a produtividade de proteínas de soja em 5,2% em 2018/19. A produtividade de óleo de soja aumentou 4,5% quando a soja foi cultivada após o milho que recebeu adubação nitrogenada em 2019/20. Em 2019/20 a produtividade de proteínas da soja foi aumentada em 4,1% quando cultivada após o consórcio de milho com braquiária. Estes dados demonstram que a diversificação de cultivos, através da rotação e sucessão de culturas, tem impacto positivo na composição e produtividade de grãos de soja (BELLALLOUI et al., 2010; MOURTZINIS et al., 2017).

A produtividade de proteínas acumulada nas duas safras pelo sistema foi 272 kg de proteínas ha⁻¹ maior quando se aplicou N no milho. A produtividade de proteínas do sistema aumentou linearmente com o aumento da densidade de plantas de milho, com incremento de 294 kg de proteínas ha⁻¹, quando a densidade de plantas de milho passou de 40 para 100 mil plantas ha⁻¹. Embora o consórcio com braquiária tenha reduzido a produtividade de proteínas no milho, o aumento na produtividade de proteínas na soja cultivada em sucessão fez com que não fossem observadas diferenças na produtividade de proteínas acumulada pelo sistema, em função do consórcio com braquiária. A diversificação de cultivos proporciona melhorias na produtividade e composição nutricional do milho (RIEDEL et al., 2009)

e da soja (BELLALOUI et al., 2010). É possível que a médio e longo prazo o impacto negativo na produtividade de proteínas do milho em consórcio seja ainda mais atenuado, em função dos benefícios ambientais da diversificação biológica com a inserção da braquiária em consórcio.

5.6.2 Desempenho econômico do milho

Na safra 2018 quando não se utilizou adubação nitrogenada, a máxima lucratividade do milho foi alcançada em densidade de plantas 11% maior quando o milho foi cultivado em consórcio, em relação ao milho solteiro. Porém, quando se utilizou N em cobertura o milho em consórcio atingiu a máxima lucratividade na densidade de 67 mil plantas ha⁻¹, já o milho solteiro respondeu de forma linear ao incremento da densidade de plantas até 100 mil plantas ha⁻¹. O milho cultivado na safra 2018 teve alta limitação hídrica durante o enchimento de grãos. Possivelmente a maior eficiência de uso da água da braquiária (FREITAS et al., 2021; PETTER et al., 2013) fez com que a planta de cobertura conseguisse aproveitar melhor o N disponível neste período, elevando o potencial de competição com as plantas milho. Neste cenário, a competição intraespecífica possivelmente foi acentuada pela interespecífica. Esta limitação na lucratividade se deve a menor receita bruta do milho, consequências do déficit hídrico (Figura 16 A). Já os maiores custos operacionais foram ocasionados pela aplicação de N e a implantação do consórcio com braquiária, associado ao aumento linear nos custos operacionais como o aumento da densidade de plantas de milho (Figura 16 B).

Na safra 2019 a máxima lucratividade do milho foi alcançada em densidade de plantas 12,5% maior quando se aplicou N em cobertura em relação ao milho sem N (Figura 17 C). À medida que aumentou a densidade de plantas se acentuou os benefícios econômicos da adubação nitrogenada, com elevação da receita bruta (Figura 17 A), acarretando em maior lucratividade (Figura 17 C). Os custos com a implantação do consórcio com braquiária e a redução da receita bruta, em relação ao milho solteiro, reduziram a lucratividade do milho em 17,6% quando em consórcio (Figura 17 D).

5.6.3 Desempenho econômico da soja

A soja cultivada após o milho que recebeu adubação nitrogenada apresentou um acréscimo na lucratividade de 282 R\$ ha⁻¹ na média das safras. Na safra

2019/20, a soja cultivada após o milho consorciado com braquiária apresentou lucratividade 479 R\$ ha⁻¹ maior, em relação ao cultivo após o milho solteiro. Uma vez que o consórcio e a adubação nitrogenada foram quantificados como custos operacionais do milho, o aumento na receita bruta decorrente destas práticas de manejo, elevaram diretamente a lucratividade da soja.

5.6.4 Desempenho econômico do sistema

O sistema milho segunda safra/soja em 2018/19 apresentou maior receita bruta quando o milho recebeu adubação nitrogenada em cobertura (Figura 19 A) e elevou a receita bruta linearmente à medida que se aumentou a densidade de plantas de milho (Figura 19 C). Porém, o aumento dos custos de produção associados ao consórcio com braquiária (Figura 19 B), adubação nitrogenada (Figura 19 A), e do aumento da densidade de plantas de milho (Figura 19 C), fez com que não fosse observada diferença em lucratividade em função das técnicas de manejo estudadas. Na safra 2018/19, o milho e a soja foram afetados por limitação hídrica no enchimento de grãos. Mesmo neste cenário de limitação hídrica, o uso de adubação nitrogenada, do consórcio e o aumento da densidade de plantas do milho não afetaram negativamente a lucratividade do sistema.

Na safra 2019/20, a adubação nitrogenada no milho elevou a lucratividade do sistema em 5%, em função do aumento da receita líquida em 987 R\$ ha⁻¹ e dos custos operacionais em 473 R\$ ha⁻¹ (Figura 20 A). Quando o milho foi cultivado em consórcio a lucratividade do sistema respondeu de forma linear ao aumento da densidade de planta de milho, até 100 mil plantas ha⁻¹. Quando o milho foi cultivado solteiro a máxima lucratividade do sistema foi alcançada na densidade de 83 mil plantas ha⁻¹, onde somente nesta densidade a lucratividade do sistema foi maior com o milho solteiro, em relação ao milho consorciado na mesma densidade de plantas. Desta forma, a elevação da densidade de plantas do milho consorciado para 100 plantas ha⁻¹, foi eficiente para igualar a lucratividade com sistema com milho solteiro (Figura 20 D).

Considerando os indicadores econômicos do sistema acumulados nas duas safras, a adubação nitrogenada no milho aumentou a lucratividade acumulada no sistema em 601 R\$ ha⁻¹ nas duas safras em estudo (Figura 21 A). Este trabalho avaliou o impacto da adubação nitrogenada em curto prazo. A quantidade de N

fixada biologicamente na soja é equivalente ou inferior à quantidade exportada através dos grãos, com balanço de N próximo ao neutro (CIAMPITTI; SALVAGIOTTI, 2018; LANDRISCINI et al., 2019; SALVAGIOTTI et al., 2008). A ausência da aplicação de N no milho gera balanços negativos de N no sistema, uma vez que a cada tonelada de grãos produzidos o milho exporta 14,7 kg de N (COELHO et al., 2022). Portanto, é possível que os benefícios da adubação nitrogenada se acentuem no decorrer do tempo, em comparação a não utilização de N. A não utilização de N em cobertura no milho gera perdas econômicas, podendo conduzir o sistema a degradação ambiental e produtiva, reduzindo os teores de matéria orgânica e os teores de N total e mineral do solo ao longo do tempo (LADHA et al., 2011; DUAN et al., 2019).

Independentemente do consórcio ou adubação nitrogenada, a máxima lucratividade acumulada no sistema foi encontrada na densidade de 93 mil plantas de milho ha^{-1} (Figura 21 C). Quando aumentou a densidade de plantas de 40 para 93 mil plantas de milho ha^{-1} , a lucratividade acumulada pelo sistema nas duas safras passou de 14.024 para 15.927 R\$ ha^{-1} . Produtores de milho segunda safra, em especial no norte do Paraná, cultivam o milho segunda safra em densidades inferiores a 60 mil plantas ha^{-1} . Nesse sentido, a presente pesquisa indica que o aumento da densidade é uma prática que pode aumentar a lucratividade de sistemas com milho segunda safra, assim como já ocorreu para o milho primeira safra (SANGOI et al., 2019b).

Embora o consórcio de milho com braquiária tenha elevado os custos operacionais do sistema, quando se observa os indicativos econômicos do sistema acumulados nas duas safras (Figura 21 B), o consórcio não afetou a lucratividade do sistema produtivo. Contudo, a inserção da braquiária gera um custo de oportunidade pouco atrativo aos produtores. Ela apresenta um baixo retorno econômico sobre o capital investido nesta prática de manejo, com a ressalva que os custos operacionais do sistema acumulado em duas safras foram apenas 175 R\$ ha^{-1} maiores, em relação ao milho cultivado solteiro. A inserção da braquiária em consórcio promove uma série de vantagens ambientais, por elevar a diversidade biológica do sistema (PALM et al., 2014), aumentar a ciclagem de nutrientes (DE MENDONÇA et al., 2015; TANAKA et al., 2019; PARIZ et al., 2020), melhorar os atributos microbiológicos do solo (DE FREITAS et al., 2018) e a produtividade de palha e

raízes (BALDÉ et al., 2011; CECCON et al., 2013; SARTO et al., 2021), aumentando a entrada de carbono orgânico e N no solo (CONG et al., 2013). Estas vantagens ambientais podem se traduzir em vantagens econômicas a médio e longo prazo, por reduzirem os custos no controle de plantas daninhas (SEVERINO et al., 2006), aumentarem a eficiência de uso de nutrientes (COSTA et al., 2021) e a produtividade das culturas (GARBELINI et al., 2020; TANAKA et al., 2019). No curto prazo, uma estratégia que pode ser adotada, é a inserção da atividade pecuária ao sistema (LEMAIRE et al., 2014). Desta forma, além de elevar a diversidade biológica, os produtores passam a ter mais uma fonte de renda com a produção pecuária. Crusciol et al. (2020) estudando o consórcio de gramíneas tropicais com arroz de terras altas, verificaram que embora o consórcio reduza a produtividade de grãos do arroz, ao considerar a receita com a pecuária, os sistemas consorciados passam a ter maior lucratividade em relação ao cultivo solteiro.

5.7 CONCLUSÃO

O consórcio de milho com braquiária reduz a produtividade de proteína no cereal, porém promove o aumento da produtividade de proteínas na soja em sucessão, não interferindo na produtividade de proteínas acumulada no sistema, em relação ao sistema com milho solteiro.

A adubação nitrogenada no milho aumenta as produtividades de proteína no milho e na soja cultivada em sucessão.

O aumento da densidade de plantas de milho é uma prática de manejo eficiente para incrementar a produtividade de proteínas no sistema milho segunda safra/soja.

A adubação nitrogenada no milho segunda safra promove maior lucratividade no milho e na soja cultivada em sucessão.

A inserção da braquiária em consórcio com o milho não interfere na lucratividade do sistema de produção milho segunda safra e soja em sucessão, em relação ao cultivo de milho solteiro.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou que o aumento da densidade de plantas de milho na segunda safra tem potencial para incrementar a produtividade de grãos do milho. Este comportamento foi registrado mesmo em safra com maior restrição hídrica, independentemente da utilização de N em cobertura ou do consórcio com braquiária. Porém, em safras com maior oferta hídrica e tetos produtivos mais altos, a taxa de semeadura ótima agrônômica é atingida em maiores densidades de plantas. No norte do Paraná, em geral, o milho segunda safra vem sendo cultivado em densidades inferiores a 60 mil plantas ha^{-1} . Nesse sentido, a presente pesquisa indica que o aumento da densidade é uma prática cultural que pode aumentar a produtividade do cereal, assim como já ocorreu para o milho primeira safra.

Um aumento de 10% na densidade de plantas de milho quando em consórcio com braquiária é recomendável, com o objetivo de mitigar a competição com a braquiária. Contudo, ressalva-se que, em densidades de plantas supra ótimas, a presença da braquiária pode intensificar o impacto da competição intraespecífica no milho, em safras com elevada restrição hídrica no enchimento de grãos do cereal.

O consórcio de milho com *Urochloa ruziziensis* reduziu a produtividade do milho em 693 kg ha^{-1} , na média dos tratamentos e safras estudadas. Porém, o consórcio aumentou a produtividade de grãos de soja em 232 kg ha^{-1} , em relação à soja cultivada após o milho solteiro, no segundo ano de estudo. É importante destacar que o consórcio com a braquiária aumentou a produtividade de palha e a ciclagem de nutrientes ao sistema produtivo, o que pode trazer maiores benefícios às culturas a médio e longo prazo. Outro ponto que merece destaque, é que é possível suprimir o desenvolvimento vegetativo da braquiária com maiores doses de herbicidas ou através da redução na densidade de plantas da forrageira, visando atenuar os decréscimos de produtividade do milho, em relação ao cultivo solteiro.

Embora no primeiro ano de estudo a adubação nitrogenada no milho tenha apresentado baixa interferência sobre a produtividade do milho, ela aumentou em 180 kg ha^{-1} a produtividade da soja, na média das safras em estudo, em relação ao tratamento sem adição de N. Isto já garantiria a viabilidade econômica desta técnica, mesmo sem resposta no milho. Porém, no segundo ano de cultivo, o milho produziu

1.428 kg de grãos ha⁻¹ a mais quando recebeu N em cobertura, na densidade de 100 mil plantas ha⁻¹. À medida que se eleva a densidade de plantas de milho, maiores são os benefícios da adubação nitrogenada para o milho.

Ao considerar o sistema produtivo como um todo, observou-se que a menor receita bruta e o maior custo operacional da inserção da *U. ruziziensis* em consórcio com o milho são compensados pela maior lucratividade da soja cultivada em sucessão, mesmo no curto prazo. Conseqüentemente, sistemas com ou sem consórcio com braquiária não apresentam diferenças em lucratividade. Contudo, a diversificação de cultivo através da inserção *U. ruziziensis* em consórcio traz importantes vantagens ambientais ao sistema de cultivo. Considerando os valores acumulados nas duas safras, fica evidente que a adubação nitrogenada no milho promove maior lucratividade no milho e na soja cultivada em sucessão.

A presente pesquisa demonstrou que o aumento da densidade de plantas de milho, a adubação nitrogenada no milho segunda safra e o consórcio de milho com *U. ruziziensis* são estratégias de manejo relevantes para aumentar a produtividade de proteínas e a sustentabilidade econômica e ambiental dos sistemas de produção de grãos com milho segunda safra/soja.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, J. A. A. et al. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 801-809, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014005000002>
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4 p. 601-612, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000400004>
- ASSEFA, Y. et al. Assessing variation in US soybean seed composition (protein and oil). **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 298, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00298>
- AWIKA, J. M. Major Cereal Grains Production And Use Around The World. In: AWIKA, J. M.; PIIRONEN, V.; BEAN, S. **Advances in cereal science: implications to food processing and health promotion**. Washington: ACS Symposium Series: American Chemical Society, 2011. p. 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1021/bk-2011-1089.ch001>
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; FLECK, N. G. Manejo de plantas daninhas na cultura de milho em função do arranjo espacial de plantas e características dos genótipos. **Ciência Rural**, v. 35, n. 1, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000100042>
- BALBINOT JUNIOR, A. A. et al. Formas de uso do solo no inverno e sua relação com a infestação de plantas daninhas em milho (*Zea mays*) cultivado em sucessão. **Planta Daninha**, v. 26, n. 3, p. 569-576, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582008000300012>
- BALBINOT JUNIOR, A. A. et al. Winter pasture and cover crops and their effects on soil and summer grain crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1357-1363, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000032>
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H. Altura de manejo da pastagem, época de dessecação de *Urochloa ruziziensis* e adubação nitrogenada na cultura da soja em sistema integração lavoura-pecuária. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 2, p. 124-133, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5965/223811711522016124>
- BALBINOT JUNIOR, A. A. et al. Contribution of roots and shoots of Brachiaria species to soybean performance in succession. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 8, p. 592-598, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000800004>
- BALBINOT JUNIOR, A. A. et al. Performance of soybean grown in succession to black oat and wheat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.01654>

BALDÉ, A. B. et al. Agronomic performance of no-tillage relay intercropping with maize under smallholder conditions in Central Brazil. **Field Crops Research**, v. 124, n. 2, p. 240-251, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.06.017>

BAPTISTELLA, J. L. C. et al. Urochloa in tropical agroecosystems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 119, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00119>

BARDUCCI, R. S. et al. Produção de Brachiaria brizantha e Panicum maximum com milho e adubação nitrogenada. **Archivos de zootecnia**, v. 58, n. 222, p. 211-222, 2009. DOI: <https://doi.org/10.4321/S0004-05922009000200006>

BATISTA, K. et al. 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, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000006>

BELLALOUI, N. et al. Soybean seed protein, oil, fatty acids, and mineral composition as influenced by soybean-corn rotation. **Agricultural Sciences**, v. 1, n. 3, p. 102, 2010. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2010.13013>

BERNARDON, A. et al. Carryover of N-fertilization from corn to pasture in an integrated crop-livestock system. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 67, n. 5, p. 687-702, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1749268>

BERTOLLO, A. M. et al. Precrops alleviate soil physical limitations for soybean root growth in an Oxisol from southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 206, p. 104820, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104820>

CÂMARA, G. M. S. Fixação biológica do nitrogênio em soja. **Informações Agronômicas**, v. 147, p. 1-9, 2014. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/B7FB85D4FAD745CF83257D660046A90D/\\$FILE/Page1-9-147.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/B7FB85D4FAD745CF83257D660046A90D/$FILE/Page1-9-147.pdf)

CALONEGO, J. C. et al. Persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, braquiária e labe-labe. **Bioscience Journal**, v. 28, p. 770-781, 2012. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/13885>

CARMEIS FILHO, A. C. A. et al. Residual nitrogen fertilization effect of common bean production on succeeding corn intercropped with Congo grass. **Revista Ceres**, v. 63, n. 4, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201663040019>

CARVALHO, W. P. et al. Desempenho agrônômico de plantas de cobertura usadas na proteção do solo no período de pousio. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 48, n. 2, p. 157-166, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000200005>

CATTELAN, A. J.; DALL'AGNOL, A. The rapid soybean growth in Brazil. **Oilseeds and Fats Crops and Lipids**, v. 25, n. 1, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1051/ocl/2017058>

CAVIGLIA, O.P.; MELCHIORI, R.J.M.; SADRAS, V.O. Nitrogen utilization efficiency in maize as affected by hybrid and N rate in late-sown crops. **Field Crops Research**, v. 168, p. 27-37, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.08.005>

CECCON, G. et al. Legumes and forage species sole or intercropped with corn in soybean-corn succession in midwestern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 204-212, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000100021>

CEPEA/ESALQ. **Indicador do Milho Cepea/Esalq – Paraná**. 2021a. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/milho.aspx>>. Acesso em: novembro, 2021.

CEPEA/ESALQ. **Indicador da Soja Cepea/Esalq – Paraná**. 2021b. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/soja.aspx>>. Acesso em: novembro, 2021.

CHEN, Y. et al. Effects of nitrogen application rate on grain yield and grain nitrogen concentration in two maize hybrid with contrasting nitrogen remobilization efficiency. **European Journal of Agronomy**, v. 62, p. 79-89, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2014.09.008>

CIAMPITTI, I. A.; SALVAGIOTTI, F. New Insights into Soybean Biological Nitrogen Fixation. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 4, p. 1185-1196, 2018. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.06.0348>

CIAMPITTI, I. A.; VYN, T. J. Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: A review. **Field Crops Research**, v. 133, p. 48-67, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.03.008>

COELHO, A. E. et al. Nitrogen use efficiency and grain yield of corn hybrids as affected by nitrogen rates and sowing dates in subtropical environment. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**, v. 46, p. 1-21, 2022. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20210087>

CONAB. **Custos de Produção: Planilhas de custos de produção, culturas de 1ª safra, Soja em Londrina**. 2021a. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/>>. Acesso em: agosto, 2021.

CONAB. **Custos de Produção: Planilhas de custos de produção, culturas de 2ª safra, Milho em Londrina**. 2021b. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/>>. Acesso em: agosto, 2021.

CONAB: **Custos de Produção: Preço de insumos**. 2021c. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/>>. Acesso em: agosto, 2021.

CONAB. **Série Histórica da Área Plantada, produtividade e Produção: Soja**. 2022a. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Acesso em: 11 jan. 2022a.

CONAB. **Série Histórica da Área Plantada, produtividade e Produção: Milho 2ª Safra**. 2022b. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Acesso em: 11 jan. 2022b.

CONG, W. et al. Intercropping enhances soil carbon and nitrogen. **Global change biology**, v. 21, n. 4, p. 1715-1726, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.12738>

COSTA, N. R. et al. Soybean yield and nutrition after tropical forage grasses. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 121, n. 1, p. 31-49, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-021-10157-2>

CRUSCIOL, C. A. C et al. Overcoming competition from intercropped forages on upland rice with optimized nitrogen input to food production in Tropical Region. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, p. 129, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00129>

CURRAN, W. S. et al. Evaluation of cover crops drill interseeded into corn across the Mid-Atlantic region. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 2, p. 435-443, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.07.0395>

DAN, L. G. M. et al. Desempenho de sementes de soja tratadas com inseticidas e submetidas a diferentes períodos de armazenamento. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, p.215-222, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v6i2a939>

DE BORJA REIS, A. F. et al. Environmental factors associated with nitrogen fixation prediction in soybean. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 1013, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.675410>

DE FREITAS, A. F. **Interferência inicial radicular de *Urochloa brizantha* em milho e feijão avaliada por meio de rizotron**. 53p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2016. Disponível em: <<http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/handle/1/1317>>

DE FREITAS, M. A. M. et al. Biological attributes of soil cultivated with corn intercropped with *Urochloa brizantha* in different plant arrangements with and without herbicide application. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 254, p. 35-40, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.10.026>

DE MENDONÇA, V. Z. et al. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20150666>

DENARDIN, J. E. et al. Agricultura conservacionista no Brasil – uma análise do conceito a adoção. In: LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; DE ARAÚJO, A. S. F. (Org.). **Agricultura Conservacionista no Brasil**. 1ed., Brasília, DF: Embrapa, 2014, v. 1, p. 23-41. Disponível em: <<https://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00054420.pdf>>

DE OLIVEIRA, J. R. et al. Corn and alexandergrass intercropping system: influences of herbicide management on grain and forage yield. **Colloquium Agrariae (UNOESTE)**, v. 14, p. 66-72, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5747/ca.2018.v14.n2.a207>

DOURADO NETO et al. Efeito da população de plantas e do espaçamento sobre a produtividade de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, n.3, p.63-77, 2003. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v2n03p%25p>

DUAN, J. et al. Optimizing nitrogen management to achieve high yield, high nitrogen efficiency and low nitrogen emission in winter wheat. **Science of the Total Environment**, v. 697, p. 134088, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134088>

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). 1997. **Manual de métodos e análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212p. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Manual+de+Metodos_000fzvhotqk02wx5ok0q43a0ram31wtr.pdf

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil 2012 e 2013**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 261p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/95489/1/SP-16-online.pdf>

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Boletim agrometeorológico da Embrapa Soja**. 1. Ed. Londrina, 2015. 29p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142754/1/Doc-371-digital.pdf>

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 356p. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>

FAO. **The food systems of the future need to be smarter, more efficient**. 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/news/story/en/item/275009/icode/> Acesso em out. 2021.

FARIAS, J. R. B.; SIBALDELLI, R. N. R.; GONCALVES, S. L. **Caracterização e normal climatológica da fazenda experimental da Embrapa Soja**. Embrapa Soja- Documentos, 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1132174/1/DOC-439.pdf> Acesso em out. 2021.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977.

FOO, E. et al. Strigolactones and the regulation of pea symbioses in response to nitrate and phosphate deficiency. **Molecular Plant**, v. 6, n. 1, p. 76-87, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1093/mp/sss115>

FRANCHINI, J. C. et al. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crops Research**, v. 137, p. 178-185, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.003>

FRANCHINI, J. C. et al. Crescimento da soja influenciado pela adubação nitrogenada na cultura, pressão de pastejo e épocas de dessecação de *Urochloa*

ruzizensis. **Revista Agro@ambiente**, v.9, p.129-135. 2015a. Disponível em:
<<https://revista.ufrr.br/agroambiente/article/view/2611/1575>>

FRANCHINI, J. C. et al. Desempenho da soja em consequência de manejo de pastagem, época de dessecação e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 12, p. 1131-1138, 2015b. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015001200002>

FREITAS, M. A. M et al. Physiological characteristics of corn intercropped with different arrangements of palisade grass plants. **Advances in Weed Science**, v. 39, 2021. DOI: <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2021;39:00002>

GARBELINI, L. G. et al. Profitability of soybean production models with diversified crops in the autumn–winter. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 5, p. 4092-4103, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.20308>

HARTMAN, G L.; WEST, E. D.; HERMAN, T. K. Crops that feed the World 2. Soybean—worldwide production, use, and constraints caused by pathogens and pests. **Food Security**, v. 3, n. 1, p. 5-17, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12571-010-0108-x>

HEIL, C. Rapid, multi-component analysis of soybeans by FT-NIR Spectroscopy. **Madison: Thermo Fisher Scientific**, v. 3, 2010.
<http://www.thermoscientific.com/content/dam/tfs/ATG/CMD/CMD%20Documents/Application%20%26%20Technical%20Notes/AN-51954-Rapid-Multi-Component-Analysis-Soybeans-AN51954-EN.pdf>

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **Fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 48p. Disponível em:
<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPISO/18515/1/circTec35.pdf>>

HUNGRIA, M. et al. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and N fertilizer to grain yield. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 86, p. 927-939, 2006. DOI: <https://doi.org/10.4141/P05-098>

HUNGRIA, M.; MENDES, I. C. Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis? In: BRUIJN, F. J. de. **Biological nitrogen fixation**. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2015. p. 1009-1024. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119053095.ch99>

KAPPES, C. Inserção do milho safrinha em sistemas de produção no Mato Grosso. In: Fundação Mato Grosso (Ed.). Boletim de Pesquisa 2015/2016. Santa Cruz do Sul, RS: Editora Gazeta, 2015. p. 136-173.

KOZLOWSKI, L. A. Período crítico de interferência das plantas daninhas na cultura do milho baseado na fenologia da cultura. **Planta Daninha**, v. 20, p. 365-372, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582002000300006>

LADHA, J. K. et al. Role of nitrogen fertilization in sustaining organic matter in cultivated soils. **Journal of Environmental Quality**, v. 40, n. 6, p. 1756-1766, 2011. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0064>

LA MENZA, N. C. et al. Is soybean yield limited by nitrogen supply? **Field Crops Research**, v. 213, p. 204-212, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.08.009>

LANDRISCINI, M. R. et al. Nitrogen balance in a plant-soil system under different cover crop-soybean cropping in Argentina. **Applied Soil Ecology**, v. 133, p. 124-131, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.10.005>

LEMAIRE, G. et al. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 4-8, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009>

LI, J. et al. Variations in maize dry matter, harvest index, and grain yield with plant density. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 3, p. 829-834, 2015. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj14.0522>

LIMA, S. F. et al. Suppression of *Urochloa brizantha* and *U. ruziziensis* by glyphosate underdoses. **Revista Caatinga**, v. 32, p. 581-589, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n302rc>

LIU, Y. et al. Models of biological nitrogen fixation of legumes. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 31, p. 155-172, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1051/agro/2010008>

LORENZ, Klaus; LAL, Rattan; EHLERS, Knut. Soil organic carbon stock as an indicator for monitoring land and soil degradation in relation to U nited N ations' S ustainable D evelopment G oals. **Land Degradation & Development**, v. 30, n. 7, p. 824-838, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.3270>

MAKINO, P. A.; CECCON, G.; FACHINELLI, R. Produtividade e teor de nutrientes em populações de milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 2, p. 206-220, 2019. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v18n2p206-220>

MARTIN-GUAY, M. et al. The new green revolution: sustainable intensification of agriculture by intercropping. **Science of the Total Environment**, v. 615, p. 767-772, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.12738>

MATTOS, F. L.; DA SILVEIRA, R. L.F. The expansion of the Brazilian winter corn crop and its impact on price transmission. **International Journal of Financial Studies**, v. 6, n. 2, p. 45, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijfs6020045>

MELO, N. C.; FERNANDES, A. R.; GALVÃO, J. R. Crescimento e eficiência nutricional do nitrogênio em cultivares de milho forrageiro na Amazônia. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 68-78, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n308rc>

MINGOTTE, F. L. C. et al. Impact of crop management and no-tillage system on grain and straw yield of maize crop. **Cereal Research Communications**, v. 48, p. 399-407, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s42976-020-00051-y>

MINGOTTE, F. L. C. et al. Maize yield under *Urochloa ruziziensis* intercropping and previous crop nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 2, p. 1681-1690, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.20567>

MOMESSO, L. et al. Impacts of Nitrogen Management on No-Till Maize Production Following Forage Cover Crops. **Agronomy Journal**, v. 111, p. 639-649, 2019. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2018.03.0201>

MOURTZINIS, S. et al. Soybean response to nitrogen application across the United States: A synthesis-analysis. **Field Crops Research**, v. 215, p. 74-82, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.09.035>

MOURTZINIS, S. et al. Corn and soybean yield response to tillage, rotation, and nematicide seed treatment. **Crop Science**, v. 57, n. 3, p. 1704-1712, 2017. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.09.0792>

MUGENDI, E. et al. Biological nitrogen fixation by promiscuous soybean (*Glycine max* L. Merrill) in the central highlands of Kenya: response to inorganic fertilizer soil amendments. **World Journal of Agricultural Sciences**, v. 6, n. 4, p. 381-387, 2010. Disponível em: <<http://repository.must.ac.ke/handle/123456789/1182>>

NOGUEIRA, M. A. et al. Indicators of soil quality in the implantation of no-till system with winter crops. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5SPE, p. 990-998, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000500014>

NÓIA JÚNIOR, R. S.; SENDELHAS, P. C. Yield gap of the double-crop system of main-season soybean with off-season maize in Brazil. **Crop and Pasture Science**, v. 71, n. 5, p. 445-458, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1071/CP19372>

NÓIA JÚNIOR, R. S.; SENDELHAS, P. C. Soybean-maize succession in Brazil: Impacts of sowing dates on climate variability, yields and economic profitability. **European Journal of Agronomy**, v. 103, p. 140-151, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.12.008>

NÚCLEO ESTADUAL PARANÁ – SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (NEPAR-SBCS). **Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná**. Curitiba: SBCS - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017.

OKUMURA R. S.; MARIANO, D. C.; ZACCHEO, P. V. C. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 4, n. 2, p. 26-244, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5777/PAeT.V4.N2.13>

OLDFIELD, E. E.; BRADFORD, M. A.; WOOD, S. A. Global meta-analysis of the relationship between soil organic matter and crop yields. **Soil**, v. 5, n. 1, p. 15-32, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5194/soil-5-15-2019>

PARENTE, T. L. et al. Adubação nitrogenada em genótipos de soja associada à inoculação em semeadura direta no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 2, p. 249-255, 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/115779>>

PARIZ, C. M. et al. Produtividade de grãos de milho e massa seca de braquiárias em consórcio no sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, v.41, p.875-882, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011000500023>

PARIZ, C. M. et al. An innovative corn to silage-grass-legume intercropping system with oversown black oat and soybean to silage in succession for the improvement of nutrient cycling. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, p. 240, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.544996>

PALM, Cheryl et al. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 187, p. 87-105, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.010>

PETTER, F. A. et al. Desempenho de plantas de cobertura submetidas à déficit hídrico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 1, n. 34, p. 3307-3319, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n6Suppl1p3307>

RIEDEL, W. E. et al. Crop rotation and nitrogen input effects on soil fertility, maize mineral nutrition, yield, and seed composition. **Agronomy Journal**, v. 101, n. 4, p. 870-879, 2009. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0186x>

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **How a corn plant develops?** Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1993. 26 p. (Special Report, 48).

ROTUNDO, J. L.; WESTGATE, M. E. Meta-analysis of environmental effects on soybean seed composition. **Field Crops Research**, v. 110, n. 2, p. 147-156, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.07.012>

SALVAGIOTTI, F. et al. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. **Field Crops Research**, v. 108, n. 1, p. 1-13, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.03.001>

SANGOI, L. et al. Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. **Field Crops Research**, v. 79, n. 1, p. 39-51, 2002a. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00124-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00124-7)

SANGOI, L. et al. Sustentabilidade do colmo em híbridos de milho de diferentes épocas de cultivo em função da densidade de plantas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.1, n.2, p.1, 2002b. Disponível em: <https://docplayer.com.br/68559700-Sustentabilidade-do-colmo-em-hibridos-de-milho-de-diferentes-epocas-de-cultivo-em-funcao-da-densidade-de-plantas.html>

SANGOI, L. et al. Acúmulo de fitomassa do milho após o espigamento em função do parcelamento da cobertura nitrogenada. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 1, 2019a. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v18n1p61-73>

SANGOI, L. et al. Estratégias De Manejo Do Arranjo De Plantas Visando Otimizar A Produtividade De Grãos Do Milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, p. 47-60, 2019b. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v18n1p47-60>

SAPUCAY, M. J. L. C. et al. Nitrogen rates on the agronomic performance of second-crop corn single and intercropped with ruzigrass or showy rattlebox. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 50, p. e65525, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-40632020v5065525>

SARTO, M. V. M. et al. Maize and sorghum root growth and yield when intercropped with forage grasses. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 6, p. 4900-4915, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.10.026>

SCHWALBERT, R. et al. Corn yield response to plant density and nitrogen: Spatial models and yield distribution. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 3, p. 970-982, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2017.07.0425>

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. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582006000100007>

SHAO, H. et al. Root growth and root system architecture of field-grown maize in response to high planting density. **Plant and Soil**, v. 430, n. 1, p. 395-411, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3720-8>

SILVA, D. V. et al. Glyphosate Herbicide Use in *Urochloa brizantha* Management in Intercropping With Herbicide-Resistant Maize. **Planta Daninha**, v. 34, p. 133-141, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582016340100014>

SILVA, G. S. F. et al. Soil water dynamics and yield in maize and Brachiaria ruziziensis intercropping. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 50, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-40632020v5059809>

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5 ed. Porto Alegre. 918 p. 2013.

TANAKA, K. S. et al. Nutrients released by Urochloa cover crops prior to soybean. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 113, n. 3, p. 267-281, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-019-09980-5>

THORNTON, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 104p.1955.

VELTEN, S. et al. What is sustainable agriculture? A systematic review. **Sustainability**, v. 7, n. 6, p. 7833-7865, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/su7067833>

WENNECK, G. S. et al. Yield and economic analysis of corn and brachiaria intercropping in the northwestern Paraná. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.8, n. 4, e6163, 2021. DOI: <https://doi.org/10.32404/rean.v8i4.6163>

WERNER, F. et al. Soybean growth affected by seeding rate and mineral nitrogen. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 8, p. 734-738, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n8p734-738>

WERNER, F. et al. Nitrogen, phosphorus, and potassium released by decomposition of palisade grass to soybean in succession. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, e01853, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.01853>

WERNER, F. et al. Liberação de cálcio, magnésio e enxofre da palha de pastagem de braquiária para a soja em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 20, n. 1, p. 041-052, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5965/223811712012021041>

YAN, P. et al. A high plant density reduces the ability of maize to use soil nitrogen. **Plos One**, v. 12, n. 2, p. e0172717, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172717>

YOKOYAMA, A. H., et al. Teores de nitrato e amônio no solo em função de culturas de entressafra da soja e adubação nitrogenada. **Colloquium Agrariae (UNOESTE)**, v. 15, p. 77-87, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5747/ca.2019.v15.n5.a325>

YOKOYAMA, A. H., et al. Precrops and N-fertilizer impacts on soybean performance in tropical regions of Brazil. **Acta Scientiarum Agronomy**, V. 44, [2022]. No Prelo.

YOUNGERMAN, C. Z. et al. Corn density effect on interseeded cover crops, weeds, and grain yield. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 6, p. 2478-2487, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2018.01.0010>

ZILLI, J. E.; CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M. Eficácia da inoculação de Bradyrhizobium em pré-semeadura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 3, p. 335-338, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000300015>

APÊNDICES

Apêndice A – Resumo da análise de variância (p-valores) de modalidades de cultivo, adubação nitrogenada e densidade de plantas de milho, da safra de milho 2018.

Médias dos efeitos principais seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

	Prod	Esp pl ⁻¹	grãos m ⁻²	grãos esp ⁻¹	M100 0	Esterili dade (%)	Fileira Esp ⁻¹	Grãos fileira ⁻¹	IC	MS Braç (R6)
Bloco	0.3256	0.3939	0.1442	0.4569	0.9778	0.2915	0.9761	0.2082	0.1031	0.6691
Consórcio (C)	0.0922	0.2435	0.0616	0.0975	0.3686	0.1098	0.8253	0.0362	0.2848	-
CV(%)	9.24	6.60	12.19	12.97	10.60	122.40	7.40	8.25	10.04	-
Nitrogênio (N)	0.1276	0.7843	0.8038	0.3808	0.0491	0.7766	0.9236	0.1721	0.4900	0.5081
C x N	0.2863	0.3768	0.1403	0.0422	0.4902	0.922	0.143	0.1056	0.0758	-
CV(%)	7.03	5.14	9.24	5.78	3.15	185.7	3.86	4.19	14.08	24.18
Densidade (D)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0352	0.1882	0.0000	0.1840	0.0000
D x C	0.0209	0.6371	0.2957	0.3212	0.5083	0.2914	0.8852	0.2889	0.6479	-
D x N	0.2346	0.8920	0.3422	0.9738	0.3776	0.8400	0.9155	0.9986	0.1311	0.2009
D x C x N	0.0328	0.2752	0.2152	0.8978	0.8399	0.9497	0.9469	0.8773	0.9325	-
CV(%)	4.13	5.05	7.90	8.85	3.27	174.50	5.21	10.42	13.98	18.00
Milho + Braç	7307	1.007	2550	385	273	1.89	16.46	23.36 b	0.399	
Milho Solteiro	7731	1.032	2787	416	265	0.92	16.53	25.17 a	0.386	
Com N	7636	1.018	2660	398	272 a	1.3	16.5	24.07	0.397	2119
Sem N	7402	1.022	2676	403	266 b	1.5	16.49	24.46	0.387	2260
40 mil ha ⁻¹	6485	1.1144	2036	462	301	0.579	16.78	27.59	0.414	3983
60 mil ha ⁻¹	7667	1.0138	2631	433	274	0.769	16.69	25.97	0.396	2393
80 mil ha ⁻¹	7948	0.9869	2936	376	255	1.288	16.27	23.11	0.389	1773
100mil ha ⁻¹	7975	0.9638	3070	331	246	2.981	16.24	20.4	0.37	608

Apêndice B – Resumo da análise de variância (p-valores) de modalidades de cultivo, adubação nitrogenada e densidade de plantas de milho, da safra de milho 2019. Médias dos efeitos principais seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

	Prod	Esp pl ¹	grãos m ⁻²	grãos esp ⁻¹	M1000	Esterilidade (%)	Fileira Esp ⁻¹	Grãos fileira ⁻¹	IC	MS Braç (R6)
Bloco	0.9611	0.2891	0.6318	0.4663	0.0892	0.4145	0.969	0.3709	0.0761	0.0371
Consórcio (C)	0.013	0.1610	0.0218	0.0195	0.9623	0.1708	0.9022	0.0086	0.0676	-
CV(%)	7.26	2.25	9.7	8.39	1.69	105.46	6.14	6.24	3.29	-
Nitrogenio (N)	0.0003	0.5582	0.0052	0.0051	0.0354	0.5220	0.6638	0.0222	0.7445	0.628
C x N	0.2061	0.587	0.4337	0.2944	0.9168	0.0304	0.4299	0.2729	0.7397	-
CV(%)	4.73	1.94	3.85	3.37	4.35	97.79	3.19	5.23	3.71	10.47
Densidade (D)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0649	0.0000	0.0026	0.0000
D x C	0.033	0.2983	0.1597	0.2227	0.1014	0.1339	0.4783	0.1319	0.2226	-
D x N	0.001	0.8083	0.2218	0.6268	0.8425	0.4948	0.1030	0.2981	0.1736	0.266
D x C x N	0.0975	0.2530	0.8487	0.6359	0.6977	0.8171	0.4897	0.9759	0.3424	-
CV(%)	3.55	2.91	4.63	5.11	2.18	103.18	4.65	5.58	4.58	20.59
Milho + Braç	9406 b	1.0316	2970 b	435	302	1.1	16.4	26.49 b	0.506	-
Milho Solteiro	10367 a	1.0424	3304 a	479	302	0.68	16.43	29.16 a	0.518	-
Com N	10324 a	1.0385	3202 a	465 a	307 a	0.963	16.38	28.38 a	0.513	2866
Sem N	9450 b	1.0354	3073 b	449 b	298 b	0.815	16.44	27.27 b	0.511	2810
40 mil ha ⁻¹	7945	1.1484	2350	516	322	0.116	16.58	31.21	0.492	4315
60 mil ha ⁻¹	9731	1.0206	2998	487	307	0.685	16.7	29.2	0.517	3182
80 mil ha ⁻¹	10799	0.9954	3481	442	296	0.813	16.36	27.01	0.526	2248
100mil ha ⁻¹	11073	0.9835	3721	382	284	1.944	16	23.87	0.513	1607

Apêndice C – Resumo da análise de variância (p-valores) de modalidades de cultivo, adubação nitrogenada e densidade de plantas de milho, da safra de soja 2018/19.

Médias dos efeitos principais seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

	Prod	vagens m ⁻²	grãos m ⁻²	grãos vag ⁻¹	M1000	IC	MS-Palha	N ciclado
Bloco	0.8228	0.5615	0.8165	0.2674	0.4533	0.9389	0.7054	0.1301
Consórcio (C)	0.4480	0.6882	0.6743	0.5493	0.2863	0.3752	0.0016	0.0001
CV(%)	7.53	18.89	22.52	4.93	8.42	5.31	8.32	7.65
Nitrogenio (N)	0.0198	0.6566	0.7895	0.4335	0.0050	0.2734	0.0752	0.0247
C x N	0.4574	0.9795	0.8667	0.4655	0.8938	0.1053	0.3730	0.4772
CV(%)	5.60	14.76	13.58	3.16	3.01	2.59	9.34	17.07
Densidade (D)	0.0190	0.2909	0.9187	0.0582	0.3698	0.2655	0.0375	0.0004
D x C	0.7152	0.6774	0.8375	0.5620	0.1184	0.5178	0.0000	0.0000
D x N	0.712	0.5136	0.7541	0.2622	0.0061	0.0009	0.5347	0.2732
D x C x N	0.9554	0.8549	0.9183	1.000	0.0717	0.0393	0.8239	0.3551
CV(%)	5.43	12.37	15.07	5.12	6.01	2.63	8.5	12.25
Milho + Braquiária	4808	1700	4305	2.536	118	0.534	11213 a	115 a
Milho Solteiro	4887	1665	4194	2.515	121	0.541	8914 b	69 b
Com N	4954 a	1697	4270	2.517	122 a	0.54	10316	98 a
Sem N	4741 b	1668	4230	2.534	118 b	0.535	9811	87 b
40 mil ha ⁻¹	4988	1685	4275	2.535	122	0.539	10051	104
60 mil ha ⁻¹	4717	1753	4324	2.46	119	0.532	9539	89
80 mil ha ⁻¹	4765	1608	4171	2.59	117	0.541	10400	90
100 mil ha ⁻¹	4920	1684	4229	2.517	120	0.539	10265	86

Apêndice D — Resumo da análise de variância (p-valores) de modalidades de cultivo, adubação nitrogenada e densidade de plantas de milho, da safra de soja 2019/20. Médias dos efeitos principais seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

	Prod	vagens m ⁻²	grãos m ⁻²	grãos vag ⁻¹	M1000	IC	MS-Palha	N-Palha
Bloco	0.8769	0.4154	0.8359	0.7447	0.4201	0.8363	0.0726	0.0219
Consórcio (C)	0.0279	0.6453	0.7662	0.2820	0.1130	0.9500	0.0007	0.0002
CV(%)	4.9	17.15	30.41	13.13	9.54	11.11	6.79	8.55
Nitrogenio (N)	0.0448	0.3339	0.8914	0.0694	0.5696	0.0227	0.1105	0.0018
C x N	0.9351	0.1604	0.3459	0.1916	0.4433	0.3130	0.6181	0.5706
CV(%)	4.83	16.08	15.33	6.35	13.12	3.89	10.02	20.32
Densidade (D)	0.9051	0.3888	0.2845	0.2689	0.7856	0.6601	0.0632	0.0000
D x C	0.1392	0.9185	0.9475	0.7723	0.6378	0.8691	0.0016	0.0000
D x N	0.6916	0.1199	0.0214	0.2524	0.9119	0.7466	0.2821	0.1332
D x C x N	0.6650	0.8394	0.5440	0.5833	0.7194	0.6135	0.2726	0.3166
CV(%)	5.33	15.37	16.14	7.37	10.75	4.33	12.46	13.69
Milho + Braquiária	4831 a	1490	3747	2.51	156	0.497	11064 a	130 a
Milho Solteiro	4599 b	1523	3656	2.41	164	0.496	8632 b	77 b
Com N	4787 a	1474	3692	2.5	158	0.489	10079	117 a
Sem N	4643 b	1538	3712	2.42	161	0.503	9616	89 b
40 mil ha ⁻¹	4722	1590	3956	2.5	160	0.494	9587	120
60 mil ha ⁻¹	4679	1453	3582	2.51	156	0.502	9378	95
80 mil ha ⁻¹	4714	1496	3639	2.39	162	0.493	10525	107
100 mil ha ⁻¹	4745	1485	3628	2.45	161	0.495	9901	91

Apêndice E — Resumo da análise de variância (p-valores) de modalidades de cultivo, adubação nitrogenada e densidade de plantas de milho, em variáveis biométricas da soja. Médias dos efeitos principais seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

	V4-V5 2018.19				V4-V5 2019.20			
	IAF	Clorofila	MS	N-MS	IAF	Clorofila	MS	N-MS
Bloco	0.2749	0.2050	0.3533	-	0.1800	0.3392	0.1087	0.0587
Consórcio (C)	0.9453	0.2977	0.2084	-	0.5785	0.733	0.0736	0.03
CV(%)	22.58	2.53	36.94	-	20.93	5.87	13.6	11.37
Nitrogenio (N)	0.6391	0.7157	0.3152	-	0.0161	0.0559	0.1384	0.1198
C x N	0.5331	0.5823	0.3259	-	0.1048	0.4142	0.3622	0.3269
CV(%)	15.92	4.17	14.2	-	7.24	6.16	19.57	24.74
Densidade (D)	0.2127	0.1409	0.0059	-	0.2128	0.0246	0.0817	0.1305
D x C	0.0319	0.9388	0.6057	-	0.0603	0.4751	0.1642	0.1527
D x N	0.1324	0.0370	0.8096	-	0.1596	0.0073	0.6879	0.7746
D x C x N	0.3803	0.9440	0.5094	-	0.4485	0.3598	0.6178	0.4798
CV(%)	15.25	2.65	23.51	-	20.61	2.37	16.7	16.57
Milho + Braquiária	1.78	36.3	498	-	2.08	33.4	573	27 b
Milho Solteiro	1.79	36	430	-	2.15	33.6	628	31 a
Com N	1.8	36.1	473	-	2.18	34.1	626	31
Sem N	1.76	36.2	455	-	2.05	32.9	575	27
40 mil ha ⁻¹	1.9	36.6	551	-	2.01	34	558	27
60 mil ha ⁻¹	1.72	35.9	426	-	1.98	33.1	584	29
80 mil ha ⁻¹	1.73	35.8	420	-	2.24	33.7	610	29
100 mil ha ⁻¹	1.78	36.3	458	-	2.22	33.4	650	31

Apêndice F — Resumo da análise de variância (p-valores) de modalidades de cultivo, adubação nitrogenada e densidade de plantas de milho, em variáveis biométricas da soja. Médias dos efeitos principais seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

	R2 2018.19				R2 2019.20			
	IAF	Clorofila	MS	N-MS	IAF	Clorofila	MS	N-MS
Bloco	0.5557	0.0549	0.1362	0.1725	0.3492	0.3434	0.5686	0.6328
Consórcio (C)	0.7890	0.7124	0.1680	0.2587	0.0975	0.2421	0.4021	0.7977
CV(%)	16.61	2.37	22.41	23.2	18.27	6.29	18.78	18.01
Nitrogenio (N)	0.3614	0.1122	0.5000	0.3224	0.1985	0.3750	0.3819	0.1294
C x N	0.6163	0.7547	0.0077	0.0214	0.0401	0.0842	0.8608	0.3170
CV(%)	22.57	3.13	14.9	14.94	20.7	3.26	20.21	17.81
Densidade (D)	0.3943	0.0519	0.4551	0.2097	0.0515	0.6040	0.0462	0.0703
D x C	0.3877	0.1870	0.0780	0.0396	0.5991	0.1179	0.3749	0.1957
D x N	0.9047	0.2085	0.6521	0.5469	0.6986	0.6844	0.4697	0.3691
D x C x N	0.4797	0.3074	0.4388	0.4906	0.9432	0.6045	0.1696	0.1497
CV(%)	17.77	2.84	17.63	16.2	16.98	3.08	16.45	16.78
Milho + Braquiária	3.38	39.02	1774	78	2.49	30.73	1231	55
Milho Solteiro	3.42	39.11	1602	72	2.78	30.04	1289	56
Com N	3.49	39.35	1710	77	2.73	30.5	1290	58
Sem N	3.3	38.78	1665	74	2.53	30.27	1230	53
40 mil ha ⁻¹	3.62	39.5	1790	81	2.35	30.52	1281	57
60 mil ha ⁻¹	3.37	39.24	1664	73	2.68	30.12	1155	52
80 mil ha ⁻¹	3.34	38.41	1667	73	2.73	30.4	1236	53
100 mil ha ⁻¹	3.26	39.12	1630	74	2.76	30.5	1368	60

Apêndice G — Resumo da análise de variância (p-valores) de modalidades de cultivo, adubação nitrogenada e densidade de plantas de milho, em variáveis biométricas da soja. Médias dos efeitos principais seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

	R5 2018.19				R5 2019.20			
	IAF	Clorofila	MS	N-MS	IAF	Clorofila	MS	N-MS
Bloco	0.0106	0.1931	0.3638	0.2926	0.4705	0.9743	0.1582	0.1933
Consórcio (C)	0.0070	0.4439	0.6345	0.8659	0.1443	0.4979	0.8221	0.9800
CV(%)	3.38	5.13	15.73	12.12	9.25	3.34	11.83	13.36
Nitrogenio (N)	0.3143	0.4100	0.5569	0.5467	0.4937	0.1345	0.5730	0.7678
C x N	0.8155	0.3750	0.8393	0.9142	0.6163	0.4065	0.5197	0.7659
CV(%)	12.53	2.31	15.49	14.26	6.14	2	16.26	13.11
Densidade (D)	0.5869	0.0495	0.0524	0.0334	0.8242	0.1556	0.7423	0.8376
D x C	0.8605	0.2628	0.5699	0.5259	0.9872	0.1338	0.6681	0.5739
D x N	0.0402	0.9218	0.7190	0.6806	0.9564	0.6498	0.2169	0.3402
D x C x N	0.3201	0.4112	0.8181	0.6744	0.7000	0.8629	0.4957	0.3644
CV(%)	7.79	2.73	16.65	15.83	5.13	2.52	15.74	15.41
Milho + Braquiária	6.1 a	44.37	7760	257	8.32	44.91	8017	277
Milho Solteiro	5.77 b	44.87	7922	255	7.95	44.63	8076	276
Com N	6.03	44.5	7935	259	8.09	44.96	8144	278
Sem N	5.83	44.73	7746	253	8.18	44.58	7949	275
40 mil ha ⁻¹	6.07	45.26	8170	270	8.17	44.28	7922	272
60 mil ha ⁻¹	5.86	44.79	8399	273	8.05	44.66	8029	274
80 mil ha ⁻¹	5.91	44.31	7187	234	8.17	45.08	8340	285
100 mil ha ⁻¹	5.89	44.11	7607	248	8.16	45.07	7895	275

Apêndice H — Resumo da análise de variância (p-valores) de modalidades de cultivo, adubação nitrogenada e densidade de plantas de milho. Médias dos efeitos principais seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

	Proteína Milho		Óleo Soja		Proteína Soja		Proteína
	2018	2019	2018/19	2019/20	2018/19	2019/20	Soja + Milho
Bloco	0.1394	0.7499	0.8453	0.0108	0.6081	0.8350	0.6798
Consórcio (C)	0.0078	0.0173	0.4641	0.0020	0.4691	0.0837	0.2015
CV(%)	5.08	9.64	8.77	1.57	7.89	7.64	5.29
Nitrogênio (N)	0.8293	0.0016	0.0775	0.0219	0.0174	0.0628	0.0036
C x N	0.8533	0.2289	0.9304	0.7539	0.3756	0.9268	0.8995
CV(%)	10.72	10.59	6.37	5.75	6.26	4.74	4.53
Densidade (D)	0.0000	0.0000	0.0114	0.9358	0.0161	0.7672	0.0002
D x C	0.2993	0.7487	0.5262	0.2099	0.6535	0.1350	0.2700
D x N	0.0044	0.0498	0.9079	0.7798	0.5764	0.6515	0.9513
D x C x N	0.4010	0.7940	0.9894	0.9634	0.9282	0.3127	0.4529
CV(%)	5.86	7.57	6.29	7.02	6.03	5.25	3.33
Milho + Braç	748 b	856 b	1039	1041 a	1756	1784	5144
Milho Solteiro	811 a	961 a	1059	1000 b	1785	1699	5256
Com N	782	974 a	1067	1043 a	1815 a	1765	5336 a
Sem N	777	843 b	1031	998 b	1725 b	1718	5064 b
40 mil ha ⁻¹	689	782	1085	1020	1833	1752	5056
60 mil ha ⁻¹	803	901	1005	1012	1728	1725	5157
80 mil ha ⁻¹	814	963	1043	1028	1725	1736	5239
100 mil ha ⁻¹	812	988	1063	1021	1795	1754	5350

Apêndice I — Resumo da análise de variância (p-valores) de modalidades de cultivo, adubação nitrogenada e densidade de plantas de milho. Médias dos efeitos principais seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

	Milho 2018			Milho 2019		
	Receita B.	Custos Op.	Lucro	Receita B.	Custos Op.	Lucro
Bloco	0.3256	0.3257	0.3256	0.9611	0.9611	0.9612
Consórcio (C)	0.0922	0.0007	0.0327	0.0127	0.0108	0.0089
CV(%)	9.24	1.00	25.74	7.26	0.98	12.69
Nitrogenio (N)	0.1276	0.0000	0.0577	0.0003	0.0000	0.0439
C x N	0.2863	0.2862	0.2863	0.2061	0.2061	0.2060
CV(%)	7.03	0.76	19.58	4.73	0.64	8.27
Densidade (D)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
D x C	0.0209	0.0209	0.0209	0.1139	0.1139	0.1136
D x N	0.2346	0.2345	0.2346	0.0013	0.0013	0.0013
D x C x N	0.0328	0.0328	0.0328	0.0975	0.0975	0.0978
CV(%)	4.13	0.44	11.50	3.55	0.48	6.20
Milho + Braç	4544	3175 a	1369 b	7297 b	3579 a	3718 b
Milho Solteiro	4808	3061 b	1747 a	8043 a	3529 b	4513 a
Com N	4748	3280 a	1468	8009 a	3785 a	4224 a
Sem N	4603	2956 b	1647	7331 b	3323 b	4008 b
40 mil ha ⁻¹	4033	2739	125	6163	3177	2987
60 mil ha ⁻¹	4768	3014	1755	7549	3452	4097
80 mil ha ⁻¹	4943	3248	1694	8377	3693	4685
100 mil ha ⁻¹	4959	3472	1487	8590	3895	4695

Apêndice J — Resumo da análise de variância (p-valores) de modalidades de cultivo, adubação nitrogenada e densidade de plantas de milho. Médias dos efeitos principais seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

	Soja 2018/19			Soja 2019/20		
	Receita B.	Custos Op.	Lucro	Receita B.	Custos Op.	Lucro
Bloco	0.8228	0.8228	0.8228	0.8769	0.8769	0.8769
Consórcio (C)	0.4480	0.4480	0.4480	0.0279	0.0279	0.0279
CV(%)	7.53	0.75	14.18	4.90	0.44	7.54
Nitrogenio (N)	0.0198	0.0198	0.0198	0.0448	0.0448	0.0448
C x N	0.4574	0.4574	0.4574	0.9351	0.9351	0.9351
CV(%)	5.6	0.56	10.53	4.83	0.44	7.42
Densidade (D)	0.0190	0.0190	0.0190	0.9051	0.9051	0.9051
D x C	0.7152	0.7152	0.7152	0.1392	0.1392	0.1392
D x N	0.7120	0.7120	0.7120	0.6916	0.6916	0.6916
D x C x N	0.9554	0.9554	0.9554	0.6650	0.6650	0.6650
CV(%)	5.43	0.54	10.22	5.33	0.48	8.19
Milho + Braç	6281	3130	3151	10350 a	3756 a	6594 a
Milho Solteiro	6385	3135	3249	9854 b	3739 b	6115 b
Com N	6472 a	3140 a	3333 a	10256 a	3753 a	6503 a
Sem N	6193 b	3126 b	3067 b	9948 b	3743 b	6205 b
40 mil ha ⁻¹	6516	3142	3374	10117	3748	6368
60 mil ha ⁻¹	6162	3125	3037	10026	3745	6280
80 mil ha ⁻¹	6225	3128	3098	10100	3748	6353
100 mil ha ⁻¹	6428	3138	3290	10166	3750	6416

Apêndice K — Resumo da análise de variância (p-valores) de modalidades de cultivo, adubação nitrogenada e densidade de plantas de milho. Médias dos efeitos principais seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

	Milho + Soja 2018/19			Milho + Soja 2019/20			Acumulado Milho + Soja		
	Receita Bruta	Custos Oper.	Lucro	Receita Bruta	Custos Oper.	Lucro	Receita Bruta	Custos Oper.	Lucro
Bloco	0.4701	0.4157	0.4741	0.9946	0.9959	0.9943	0.9213	0.8623	0.9239
Consórcio (C)	0.1389	0.0022	0.0702	0.4019	0.0134	0.2863	0.2415	0.0048	0.1428
CV(%)	6.67	0.71	14.51	5.76	0.69	9.31	5.89	0.68	10.53
Nitrogenio (N)	0.0067	0.0000	0.4124	0.0011	0.0000	0.0184	0.0017	0.0000	0.0500
C x N	0.1633	0.1568	0.1644	0.4388	0.3176	0.4460	0.9199	0.8863	0.9218
CV(%)	3.81	0.41	8.29	3.77	0.42	6.12	3.64	0.39	6.55
Densidade (D)	0.0000	0.0000	0.7652	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
D x C	0.1363	0.0706	0.1418	0.0383	0.0272	0.0393	0.1467	0.1633	0.1465
D x N	0.8583	0.7920	0.8604	0.8083	0.2084	0.8318	0.8419	0.3382	0.8614
D x C x N	0.5363	0.3254	0.5501	0.2073	0.1010	0.2146	0.1921	0.1060	0.1989
CV(%)	3.71	0.36	8.10	3.39	0.34	5.54	2.73	0.27	4.93
Milho+Braq	10825	6305 a	4519	17647	7335 a	10312	28472	13640 a	14832
Milho Solteiro	11192	6197 b	4996	17897	7269 b	10628	29089	13465 b	15624
Com N	11221 a	6420 a	4801	18265 a	7538 a	10727 a	29486 a	13958 a	15528 a
Sem N	10796 b	6082 b	4714	17278 b	7065 b	10213 b	28075 b	13148 b	14927 b
40 mil ha ⁻¹	10549	5880	4669	16280	6925	9355	26829	12805	14024
60 mil ha ⁻¹	10930	6138	4792	17574	7197	10377	28505	13335	15169
80 mil ha ⁻¹	11168	6376	4792	18477	7440	11037	29645	13816	15829
100 mil ha ⁻¹	11387	6609	4778	18756	7645	11111	30143	14254	15889