

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

Faculdade de Engenharia – Campus de Ilha Solteira

DIEGO RUBIÃO CHAVES

**SISTEMAS DE CONSÓRCIOS DE MILHO ASSOCIADO A DOSES DE
NITROGÊNIO E SEUS REFLEXOS NO FEIJÃO COINOCULADO EM SUCESSÃO**

Ilha Solteira – SP

Março de 2024

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

Faculdade de Engenharia – Campus de Ilha Solteira

DIEGO RUBIÃO CHAVES

**SISTEMAS DE CONSÓRCIOS DE MILHO ASSOCIADO A DOSES DE
NITROGÊNIO E SEUS REFLEXOS NO FEIJÃO COINOCULADO EM SUCESSÃO**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia, Unesp- Campus de Ilha Solteira,
Para obtenção do título de Mestre em Agronomia
-Especialidade: Sistemas de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Vagner do Nascimento

Co-orientador: Prof. Dr. Orivaldo Arf

Ilha Solteira – SP

Março de 2024

IMPACTOS POTENCIAIS NA SOCIEDADE

Este trabalho traz contribuições a agricultura brasileira e a qual mais se estender, direcionado as culturas do milho e feijão, ambas amplamente difundidas em nosso cenário agrícola, porém com necessidade de desenvolvimento constante e melhores resultados, fato que justifica a aplicação das estratégias aqui estudadas. Por esta razão, esta pesquisa foi desenvolvida com foco na obtenção de novos conhecimentos sobre as estratégias de manejo culturais e nutricional das culturas do milho e feijão com foco no elemento nitrogênio, sendo este o mais complexo em função de suas perdas ante os fatores ambientais e seu custo elevado. A aplicação desta pesquisa embasou-se na condução da cultura do milho de forma associada ao cultivo de espécies de cobertura, seguida do fornecimento variado de uma fonte de nitrogênio, e a inoculação de bactérias promotoras de crescimento de plantas pulverizadas em área total e co-inoculação de bactérias fixadoras de nitrogênio, considerando a interação das espécies e influência dos resíduos deixados pelas culturas. Conclui-se por meio dos resultados obtidos que a cultura do milho pode ser cultivada em sistema de consórcio a outras espécies e que esta condição pode trazer benefícios a cultura principal no que diz respeito aos componentes agronômicos, além da redução da dose de nitrogênio, e que o cultivo do feijão em sucessão pode ser beneficiado pelos sistemas de consórcios anteriores, com plantas de cobertura e pela inoculação e co-inoculação de bactérias, favorecendo a redução da dose de nitrogênio em cobertura.

POTENTIAL IMPACTS ON SOCIETY

This work brings contributions to Brazilian agriculture and which it will extend further, targeting corn and bean crops, both widely spread in our agricultural scenario, but with a need for constant development and better results, a fact that justifies the application of the strategies studied here. For this reason, this research was developed with a focus on obtaining new knowledge about the cultural and nutritional management strategies of corn and bean crops with a focus on the nitrogen element, which is the most complex due to its losses due to environmental and its high cost. The application of this research was based on the conduction of corn cultivation in association with the cultivation of cover species, followed by the varied supply of a source of nitrogen, and the inoculation of plant growth-promoting bacteria sprayed in the total area and co- inoculation of nitrogen-fixing bacteria, considering the interaction of species and the influence of residues left by crops. It is concluded from the results obtained that the corn crop can be cultivated in a consortium system with other species and that this condition can bring benefits to the main crop with regard to agronomic components, in addition to reducing the nitrogen dose, and that the cultivation of beans in succession can benefit from previous intercropping systems, with cover crops and the inoculation and co-inoculation of bacteria, favoring the reduction of the nitrogen dose in cover crops.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

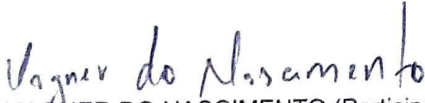
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: SISTEMAS DE CONSÓRCIOS DE MILHO ASSOCIADO A DOSES DE NITROGÊNIO E SEUS REFLEXOS NO FEIJÃO COINOCULADO EM SUCESSÃO

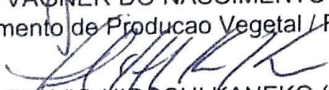
AUTOR: DIEGO RUBIÃO CHAVES

ORIENTADOR: VAGNER DO NASCIMENTO

COORDENADOR: ORIVALDO ARF

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia, área:
Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. VAGNER DO NASCIMENTO (Participação Presencial)
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas - UNESP


Prof. Dr. FLAVIO HIROSHI KANEKO (Participação Presencial)
Departamento de Agronomia / Universidade Federal do Triângulo Mineiro - UFTM


Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO (Participação Presencial)
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Ilha Solteira, 08 de março de 2024

DEDICATÓRIA

Ao homem do campo, um herói sem medalha.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Vagner do Nascimento pela amizade, apoio e pelos conhecimentos passados, por ter me acolhido como orientador e por compor este capítulo da minha vida.

Ao Prof. Dr. Orivaldo Arf pelo exemplo de pessoa, e pela experiência compartilhada.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio financeiro, PROCESSO: 2020/00357-0. À UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT), Campus de Dracena e Faculdade de Engenharia (FE), Campus de Ilha Solteira, Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela infraestrutura e recursos humanos disponibilizados.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001”

Resumo

A diversificação (sucessão e consorciação) de culturas associado à redução da adubação nitrogenada são práticas agrícolas sustentáveis, inovadoras e de baixo custo e podem incrementar a produtividade de grãos e aporte de carbono e nitrogênio no sistema solo-planta. O objetivo do projeto foi avaliar os efeitos do cultivo de milho segunda safra solteiro e consorciado com culturas de cobertura associado a doses de nitrogênio em cobertura, e seus efeitos no desenvolvimento e produtividade de feijão submetido a redução da dose de adubação nitrogenada em cobertura em sucessão. O projeto de pesquisa foi desenvolvido em duas etapas durante o outono-inverno no município de Dracena, SP e uma área irrigada por aspersão. O primeiro experimento foi realizado em delineamento experimental de blocos ao acaso em esquema fatorial 4x4, constituído por milho solteiro e consorciado com culturas de cobertura (*Crotalaria spectabilis*, *Urochloa ruziziensis* e *C. spectabilis* + *U. ruziziensis*) e quatro doses de nitrogênio (zero, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) utilizando ureia em cobertura com metade (50%) da dose no estágio V₅ e metade (50%) em estágio V₈, com quatro repetições, toda área recebeu aplicação de *Azospirillum brasilense* no estágio V₄. No segundo experimento o delineamento experimental foi em blocos casualizados disposto em esquema fatorial 4x4x2 para o feijão, com quatro repetições, coinoculado (*Rhizobium tropici* + *Azospirillum brasilense*) em sucessão submetido a aplicação de 50% e 100% da dose recomendada da adubação nitrogenada em cobertura. Avaliações realizadas na cultura do milho: matéria seca de plantas, radiação fotossinteticamente ativa, teor de nitrogênio foliar, índice de clorofila foliar, população final de plantas, altura média de plantas, altura de inserção da espiga, diâmetro de colmo, número de fileiras de grãos por espiga, número de grãos por fileira, massa de cem grãos e produtividade de grãos. Avaliações realizadas na cultura do feijão: população de plantas, matéria seca de plantas, radiação fotossinteticamente ativa, teor de nitrogênio foliar, índice de clorofila foliar, número de vagens por planta, número de grãos por planta, número médio de grãos por vagem, massa de cem grãos, produtividade de grãos e ciclo da cultura. O sistema de consórcio entre milho + *Crotalaria spectabilis* aumenta a concentração de nitrogênio foliar do milho, entretanto, semelhante ao cultivo de milho solteiro. Os consórcios entre milho + *Urochloa ruziziensis* associados às doses de zero e 40 kg ha⁻¹ de N e entre milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* associados as doses de 80 kg ha⁻¹ de N em cobertura proporcionaram as maiores produtividades de grãos do milho. A dose de 40 kg ha⁻¹ de N apresentou resultados superiores nos consórcios entre milho + *C. spectabilis* e milho + *U. ruziziensis* para massa seca de plantas de milho assim como o milho solteiro. No consórcio entre milho + *C. spectabilis* associado a dose zero de nitrogênio, foi observado maior acúmulo de matéria seca no feijoeiro em função do efeito residual. Nos sistemas de consórcio entre milho + *C. spectabilis* (2.753 kg ha⁻¹) e entre milho + *U. ruziziensis* (2.717 kg ha⁻¹) isoladamente resulta em incrementos de 10% na produtividade de grãos do feijão quando comparado ao milho solteiro (2.488 kg ha⁻¹). O consórcio entre milho + *C. spectabilis* associado a doses de 0 kg ha⁻¹ N proporcionou a maior produtividade de feijão (3.168 kg ha⁻¹).

Termos para indexação: *Zea mays* L., *Crotalaria spectabilis*, *Urochloa ruziziensis*, Fixação biológica de nitrogênio, adubação nitrogenada, *Phaseolus vulgaris*, inoculação de bactérias, bactérias promotoras de crescimento.

Abstract

The diversification (intercropping and succession) of crops associated with the reduction of nitrogen fertilization are sustainable, innovative and low-cost agricultural practices and can increase grain productivity and the contribution of carbon and nitrogen in the soil-plant system. The objective of the project was to evaluate the effects of growing second-crop corn single and intercropped with cover crops associated with doses of nitrogen in top dressing, and its effects on the development and productivity of beans subjected to a reduction in the dose of nitrogen fertilizer in top dressing in succession. . The research project was developed in two stages during the autumn-winter in the municipality of Dracena, SP and an area irrigated by sprinkler. The first subproject was carried out in a randomized block experimental design in a 4x4 factorial scheme, consisting of single corn and intercropped with cover crops (*Crotalaria spectabilis*, *Urochloa ruziziensis* and *C. spectabilis* + *U. ruziziensis*) and four doses of nitrogen (zero, 40, 80 and 120 kg ha⁻¹) using urea in coverage with half (50%) of the dose at stage V5 and half (50%) at stage V8, with four replications, the entire area received application of *Azospirillum brasilense* at stage V4. In the second subproject, the experimental design was in randomized blocks arranged in a 4x4x2 factorial scheme for beans, with four replications, coinoculated (*Rhizobium tropici* + *Azospirillum brasilense*) in succession, subjected to application of 50% and 100% of the recommended dose of nitrogen fertilizer in top dressing. . Assessments carried out in corn cultivation: plant dry matter, photosynthetically active radiation, leaf nitrogen content, leaf chlorophyll index, final plant population, average plant height, ear insertion height, stem diameter, number of rows of grains per ear, number of grains per row, mass of one hundred grains and grain yield. The following were evaluated in the bean crop: plant population, plant dry matter, photosynthetically active radiation, leaf nitrogen content, leaf chlorophyll index, number of pods per plant, number of grains per plant, average number of grains per pod, mass of one hundred grains, grain productivity and crop cycle. The intercropping system between corn + *Crotalaria spectabilis* increases the concentration of foliar nitrogen in corn, however, similar to single corn cultivation. The consortia between corn + *Urochloa ruziziensis* associated with doses of zero and 40 kg ha⁻¹ of N and between corn + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* associated with doses of 80 kg ha⁻¹ of N in coverage provided the highest grain yields of corn. The dose of 40 kg ha⁻¹ of N showed superior results in intercrops between corn + *C. spectabilis* and corn + *U. ruziziensis* for dry mass of corn plants as well as single corn. In the consortium between corn + *C. spectabilis* associated with zero nitrogen dose, a greater accumulation of dry matter was observed in the bean plant due to the residual effect. In intercropping systems between corn + *C. spectabilis* (2,753 kg ha⁻¹) and between corn + *U. ruziziensis* (2,717 kg ha⁻¹) alone, it results in 10% increases in bean grain productivity when compared to single corn (2,488 kg ha⁻¹). The consortium between corn + *C. spectabilis* associated with doses of 0 kg ha⁻¹ N provided the highest bean productivity (3,168 kg ha⁻¹).

Index terms: *Zea mays* L., *Crotalaria spectabilis*, *Urochloa ruziziensis*, Biological nitrogen fixation, nitrogen fertilization, *Phaseolus vulgaris*, inoculation of bacteria, growth-promoting bacteria.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1-** Precipitação pluvial (mm), temperatura máxima e mínima (°C) do ar, em Dracena, SP, Brasil, durante a condução do experimento de sistemas de consorciação e doses de nitrogênio em milho segunda safra em 2022 (a). Tensão de água (kPa) no solo de quatro (4) baterias de tensiômetros instalados a 0,00-0,20 m e 0,00-0,40 m de profundidade do solo na área experimental e resultados de comportamento da evapotranspiração do milho (ETc) em mm, em Dracena, SP, durante a condução do experimento de sistemas de consorciação e doses de nitrogênio em milho segunda safra em 2022 (b).....13
- Figura 2-** Precipitação pluvial (mm) registrada, irrigações realizadas (mm) e comportamento da evapotranspiração do milho (ETc) em mm, em Dracena, SP, Brasil, durante a condução do experimento de sistemas de consorciação e doses de nitrogênio em milho segunda safra em 2022.....14
- Figura 3.** Comportamento da precipitação pluvial (mm), temperatura máxima e mínima (°C) do ar, em Dracena, SP, Brasil, durante a condução do experimento de efeito residual de sistemas de consórcio e adubação nitrogenada em feijoeiro coinoculado irrigado.....21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores médios de população final (PF) de plantas, teor de nitrogênio (N) foliar, teor relativo de clorofila (Índice SPAD) foliar, massa seca das plantas (MSP), altura média de plantas (AP), altura inserção de espigas (AIE) e diâmetro do colmo (DC) do milho consorciado com plantas de cobertura associado a doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2022.....27

Tabela 2 - Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente à população final de plantas, teor relativo de clorofila foliar, altura média de plantas, altura de inserção da espiga e diâmetro de colmo do milho segunda safra consorciado com plantas de cobertura associado a doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2022.....23

Tabela 3 - Valores médios de número de fileiras de grãos por espiga (NFGE), número de grãos por fileira (NGF), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), massa de cem grãos (M100G) e produtividade de grãos (PG) do milho segunda safra consorciado com plantas de cobertura associado a doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2022.....33

Tabela 4 - Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente a número de fileiras de grãos por espiga, número de grãos por fileira, massa de cem grãos, produtividade de grãos do milho, produtividade de matéria seca e acúmulo de nitrogênio (N) da parte aérea dos resíduos culturais em experimento de milho consorciado com plantas de cobertura associado a doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2022.....34

Tabela 5 - Valores médios da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) no terço superior (TS), terço médio (TM) e terço inferior (TI) do dossel em VT (florescimento masculino) do milho segunda safra consorciado com plantas de cobertura associado a doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2022.....37

Tabela 6 - Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente à radiação fotossinteticamente ativa (RFA) no terço superior, terço médio e terço inferior do dossel em VT (florescimento masculino) do milho segunda safra consorciado com plantas de cobertura associado a doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2022.....38

Tabela 7 - Valores médios da população final de plantas (PF), teor relativo de clorofila foliar (TCF), acúmulo de massa seca na planta toda (AMSP) e concentração foliar de nitrogênio (N) da cultura do feijão coinoculado primeira safra após consorcio de milho com plantas de cobertura e doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2023.....39

Tabela 8 - Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente a população final de plantas, teor relativo de clorofila foliar, massa seca de plantas e concentração foliar do nitrogênio (N) do feijão coinoculado primeira safra após consorcio de milho com plantas de cobertura e doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2023.....40

Tabela 9 - Valores médios do número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), número médio de grãos por vagem (NGV), massa de cem grãos (M100G) e produtividade de grãos (PG) da cultura do feijão coinoculado primeira safra após consorcio de

milho com plantas de cobertura e doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2023.....42

Tabela 10 - Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente ao número de vagens por planta do feijão coinoculado primeira safra após consórcio de milho com plantas de cobertura e doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2023.....43

Tabela 11 - Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente ao número de grãos por planta do feijão coinoculado primeira safra após consórcio de milho com plantas de cobertura e doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2023.....44

Tabela 12 - Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente ao número de grãos por vagem do feijão coinoculado primeira safra após consórcio de milho com plantas de cobertura e doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2023.....45

Tabela 13 - Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente a massa de cem grãos e produtividade de grãos do feijão coinoculado primeira safra após consórcio de milho com plantas de cobertura e doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2023.....47

Tabela 14 - Valores médios da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) no terço superior (TS), terço médio (TM) e terço inferior (TI) do dossel em R6 (florescimento pleno) do feijão coinoculado primeira safra após consórcio de milho com plantas de cobertura e doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2023.....49

Tabela 15 - Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente à radiação fotossinteticamente ativa (RFA) no terço superior, terço médio e terço inferior do dossel em R6 (florescimento pleno) do feijão coinoculado primeira safra após consórcio de milho com plantas de cobertura e doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2023.....50

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	2
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1.ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO MILHO	5
2.2.ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO FEIJÃO.....	10
3. MATERIAIS E MÉTODOS	12
3.1 DADOS CLIMATOLÓGICOS	12
3.2 MANEJO DA IRRIGAÇÃO	13
3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	15
3.4 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO E DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	15
3.5 PREPARO DA ÁREA EXPERIMENTAL	15
3.6 SEMEADURA DO MILHO E DAS PLANTAS DE COBERTURA	16
3.7 CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS	17
3.8 TRATOS CULTURAIS (experimento 1).....	17
3.9 AVALIAÇÕES REALIZADAS NA CULTURA DO MILHO	18
3.9.1 MATÉRIA SECA DE PLANTAS	18
3.9.2 RADIAÇÃO FOTOSSÍNTETICAMENTE ATIVA (RFA).....	18
3.9.3 CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO (N) FOLIAR.....	19
3.9.4 ÍNDICE DE CLOROFILA FOLIAR (ÍNDICE SPAD)	19
3.9.5 POPULAÇÃO FINAL DE PLANTAS	19
3.9.6 ALTURA MÉDIA DE PLANTAS.....	19
3.9.7 ALTURA DE INSERÇÃO DE ESPIGA.....	20
3.9.8 DIÂMETRO DE COLMO	20
3.9.9 NÚMERO DE FILEIRAS DE GRÃOS POR ESPIGA.....	20
3.9.10 NÚMERO DE GRÃOS POR FILEIRA	20
3.9.11 MASSA DE CEM GRÃOS (g)	20
3.9.12 PRODUTIVIDADE DE GRÃOS	20
3.9.10 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	22
3.9.11 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO E DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	23
3.9.12 CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS	22
3.9.13 SEMEADURA DO FEIJÃO.....	22
3.9.14 TRATOS CULTURAIS (experimento 2).....	22
3.9.15 AVALIAÇÕES REALIZADAS NA CULTURA DO FEIJÃO	23
3.9.15.1 POPULAÇÃO DE PLANTAS	23
3.9.15.2 MASSA SECA DE PLANTAS	23
3.9.15.3 RADIAÇÃO FOTOSSÍNTETICAMENTE ATIVA (RFA).....	24
3.9.15.4 ÍNDICE DE CLOROFILA FOLIAR (ÍNDICE SPAD)	24
3.9.15.5 TEOR DE NITROGÊNIO FOLIAR.....	24
3.9.15.6 COMPONENTES DA PRODUÇÃO	24
3.9.15.6.1 NÚMERO DE VAGENS POR PLANTA.....	24
3.9.15.6.2 NÚMERO DE GRÃOS POR PLANTA	25
3.9.15.6.3 NÚMERO MÉDIO DE GRÃOS POR VAGEM.....	25
3.9.15.6.4 MASSA DE CEM GRÃOS	25
3.9.15.7 PRODUTIVIDADE DE GRÃOS	25
3.9.15.8 CICLO.....	25

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1.EXPERIMENTO 1	26
4.2.EXPERIMENTO 2.....	39
5. CONCLUSÃO	52
6. REFERÊNCIAS	53

1. INTRODUÇÃO

Quando analisamos a questão nutricional para a cultura do milho, diversos autores enfatizam as dificuldades encontradas, principalmente quando falamos de nitrogênio, já que o manejo das adubações nitrogenadas apresenta complexidade devido ao custo e aos problemas na eficiência de algumas fontes (MENEZES, 2004), a exemplo disso, podemos citar a possibilidade de volatilização da amônia quando fazemos uso de ureia (FRAZÃO et al., 2014), e mesmo assim ainda temos a ureia e o sulfato de amônio como as fontes mais utilizadas no Brasil para a cultura do milho (BIESDORF et al., 2016).

Dentre os nutrientes exigidos pela cultura do milho, o nitrogênio ocupa uma importante posição, desempenhando funções metabólicas e estando diretamente ligado aos componentes de produção da cultura, infelizmente, apresentando inúmeras possibilidades de perdas em função de sua dinâmica e resposta aos fatores climáticos. Tentando sanar este problema, diversas alternativas vêm sendo buscadas para reduzir essas perdas (RODRIGUES, 2018).

Atualmente o cultivo em sistema de consórcio vem sendo avaliado, visando sistemas produtivos mais sustentáveis, dentre estes sistemas também se destaca o plantio direto (SPD), este por sua vez presente nas mais diversas regiões produtoras do Brasil. Atrelado a essa realidade, a utilização de plantas de cobertura tem agregado melhorias ao SPD, protegendo o solo, fixando e efetuando a ciclagem de nutrientes, especialmente o nitrogênio (N), favorecendo até mesmo as culturas em sucessão. Além disso, o cultivo consecutivo das plantas de cobertura, trazem incrementos nos teores de matéria orgânica e na disponibilidade de nutrientes (MICHELON et al., 2019).

A cultura do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) vem sendo cultivado há milhares de anos pela humanidade e até os dias atuais gera divergência quando abordada sua origem. Um grupo de pesquisadores acredita que a cultura tenha se originado na região que se estende desde o sudeste dos Estados Unidos da América até o Panamá com ênfase para o México e Guatemala,

outro grupo aponta para a faixa que parte do Peru até o norte da Argentina, e um terceiro grupo aponta para a região que vai desde a Colômbia e Venezuela até o norte do Peru (EMBRAPA, 2012).

É importante considerar que a cultura do feijão foi beneficiada por uma intensa transformação técnica em seu segmento produtivo, desta forma, maiores números em produtividade foram alcançados (PELIGRINI et al., 2017). Segundo a Conab (2023), a área cultivada com a cultura em 2023 foi de 2,77 milhões de hectares, com uma produtividade média nacional de 1.091 kg ha⁻¹, representando queda de 3% com relação à safra passada. Dentre as regiões produtoras, o Centro-Oeste ostenta a primeira posição quando falamos de produtividade, com média superior a 2,3 ton ha⁻¹.

Uma alternativa para diversificar os sistemas de produção é a sucessão de cultivos, que possibilita maior eficiência no uso dos recursos naturais, e além de proporcionar maior conservação do solo (PEREIRA et al., 2017) a sucessão promove a deposição de restos vegetais no período pós colheita, momento onde os cultivos podem sofrer com estresses hídricos ocasionados pela sazonalidade das chuvas nesta época (MIGUEL et al., 2018). A sucessão está ligada também a ciclagem de nutrientes, na intensidade da relação carbono/nitrogênio e nos teores de matéria orgânica no solo.

Quando consideramos os cultivos que sucedem os consórcios, a cultura do feijão se destaca, já que é amplamente beneficiada nesse contexto, favorecida pela palha deixada pelo cultivo anterior, e também pelo fornecimento de nitrogênio ao sistema, fator que possibilita a redução do uso deste nutriente, com consequente redução nos custos e nos impactos ambientais.

Portanto, estudos multidisciplinares, envolvendo sistemas de consorciação de milho segunda safra com plantas de cobertura (fabáceas e poáceas) combinadas doses de nitrogênio em cobertura, sucessão de culturas e as tecnologias de inoculação e co-inoculação, podem proporcionar melhorias e/ou manutenção do sistema de produção. Essas práticas agrícolas

proporcionarão alterações positivas e duradouras nos atributos do solo, podendo também levar ao aumento da produtividade de biomassa, ciclagem de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio, romper camadas compactadas, exploração alternada de diferentes profundidades do solo, manutenção ou aumento dos teores da matéria orgânica e melhorar o equilíbrio e a disponibilidade de nutrientes no solo. Além disso, poderão ocorrer incrementos e estabilização na produtividade de culturas comerciais em sucessão, em região de clima quente e seco de baixa altitude e com predominância de solos arenosos.

Diante disso, a pesquisa teve como objetivo avaliar e quantificar o desempenho agrônômico e produtivo do milho segunda safra, em cultivo solteiro e consorciado com culturas de cobertura associado a doses de nitrogênio em cobertura e seus efeitos no desenvolvimento e produtividade do feijão coinoculado submetido à redução da adubação nitrogenada em cobertura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO MILHO

Por se tratar de uma cultura extremamente abrangente e de importância sem igual para a humanidade, o milho deixou para trás ao longo da história culturas como o arroz e trigo e a marca de 1,0 bilhão de toneladas produzidas. Não só pelos números voltados a produção, mas pela ampla possibilidade de usos estando presente em mais de 3.500 aplicações que abrangem a alimentação humana e animal, principalmente bovinos, suínos e aves, além da produção de combustíveis entre outros e por possuir papel fundamental quanto a segurança alimentar. (MIRANDA, 2018).

De acordo com a CONAB, 2023, a estimativa de produção da cultura do milho para a safra 2023/2024 é de 117,60 milhões de toneladas, produzidas em mais de 21 milhões de hectares com produtividade média nacional de 5.59 toneladas ha⁻¹, apesar de se tratar de bons números de produção, algumas regiões arrastam histórico de quedas de produtividade em função das ocorrências climáticas que comprometeram a produtividade da cultura, acredita-se que para a demanda doméstica os números superem as 84,4 milhões de toneladas do cereal para consumo, número que representa aumento de 6% quando consideramos a safra anterior, e que as exportações via portos representarão 35 milhões de toneladas, redução influenciada pela queda na disponibilidade do cereal no país.

Atualmente, o milho se apresenta como o mais importante cereal quando consideramos o fator produção, destacando-se como líder mundial tendo superando o arroz e trigo há cerca de 10 anos. Esse fato se dá devido ao foco no desenvolvimento genético da cultura e os resultados no rendimento e ampla adaptação aos diversos ecossistemas onde é cultivada. Possui hoje alto potencial para rendimento de grãos e tem alto valor econômico a nível mundial não só como alimento humano, mas também com uma influência estrondosa na alimentação animal (FAO, 2018).

Nas últimas décadas, aumentar a produtividade agrícola, tornou-se algo necessário para a manutenção do homem no campo e para atender a demanda alimentar, para isso, faz-se necessária a utilização de novas tecnologias com foco no acréscimo de produção por área (KLEINSCHMITT, 2016).

Dentre as tecnologias utilizadas, estão os sistemas de consórcio, apontado por Borges (2018) e Souza et al.(2019) como a forma simultânea de cultivo de culturas comerciais e plantas de cobertura, em todo o ciclo ou parte dele. Além disso é importante considerar que o cultivo consorciado de culturas anuais com forrageiras se apresenta como uma ferramenta tecnológica capaz de verticalizar a produção, melhorar as características físicas do solo, aumentar o volume de palhada em superfície e favorecer acréscimos em produtividade, resultando em maior lucro e sustentabilidade (MENDONÇA, 2017).

Neste contexto, SABUNDJIAN et al., (2013) observaram que as culturas antecessoras quando em sistemas de consórcio, apresentaram efeitos na produtividade do cultivo em sucessão. Corroborando com esse resultado, CASTRO et al., (2023) concluíram que por meio do consórcio entre milho e leguminosas e/ou gramíneas além de não reduzir a produtividade de grãos do milho, promoveu aumento da massa seca sobre o solo e da quantidade acumulada de macronutrientes capazes de beneficiar cultivos em sucessão ou em rotação no sistema plantio direto.

Segundo a FAO, (2016), estratégias como cultivo em SPD atrelado a práticas de manejo adequadas, podem garantir sustentabilidade a produção agrícola, impedir o processo erosivo, as alterações no carbono orgânico do solo e o desequilíbrio de nutrientes, sendo essas as principais ameaças a funcionalidade do solo. KICHEL (2018) aponta que o SPD pode se beneficiar dos cultivos de milho em sistema de consórcio com forrageiras tropicais perenes, além desse sistema ser uma ferramenta para a recuperação ou implantação de pastagens, e por influenciar a produção de grãos e a deposição de palha.

Em estudos realizados por GERLACH et al., (2019), verificaram o consórcio com uma alternativa capaz de suprir a necessidade anual de palha, além da possibilidade de fornecer nitrogênio. Além disso, a versatilidade do consórcio entre poaceas e fabaceas é capaz de atender diferentes características dos produtores desde que sejam considerados critérios técnicos para impedir a competição com a cultura do milho (RAMOS, 2016).

Para Godinho e Gasparotto (2021) dentre as alternativas existentes para recuperação de áreas degradadas, a braquiária tem grande utilização, produzindo forragem para alimentação animal e palhada para o sistema de plantio direto. Além disso, Lima et al. (2019) aponta o consórcio de espécies de Urochoa com a cultura do milho como uma importante alternativa na viabilidade do plantio direto e possui influência na comunidade de plantas daninhas. Entretanto, SOUZA et al., (2019) aponta que o consórcio com crotalária e braquiária não afeta a produtividade do milho em monocultura, além de promover acúmulo em palha e nitrogênio quando comparado com milho e braquiária e milho em monocultura. GERLACH et al., (2019) também observou que a *Crotalaria spectabilis* em consórcio com a cultura do milho, independente da época de semeadura da leguminosa, não apresentou interferências negativas nos componentes de produção do milho, além de proporcionar acúmulo de matéria seca quando comparado ao milho solteiro. CHIEZA et al. (2017) constatou acréscimo econômico e potencial fornecimento de nitrogênio pelo consórcio com crotalária, sendo uma alternativa na adubação de cobertura.

ARF et al., (2018) Concluiu que a utilização de sistemas de consórcio com leguminosas e/ou gramínea, promoveu aumento da massa seca sobre o solo e da quantidade acumulada de N, P e K, comparado ao cultivo de milho solteiro.

Apesar da utilização de mais de uma espécie de crotalária nos sistemas de produção, é de suma importância a escolha correta da espécie a ser utilizada, por esta razão a EMBRAPA (2019), aponta a *Crotalaria spectabilis* como melhor opção, em função da adequação para

cultivo em consórcio, sem prejudicar a produtividade de grãos, além disso, Calegari e Carlos (2014), constataram que a utilização da *Crotalaria spectabilis* foi responsável por fornecer até 160 kg ha⁻¹ de N ao solo, fator que diminui a necessidade do uso de fontes químicas de nitrogênio. Além disso estas espécies favorecem a diversificação de palhada no SPD (KAPPES e ZANCANARO, 2015), além da possibilidade no controle de nematoides fitoparasitas (WANG et al., 2002).

Na cultura do milho, as adubações nitrogenadas se embasam na maioria das vezes em fertilizantes de origem mineral. Este fato se dá devido ao conhecimento da concentração do elemento nas fontes utilizadas, elevada solubilidade, o que representa rápida disponibilidade as plantas, e ótima gestão no sincronismo entre aplicação e demanda pelo nutriente. Porém, algumas fontes podem sofrer mais com as influências do ambiente, se perdendo por lixiviação ou volatilização (GAVILANES et al., 2019).

Em pesquisas realizadas por MARQUES et al., (2020), constataram a importância deste elemento nas funções metabólicas essenciais ao indivíduo vegetal, sendo elas a constituição da clorofila, de enzimas, ácidos nucleicos, proteínas, ATP, NADH e NADPH, além da queda de produtividade e qualidade de grãos em sua ausência. Corroborando com essa ideia, Zucareli et al. (2019) aponta o aumento na altura das plantas, no diâmetro do colmo, na massa seca das folhas, e no teor de nitrogênio tanto nas folhas como nos grãos, como resultados do aumento da dose de nitrogênio em cobertura.

Apesar de ser uma cultura com alta resposta pelo nitrogênio, é necessário conhecer o melhor momento para a realização da aplicação em cobertura, visando reflexos nos componentes de produção, o estágio fenológico V4 é apontado por Silva (2019) como ideal para esta ação.

Além do momento ideal de aplicação, para incrementar a produtividade do milho, é possível afirmar que uma adubação nitrogenada adequada traz excelentes resultados, até mesmo

pelo nível elevado que este macronutriente é requerido pela cultura, além disso, a produtividade e desempenho da cultura do milho está diretamente relacionada com as doses de nitrogênio aplicadas e a forma de cultivo, se consorciada com outras gramíneas ou leguminosas (SAPUCAY et al., 2020). SHIMADA et al., (2021) responsabiliza as grandes produções de milho a aplicação do nitrogênio na cultura.

Em cultivo a nível de campo, quando a cultura foi submetida a doses de adubação nitrogenada de 0, 80 e 160 kg de N ha⁻¹ houve maiores desempenhos nos tratamentos que receberam adubação nitrogenada, proporcionando plantas com maior desenvolvimento, superioridade em área foliar e ação fotossintética, resultados que atestam a importância do nutriente a cultura. Em estudos realizados por SOUZA et al., 2021) e De Oliveira (2020), verificaram que a produtividade crescente na cultura do milho a medida que a dose de nitrogênio foi aumentada nas aplicações em cobertura.

A definição da dose de N a ser utilizada é uma decisão de extrema importância, principalmente quando consideramos o contexto atual onde os fertilizantes apresentam custos elevados e o produto da colheita apresenta baixo valor de mercado (Galindo et al., 2018).

SOUZA et al., (2016) testando doses de N na cultura do milho sobre plantio direto, porém, sem a utilização de *A. brasilense*, concluíram que doses acima de 150 kg ha⁻¹ apresentaram maiores produtividades, independentemente da fonte utilizada.

Em meio aos desafios supracitados, ferramentas como as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) vem sendo uma alternativa viável (GÍRIO et al., 2015), contribuindo de diferentes formas para a cultura, sendo elas a fixação de nitrogênio, incrementos no desenvolvimento radicular, solubilização de alguns nutrientes e consequente resistência a doenças (SCHULTZ et al., 2014; MUTHUKUMARASAMY et al., 2017). Além disso, as BPCPs têm se apresentado como alternativa, até mesmo de forma complementar aos fertilizantes visando sustentabilidade a produção (PATEL; MINOCHEHERHOMJI, 2018).

Atualmente os gêneros mais estudados são as *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Arthrobacter*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Serratia*, *Burkholderia*, *Acinetobacter* e *Klebsiella* (BHATTACHARYYA; JHA 2012; ADESEMOYE et al., 2017), isto ocorre devido a capacidade que elas possuem de melhorar o crescimento e os níveis de defesa das plantas (SANTOS, 2019), por realizarem a fixação do nitrogênio, solubilização de nutrientes, biossíntese de fitohormônios, antibióticos, enzimas hidrolíticas, sideróforos e por induzir um sistema de resistência sistêmico protegendo as plantas contra agentes fitopatogênicos (BENEDUZI et al., 2012; GARCÍA-FRAILE et al., 2015; GUPTA et al., 2015).

Comprovando o benefício do *A. brasilense*, GALINDO et al., (2019) observaram que o aumento da dose de N até 200 kg ha⁻¹ com a inoculação de *A. brasilense* resultou em aumento da produtividade de grãos, não importando a fonte do nutriente utilizada, porém, a dose de 100 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, com inoculação de *A. brasilense*, proporcionou o maior rendimento na produção de milho. O que comprova a efetividade do *A. brasilense* mesmo quando utilizadas doses inferiores de N.

2.2. ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO FEIJÃO

Apesar de estar presente nas mais diversas regiões produtoras do Brasil, a cultura do feijão, pertencente à família das fabáceas (leguminosas), é cultivada predominantemente por produtores familiares e pode compor a dieta humana com qualidade, sendo uma rica fonte energética (COELHO, 2020).

Dentre as demandas nutricionais da cultura do feijão, Nascente et al., (2017), apontam o nitrogênio como elemento de extrema influência na produção de massa seca na cultura do feijão-comum, resulta em aumento dos teores de clorofila, e alterações fisiológicas em detrimento do *A. brasilense*, este relacionado principalmente aos hormônios auxinas e citocininas, que por sua vez impulsionam o desenvolvimento radicular da planta, favorecendo a capacidade de absorção de mais água e nutriente (ZAFAR et. al., 2012).

Atualmente podemos citar a inoculação de rizobactérias como uma tecnologia sustentável, capaz de proporcionar uma condição simbiótica com a planta, visando sustentabilidade no sistema produtivo, sendo facilmente aplicada, tanto durante o processo de semeadura, ou via semente, ou até mesmo via foliar, resultando em estímulos as plantas (GALINDO, 2021), além desses estímulos, o uso de microrganismos benéficos na agricultura pode maximizar a absorção de nutrientes, o consequente aumento do crescimento vegetal, pode conferir resistência a estresses abióticos e até mesmo suprimir doenças, auxiliar a nutrição das plantas qualitativamente e quantitativamente possibilitando a diminuição no uso de adubos sintéticos e ainda assim apresentar resultados semelhantes ao uso destes, tais fatores resultam na redução de custos e melhorias na biodiversidade do solo Cardoso e Andreotti (2016). Paralelo a isso, De Souza et al., (2018) obtiveram incremento de 24,9% na produtividade de feijão-caupi por meio da inoculação, quando comparado a cultura não inoculada.

Souza et al (2018) constatou ainda incremento no tamanho dos grãos e na produtividade do feijoeiro em áreas anteriormente cultivadas com milho em sistema de consórcio, mesmo sem a adição de nitrogênio na cultura do feijão. Fortalecendo esta possibilidade, a utilização do *Rhizobium tropici*, bactérias fixadoras de nitrogênio, quando em processo de simbiose com o feijão, podem fornecer nitrogênio a cultura, mesmo em solos tropicais onde a acidez é elevada (CERRO et al., 2017).

VIÇOSI e PELÁ (2020) constataram que quanto mais elevavam a dose de nitrogênio, a planta do feijão respondia em redução de matéria seca de raízes, número de nódulos e na eficiência do uso do nutriente (N), evidenciando a influência negativa de doses altas de nitrogênio para as bactérias *Rhizobium tropici* e a possibilidade da redução deste nutriente.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida durante o período de 15 de fevereiro a 19 de maio de 2022 (outono-inverno), na área experimental da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” campus de Dracena, estado de São Paulo, localizado a 51° 52' de longitude Oeste de Greenwich e 21° 29' de latitude Sul, com altitude de 420 m acima do nível do mar.

3.1 DADOS CLIMATOLÓGICOS

Os valores médios anuais de precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa do ar são 1.261 mm, 24,0 °C e 64,0%, respectivamente. De acordo com Koppen, o tipo climático é Aw, caracterizado como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Os dados climáticos de temperatura do ar, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar durante a condução da pesquisa foram obtidos na estação Meteorológica Campbell Scientific CR10X, instalada na Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, pertencente à Universidade Estadual Paulista, localizada a 200 m da área experimental. Os dados climáticos foram apresentados na figura 1a.

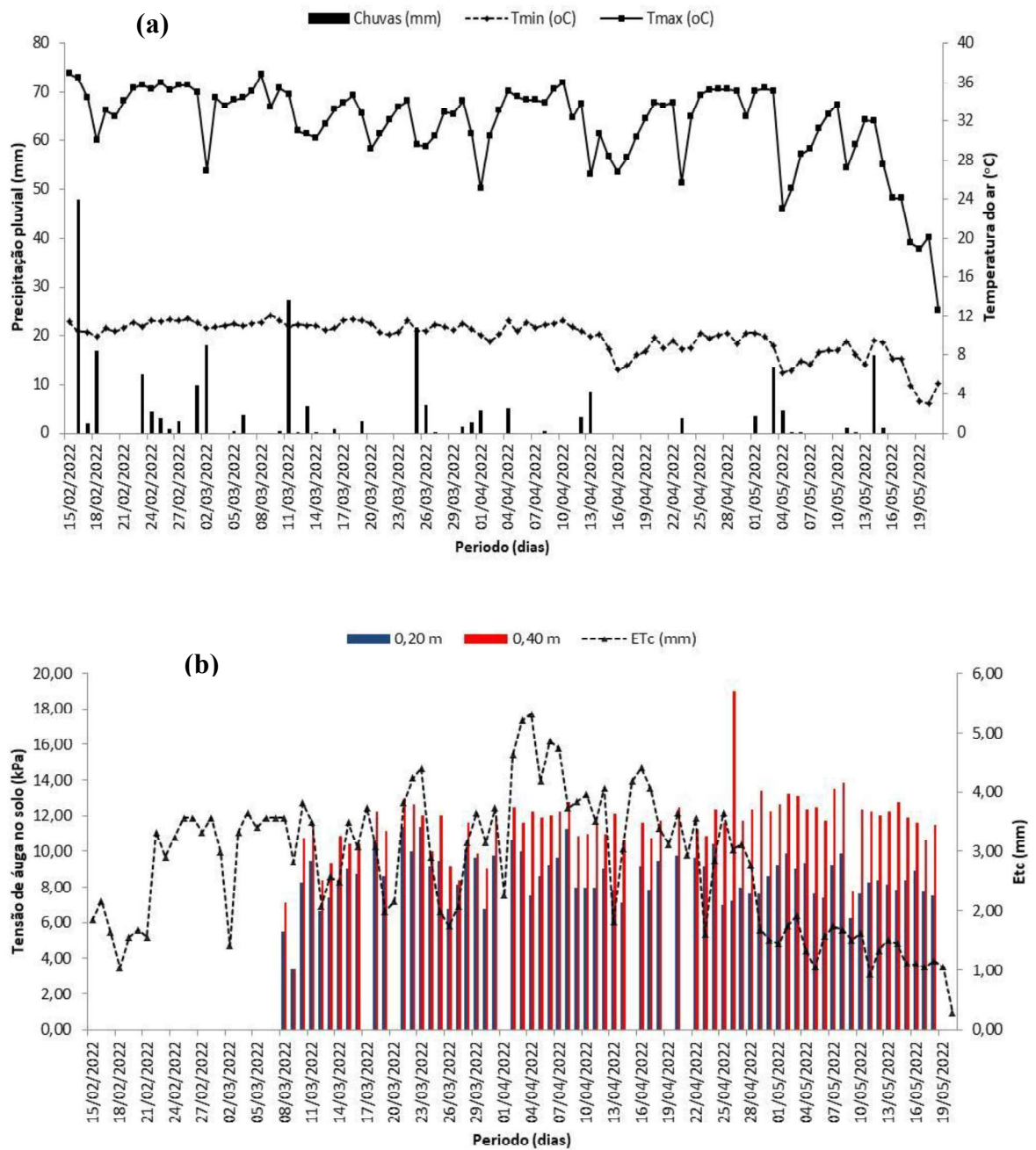


Figura 1. Precipitação pluvial (mm), temperatura máxima e mínima (°C) do ar, em Dracena, SP, Brasil, durante a condução do experimento de sistemas de consorciação e doses de nitrogênio em milho segunda safra em 2022 (a). Tensão de água (kPa) no solo de quatro (4) baterias de tensiômetros instalados a 0,00-0,20 m e 0,00-0,40 m de profundidade do solo na área experimental e resultados de comportamento da evapotranspiração do milho (ETc) em mm, em Dracena, SP, durante a condução do experimento de sistemas de consorciação e doses de nitrogênio em milho segunda safra em 2022 (b).

3.2 MANEJO DA IRRIGAÇÃO

No manejo da água de irrigação foram utilizados coeficientes de cultura (K_c) propostos por Doorenbos e Kassam (1979) de acordo com a escala fenológica de Ritchie et al. (1993).

O monitoramento do potencial matricial do solo foi determinado com uso de tensiômetro nas parcelas de milho solteiro (testemunha). Os resultados de tensão de água no solo (kPa) de quatro baterias de tensiômetros instalados a 0,00-0,20 e 0,00-0,40 m de profundidade do solo na área experimental e os resultados de evapotranspiração do milho (ETc) em mm durante o período de condução da pesquisa e foram apresentados na figura 1b.

Os valores registrados na estação meteorológica referente à precipitação pluvial (chuvas), irrigações realizadas durante a condução da pesquisa, bem como de resultados de evapotranspiração do milho (ETc) durante o período de condução da pesquisa foram apresentados na figura 2.

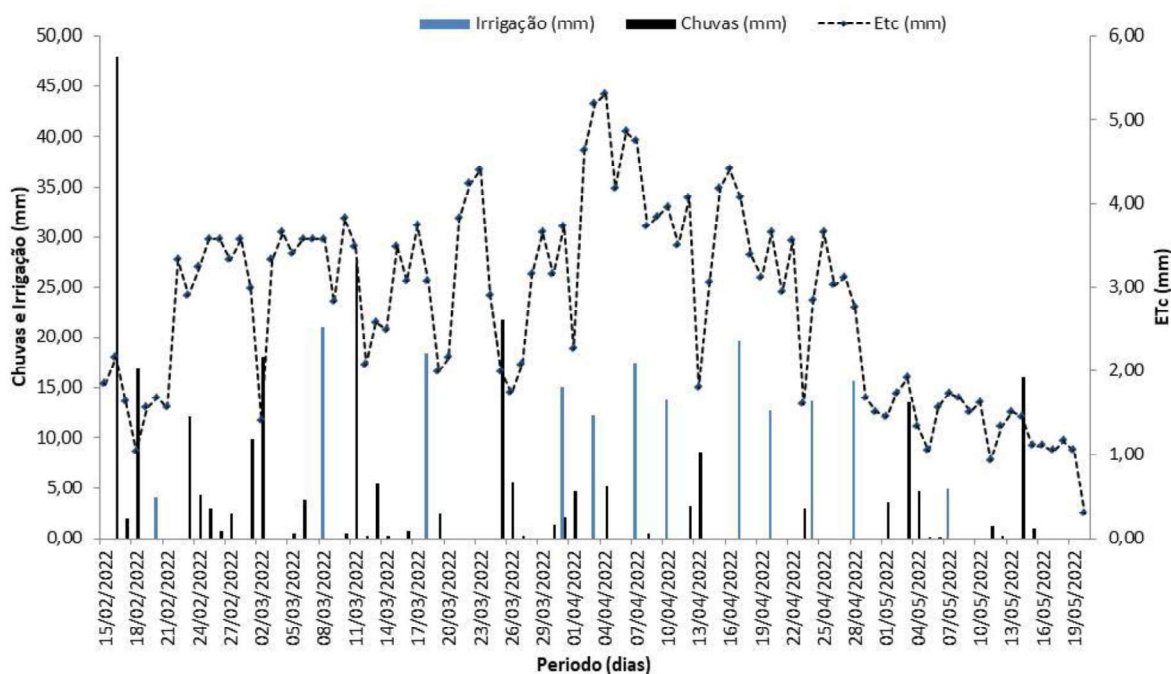


Figura 2. Precipitação pluvial (mm) registrada, irrigações realizadas (mm) e comportamento da evapotranspiração do milho (ETc) em mm, em Dracena, SP, Brasil, durante a condução do experimento de sistemas de consorciação e doses de nitrogênio em milho segunda safra em 2022.

3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Experimento 1: Sistemas de consorciação e doses de N em cobertura em milho segunda safra

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso em esquema fatorial 4x4, constituído por milho solteiro e consorciado com culturas de cobertura (*C. spectabilis*, *U. ruziziensis* e *C. spectabilis* + *U. ruziziensis*) e quatro doses de nitrogênio (zero, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) em cobertura, com quatro repetições.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O solo da área foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo, distrófico, com textura arenosa (Embrapa, 2018).

Para a caracterização do solo do local da pesquisa, foi realizada uma coleta amostral que após análise no laboratório de solo da universidade, apresentou os seguintes resultados: valores de areia, silte e argila de 822 e 788, 73 e 71 e 105 e 140, para as camadas de 0,00-0,20 e 0,21-0,40 m, respectivamente. Para os atributos químicos, foram encontrados os seguintes resultados: 8 e 6 mg dm⁻³ de P (resina); 10 e 11 g dm⁻³ de M.O.; 5,2 e 5,5 de pH (CaCl₂); K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, H+Al, SB e CTC = 1,4 e 1,6; 12 e 16; 6 e 13; 16 e 15; 19,4 e 30,6 e 35,4 e 45,6 mmol_c dm⁻³, respectivamente e 55 e 67% de saturação por bases, respectivamente.

3.5 PREPARO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Aplicou-se em toda área experimental conforme recomendação de Raij et al. (1997), 1.440 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico com PRNT de 90%, em área total, buscando atingir saturação por bases de 70%. A dose total foi parcelada em duas aplicações de 720 kg ha⁻¹, uma em 16/12/2021, e a outra em 22/12/2021, antecedendo aração e gradagem respectivamente.

Foi realizada uma dessecação em área total com base nos herbicidas glyphosate (2.160 g ha⁻¹ do i.a.) + 2,4-D (670 g ha⁻¹ do i.a.) por meio de pulverização tratorizada e vazão de 240 L ha⁻¹ de calda.

3.6 SEMEADURA DO MILHO E DAS PLANTAS DE COBERTURA

No milho em cultivo solteiro e em consórcio foi realizado um espaçamento de 0,90 m entrelinhas. A população de plantas desejada para o milho foi de 60 mil plantas por hectare, constituída de sete sementes por metro linear. A semeadura do milho solteiro e consórcio com *U. ruziziensis*, *C. spectabilis* e ambas ocorreram na mesma data de forma manual e mecânica.

Foi usado um híbrido simples MG593 de ciclo precoce de milho com as tecnologias Power Core e AgrisureViptera3, adaptado às condições ambientais locais de acordo com as recomendações técnicas do cultivar para a região tropical de baixa altitude (até 500 m), sendo recomendado para produção de grãos e alto investimento. Quanto às características agronômicas médias apresenta altura de planta de 2,25 m, altura de 1,20 m de inserção de espiga, 16-18 fileiras de grãos por espiga, arquitetura de planta semiereta, cor do grão amarelo e textura do grão semiduro.

A semeadura mecânica do milho foi realizada em 15 de fevereiro de 2022 com semeadora-adubadora de discos. As culturas de cobertura do solo foram semeadas de forma manual com auxílio de equipamento matraca. As sementes de *U. ruziziensis* utilizadas na pesquisa apresentaram valores de germinação de 80% e pureza física de 90%, constituído de valor cultural (VC) de 72%. A densidade de sementes utilizadas na semeadura para *C. spectabilis* foi de 20,0 kg ha⁻¹. As sementes de *C. spectabilis* utilizadas na pesquisa apresentaram valores de germinação de 82% e pureza física de 99%. Todas as espécies de cobertura do solo foram semeadas na profundidade de 0,03 m. Antes da semeadura do milho foi realizado o tratamento de sementes com imidacloprido + tiodicarbe (270 g + 810 g do i.a.

por 100 kg de sementes, respectivamente). Antes da semeadura da *U. ruziensis* e *C. spectabilis* foi realizado o tratamento de sementes com imidacloprido + tiodicarbe (60 g + 180 g do i.a. por 100 kg de sementes, respectivamente).

3.7 CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS

As parcelas de milho em cultivo solteiro e consorciado com culturas de cobertura (fabáceas e poáceas) foram constituídas por quatro (4) linhas com 5 m de comprimento espaçadas de 0,90 m, sendo semeadas na profundidade de 0,05 m. Todas as parcelas experimentais constituídas de uma área de 18,00 m², considerando-se como área útil para as avaliações as duas linhas centrais de milho, desprezando-se 0,5 m em cada extremidade.

3.8 TRATOS CULTURAIS (experimento 1)

A adubação mineral nos sulcos (N-P₂O₅-K₂O) de semeadura do milho foi de 267 kg ha⁻¹ da formulação 08-28-16, calculada de acordo com os atributos químicos da análise do solo e produtividade esperada de grãos para a região, conforme recomendação de Rajj e Cantarella (1996). Não foi realizada adubação mineral para as plantas de cobertura do solo no momento da semeadura.

A inoculação via foliar com a bactéria diazotrófica, foi realizada no estágio fenológico V₄ (quatro folhas expandidas). A aplicação de inoculante foi realizada aos 24 dias após emergência (DAE) das plantas de milho no horário entre as 16h00 e 17h00, visando condições de temperatura amena, principalmente para favorecer a penetração da bactéria no interior dos estômatos e aberturas naturais. No momento da aplicação do inoculante via foliar, as leituras registradas apresentaram valores médios de 33,2°C de temperatura do ar, 51,4% de umidade relativa do ar e 6,1 km h⁻¹ de velocidade do vento, obtidos nos registros de histórico de dados

meteorológicos da estação Meteorológica Campbell Scientific CR10X, instalada na Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT).

No momento da aplicação do inoculante via foliar foi utilizado um pulverizador costal a pressão constante de 30 libras pol^{-2} (psi) pressurizado por CO_2 comprimido, munido de uma ponta de bico de jato plano “leque” XR 11002, com taxa de aplicação proporcional à 400 L ha^{-1} . O inoculante utilizado contém as estirpes Ab-V₅ e Ab-V₆ de *Azospirillum brasilense* e apresenta 2×10^8 células viáveis por grama do produto comercial, utilizando-se a dose de 500 mL ha^{-1} do inoculante.

A aplicação das quatro doses crescentes de N foi realizada de forma parcelada, sendo metade da dose (50%) aos 25 DAE quando as plantas de milho apresentaram os estádios fenológicos de cinco (V5) folhas expandidas e a outra metade da dose (50%) aos 38 DAE quando as plantas de milho apresentaram os estádios fenológicos de oito (V8) folhas expandidas, usando como fonte de nitrogênio a ureia (46% de N). Após cada aplicação do nitrogênio em cobertura foi aplicado uma lâmina de irrigação de 10 mm para incorporação do nitrogênio.

O manejo de plantas daninhas foi realizado com a utilização de herbicidas aplicados por pulverizador tratorizado regulado para 270 L ha^{-1} . Aos 11 DAE das plantas de milho foi utilizado em pós-emergência o herbicida bentazon (720 g ha^{-1} do i.a.). Os demais tratos culturais e fitossanitários foram os normalmente recomendados à cultura do milho segunda para a região. As colheitas das parcelas de milho foram realizadas em 21/05/2022.

3.9 AVALIAÇÕES REALIZADAS NA CULTURA DO MILHO

3.9.1 MATÉRIA SECA DE PLANTAS

Por ocasião do pendoamento (florescimento masculino de 50% das plantas) das plantas de milho foram coletadas cinco (5) plantas em local pré-determinado, na área útil de cada parcela. As plantas foram levadas ao laboratório, acondicionadas para secagem em estufa de ventilação forçada à temperatura de 65°C, por 72h;

3.9.2 RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA (RFA)

Realizado na mesma época de coleta de matéria seca de plantas por ocasião do pendoamento ou emissão da inflorescência masculina (50% das plantas) das plantas de milho utilizando o Medidor de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) marca APOGEE, MODELO APG-MQ-301, seguindo as recomendações do fabricante. Foram tomadas medidas em todas as parcelas em três pontos dos dosséis: acima, abaixo e no meio, perpendicular às linhas das plantas;

3.9.3 CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO (N) FOLIAR

No estágio R1 ou florescimento feminino (50% das plantas), foi retirado o terço central da folha da base da espiga ou terço central da primeira folha abaixo e oposta à espiga, conforme recomendação de Raij e Cantarella (1996), em cinco plantas por parcela. Após secagem em estufa com circulação forçada de ar 65°C, por 72 horas, foram moídas em moinho tipo Wiley e em seguida submetida à digestão sulfúrica, para determinar o teor de N, conforme metodologia proposta por Malavolta et al. (1997);

3.9.4 ÍNDICE DE CLOROFILA FOLIAR (ÍNDICE SPAD)

A leitura do índice SPAD foi realizada no estágio R1 ou florescimento feminino (50% das plantas) do híbrido de milho. Para a leitura do índice SPAD de clorofila foi utilizado um clorofilômetro digital (SPAD), que faz leituras instantâneas. As leituras efetuadas por este equipamento indicam valores proporcionais de clorofila na folha e são calculadas com base na

quantidade de luz transmitida pela folha em dois comprimentos de ondas com distintas absorbâncias de clorofila. As leituras do índice SPAD foram efetuadas no terço central da folha da base da espiga ou no terço central da primeira folha abaixo e oposta da espiga, conforme recomendação de Raij e Cantarella (1996), em cinco (5) plantas de milho por parcela no estágio R1 ou florescimento feminino (50% das plantas);

3.9.5 POPULAÇÃO FINAL DE PLANTAS

Determinada pela contagem do número de plantas em duas linhas de 4 m na área útil de cada parcela, no final do desenvolvimento da cultura;

3.9.6 ALTURA MÉDIA DE PLANTAS

Foi medida em metros, do nível do solo até a inserção do limbo da folha bandeira, utilizando-se cinco plantas da área útil da parcela;

3.9.7 ALTURA DE INSERÇÃO DE ESPIGAS

Foi medida em metros, do nível do solo até a inserção da espiga superior, utilizando-se cinco plantas da área útil da parcela;

3.9.8 DIÂMETRO DO COLMO

Foi medida em milímetros com paquímetro a uma altura de 0,20 m do nível do solo, utilizando-se cinco plantas da área útil da parcela;

3.9.9 NÚMERO DE FILEIRAS DE GRÃOS POR ESPIGA

Foi determinado pela simples contagem de fileiras do terço médio das mesmas espigas utilizadas para avaliar o comprimento;

3.9.10 NÚMERO DE GRÃOS POR FILEIRA

Na ocasião da colheita foram retiradas 10 espigas por parcela em local pré-estabelecido para a determinação;

3.9.11 MASSA DE CEM GRÃOS (g)

Na ocasião da colheita após a trilha mecânica das parcelas colhidas foi quantificado o valor da massa de cem grãos de duas amostras por parcela e posterior correção da umidade para 13% de base úmida;

3.9.12 PRODUTIVIDADE DE GRÃOS (kg ha^{-1})

Foram retiradas as espigas das plantas de duas linhas de 4 m de comprimento, da área útil de cada parcela, foram colhidas e submetidas à trilha mecânica, os grãos obtidos foram pesados e os dados transformados em kg ha^{-1} , corrigindo para 13% base úmida.

Os resultados foram submetidos ao teste F da análise de variância e constatada a interação significativa entre as fontes de variação, procedera-se o desdobramento, comparando as médias dos sistemas de consórcios e inoculação via foliar pelo teste Tukey, adotando-se o nível de 5% de significância, de acordo com Pimentel Gomes e Garcia (2002). O efeito das doses de nitrogênio foi analisado por regressão polinomial, ajustando-se modelos de equações lineares e quadráticas significativas pelo teste F. Para essa análise estatística foi utilizado o software SISVAR desenvolvido por Ferreira (2019).

3.10 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Experimento 2: Efeito residual de sistemas de consórcio e inoculação com bactérias diazotróficas no cultivo do feijão coinoculado em sucessão

Após a colheita do milho, a área experimental permaneceu em pousio e na sequência foi realizada uma dessecação química. Após a dessecação química foi semeado a cultura do milho (*Pennisetum glaucum*) em área total para formação de palhada (resíduos culturais) e redução do banco de sementes de plantas daninhas. Após o manejo do milho foi cultivado o feijão coinoculado em primeira safra sendo conduzido de setembro a dezembro de 2022 sob manejo de irrigação por aspersão.

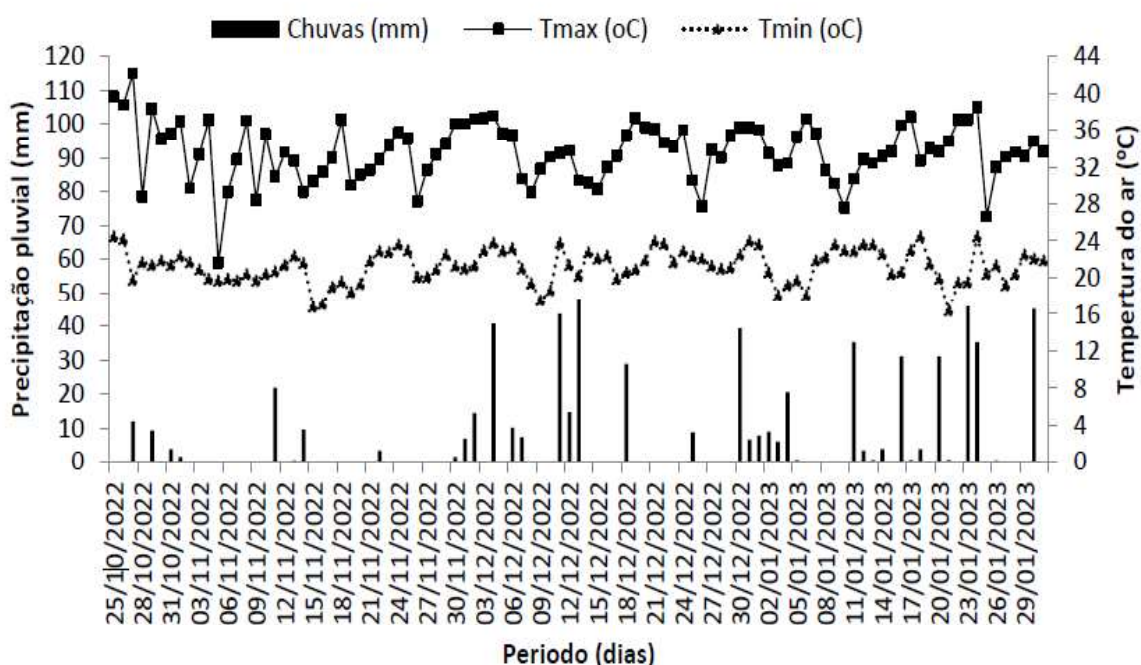


Figura 3. Comportamento da precipitação pluvial (mm), temperatura máxima e mínima (°C) do ar, em Dracena, SP, Brasil, durante a condução do experimento de efeito residual de sistemas de consórcio e adubação nitrogenada em feijoeiro coinoculado irrigado.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema fatorial 4x4x2 para o feijão, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pelo cultivo de milho solteiro e consorciado com culturas de cobertura (*C. spectabilis*, *U. ruziziensis* e *C. spectabilis* + *U. ruziziensis*) e quatro doses de N (zero, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) em cobertura, seguido de cultivo de feijão coinoculado (*Rhizobium tropici* + *Azospirillum brasilense*) em sucessão

submetido a aplicação de 50% e 100% da dose recomendada da adubação nitrogenada em cobertura.

3.11 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Antes da instalação do experimento foi realizada uma caracterização química do solo em toda área de pesquisa, sendo realizada a coleta de uma amostra composta, originada de 20 amostras simples deformadas do solo, com auxílio de um trado de rosca, nas camadas estratificadas de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m.

3.12 CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS

As parcelas foram constituídas por quatro linhas de cinco m de comprimento, sendo consideradas como área útil as duas linhas centrais, desprezando-se 0,5 metros, em ambas as extremidades de cada linha. O espaçamento entrelinhas foi de 0,45 m com distribuição de sementes que permita a obtenção de 12 a 13 plantas por metro.

3.13 SEMEADURA DO FEIJÃO

Foi utilizado um cultivar com hábito de crescimento indeterminado tipo II e grãos do tipo carioca, sendo recomendado e adaptado para a região. A semeadura mecânica foi realizada em setembro de 2022. As sementes foram tratadas previamente com inseticida e fungicida, seguindo as recomendações do fabricante para a cultura. Na sequência após secagem do tratamento de sementes com inseticida e fungicida foi realizada a inoculação das sementes de feijão com *Rhizobium tropici* (SEMIA 4077) com inoculante turfoso na dose de 200 g ha⁻¹ com garantia de 2×10⁹ UFC g⁻¹. Para adesão das bactérias foi acrescentada uma solução açucarada a 10% nas sementes. A coinoculação das sementes com as bactérias foi conforme a recomendação da empresa, com *Azospirillum brasilense* (estirpes Ab-V5 e Ab-V6) na dose de

200 mL ha⁻¹ de inoculante líquido com garantia de 2×10^8 UFC mL⁻¹. A inoculação e coinoculação das sementes foi feita horas antes da semeadura do feijão.

A adubação no sulco de semeadura foi calculada de acordo com os atributos químicos da análise do solo e produtividade esperada de grãos para região.

3.14 TRATOS CULTURAIS (experimento 2)

O manejo de plantas daninhas foi realizado pela utilização de herbicidas aplicados em pré e pós-emergência das plantas daninhas. O controle de pragas e doenças foi realizado mediante a necessidade, procurando manter a cultura isenta do ataque e infecção destas e prejuízo ao desenvolvimento das plantas.

A aplicação de 50% (30 kg ha⁻¹) e 100% (60 kg ha⁻¹) da dose única recomendada de N em cobertura foi realizada de forma parcelada devido ao solo apresentar textura arenosa com valores de 105 e 140 g kg⁻¹ para as camadas de 0,00-0,20 e 0,21-0,40 m, respectivamente, sendo metade da dose (50%) quando as 50% das plantas de feijão apresentaram o estágio fenológico de primeira (V3) folha trifoliada completamente expandida e a outra metade da dose (50%) quando 50% das plantas de feijão apresentaram o estágio fenológico de terceira (V4) folha trifoliada completamente expandida, usando como fonte de nitrogênio a ureia (46-00-00).

3.15 AVALIAÇÕES REALIZADAS NA CULTURA DO FEIJÃO

3.15.1 POPULAÇÃO DE PLANTAS

Oito dias após a emergência das plantas e na colheita, foi avaliado, em duas linhas, na área útil das parcelas, o número de plantas com o objetivo de se calcular a população inicial e a final de plantas ha⁻¹.

3.15.2 MASSA SECA DE PLANTAS

Por ocasião do florescimento pleno (estádio R₆) das plantas, foram coletadas dez plantas em local pré-determinado na área útil, que foram acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificadas e levadas ao laboratório e submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada à temperatura média de 65°C até atingir massa em equilíbrio. Posteriormente as amostras foram pesadas e os valores convertidos em g planta⁻¹.

3.15.3 RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA (RFA)

Foi realizada na mesma época de coleta de matéria seca de plantas por ocasião do florescimento pleno (estádio R₆) das plantas do feijão utilizando o medidor de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) marca APOGEE, MODELO APG-MQ-301, seguindo as recomendações do fabricante. Foram tomadas medidas em todas as parcelas em três pontos dos dosséis: acima, abaixo e no meio, perpendicular às linhas das plantas.

3.15.4 ÍNDICE DE CLOROFILA FOLIAR (ÍNDICE SPAD)

A estimativa do índice de clorofila foliar foi realizada em condições de campo na fase de desenvolvimento R6 (florescimento pleno), com a utilização de clorofilômetro portátil marca ClorofiLOG®, modelo CFL 1030 (Falker Automação Agrícola®), que por meio de sensores, analisa três faixas de frequência de luz e através de relações de absorção de diferentes frequências, fornece medições dos teores das clorofilas a, b e total (a+b), expressas em unidades dimensionais chamadas ICF (Índice de Clorofila Foliar) (FALKER, 2008). Cada medição foi realizada no terceiro trifólio contando do ápice para a base, sendo obtidas cinco medições por parcela, em cinco plantas e com os dados obtidos destas medições foi realizada a média por parcela.

3.15.5 TEOR DE NITROGÊNIO FOLIAR

As folhas das plantas coletadas para avaliação anterior, na fase de desenvolvimento R₆ (florescimento pleno), foram moídas em moinho tipo Wiley e em seguida submetidas à digestão sulfúrica, conforme metodologia proposta por Malavolta et al. (1997).

3.15.6 COMPONENTES DA PRODUÇÃO

Foram coletadas, por ocasião da colheita, 10 plantas na área útil das parcelas para a avaliação de:

3.15.6.1 NÚMERO DE VAGENS POR PLANTA

Determinado por meio da relação do número total de vagens/número de plantas;

3.15.6.2 NÚMERO DE GRÃOS POR PLANTA

Obtido da relação do número total de grãos/número de plantas;

3.15.6.3 NÚMERO MÉDIO DE GRÃOS POR VAGEM

Calculado através da relação do número total de grãos/número total de vagens;

3.15.6.4 MASSA DE CEM GRÃOS

Obtido por meio da coleta ao acaso e pesagem de duas amostras de cem grãos por parcela.

3.15.7 PRODUTIVIDADE DE GRÃOS

As plantas da área útil de cada parcela foram arrancadas e deixadas para secagem a pleno sol. Após a secagem, as mesmas foram submetidas a trilha mecânica, os grãos foram pesados e os dados transformados em kg ha⁻¹ (13 % base úmida);

3.15.8 CICLO

Foi avaliado o número de dias transcorridos entre a emergência e a colheita.

Os resultados foram submetidos ao teste F da análise de variância e constatada a interação significativa entre as fontes de variação, procedera-se o desdobramento, comparando

as médias dos sistemas de consórcios e adubação nitrogenada no feijão pelo teste Tukey, adotando-se o nível de 5% de significância, de acordo com Pimentel Gomes e Garcia (2002). O efeito das doses de nitrogênio no milho em cobertura foi analisado por regressão polinomial, ajustando-se modelos de equações lineares e quadráticas significativas pelo teste F. Será usado o programa Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2019).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento 1: Sistemas de consorciação e doses de N em cobertura em milho segunda safra.

A emergência das plantas de milho ocorreu uniformemente no sexto dia após a semeadura (DAS). O florescimento feminino (estádio R1) do milho ocorreu aos 58 DAE das plantas.

Houve interações significativas para população final de plantas, teor relativo de clorofila foliar (Índice SPAD), massa seca das plantas, altura média de plantas, altura inserção de espigas e diâmetro do colmo, apresentados na Tabela 1. Portanto, serão analisados os desdobramentos significativos de cada variável (Tabela 2).

Os sistemas de consórcio afetaram a concentração de nitrogênio do milho (Tabela 1), verificou-se que o consórcio entre milho + *C. spectabilis* propicia incrementos na concentração de nitrogênio foliar, entretanto semelhante em relação ao cultivo de milho solteiro. Provavelmente o consórcio entre milho + *C. spectabilis* proporcionou maior disponibilidade de nitrogênio na solução do solo e próximo a região da rizosfera para o sistema radicular das plantas de milho no tratamento. Destaque maior foi para o sistema de consórcio entre milho + *C. spectabilis* (23,3 g kg⁻¹ de N), que proporciona incrementos significativos na concentração de N foliar. Embora distintos os sistemas de consórcios, os teores são inferiores a faixa

adequada (25-35 g kg⁻¹ de N) para um bom desenvolvimento das plantas de milho, conforme Duarte et al. (2022).

Tabela 1. Valores médios de população final (PF) de plantas, teor de nitrogênio (N) foliar, teor relativo de clorofila (Índice SPAD) foliar, massa seca das plantas (MSP), altura média de plantas (AP), altura inserção de espigas (AIE) e diâmetro do colmo (DC) do milho consorciado com plantas de cobertura associado a doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2022.

	PF Plantas ha ⁻¹ x 1000	Teor N (g kg ⁻¹)	Índice SPAD	MSP g planta ⁻¹	AP m	AIE m	DC mm
Consórcio (C)							
M	53,3	23,8 a	44,1	80,31	1,88	0,79	18,15
M + C	50,5	23,3 a	43,9	81,73	1,89	0,79	17,61
M + U	48,4	20,7 b	43,9	71,13	1,87	0,78	17,18
M + C + U	47,5	19,3 c	42,7	70,84	1,78	0,72	17,11
Doses de nitrogênio (N) (kg ha⁻¹)							
0	50,7	20,0 ⁽¹⁾	42,2	76,22	1,83	0,77	17,51
40	46,9	21,8	43,9	82,18	1,86	0,76	16,85
80	55,1	22,0	44,4	71,75	1,85	0,77	17,69
120	47,1	23,3	44,0	73,86	1,86	0,78	17,99
Valores de F							
C	13,038*	36,229*	5,983*	23,847*	20,568*	20,939*	13,478*
N	29,457*	14,093*	12,560 ^{ns}	14,259*	1,548 ^{ns}	2,226 ^{ns}	13,579 ^{ns}
C x N	6,023*	1,906 ^{ns}	2,538*	17,444*	5,480*	3,934*	4,662*
DMS (5%)							
C	--	1,334	--	--	--	--	--
CV (%)	5,72	6,50	5,61	6,28	5,43	8,58	6,66

M: Milho; C: *Crotalaria spcetabilis*; U: *Urochloa ruziziensis*; *significativo a 5% de significância; ^{ns} – não significativo pelo teste F. Médias seguidas da mesma letra, dentro de consórcio não diferem estatisticamente a 5 % de significância.

Uma nova alternativa que vem sendo expandida e com maior frequência nas áreas cultivadas é a utilização de fabaceas (leguminosas), que produzem uma palhada com menor relação carbono/nitrogênio (C/N), apresentando uma decomposição mais rápida dos resíduos culturais no sistema solo-planta. Dos representantes deste grupo, o qual as crotalárias fazem parte, receberam a denominação adubo verde, pois apresentam a habilidade de associar-se a microrganismos benéficos capazes de realizar a fixação biológica de nitrogênio (FBN),

recebendo este nutriente e disponibilizando-o ao solo por meio de exsudatos radiculares (MURREL et al., 2017) ou através da decomposição dos restos culturais, aumentando assim o estoque deste nutriente no solo (MARCELO et al., 2012).

Em estudos realizados por Calegari e Carlos (2014), verificaram que o emprego da *Crotalaria spectabilis* no sistema de produção pode fornecer até 160 kg ha⁻¹ de N ao solo, possibilitando a redução da necessidade do uso de fertilizantes nitrogenados. As crotalárias também podem promover a diversificação de palhada no SPD (KAPPES e ZANCANARO, 2015), e o controle de nematoides fitoparasitas (WANG et al., 2002).

Analizando a concentração de N foliar do milho (Tabela 1) quanto ao efeito isolado da aplicação de doses crescentes de N em cobertura, verifica-se que houve efeito significativo para doses de N em cobertura e os dados se ajustaram à função linear crescente, podendo ser atribuído ao reflexo da distribuição equilibrada dos fotoassimilados à medida que a dose de N foi aumentada, independentemente do sistema de consórcio, porém inferiores a faixa adequada (25-35 g kg⁻¹ de N) para um bom desenvolvimento das plantas de milho, conforme Duarte et al. (2022).

Houve diferença significativa para a interação de população final de plantas (Tabela 2), constatou-se que o cultivo de milho solteiro apresentou maior população final de plantas independente da dose de N aplicada, exceto na dose de 120 kg ha⁻¹, que apresentou menor população final de plantas (44,4 mil plantas ha⁻¹), além disso, verificou-se que os resultados se ajustaram a uma regressão quadrática decrescente. De maneira geral, a população final de plantas foi inferior à proposta inicialmente na pesquisa (60 mil plantas ha⁻¹) para uma boa condução do experimento, não justificando discussão dos resultados da interação dessa variável. Nota-se que a população final de plantas, oscilou entre 43,8 a 58,6 mil plantas ha⁻¹.

Tabela 2. Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente à população final de plantas, teor relativo de clorofila foliar, altura média de plantas,

altura de inserção da espiga e diâmetro de colmo do milho segunda safra consorciado com plantas de cobertura associado a doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2022.

População final de plantas (Plantas ha ⁻¹ x 1000)					
	Doses de nitrogênio (kg ha ⁻¹)				
Consórcio	0	40	80	120	
M	57,4 a	52,8 a	58,6 a	44,4 b	RQ ^{*(1)}
M + C	48,1 b	45,1 b	56,2 a	52,5 a	n.s.
M + U	49,1 b	43,8 b	55,6 a	45,1 b	n.s.
M + C + U	48,1 b	45,7 b	50,0 b	46,3 b	n.s.
DMS (5%)	Consórcio dentro de dose de N – 5386,4702				
Teor relativo de clorofila foliar (Índice SPAD)					
	Doses de nitrogênio (kg ha ⁻¹)				
Consórcio	0	40	80	120	
M	43,1 a	45,2 a	45,1 a	43,1 b	RQ ^{*(2)}
M + C	42,5 ab	43,4 ab	44,5 ab	45,2 a	RL ^{*(3)}
M + U	42,2 ab	44,1 ab	45,4 a	43,8 ab	RL ^{*(4)}
M + C + U	41,0 b	43,1 b	42,5 b	44,0 ab	RQ ^{*(5)}
DMS (5%)	Consórcio dentro de dose de N – 2,0276				
Massa seca das plantas de milho em VT (g planta ⁻¹)					
	Doses de nitrogênio (kg ha ⁻¹)				
Consórcio	0	40	80	120	
M	73,98 b	89,84 a	82,34 a	75,07 b	RQ ^{*(6)}
M + C	86,31 a	86,35 a	80,70 a	73,58 b	RQ ^{*(7)}
M + U	80,17 ab	84,94 a	59,08 b	60,33 c	RQ ^{*(8)}
M + C + U	64,43 c	67,58 b	64,90 b	86,44 a	RQ ^{*(9)}
DMS (5%)	Consórcio dentro de dose de N – 9,0027				
Altura média de plantas (m)					
	Doses de nitrogênio (kg ha ⁻¹)				
Consórcio	0	40	80	120	
M	1,94 a	1,83	1,89 a	1,86 ab	RQ ^{*(10)}
M + C	1,86 ab	1,90	1,89 a	1,89 a	n.s.
M + U	1,82 b	1,85	1,88 a	1,91 a	RL ^{*(11)}
M + C + U	1,70 c	1,87	1,75 b	1,78 b	RQ ^{*(12)}
DMS (5%)	Consórcio dentro de dose de N – 0,0822				
Altura de inserção da espiga (m)					
	Doses de nitrogênio (kg ha ⁻¹)				
Consórcio	0	40	80	120	
M	0,81 a	0,76 ab	0,82 a	0,78	n.s.
M + C	0,80 ab	0,81 a	0,79 a	0,78	n.s.
M + U	0,76 b	0,75 ab	0,79 a	0,81	RQ ^{*(13)}
M + C + U	0,70 c	0,72 b	0,69 b	0,77	RQ ^{*(14)}
DMS (5%)	Consórcio dentro de dose de N – 0,0540				
Diâmetro de colmo (mm)					
	Doses de nitrogênio (kg ha ⁻¹)				
Consórcio	0	40	80	120	
M	18,57 a	16,90 ab	18,68 a	18,45 a	n.s.
M + C	16,82 b	17,43 a	17,64 b	18,53 a	RQ ^{*(15)}
M + U	19,09 b	16,17 b	17,58 b	17,87 ab	RQ ^{*(16)}
M + C + U	17,59 b	16,92 ab	16,84 b	17,12 b	n.s.
DMS (5%)	Consórcio dentro de dose de N – 0,9534				

M: Milho; C: *Crotalaria spectabilis*; U: *Urochloa ruziziensis*; médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de tukey a 5 % de significância. ⁽¹⁾ $y = -0,0015x^2 + 0,097x + 55,88$ ($R^2=62,8\%$); ⁽²⁾ $y = -1,025x^2 + 5,115x + 39,025$ ($R^2=99,91\%$); ⁽³⁾ $y = 0,92x + 41,6$ ($R^2=99,46\%$); ⁽⁴⁾ $y = 0,92x + 41,6$ ($R^2=99,34\%$); ⁽⁵⁾ $y = -0,875x^2 + 4,985x + 37,975$ ($R^2=94,90\%$); ⁽⁶⁾ $y = -0,0036x^2 + 0,4231x + 75,16$ ($R^2=82,87\%$); ⁽⁷⁾ $y = -0,0011x^2 + 0,0246x + 86,521$ ($R^2=99,19\%$); ⁽⁸⁾ $y = -0,0005x^2 - 0,1475x + 83,057$ ($R^2=68,8\%$); ⁽⁹⁾ $y = 0,0029x^2 - 0,1864x + 65,933$ ($R^2=86,33\%$); ⁽¹⁰⁾ $y = 0,02x^2 - 0,118x + 2,025$ ($R^2=48,79\%$); ⁽¹¹⁾ $y = 0,03x + 1,79$ ($R^2=99,08\%$); ⁽¹²⁾ $y = -0,035x^2 + 0,187x + 1,57$ ($R^2=34,67\%$); ⁽¹³⁾ $y = -0,00005x^2 + 0,000000005x + 0,7595$ ($R^2=89,58\%$); ⁽¹⁴⁾ $y = -0,000000006x^2 + 0,0007x + 0,708$ ($R^2=69,52\%$); ⁽¹⁵⁾ $y = 0,0134x + 16,804$ ($R^2=96,29\%$); ⁽¹⁶⁾ $y = 0,0005x^2 - 0,0658x + 18,818$ ($R^2=65,68\%$);

Com relação ao desdobramento da interação de sistemas de consórcio dentro de doses de N em cobertura para teor relativo de clorofila foliar (Tabela 2). Destaque maior foi para o sistema de consórcio entre milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* independente da dose de N propicia uma redução dos teores relativos de clorofila foliar em relação ao cultivo de milho solteiro até a dose de 80 kg ha⁻¹ e os dados se ajustaram a regressão quadrática decrescente. Nota-se que os consórcios entre milho + *C. spectabilis* e entre milho + *U. ruziziensis* apresentaram comportamento semelhante ao cultivo de milho solteiro independente da dose de N aplicada até a dose de 80 kg ha⁻¹ e os dados se ajustaram a regressões lineares e quadráticas.

Vale salientar que o sistema de consórcio entre três espécies apresentou comportamento negativo com decréscimos nos valores do teor relativo de clorofila foliar em baixas doses de nitrogênio em cobertura (< 80 kg ha⁻¹). Resultado semelhante ao primeiro ano da pesquisa onde ocorreu que o consórcio entre milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* na presença da inoculação com bactérias diazotróficas proporcionou redução do teor relativo de clorofila foliar e concentração de N foliar em relação ao milho solteiro (testemunha) na presença da inoculação. Nota-se que ocorreu uma grande competição por água, luz, nutrientes (principalmente N) e espaço físico neste sistema de consórcio triplo de espécies nos dois experimentos realizados.

No desdobramento da interação de sistemas de consórcio dentro de doses de N em cobertura para massa seca das plantas de milho, altura média de plantas, altura de inserção da espiga e diâmetro de colmo do milho (Tabela 2). Merece destaque o sistema de consórcio entre milho + *C. spectabilis* independente da dose de N em cobertura, porém com comportamento semelhante ao cultivo de milho solteiro quanto as variáveis analisadas e os dados se ajustaram

a regressões lineares e quadráticas. Nota-se que o consórcio entre milho + *C. spectabilis* proporciona incrementos positivos na massa seca das plantas de milho em VT para as doses de 0, 40 e 80 kg ha⁻¹ de N em cobertura com valores superiores da ordem de 86,31, 86,35 e 80,70 g planta⁻¹, respectivamente, porém valores inferiores ao primeiro experimento da pesquisa (> 108,3 g planta⁻¹). Vale ressaltar que a inoculação via foliar em V4 com *Azospirillum brasilense* usando as estirpes Ab-V5 e Ab-V6 podem ter propiciado um incremento positivo na altura das plantas, no teor de clorofila, na espessura dos colmos, conferindo tolerância ao acamamento, e maior uniformização das espigas, impactando a qualidade dos grãos mesmos em doses inferiores a 80 kg ha⁻¹ de N em cobertura, conforme resultados semelhantes à Hungria et al., 2022.

Observou-se que no consórcio entre milho + *C. spectabilis* houve incrementos significativos na altura média de plantas, altura de inserção da espiga e diâmetro de colmo do milho (Tabela 2) com destaque para os valores médios de 0,81 m para a altura de inserção da espiga e 17,43 e 18,53 mm para o diâmetro de colmo do milho ambas na dose de 40 e 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura, respectivamente, entretanto apresentando resultados inferiores aos valores médios comerciais do híbrido MG593, com valores de 2,15 m de altura média de plantas e 1,20 m de altura de inserção de espiga. Isso evidencia que o consórcio de milho associado à espécie de fabacea foi capaz de disponibilizar maior absorção de nutrientes (N) e propiciar maior eficiência da adubação de nitrogenada mesmo com aplicação de baixa dose (40 kg ha⁻¹ de N) para as plantas de milho em sistema de consorciação e proporcionar melhorias significativas nos componentes agrônômicos como altura média de plantas, altura de inserção da espiga e diâmetro de colmo.

Em termos agrícolas, a maior contribuição do processo de FBN ocorre pela interação simbiótica de plantas da família Fabaceae (Leguminosas) com bactérias pertencentes a diversos gêneros e denominadas, de modo popular e coletivo, como rizóbios. A simbiose com essas

bactérias pode ser facilmente identificada, pois estruturas altamente especializadas, chamadas nódulos, são formadas nas raízes das leguminosas, especificamente para o processo de FBN. A evolução da simbiose entre rizóbios e leguminosas data de milhões de anos, resultando em taxas mais elevadas de FBN nessas interações. Como exemplo, no caso da soja [*Glycine max* (L.) Merrill], taxas elevadas, da ordem de 200 a 300 kg ha⁻¹ de N por safra são observadas no Brasil, conseguindo suprir totalmente as necessidades da planta (Hungria et al., 2007; Hungria et al., 2019).

Os sistemas de consórcio influenciaram o comprimento de espiga do milho de forma variável (Tabela 3), verificou-se que o cultivo de milho solteiro apresenta maior incremento no comprimento de espiga do milho (14,28 cm) em relação aos sistemas de consórcios estudados. Isso evidencia que o cultivo de milho solteiro não houve competição de fotoassimilados entre as plantas com reflexos positivos em aumento do comprimento de espigas por planta. Analisando o efeito isolado de doses crescentes de nitrogênio no milho (Tabela 3), nota-se que houve diferença significativa para diâmetro e comprimento de espiga e os dados se ajustaram à função quadrática decrescente, onde à medida que aumenta a dose de nitrogênio aplicada houve uma redução, seguida de um leve aumento quanto ao diâmetro e comprimento de espiga do milho.

Tabela 3. Valores médios de número de fileiras de grãos por espiga (NFGE), número de grãos por fileira (NGF), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), massa de cem grãos (M100G) e produtividade de grãos (PG) do milho segunda safra consorciado com plantas de cobertura associado a doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2022.

	NFGE	NGF	DE	CE	M100G	PG
			(mm)	(cm)	(g)	(kg ha ⁻¹)
Consórcio (C)						
M	14,5	30,0	39,14	14,28 a	14,4	3.009
M + C	14,7	28,7	39,32	13,63 b	15,4	3.038
M + U	14,7	28,5	39,96	13,01 c	13,2	3.987
M + C + U	14,7	29,5	38,78	13,13 bc	15,1	3.098
Doses de nitrogênio (N) (kg ha⁻¹)						
0	14,9	28,0	39,33 ⁽¹⁾	13,44 ⁽²⁾	13,8	2.838
40	14,5	29,9	37,99	13,10	14,8	3.797
80	14,5	29,3	39,49	13,81	15,2	3.323
120	14,7	29,5	40,38	13,69	14,3	3.175
Valores de F						
C	0,693 ^{ns}	4,018*	1,197 ^{ns}	16,303*	7,435*	22,917*
N	1,902 ^{ns}	5731*	4,769*	4,861*	2,857*	16,362*
C x N	2,357*	2,439*	1,522 ^{ns}	1,126 ^{ns}	2,362*	31,002*
DMS (5%)						
C	--	--	--	0,5210	--	--
CV (%)	8,36	10,61	10,25	9,44	9,61	11,99

M: Milho; C: *Crotalaria spcetabilis*; U: *Urochloa ruziziensis*; *significativo a 5% de significância; ^{ns} – não significativo pelo teste F. Médias seguidas da mesma letra, dentro de consórcio não diferem estatisticamente a 5 % de significância. ⁽¹⁾ $y = 0,0003x^2 - 0,0302x + 39,1$ ($R^2=79,62\%$); ⁽²⁾ $y = 0,00003x^2 - 0,0005x + 13,346$ ($R^2=40,18\%$);

Houve interações significativas para número de fileiras de grãos por espiga, número de grãos por fileira, massa de cem grãos e produtividade de grãos, apresentados na Tabela 3. Portanto, serão analisados os desdobramentos significativos de cada variável (Tabela 4).

Quanto ao desdobramento da interação de sistemas de consórcio dentro de doses de N em cobertura para número de fileiras de grãos por espiga e número de grãos por fileira do milho

(Tabela 4). Merece destaque o sistema de consórcio entre milho + *U. ruziziensis* (15,6) apenas na dose de 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura, porém semelhante milho + *C. spectabilis* (14,7) quanto a número de fileira de grãos por espiga e os dados se ajustaram a regressão quadrática, porém inferiores aos valores comerciais do híbrido MG593, com valores de 16 a 18 fileiras de grãos por espiga. Outro resultado que merece destaque seria para o consórcio entre milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* somente na dose de 80 kg ha⁻¹ de N em cobertura (30,8), porém semelhante milho + *U. ruziziensis* (29,5) e o milho solteiro (29,9) quanto a número de grãos por fileira do milho e os dados se ajustaram a regressões quadráticas crescente e decrescente.

Tabela 4. Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente a número de fileiras de grãos por espiga, número de grãos por fileira, massa de cem grãos, produtividade de grãos do milho, produtividade de matéria seca e acúmulo de nitrogênio (N) da parte aérea dos resíduos culturais em experimento de milho consorciado com plantas de cobertura associado a doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2022.

Número de fileiras de grãos por espiga					
Doses de nitrogênio (kg ha ⁻¹)					
Consórcio	0	40	80	120	
M	14,7	14,5	14,4	14,3 b	n.s.
M + C	14,8	14,8	14,4	14,7 ab	n.s
M + U	14,6	14,1	14,6	15,6 a	RQ*(¹)
M + C + U	15,3	14,5	14,6	14,3 b	n.s
DMS (5%)	Consórcio dentro de dose de N – 0,9997				
Número de grãos por fileira					
Doses de nitrogênio (kg ha ⁻¹)					
Consórcio	0	40	80	120	
M	29,6	30,5	29,9 a	30,0	n.s.
M + C	27,4	29,9	27,1 b	30,4	RQ*(²)
M + U	27,2	28,4	29,5 ab	28,8	n.s.
M + C + U	27,7	30,7	30,8 a	28,8	RQ*(³)
DMS (5%)	Consórcio dentro de dose de N – 2,5279				
Massa de cem grãos (g)					
Doses de nitrogênio (kg ha ⁻¹)					
Consórcio	0	40	80	120	
M	14,7	14,6	13,9 b	14,5 ab	n.s.
M + C	13,6	15,3	17,2 a	15,3 a	RQ*(⁴)
M + U	12,9	14,7	12,8 b	12,5 b	n.s.
M + C + U	14,1	14,5	16,8 a	15,0 ab	RQ*(⁵)
DMS (5%)	Consórcio dentro de dose de N – 2,6339				

Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) do milho					
Consórcio	Doses de nitrogênio (kg ha ⁻¹)				
	0	40	80	120	
M	2.668 b	4.025 b	3.005 bc	2.336 b	RQ*(⁶)
M + C	2.499 b	2.169 c	3.722 ab	3.761 a	n.s
M + U	4.589 a	5.597 a	2.485 c	3.278 a	n.s
M + C + U	1.596 c	3.395 b	4.079 a	3.323 a	RQ*(⁷)
DMS (5%)	Consórcio dentro de dose de N – 742,7047				

M: Milho; C: *Crotalaria spectabilis*; U: *Urochloa ruziziensis*; médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de tukey a 5 % de significância. ⁽¹⁾ $y = 0,0002x^2 - 0,0194x + 14,575$ ($R^2 = 98,95\%$); ⁽²⁾ $y = 0,0001x^2 + 0,0005x + 27,97$ ($R^2 = 24,27\%$); ⁽³⁾ $y = -0,0008x^2 + 0,1022x + 27,74$ ($R^2 = 99,53\%$); ⁽⁴⁾ $y = -0,0006x^2 + 0,085x + 13,4$ ($R^2 = 87,67\%$); ⁽⁵⁾ $y = -0,0003x^2 + 0,0537x + 13,8$ ($R^2 = 57,75\%$); ⁽⁶⁾ $y = -0,3166x^2 + 32,947x + 2804,4$ ($R^2 = 76,77\%$); ⁽⁷⁾ $y = -0,3992x^2 + 62,569x + 1579,8$ ($R^2 = 99,84\%$).

Em relação ao desdobramento da interação de sistemas de consórcio dentro de doses de N em cobertura para a massa de cem grãos do milho (Tabela 4). Destaque maior foram para os sistemas de consórcio entre milho + *C. spectabilis* (17,2 e 15,3 g) e entre milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* (16,8 e 15,0 g) associado as doses de 80 e 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura, respectivamente, para massa de cem grãos e os dados se ajustaram a regressões quadráticas crescentes.

No desdobramento da interação de sistemas de consórcio dentro de doses de N em cobertura para a produtividade de grãos do milho (Tabela 4). Merece destaque o consórcio entre milho + *U. ruziziensis* com resultados da ordem de 4.589, 5.597 e 3.278 kg ha⁻¹ associados as doses de 0, 40 e 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura, respectivamente, para produtividade de grãos e os dados se ajustaram a regressão quadrática crescente para o cultivo de milho solteiro. Outro resultado que merece destaque foi o consorcio entre milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* com resultados da ordem de 4.079 e 3.323 kg ha⁻¹ associados as doses de 80 e 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura, respectivamente, para produtividade de grãos e os dados se ajustaram a regressão quadrática crescente.

A utilização de plantas de cobertura do solo, principalmente da família das fabáceas tem propiciado a redução da dose de nitrogênio, pois as plantas utilizadas podem contribuem na qualidade química e física do solo, tendo ação principal na promoção de acréscimos na matéria

orgânica do solo (SCHIPANSKI et al., 2014), na ciclagem de nutrientes (PACHECO et al., 2013), além de proporcionar o controle de pragas (SCHIPANSKI et al., 2014) e plantas daninhas (MARTINS et al., 2016). Tendo como benefício a redução do emprego de fertilizantes e agrotóxicos, os quais são agentes poluidores. O consórcio de culturas caracteriza-se como a alternativa ideal dentre as formas de agregar o emprego de plantas de cobertura na realidade dos produtores rurais, pois este sistema consegue aliar o retorno econômico e melhorias no meio ambiente. À consorciação de culturas tem sido atribuída a quarta revolução verde, em razão de a prática tornar a agricultura promissora ecologicamente (MARTIN-GUAI et al., 2018).

Outra estratégia inovadora, sustentável e de baixo custo é a inoculação do milho com as estirpes Ab-V5 e Ab-V6 de *Azospirillum brasilense* no sentido da redução na adubação nitrogenada de cobertura e mitigação na emissão de gases de efeito estufa, conforme estudos relatados por Hungria et al., 2022. O principal resultado do estudo, porém, provavelmente foi que permitiram a comparação do tratamento não inoculado recebendo 100% de N em cobertura com o tratamento inoculado recebendo 75% do N em cobertura, não houve diferença estatística no rendimento de grãos em nenhum dos ensaios em diversas regiões produtoras do Brasil (Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste), em dez anos, permite a recomendação de redução da adubação nitrogenada de cobertura no milho em 25% quando inoculado com as estirpes Ab-V5 e Ab-V6 de *A. brasilense*. Cabe salientar que a redução indicada no estudo de Hungria et al. 2022 é referente a uma adubação de 90 kg/ha de N, sendo plausível conseguir reduções percentuais maiores em doses mais elevadas de fertilização, conforme demonstrado em dois ensaios conduzidos em Selvíria, MS, onde foi possível reduzir em 50% a dose de 200 kg/ha de N (GALINDO et al., 2019).

Houve interações significativas para radiação fotossinteticamente ativa (RFA) no terço superior (TS), terço médio (TM) e terço inferior (TI) do dossel em VT (florescimento

masculino) do milho, apresentados na Tabela 5. Portanto, serão analisados os desdobramentos significativos de cada variável (Tabela 6).

No desdobramento da interação de sistemas de consórcio dentro de doses de N em cobertura para a RFA do terço superior do dossel do milho (Tabela 6). Merece destaque os consórcios entre milho + *U. ruziziensis* ($1685 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e entre milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* ($1685 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) associados a dose de 0 kg ha^{-1} de N em cobertura, respectivamente, e os dados se ajustaram a regressão quadrática crescente somente para o consórcio entre milho + *U. ruziziensis*.

Tabela 5. Valores médios da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) no terço superior (TS), terço médio (TM) e terço inferior (TI) do dossel em VT (florescimento masculino) do milho segunda safra consorciado com plantas de cobertura associado a doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2022.

	RFA em VT		
	TS	TM	TI
	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$		
	Consórcio (C)		
M	1594	1317	432
M + C	1570	1087	182
M + U	1598	1312	299
M + C + U	1588	1076	225
	Doses de nitrogênio (N) (kg ha^{-1})		
0	1614	1282	304
40	1593	1378	311
80	1566	979	344
120	1577	1152	178
	Valores de F		
C	0,345 ^{ns}	15,467*	62,915*
N	0,993 ^{ns}	25,400*	28,074*
C x N	3,629*	4,679*	32,269*
	DMS (5%)		
C	--	--	--
CV (%)	5,29	11,45	19,43

M: Milho; C: *Crotalaria spectabilis*; U: *Urochloa ruziziensis*; *significativo a 5% de significância; ^{ns} – não significativo pelo teste F. Médias seguidas da mesma letra, dentro de consórcio não diferem estatisticamente a 5 % de significância.

Em relação ao desdobramento da interação de sistemas de consórcio dentro de doses de N em cobertura para a RFA do terço médio do dossel do milho (Tabela 6). O destaque maior

foi para o consórcio entre milho + *U. ruziziensis* (1501, 1218 e 1331 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) associados a dose de 40, 80 e 120 kg ha^{-1} de N em cobertura, respectivamente, e os dados se ajustaram a regressão quadrática decrescente e crescente para o consórcio entre milho + *C. spectabilis* e entre milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis*, respectivamente.

Tabela 6. Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente à radiação fotossinteticamente ativa (RFA) no terço superior, terço médio e terço inferior do dossel em VT (florescimento masculino) do milho segunda safra consorciado com plantas de cobertura associado a doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2022.

RFA no terço superior do dossel ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)					
Doses de nitrogênio (kg ha^{-1})					
Consórcio	0	40	80	120	
M	1505 b	1754 a	1575	1542	RQ ^{*(1)}
M + C	1602 ab	1547 b	1571	1560	n.s.
M + U	1685 a	1528 b	1547	1632	RQ ^{*(2)}
M + C + U	1664 a	1543 b	1571	1575	n.s.
DMS (5%)	Consórcio dentro de dose de N – 158,5258				
RFA no terço médio do dossel ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)					
Doses de nitrogênio (kg ha^{-1})					
Consórcio	0	40	80	120	
M	1316	1499 a	1083 a	1370 a	n.s.
M + C	1340	1375 ab	806 b	827 c	RQ ^{*(3)}
M + U	1198	1501 a	1218 a	1331 ab	n.s.
M + C + U	1274	1139 b	810 b	1080 bc	RQ ^{*(4)}
DMS (5%)	Consórcio dentro de dose de N – 258,7007				
RFA no terço inferior do dossel ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)					
Doses de nitrogênio (kg ha^{-1})					
Consórcio	0	40	80	120	
M	273 b	681 a	612 a	161	RQ ^{*(5)}
M + C	263 bc	118 c	215 b	130	n.s.
M + U	516 a	176 bc	307 b	197	RQ ^{*(6)}
M + C + U	165 c	270 b	242 b	222	n.s.
DMS (5%)	Consórcio dentro de dose de N – 104,2411				

M: Milho; C: *Crotalaria spectabilis*; U: *Urochloa ruziziensis*; médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de tukey a 5 % de significância. ⁽¹⁾ $y = -0,0441x^2 + 5,1175x + 1533,7$ ($R^2 = 54,97\%$); ⁽²⁾ $y = 0,0378x^2 + 4,8875x + 1679,5$ ($R^2 = 96,27\%$); ⁽³⁾ $y = -0,0022x^2 + 5,0075x + 1399,7$ ($R^2 = 75,71\%$); ⁽⁴⁾ $y = 0,0633x^2 - 9,8713x + 1313,7$ ($R^2 = 72,41\%$); ⁽⁵⁾ $y = -0,1342x^2 - 15,094x + 277,75$ ($R^2 = 99,77\%$); ⁽⁶⁾ $y = 0,0359x^2 - 6,3775x + 480,4$ ($R^2 = 65,13\%$).

Analisando o desdobramento da interação de sistemas de consórcio dentro de doses de N em cobertura para a RFA do terço inferior do dossel do milho (Tabela 6). Merece destaque os consórcios entre milho + *U. ruziziensis* (516 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) associado a dose de 0 kg ha^{-1} de N

e milho solteiro (681 e $612 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) associado as doses de 40 e 80 kg ha^{-1} de N em cobertura, respectivamente, e os dados se ajustaram a regressão quadrática decrescente e crescente para milho solteiro e o consórcio entre milho + *U. ruziziensis*, respectivamente. No sistema consorciado de culturas graníferas comerciais com plantas de cobertura, a cultura do milho é priorizada dentre as culturas anuais, pois além de sua importância econômica e social (USDA, 2020), possui características vantajosas que detêm a competição interespecífica, como o crescimento inicial rápido, porte alto e uma elevada capacidade de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pelo seu dossel (OLIVEIRA et al., 2010; KAPPES e ZANCANARO, 2015).

4.2 Experimento 2: Efeito residual de sistemas de consórcio e inoculação com bactérias diazotróficas no cultivo do feijão coinoculado em sucessão

Houve interações significativas entre doses de N aplicação no milho (NM) e consorcio de milho com plantas de cobertura (C) para população final de plantas (PF) teor relativo de clorofila foliar (TCF), acúmulo de massa seca na planta toda (AMSP) e concentração foliar de nitrogênio (N) do feijão. Houve interações significativas entre doses de N aplicação no feijão (NF) e NM para a MSP, como efeito significativo da NF sobre TCF (Tabela 7). Foi observado maior NF sob 100% da aplicação de N na cultura do feijão, em comparação ao realizar aplicação de 50% do N recomendado (Tabela 7).

Na dose de 0 kg ha^{-1} aplicado na cultura antecessora (milho) foi possível verificar maior PF sob os consórcios de milho solteiro e milho+ *C. spectabilis* em relação aos demais consórcios, por outro lado, na dose de 40 kg ha^{-1} de N foi observado maior PF sob os consórcios de milho solteiro e milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* em relação ao consórcio milho + *U. ruziziensis*, na dose de 80 kg ha^{-1} este comportamento se repete nos tratamentos de milho solteiro e milho + *U. ruziziensis* em comparação aos demais e na dose de 120 kg ha^{-1} de N foi possível verificar maior PF nos consórcios de milho + *C. spectabilis* e milho + *U. ruziziensis* quando comparado aos demais (Tabela 8). A PF máxima estimada foram de 268, 286, 262 e 251 nas doses de N de 0, 40, 80, 120 kg ha^{-1} nos consórcios de milho solteiro, milho + crotalária, milho + *U. ruziziensis* e milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis*, respectivamente (Tabela 8).

Tabela 7. Valores médios da população final de plantas (PF), teor relativo de clorofila foliar (TCF), acúmulo de massa seca na planta toda (AMSP) e concentração foliar de nitrogênio (N) da cultura do feijão coinoculado primeira safra após consórcio de milho com plantas de cobertura e doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2023.

	PF Plantas ha ⁻¹ x 1000	TCF	MSP g planta ⁻¹	N g kg ⁻¹
Consórcio (C)				
M	256 a	43,6 a	16,83	28,4
M + C	253 ab	42,6 ab	17,97	28,1
M + U	247 b	42,9 ab	17,13	29,1
M + C + U	233 c	41,9 c	16,76	28,0
Doses de nitrogênio (NM) no milho (kg ha⁻¹)				
0	245 ⁽¹⁾	42,3 ⁽²⁾	17,79 ⁽³⁾	28,6
40	248	43,6	16,30	27,7
80	255	43,4	17,49	28,0
120	241	41,7	17,11	29,3
Aplicação de nitrogênio no feijão (NF)				
50%	247	42,3 b	17,08	28,3
100%	247	43,2 a	17,27	28,5
Valores de F				
C	21,597*	2,871*	2,699 ^{ns}	1,279 ^{ns}
NM	8,473*	4,763*	3,617*	2,453 ^{ns}
NF	0,001 ^{ns}	4,137*	0,308 ^{ns}	0,242 ^{ns}
C x NM	19,320*	2,055*	6,525*	2,332*
C x NF	1,781 ^{ns}	0,421 ^{ns}	0,959 ^{ns}	0,419 ^{ns}
NM x NF	1,467 ^{ns}	0,616 ^{ns}	2,935*	0,517 ^{ns}
C x NM x NF	0,868 ^{ns}	1,850 ^{ns}	1,303 ^{ns}	1,018 ^{ns}
DMS (5%)				
C	7985,16	1,4776	--	--
NF	--	0,7963	--	--
CV (%)	4,24	12,00	11,17	8,03

M: Milho; C: *Crotalaria spectabilis*; U: *U. ruziziensis ruziziensis*; *significativo a 5% de significância; ^{ns} – não significativo pelo teste F. Médias seguidas da mesma letra, dentro do consórcio e dose não diferem estatisticamente a 5 % de significância. ⁽¹⁾y= -26,563x² + 30,625x + 243,75 (R²=70,17%); ⁽²⁾y= -4,6875x² + 5,125x + 42,3 (R²=99,9%); ⁽³⁾y= -1,7344x² - 2,2937x + 17,578 (R²=27,59%); ⁽⁴⁾y= 607,81x² - 964,12x + 2761,4 (R²=50,56%)

Tabela 8. Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente a população final de plantas, teor relativo de clorofila foliar, massa seca de plantas e concentração foliar do nitrogênio (N) do feijão coinoculado primeira safra após consórcio de milho com plantas de cobertura e doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2023.

População final de plantas (Plantas ha ⁻¹ x 1000)					
Doses de nitrogênio no milho (kg ha ⁻¹)					
Consórcio	0	40	80	120	
M	270 a	260 a	262 a	232 b	RQ*(¹)
M + C	262 a	245 ab	245 b	258 a	RQ*(²)
M + U	226 b	231 b	273 a	258 a	RQ*(³)
M + C + U	223 b	255 a	242 b	214 c	RQ*(⁴)
DMS (5%)	Consórcio dentro de dose de N – 15970,3271				
Teor relativo de clorofila foliar					
Doses de nitrogênio no milho (kg ha ⁻¹)					
Consórcio	0	40	80	120	
M	43,3	42,6	44,8 a	43,8 a	n.s.
M + C	42,1	45,2	43,0 ab	40,3 b	RQ*(⁵)
M + U	42,0	44,0	44,1 ab	41,3 ab	RQ*(⁶)
M + C + U	41,8	42,6	41,7 b	41,5 ab	n.s.
DMS (5%)	Consórcio dentro de dose de N – 2,9551				
Massa seca de plantas (g planta ⁻¹)					
Doses de nitrogênio no milho (kg ha ⁻¹)					
Consórcio	0	40	80	120	
M	15,30 c	15,99	17,27	18,75 a	RQ*(⁷)
M + C	21,33 a	16,98	18,01	15,58 b	RQ*(⁸)
M + U	18,31 b	16,89	16,30	17,04 ab	n.s.
M + C + U	16,23 bc	15,35	18,37	17,07 ab	n.s.
DMS (5%)	Consórcio dentro de dose de N – 2,5104				
Concentração foliar de N (g kg ⁻¹)					
Doses de nitrogênio no milho (kg ha ⁻¹)					
Consórcio	0	40	80	120	
M	27,0	27,2	29,3	30,4	RQ*(⁹)
M + C	29,7	26,9	26,4	29,3	RQ*(¹⁰)
M + U	28,4	28,2	29,8	30,2	n.s.
M + C + U	29,5	28,5	26,5	27,5	n.s.
DMS (5%)	Consórcio dentro de dose de N – 3,4762				

M: Milho; C: *Crotalaria spectabilis*; U: *U. ruziziensis ruziziensis*; Aplicação de nitrogênio no feijão (NF); médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de tukey a 5 % de significância. ⁽¹⁾ $y = -31,25x^2 + 9,5x + 267,8$ ($R^2 = 88,25\%$); ⁽²⁾ $y = 46,875x^2 - 59,25x + 261,8$ ($R^2 = 99,66\%$); ⁽³⁾ $y = -31,25x^2 + 72x + 221,3$ ($R^2 = 70,43\%$); ⁽⁴⁾ $y = -93,75x^2 + 102,5x + 224,5$ ($R^2 = 95,65\%$); ⁽⁵⁾ $y = -9,0625x^2 + 8,975x + 42,34$ ($R^2 = 90,75\%$); ⁽⁶⁾ $y = -7,5x^2 + 8,5x + 41,95$ ($R^2 = 99,17\%$); ⁽⁷⁾ $y = 1,2344x^2 + 1,4263x + 15,281$ ($R^2 = 99,89\%$); ⁽⁸⁾ $y = 3x^2 - 7,655x + 20,888$ ($R^2 = 78,27\%$); ⁽⁹⁾ $y = 1270,3x^2 - 1695,6x + 2439,8$ ($R^2 = 88,36\%$); ⁽¹⁰⁾ $y = -1,4063x^2 + 1,3875x + 26,855$ ($R^2 = 94,86\%$); ⁽¹¹⁾ $y = 8,9063x^2 - 11,112x + 29,755$ ($R^2 = 99,27\%$);

A população de final de plantas tem papel crucial nos componentes produtivos da cultura do feijão, no estado de São Paulo são considerados adequados populações entre 220.000 e 300.000 plantas ha⁻¹, esta variação é aceitável com base nas características de cada cultivar e

a arquitetura das plantas (SORATTO et al., 2017), com base nisto, é possível destacar que todos os tratamentos ficaram com população de plantas dentro do esperado, e a maior população de plantas obtidas pode estar relacionado a disponibilidade de nutrientes para o feijão com base na adubação e massa seca em decomposição da cultura antecessora (MOMESSO et al., 2021).

O maior TCF foi obtido sob o consórcio de milho solteiro em relação ao consórcio de milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* na dose de 80 kg ha⁻¹ de N, por outro lado, sob a dose de 120 kg ha⁻¹ de N foi observado maior TCF e AMSP sob o consórcio de milho solteiro quando comparado ao consórcio de milho + crotalária, porém, na dose de 0 kg ha⁻¹ de N foi possível verificar maior AMSP no consórcio de milho + *C. spectabilis* em relação aos demais consórcios (Tabela 8). A TCF máxima estimada foram de 44,56, e 44,36 nas doses de N de x e x kg ha⁻¹ nos consórcios de milho + *C. spectabilis* e milho + *U. ruziziensis*, respectivamente (Tabela 8). O teor de clorofila foliar está inteiramente relacionado ao fornecimento adequado de nitrogênio e sua absorção pelas plantas, como é um critério utilizado por diversos pesquisadores para adubação nitrogenada de cobertura no feijão (MAIA et al., 2017; SILVEIRA; GONZAGA, 2017; SILVA et al., 2023), e em cereais (SINGH; ALI, 2020; MUHAMMAD et al., 2022; VENÂNCIO et al., 2022).

Um fator que pode elevar a quantidade de N fornecido para a cultura do feijão é a velocidade que ocorre mineralização da palhada do milho solteiro (que favoreceu os maiores teores de clorofila foliar nas maiores doses de N). Por ter grande quantidade de carbono (C), a mineralização do resíduo do milho é lenta e consegue fornecer para cultura seguinte os nutrientes da palhada gradativamente e aumenta a eficiência da absorção da cultura seguinte, sendo determinante para o aumento da massa seca e produtividade desta cultura (CUNHA et al., 2015; MINGOTTE et al., 2021). Na ausência da aplicação de N em cobertura nas plantas antecessora, houve um destaque para o consórcio de milho + *C. spectabilis* devido a grande capacidade da *C. spectabilis* de realizar fixação biológica de N, conseguindo assim elevar os níveis de N na palhada que vão ser fornecidos para o feijão através da mineralização (SOUZA et al., 2018; NASCIMENTO et al., 2022).

Houve interações significativas entre NM, NF e C para número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), número de grãos por vagem (NGV), também foram verificadas interações significativas entre NM e C para massa de cem grãos (M100G) e produtividade de grãos (PG) da cultura do feijão, como efeito significativo da NF sobre PG da cultura do feijão. Foi observado maior PG na dose de 100% de N fornecido para o feijão em comparação com a dose de 50% (Tabela 9).

Tabela 9. Valores médios do número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), número médio de grãos por vagem (NGV), massa de cem grãos (M100G) e produtividade de grãos (PG) da cultura do feijão coinoculado primeira safra após consórcio de milho com plantas de cobertura e doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2023.

	NVP	NGP	NGV	M100G g	PG kg ha ⁻¹
Consórcio (C)					
M	11,3	55,7	5,0	22,03	2.488 b
M + C	11,9	55,9	4,7	22,16	2.753 a
M + U	11,3	54,8	4,8	22,15	2.717 a
M + C + U	11,8	56,7	4,9	21,76	2.134 c
Doses de nitrogênio (NM) no milho (kg ha⁻¹)					
0	11,9	59,4	5,0	22,10	2.813 ⁽¹⁾
40	11,1	50,9	4,6	22,06	2.318
80	11,7	56,4	4,9	21,99	2.534
120	11,6	56,4	4,9	21,95	2.428
Aplicação de nitrogênio no feijão (NF)					
50%	11,6	57,7	5,0	22,08	2.475 b
100%	11,6	53,8	4,7	21,97	2.571 a
Valores de F					
C	2,101 ^{ns}	0,707 ^{ns}	2,871*	1,722 ^{ns}	45,016*
NM	2,146 ^{ns}	15,109*	4,912*	0,230 ^{ns}	25,068*
NF	0,017 ^{ns}	18,217*	18,330*	0,651 ^{ns}	5,036*
C x NM	14,038*	16,403*	6,678*	2,076*	9,131*
C x NF	4,411*	17,880*	5,692*	2,427 ^{ns}	0,038 ^{ns}
NM x NF	1,315 ^{ns}	15,238*	11,582*	2,109 ^{ns}	1,235 ^{ns}
C x NM x NF	18,988*	42,857*	6,117*	1,011 ^{ns}	1,224 ^{ns}
DMS (5%)					
C	--	--	--	--	158,4317
NF	--	--	--	--	84,7994
CV(%)	10,05	8,06	8,08	3,11	8,24

M: Milho; C: *Crotalaria spectabilis*; U: *U. ruziziensis ruziziensis*; *significativo a 5% de significância; ^{ns} – não significativo pelo teste F. Médias seguidas da mesma letra, dentro consórcio e dose não diferem estatisticamente a 5 % de significância. ⁽¹⁾y= 607,81x² - 964,12x + 2761,4 (R²=50,56%)

Foi observado maior NVP na dose de 50% do N aplicado no Feijão, na dose de 0 kg ha⁻¹ de N no consórcio de milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* em comparação aos demais consórcios e ao mesmo tratamento na dose de 100% de N, porém, maior NVP na dose de 100% do N aplicado no Feijão, na dose de 0 kg ha⁻¹ de N no consórcio de milho solteiro, milho + *C. spectabilis* e milho + *U. ruziziensis* em relação a dose de 50% de N, estes mesmo tratamentos exceto milho + *C. spectabilis* tiveram maior NVP em relação ao consórcio milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* (Tabela 10).

Tabela 10. Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente ao número de vagens por planta do feijão coinoculado primeira safra após consórcio de milho com plantas de cobertura e doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2023.

Número de vagens por planta									
Aplicação de nitrogênio no feijão									
Doses de nitrogênio no milho (kg ha ⁻¹)									
	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	
C	0	0	40	40	80	80	120	120	
M	10,4 b B	13,0a A	14,5 a A	11,2a B	8,4 c	7,9b	11,6 a	13,4 a	n.s.
M+C	10,3 bB	12,3abA	12,2 a	10,9ab	14,0 a A	12,1 a B	12,2 a	11,5ab	RQ*(¹)
M + U	10,3 bB	12,3aA	12,3 a A	8,6 b B	11,1 b	12,2 a	13,5aA	9,8 bB	n.s.
M+C+ U	16,3 a A	10,4b B	6,2 b B	12,9 a A	14,1 a	13,4 a	7,9 bB	13,0 a A	RQ*(²)

DMS(5%) - Consórcio dentro de dose de N – 2,5086 e 1,8989

M: Milho; C: *Crotalaria spectabilis*; U: *U. ruziziensis ruziziensis*; aplicação de nitrogênio no feijão (NF); médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de tukey a 5 % de significância. ⁽¹⁾50%N $y = -5,7813x^2 + 8,8125x + 10,125$ ($R^2 = 91,06\%$); ⁽²⁾100%N $y = -4,5313x^2 + 7,5125x + 10,455$ ($R^2 = 98,92\%$);

Foi possível verificar menor NVP na dose de 50% do N aplicado no Feijão, na dose de 40 e 120 kg ha⁻¹ de N no consórcio de milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* em comparação aos demais consórcios, sob a dose de 100% de N no feijão foi observado maior NVP sob o consórcio de milho + *C. spectabilis* e milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* em comparação ao milho + *U. ruziziensis* na dose de 40 kg ha⁻¹ de N. O menor NVP observado na dose de 50 e 100% do N aplicado no Feijão, na dose de 80 kg ha⁻¹ de N no consórcio de milho solteiro em comparação aos demais consórcios, na dose de 120 kg ha⁻¹ de N o maior NVP foi observado na dose de 100% de N aplicado no feijão sob os consórcios de milho solteiro e milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* quando comparado ao consórcio de milho + *U. ruziziensis*. Foi obtido maior NVP estimado de 13,5 e 13,6 nas doses de x e x kg ha⁻¹ de N sob dose de 50 e 100% do N aplicado no feijão nos consórcios de milho + *C. spectabilis* e milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis*, respectivamente (Tabela 10).

A presença da *C. spectabilis* nos consórcio com milho e *U. ruziziensis* associado ao fornecimento adequado de N nos consórcios e no feijão possibilitou maior disponibilidade de N para absorção do feijão, por ser uma planta com altos teores de proteína nos grãos e nos tecidos tem alta dependência por N (PIAS et al., 2022), e a capacidade de fixação biológica de N pela cultura antecessora (*C. spectabilis*) pelo fornecimento de N tanto nos consórcios quanto

no fornecimento de N no feijão via adubação e fixação biológica de N, proporcionaram um aumento no número de vagens por planta de feijão (SOUZA et al., 2019; ARAUJO et al., 2024). Além disso, o fornecimento de N via adubação ou mineralização de palhada para a cultura do feijão pode influenciar no tamanho das vagens, no número de grãos por vagem, no número de grãos por planta e em consequência na produtividade de grãos de feijão (MORTINHO et al., 2022).

O maior NGP na dose de 50% do N aplicado no feijão associado a dose de 0 kg ha⁻¹ de N em cobertura e na dose de 100% do N aplicado no feijão associado a dose de N de 120 kg ha⁻¹ em cobertura no consórcio de milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* em comparação aos demais consórcios, por outro lado, o maior NGP foi observado na dose de 100% de N aplicado no feijão sob a dose de 0 kg ha⁻¹ de N em cobertura no consórcio de milho solteiro, e o menor NGP observado no consórcio de milho solteiro sob a dose de N de 80 kg ha⁻¹ em cobertura associado a dose de 100 % do N aplicado no feijão (Tabela 11).

Tabela 11. Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente ao número de grãos por planta do feijão coinoculado primeira safra após consorcio de milho com plantas de cobertura e doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2023.

Número de grãos por planta									
Aplicação de nitrogênio no feijão									
	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	
Doses de nitrogênio no milho (kg ha ⁻¹)									
C	0	0	40	40	80	80	120	120	
M	49,1 b B	76,7 a A	70,3 a A	44,2 b B	43,0 b	44,8 b	59,6 b	57,6	RQ ^{*(1)}
M+C	43,5 b B	57,4 bc A	62,8 a A	41,0 b B	70,3 a A	62,0 a B	57,0 b	52,9	RQ ^{*(2)}
M + U	50,2 b B	65,7 b A	61,7 a A	39,0 b B	65,8 a A	46,1 b B	70,2aA	39,7 B	RQ ^{*(3)}
									RQ ^{*(4)}
MCU	82,7 a A	49,7 c B	29,1 b B	58,6 a A	62,3 a	57,0 a	45,8 c B	68,1 A	n.s.
DMS(5%) - Consórcio dentro de dose de N – 9,6883 e 7,3336									

Milho; C: *Crotalaria spectabilis*; U: *Urochloa ruziziensis*; aplicação de nitrogênio no feijão (NF); médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de tukey a 5 % de significância. (¹)100%N $y = 70,781x^2 - 99,113x + 75,655$ ($R^2 = 96,86\%$); (²)50%N $y = -50,938x^2 + 73,125x + 43,05$ ($R^2 = 98,95\%$); (³)50%N $y = -11,094x^2 + 29,338x + 50,585$ ($R^2 = 98,66\%$); (⁴)100%N $y = 31,719x^2 - 55,787x + 63,335$ ($R^2 = 76,01\%$);

Foi possível verificar o maior NGP na dose 0 ka ha⁻¹ de N sob 100% do N comparado ao 50% do N e na dose de 40 ka ha⁻¹ de N em cobertura aplicado na cultura antecessora associado a 50% da dose de N comparado ao 100% do N aplicado no feijão nos consórcios de milho solteiro, milho + *C. spectabilis* e milho + *U. ruziziensis*. Na dose de 80 ka ha⁻¹ de N aplicado nos consórcios de milho + *C. spectabilis* e milho + *U. ruziziensis* na dose de 50% de

N aplicado no feijão foi observado o maior NGP em comparação a dose de 100% do N aplicado no feijão (Tabela 11). Foi obtido maior NGP estimado de 63,3, 69,3, 69,9 e 38,8 nas doses de 0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura na cultura antecessora associado as doses de 100%, 50%, 50% e 100% do N aplicado no feijão nos consórcios de milho solteiro, milho + *C. spectabilis*, milho + *U. ruziziensis* e milho + *U. ruziziensis*, respectivamente (Tabela 11).

Na dose de 0 kg ha⁻¹ de N em cobertura aplicado na cultura antecessora associado ao consórcio de milho solteiro foi observado maior NGV na dose de 100% de N no feijão em relação a 50%, o consórcio de milho solteiro dentro da dose 0 kg ha⁻¹ de N em cobertura na cultura antecessora e 100% do N aplicado no feijão teve maior NGV em relação aos consórcios milho + *C. spectabilis* e milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis*. Por outro lado, sob a dose de 40 kg ha⁻¹ de N em cobertura aplicado nos consórcios milho solteiro e milho + *C. spectabilis* obtiveram maior NGV do feijão associado 50% do N aplicado no feijão em relação a dose de 100%, este mesmo efeito foi verificado para o consórcio de milho + *U. ruziziensis* na dose de 80 kg ha⁻¹ de N e nos consórcios milho solteiro, milho + *U. ruziziensis* e milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* na dose de 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura na cultura antecessora (Tabela 12).

Tabela 12. Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente ao número de grãos por vagem do feijão coinoculado primeira safra após consorcio de milho com plantas de cobertura e doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2023.

Número de grãos por vagem									
C	Aplicação de nitrogênio no feijão								RL*(1)
	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	
	Doses de nitrogênio no milho (kg ha ⁻¹)								
	0	0	40	40	80	80	120	120	
M	4,7 B	5,9 a A	4,8 A	4,0 B	5,1 ab	5,7 a	5,2 ab	4,3 b B	
M+C	4,2	4,6 b	5,2 A	3,8 B	5,0 b	5,1 ab	4,7 b	4,6 ab	RQ*(2)
M + U	4,9	5,3 ab	5,2	4,5	6,0 a A	3,8 c B	5,2	4,0 b B	RQ*(3)
MCU	5,1	4,8 b	4,7	4,6	4,4 b	4,3 bc	5,9 a	5,2 a B	RQ*(4)
							A		RQ*(5)

DMS(5%) - Consórcio dentro de dose de N – 0,8430 e 0,6381

M: Milho; C: *Crotalaria spectabilis*; U: *Urochloa ruziziensis*; aplicação de nitrogênio no feijão (NF); médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de tukey a 5 % de significância. (¹)50%N $y = 0,45x + 4,68$ ($R^2 = 95,29\%$); (²)50%N $y = -2,0312x^2 + 2,7625x + 4,255$ ($R^2 = 89,34\%$); (³)100%N $y = 1,5625x^2 - 3,025x + 5,34$ ($R^2 = 97,61\%$); (⁴)50%N $y = 2,9688x^2 - 3,0375x + 5,185$ ($R^2 = 88,60\%$); (⁵)100%N $y = 1,7188x^2 - 1,8375x + 4,865$ ($R^2 = 80,23\%$);

Na dose de 80 kg ha⁻¹ de N sob a aplicação de 50% do N no feijão o consórcio de milho + *U. ruziziensis* propiciaram maior NGV quando comparado aos consórcios milho + *C.*

spectabilis e milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis*, na mesma dose de N foi possível verificar maior NGV sob o consórcio de milho solteiro em relação ao milho + *U. ruziziensis* e milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* na dose de 100% do N aplicado no feijão. Na dose de 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura na cultura antecessora, associado a aplicação de 50% do N no feijão foi observado maior NGV no consórcio de milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* em comparação ao consórcio de milho + crotalária, por outro lado, na mesma dose de N sob aplicação de 100% de N no feijão foi verificado maior NGV sob o consórcio de milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* em comparação aos consórcios de milho + *U. ruziziensis* e milho solteiro (Tabela 12).

No consórcio de milho solteiro sob a dose de 50% do N aplicado no feijão foi observado aumento do NGV conforme o aumento das doses de N aplicadas na cultura antecessora, porém, sob a dose de 50% do N aplicado no feijão associado ao consórcio de milho + *C. spectabilis* o maior NGV estimado foi de 5,19 grãos vagem⁻¹ na dose estimada de x kg ha⁻¹ de N em cobertura na cultura antecessora. O mínimo NGV do feijão estimado foi de 3,87, 4,41 e 4,38 grãos vagem⁻¹ sob as doses calculada de x, x e x kg ha⁻¹ de N em cobertura nos consórcios de milho + *U. ruziziensis*, milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* e milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* associado as doses de 100%, 50% e 100% do N aplicado no feijão, respectivamente (Tabela 12).

O comportamento semelhante foi observado para NGV e NGP do feijão, na dose de 0 kg ha⁻¹ de N em cobertura nos consórcios de milho solteiro, milho + *C. spectabilis* e milho + *U. ruziziensis* foi verificado sob a dose de 100% do N aplicado no feijão, por outro lado, nas doses de 40 kg ha⁻¹ de N em cobertura nos consórcios de milho solteiro, milho + *C. spectabilis* e milho + *U. ruziziensis* nas doses de 80 e 120 kg ha⁻¹ de N nos consórcios de milho + *C. spectabilis* e milho + *U. ruziziensis* foram verificados os maiores NGV e NGP do feijão com fornecimento de 50% da dose de N para o feijão. Este indicativo demonstra claramente a influência da adubação nitrogenada na cultura antecessora como eficaz para reduzir a adubação nitrogenada na cultura sucessora, principalmente se a cultura antecessora tiver alta exportação de N e produção de palhada para ser mineralizada posteriormente (GALINDO et al., 2021). Além disso, a disponibilidade de carbono e nutrientes ao longo do período de cultivo sucessor é fundamental para incrementar a fertilidade do solo e em consequência eleva a extração destes nutrientes pelas raízes das plantas e ainda eleva o transporte de carboidratos e açúcares para os tecidos reprodutivos que reflete no aumento do número de grãos (MOMESSO et al., 2021; SOARES et al., 2023).

Outro fator determinante para elevar a disponibilidade de N para cultura sucessora é a relação C/N das culturas utilizadas como antecessoras, uma associação de gramíneas e leguminosas tem maior relação C/N do que um cultivo com apenas leguminosas, porém, menor que um cultivo com apenas gramíneas (MELKONIAN et al., 2017; NASCIMENTO et al., 2022). Isto está relacionado ao tempo de decomposição desta palhada, que ao utilizar consórcio de milho + *C. spectabilis* possibilita maior disponibilidade imediata de N da rápida decomposição da *C. spectabilis* e a prolongada da decomposição lenta da palhada do milho (SAPUCAY et al., 2020). Em experimentos realizados em Selvíria – MS foi verificado maior número de grãos e vagens por plantas de feijão cultivo em sucessão a *Crotalaria juncea*, feijão guandu (*Cajanus cajan*) e milheto (*Pennisetum glaucum*) como plantas de cobertura em relação a *U. ruziziensis* (NASCIMENTO et al., 2022).

Na dose de 80 kg ha⁻¹ de N aplicado na cultura antecessora o maior M100G foi observado sob o consórcio de milho + *U. ruziziensis* em comparação ao de milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis*. Sob a dose de 0 kg ha⁻¹ de N na cultura antecessora foi observado maior PG sob o consórcio de milho + *C. spectabilis* quando comparado ao milho solteiro e milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis*, na dose de 40 kg ha⁻¹ de N a maior PG foi verificada no consórcio de milho solteiro em relação aos de milho + *U. ruziziensis* e milho + *U. ruziziensis* + crotalária, porém, na dose de 80 kg ha⁻¹ de N os consórcios de milho + *C. spectabilis* e milho + *U. ruziziensis* tiveram maior PG em comparação aos demais consórcios. Sob a dose de 120 kg ha⁻¹ de N foi observado maior PG no consórcio de milho + *U. ruziziensis* em comparação ao milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* (Tabela 13).

O mínimo M100G do feijão estimada foi de 22,36; 22,04 e 21,32 g sob as doses calculada de x, x e x kg ha⁻¹ de N em cobertura na cultura antecessora, nos consórcios de milho solteiro, milho + *C. spectabilis* e milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis*, respectivamente. No consórcio de milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* foi obtido o mínimo PG estimada de 1873 kg ha⁻¹ sob a dose calculada de x kg ha⁻¹ de N em cobertura na cultura antecessora (Tabela 13).

A maior M100G foi observada sob dose de 80 kg ha⁻¹ de N em cobertura no consórcio de milho + *U. ruziziensis*, este resultado reflete a alta capacidade do milho e da pastagem de extrair o N do solo e disponibilizá-lo de forma lenta para a cultura do feijão, principalmente pela alta relação C/N e produção de palhada (). Entretanto, a maior PG do feijão obtida sob a dose de 0 kg ha⁻¹ de N em cobertura no consórcio de milho + *C. spectabilis*, principalmente devido a maior eficiência na fixação biológica de N realizar pela *C. spectabilis* que conseguiu manter maiores quantidades de N na palhada da própria cultura e por fornecer de forma indireta grandes quantidades de N via fixação para a cultura do milho que estava em consórcio (SOUZA

et al., 2019). Este comportamento não se repete na dose de 40 e 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura no consórcio de milho solteiro e milho + *U. ruziziensis* proporcionaram maior PG do feijão, devido ao fornecimento de N na cultura antecessora, a capacidade de absorção, transporte e mineralização do N na palhada destes consórcios foram mais eficientes. Porém, na dose de 80 kg ha⁻¹ de N em cobertura no consórcio de milho + *C. spectabilis* e milho + *U. ruziziensis* proporcionaram as maiores PG do feijão, que pode estar associado a eficiência da absorção do N por ambos os consórcios, fixação biológica de N da *C. spectabilis* e alta produção de palhada da *U. ruziziensis* (SILVA et al., 2016; MELKONIAN et al., 2017; MAHAMA et al., 2020).

Tabela 13. Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente a massa de cem grãos e produtividade de grãos do feijão coinoculado primeira safra após consorcio de milho com plantas de cobertura e doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2023.

Massa de cem grãos (g)					
Consórcio	Doses de nitrogênio no milho (kg ha ⁻¹)				
	0	40	80	120	
M	21,43	22,34	22,13 ab	22,22	RQ ^{*(1)}
M + C	22,37	22,13	22,15 ab	22,00	RQ ^{*(2)}
M + U	22,13	22,13	22,45 a	21,88	n.s.
M + C + U	22,47	21,62	21,26 b	21,71	RQ ^{*(3)}
DMS (5%)	Consórcio dentro de dose de N – 1,0454				
Produtividade de grãos do feijão (kg ha ⁻¹)					
Consórcio	Doses de nitrogênio no milho (kg ha ⁻¹)				
	0	40	80	120	
M	2.681 bc	2.666 a	2.140 b	2.466 ab	n.s.
M + C	3.168 a	2.419 ab	2.926 a	2.498 ab	n.s.
M + U	2.926 ab	2.326 b	3.068 a	2.546 a	n.s.
M + C + U	2.475 c	1.859 c	2.002 b	2.199 b	RQ ^{*(4)}
DMS (5%)	Consórcio dentro de dose de N – 316,8634				

M: Milho; C: *Crotalaria spectabilis*; U: *Urochloa ruziziensis*; aplicação de nitrogênio no feijão (NF); médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de tukey a 5 % de significância. ⁽¹⁾ $y = -1,2813x^2 + 2,0775x + 21,501$ ($R^2 = 79,92\%$); ⁽²⁾ $y = 0,1406x^2 - 0,4412x + 22,349$ ($R^2 = 86,92\%$); ⁽³⁾ $y = 2,0313x^2 - 3,0975x + 22,486$ ($R^2 = 99,34\%$); ⁽⁴⁾ $y = 1270,3x^2 - 1695,6x + 2439,8$ ($R^2 = 88,36\%$);

Houve interações significativas entre C e NM para radiação fotossinteticamente ativa (RFA) no terço superior (TS), terço médio (TM) e terço inferior (TI) do dossel em R6 (florescimento pleno) do feijão. Houve efeito significativo do NF sobre o RFA no TM e TI, o maior RFA no TM e TI foi obtido sob a dose de 50% de N aplicado no feijão quando comparado a dose de 100% do N (Tabela 14).

Tabela 14. Valores médios da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) no terço superior (TS), terço médio (TM) e terço inferior (TI) do dossel em R6 (florescimento pleno) do feijão coinoculado primeira safra após consorcio de milho com plantas de cobertura e doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2023.

	RFA em R6 do feijão		
	TS	TM	TI
	----- $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ -----		
	Consórcio (C)		
M	1594	1317	432
M + C	1570	1087	182
M + U	1598	1312	299
M + C + U	1588	1076	225
	Doses de nitrogênio (NM) no milho (kg ha^{-1})		
0	1614	1282	304
40	1593	1378	311
80	1566	979	344
120	1577	1152	178
	Aplicação de nitrogênio no feijão (NF)		
50%	1570	1312 a	299 a
100%	1577	1087 b	182 b
	Valores de F		
C	0,345 ^{ns}	15,467*	62,915*
NM	0,993 ^{ns}	25,400*	28,074*
NF	3,629*	4,679*	32,269*
C x NM	0,419*	0,267*	0,590*
C x NF	0,517 ^{ns}	0,369 ^{ns}	1,204 ^{ns}
NM x NF	1,018 ^{ns}	1,062 ^{ns}	0,532 ^{ns}
Cx NM x NF	3,510 ^{ns}	4,733 ^{ns}	22,238 ^{ns}
	DMS (5%)		
C	--	--	--
NF	--	--	--
CV (%)	5,29	11,45	19,43

M: Milho solteiro; C: *Crotalaria spectabilis*; U: *Urochloa ruziziensis*; *significativo a 5% de significância; ^{ns} – não significativo pelo teste F. Médias seguidas da mesma letra, dentro de consórcio não diferem estatisticamente a 5 % de significância.

Os consórcios de milho + *U. ruziziensis* e milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* tiveram maior RFA no TS do feijão associados a dose de 0 kg ha^{-1} de N em cobertura na cultura antecessora em comparação ao consórcio do milho solteiro, na dose de 40 kg ha^{-1} de N foi observado maior RFA no TS no consórcio de milho solteiro quando comparado aos demais consórcios. A máxima RFA no TS estimada foi de 1725 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ sob na dose calculada de 58 kg ha^{-1} de N no consórcio de milho solteiro, porém, no consórcio de milho + *U. ruziziensis* foi estimada a mínima RFA no TS de 1521 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ sob na dose calculada de 64 kg ha^{-1} de N (Tabela 15).

Tabela 15 - Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente à radiação fotossinteticamente ativa (RFA) no terço superior, terço médio e terço inferior do dossel em R6 (florescimento pleno) do feijão coinoculado primeira safra após consórcio de milho com plantas de cobertura e doses de nitrogênio em cobertura, Dracena, SP, Brasil, 2023.

RFA no terço superior do dossel ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)					
Doses de nitrogênio (kg ha^{-1})					
Consórcio	0	40	80	120	
M	1505 b	1754 a	1575	1542	RQ*(1)
M + C	1602 ab	1547 b	1571	1560	n.s.
M + U	1685 a	1528 b	1547	1632	RQ*(2)
M + C + U	1664 a	1543 b	1571	1575	n.s.
DMS (5%)	Consórcio dentro de dose de N – 158,5258				
RFA no terço médio do dossel ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)					
Doses de nitrogênio (kg ha^{-1})					
Consórcio	0	40	80	120	
M	1316	1499 a	1083 a	1370 a	n.s.
M + C	1340	1375 ab	806 b	827 c	RQ*(3)
M + U	1198	1501 a	1218 a	1331 ab	n.s.
M + C + U	1274	1139 b	810 b	1080 bc	RQ*(4)
DMS (5%)	Consórcio dentro de dose de N – 258,7007				
RFA no terço inferior do dossel ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)					
Doses de nitrogênio (kg ha^{-1})					
Consórcio	0	40	80	120	
M	273 b	681 a	612 a	161	RQ*(5)
M + C	263 bc	118 c	215 b	130	n.s.
M + U	516 a	176 bc	307 b	197	RQ*(6)
M + C + U	165 c	270 b	242 b	222	n.s.
DMS (5%)	Consórcio dentro de dose de N – 104,2411				

M: Milho solteiro; C: *Crotalaria spectabilis*; U: *Urochloa ruziziensis*; médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de tukey a 5 % de significância. ⁽¹⁾ $y = -0,0441x^2 + 5,1175x + 1533,7$ ($R^2 = 54,97\%$); ⁽²⁾ $y = 0,0378x^2 + 4,8875x + 1679,5$ ($R^2 = 96,27\%$); ⁽³⁾ $y = -0,022x^2 - 5,0075x + 1399,7$ ($R^2 = 75,71\%$); ⁽⁴⁾ $y = 0,0633x^2 - 9,8713x + 1313,7$ ($R^2 = 72,41\%$); ⁽⁵⁾ $y = -0,1342x^2 - 15,094x + 277,75$ ($R^2 = 99,77\%$); ⁽⁶⁾ $y = 0,0359x^2 - 6,3775x + 480,4$ ($R^2 = 65,13\%$).

O maior RFA no TM no feijão foi observado sob os consórcios de milho solteiro e milho + *U. ruziziensis* na dose de 40 kg ha^{-1} de N em cobertura na cultura antecessora em comparação ao consórcio de milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis*, e na dose de 80 kg ha^{-1} de N em cobertura na cultura antecessora em comparação aos consórcios de milho + *C. spectabilis* e milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis*. Porém, na dose de 120 kg ha^{-1} de N em cobertura na cultura antecessora foi possível verificar maior RFA no TM no feijão no consórcio de milho solteiro em relação aos de milho + *C. spectabilis* e milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis*. A mínima RFA no TM no feijão estimada foi de 1114 e 928 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ sob as doses calculada de 113 e 78 kg ha^{-1} de N em cobertura na cultura antecessora, nos consórcios de milho + *C. spectabilis* e milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis*, respectivamente (Tabela 15).

O maior RFA no TI do feijão foi observado o consórcio de milho + *U. ruziziensis* associado a dose de 0 kg ha⁻¹ de N em cobertura na cultura antecessora em relação aos demais consórcios na mesma dose, entretanto, nas doses de 40 e 80 kg ha⁻¹ de N em cobertura na cultura antecessora o consórcio de milho solteiro proporcionou maior RFA no TI do feijão comparação aos demais consórcios. A mínima RFA no TI no feijão estimada foi de 703 e 197 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ sob as doses calculada de 56 e 10 kg ha⁻¹ de N em cobertura na cultura antecessora, nos consórcios de milho solteiro e milho + *U. ruziziensis*, respectivamente (Tabela 9). O uso de elevadas doses de N tem potencial de elevar a RFA das plantas, principalmente pelo N ser responsável pela biossíntese de proteínas, clorofila e aminoácidos, como está diretamente ligado a divisão e expansão celular e no aumento da atividade fotossintética das plantas (MALAVOLTA, 2008). Em estudo realizado com trigo foi possível verificar aumentos na RFA no TS e TM entre 7 e 26% quando realizado aplicação de N em cobertura em relação a não aplicação, a menor interferência do N no terço inferior está relacionada a baixa capacidade de captação de luz solar pelas folhas (LUO et al., 2021). A RFA do TS e TM são responsáveis pela maior parte da captação de radiação pelas folhas e possibilitam maior atividade fotossintética, que resulta em maior produção de fotoassimilados e seu transporte pela planta, isto possibilita maior acúmulo de reserva nos tecidos foliares, vagens e grãos que podem refletir na maior eficiência produtiva das plantas (LEMAINSKI et al., 2023).

A escolha da planta do consórcio pode afetar diretamente a RFA da cultura de interesse do consórcio, neste sentido a escolha da época de semeadura da planta de cobertura deve ser com base no crescimento inicial desta planta e sua capacidade de interceptar a luz solar que será destinada para a cultura de interesse. Porém, neste experimento os consórcios foram realizados com milho no cultivo antecessor, com isto sua interferência sobre a RFA do feijão pode estar associada a outros fatores. Como a capacidade destas plantas de reduzir a perda de água do solo pela quantidade de palhada sobre o solo, disponibilização de nutrientes via fixação biológica de N e mineralização da palhada e na melhora da estruturação do solo que possibilita maior exploração do solo pelas raízes do feijão que aumenta sua eficiência no uso de água e nutrientes e em consequência aumenta a capacidade de utilizar a radiação interceptada pelas folhas (SUAREZ et al., 2022).

5. CONCLUSÃO

Experimento 1: Sistemas de consorciação e doses de nitrogênio em cobertura em milho segunda safra

1. O sistema consorciado milho + *Crotalaria spectabilis* aumenta a concentração de nitrogênio foliar no milho.
2. Consórcios entre milho + *Urochloa ruziziensis* associados a doses de zero, 40 e 120 kg ha⁻¹ de N e entre milho + *C. spectabilis* + *U. ruziziensis* associados a doses de 80 e 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura proporcionou aumentos na produtividade de grãos de milho.
3. O consórcio milho + *C. spectabilis*, independente da dose de N na cultura de cobertura, proporcionou incrementos positivos na massa seca das plantas, altura média das plantas, altura de inserção da espiga e diâmetro do colmo do milho.

Experimento 2: Efeito residual de sistemas de consórcio e inoculação com bactérias diazotróficas no cultivo do feijão coinoculado em sucessão

1. No consórcio entre milho + *C. spectabilis* associado a dose zero de nitrogênio em cobertura, foi observado maior acúmulo de matéria seca no feijoeiro em função do efeito residual.
2. Os componentes produtivos do feijoeiro apresentam resultados positivos com o cultivo sobre o efeito residual no consórcio entre milho + *U. ruziziensis* + *C. spectabilis* associado a dose zero e 50% de N no feijão.
3. Nos sistemas de consórcio entre milho + *C. spectabilis* (2.753 kg ha⁻¹) e entre milho + *U. ruziziensis* (2.717 kg ha⁻¹) isoladamente resulta em incrementos de 10% na produtividade de grãos do feijão quando comparado ao milho solteiro (2.488 kg ha⁻¹).
4. Os consórcios entre milho + *C. spectabilis* associado a doses de 0 e 80 kg ha⁻¹ N e entre milho + *U. ruziziensis* associado a doses de 80 e 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio proporcionaram incrementos na produtividade de grãos do feijão.

6. REFERÊNCIAS

- ARAUJO, E. O.; FREITAS, D. S.; CATANIO, J. V. F.; VIANA FILHO, L. A. B.; GUIMARAES, E. G. Performance of common bean cultivated in succession to cover crops. **Rev. Gest. Soc. Ambient.**, Miami, v.18, n.4, p.1-12, e04638, 2024.
- ARF, O.; MEIRELLES, F. C.; PORTUGAL, J. R.; BUZETTI, S.; SÁ, M. E. D.; RODRIGUES, R. A. F. BENEFÍCIOS DO MILHO CONSORCIADO COM GRAMÍNEA E LEGUMINOSAS E SEUS EFEITOS NA PRODUTIVIDADE EM SISTEMA PLANTIO DIRETO. **Revista Brasileira de milho e sorgo**, [S. l.], v. 17, n. 3, p. 431–444, 2018.
- BENEDUZI, A.; AMBROSINI, A.; PASSAGLIA, L. M. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): their potential as antagonists and biocontrol agents. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 35, p. 1044-1051, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gmb/a/nBs38RzksfS9SwPZSKVd6kL/>. Acesso em: 01 fev. 2024.
- BIESDORF, E. M.; BIESDORF, E. M.; TEIXEIRA, M. F. F.; DIETRICH, O. H.; PIMENTEL, L. D.; ARAUJO, C. de. Métodos de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em solo de cerrado. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 3, n. 1, p. 44–50, 2016.
- BORGES, W.L., SOUZA, D. D. J., RODRIGUES, D. D. S.; RIOS, R. D. M. **Cobertura do solo, acúmulo de biomassa e de nutrientes em leguminosas para uso como adubo verde**. Embrapa Amapá-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2018.
- CALEGARI A.; CARLOS, J.A.D. Recomendações de plantio e informações gerais sobre o uso de espécies para adubação verde no Brasil. In: LIMA FILHO, D.E.; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D. (Eds.) **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: Fundamentos e prática**. Brasília: Embrapa, 2014, p. 451-477.
- CASTRO, M. N.; ARF, O.; CASTRO, R. M. Efeito do consórcio milho, leguminosas e *Urochloa* sp nos componentes de produção, na produtividade do milho e na produção de palha para o sistema plantio direto. **Fitotecnia, sistemas agrícolas ambientais e solo**. 1ed.Goiânia - GO: Atena Editora, 2023, v., p. 30-.
- CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. Disponível em: <<https://www.livrosabertos.abcd.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/view/109/92/461>>. Acesso em: 19 fev. 2024.
- COÊLHO, J. D. **Produção de grãos: feijão, milho e soja**. Caderno Setorial ETENE (Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste). Economista, Mestre em Economia Rural. 2020.
- CUNHA, T. P. L.; MINGOTTE, F. L. C.; CARMEIS FILHO, A. C. A. C.; CHIAMOLERA, F. M.; LEMOS, L. B.; FORNASIERI FILHO, D. Agronomic performance of common bean in straw mulch systems and topdressing nitrogen rates in no-tillage. **Rev. Ceres**, v.62, n.5, p.489-495, 2015.
- DOOREMBUS, J.; KASSAN, A.H. **Evaluation des quantités d'eau nécessaires aux irrigations: Collection Techniques Rurales en Afrique**, Ministère de la Cooperation, France, 1979. p. 204.

DUARTE, A.P.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Milho (*Zea mays*). In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; MATTOS Jr., D. **Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 3. ed. Campinas: IAC, 2022. p. 200-200. (Boletim Técnico 100).

EMBRAPA. National Soil Research Center. **Brazilian Soil Classification System**. 5rd Edn. revised DF, Embrapa, Brasília, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094001/brazilian-soil-classification-system>> Acesso em: 25 jan. 2020.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**. 37(4), 529-535, 2019.

Food and Agricultural Organization, 2018. FAOSTAT, FAO Statistical Databases. Available from: <http://apps.fao.org/>. (2 February 2018)

FRAZÃO, J. J.; DA SILVA, Á. R.; DA SILVA, V. L.; OLIVEIRA, V. A.; & CORRÊA, R. S. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 18, n. 12, 2014.

GARCÍA-FRAILE, P.; MENÉNDEZ, E.; RIVAS, R. Role of bacterial biofertilizers in agriculture and forestry. **AIMS Bioengineering**, Springfield, v. 2, p. 183, 2015.

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, W. L.; BOLETA, E. H. M.; ROSA, P. A. L.; GASPARETO, R. N.; BIAGINI, A. L. C.; BARATTELA, E. B.; PEREIRA, I.T. Technical and economic viability of corn with *Azospirillum brasilense* associated with acidity correctives and nitrogen. **J. Agri. Sci.** 10, 213–227. doi: 10.5539/jas.v10n3p213

GALINDO, F.S. Fisiologia vegetal, Inoculação com bactérias promotoras de crescimento: Um caso crescent de sucesso e sustentabilidade na agricultura brasileira. *Physiotek crops science*. Disponível em: <https://physiotek.com.br/inoculacao-combacterias-promotoras-de-crescimento-umcaso-crescente-de-sucesso-esestentabilidade-na-agriculturabrasileira/?fbclid=IwAR1kmSRLviymGr4WUVbWOo3Fi2hImvb5Ex9gvLANCn6TdFLK8uzytnJN5LA>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2024.

GALINDO, F. S.; SILVA, E. C.; PAGLIARI, P. H.; FERNANDES, G. C.; RODRIGUES, W. L.; BIAGINI, A. L. C.; BARATELLA, E. B.; SILVA JUNIOR, C. A.; MORETTI NETO, M. J.; SILVA, V. M.; MURAOKA, T.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Nitrogen recovery from fertilizer and use efficiency response to *Bradyrhizobium sp.* and *Azospirillum brasilense* combined with N rates in cowpea-wheat crop sequence. **Applied Soil Ecology**, v.157, a.103764, p.1-13, 2021.

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; PAGLIARI, P. H.; SANTINI, J. M. K.; ALVES, C. J.; MEGDA, M. M.; NOGUEIRA, T. A. R.; ANDREOTTI, M.; ARF, O. Maize yield response to nitrogen rates and sources associated with *Azospirillum brasilense*. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 4, p. 1985-1997, 2019.

GUPTA, A. **The complete technology book on biofertilizers and organic farming**. New York: National Institute of Industrial Research Press India, 2004. 168 p.

HUNGRIA, M.; BARBOSA, J. Z.; RONDINA, A. B. L.; NOGUEIRA, M. A. Improving maize sustainability with partial replacement of N-fertilizers by inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Agronomy Journal**, v. 114, p. 2969-2980, 2022.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 80 p. (Embrapa Soja. Documentos, 283).

KAPPES, C.; ZANCANARO, L. Sistemas de consórcios de braquiária e de crotalárias com a cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s. l.], v. 14, n. 2, p. 219–234, 2015.

KLEINSCHMITT, E. **Produtividade da cultura do milho (zeamays) em resposta à inoculação de *Azospirillum brasilense* em combinação com fertilizantes bioindutores**. 2016. Disponível em:
<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/165170/EzequielKleinschmitt.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 05 Fev. 2024

LEMAINSKI, L. E.; FOLLMANN, D. N.; NIED, A. H.; ROSSATO, R. M.; FREIBERG, C. M.; BREZOLIM, E. Interception of photosynthetically active radiation, growth and yield of grains in sunflower under doses of nitrogen. **Rev. Ceres**, Viçosa, v.70, n.6, e70613, p.1-9, 2023.

LUO, C.; GUO, Z.; XIAO, J.; DONG, K.; DONG, Y. Effects of Applied Ratio of Nitrogen on the Light Environment in the Canopy and Growth, Development and Yield of Wheat When Intercropped. **Front. Plant. Sci.**, Lausanne, v.12, a.719850, p.1-13, 2021.

MAHAMA, G. Y.; PRASAD, P. V. V.; ROOZEBOOM, K. L.; NIPPERT, J. B.; RICE, C. W. Reduction of nitrogen fertilizer requirements and nitrous oxide emissions using legume cover crops in a no-tillage sorghum production system. **Sustainability**, Basel, v.12, a.4403, p.1-18, 2020.

MAIA, S. C. M.; SORATTO, R. P.; LIEBE, S. M.; ALMEIDA, A. Q. Criteria for topdressing nitrogen application to common bean using chlorophyll meter. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.52, n.7, p.512-520, 2017.

MALAVOLTA, E. O futuro da nutrição de plantas tendo em vista aspectos agronômicos, econômicos e ambientais. **Infomações Agronômicas**, Piracicaba, v.121, n.19, p.1–10, 2008.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafós, 1997. 319p.

MARCELO, A. V.; CORÁ, J. E.; FERNANDES, C. Sequências de culturas em sistema de semeadura direta: II - decomposição e liberação de nutrientes na entressafra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1568–1582, 2012.

MARTIN-GUAY, M.-O.; PAQUETTE, A.; DUPRAS, J.; RIVEST, D. The new Green Revolution: Sustainable intensification of agriculture by intercropping. **Science of The Total Environment**, v. 615, p. 767–772, 2018.

MARTINS, D.; GONÇALVES, C. G.; SILVA JUNIOR, A. C. Da. Coberturas mortas de inverno e controle químico sobre plantas daninhas na cultura do milho. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, p. 649–657, 2016.

MELKONIAN, J.; POFFERNBARGER, H. J.; MIRSKY, S. B.; RYAN, M. R.; MOEBIUS-CLUNE, B. N. Estimating Nitrogen Mineralization from Cover Crop Mixtures Using the Precision Nitrogen Management Model. **Agron. Journal**, Madison, v.109, p.1944–1959, 2017.

MENEZES, M. J. T. **Eficiência agronômica de fontes nitrogenadas e de associações de fertilizantes no processo de diferimento de Brachiaria brizanta cv. Marandu**. 2004. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MINGOTTE, F. L. C.; LEAL, F. T.; ALMEIDA, M. M. Y.; MORELLO, O. F.; CUNHA-CHIAMOLERA, T. P. L.; LEMOS, L. B. Nitrogen accumulation and export by common bean as a function of straw and n splitting in no-tillage system. **Rev. Caatinga**, Mossoró, v.34, n.1, p.108-118, 2021.

MIRANDA, R. A. de. Uma história de sucesso da civilização. **A Granja**, v. 74, n. 829, p.24-27, jan. 2018.

MOMESSO, L.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; TANAKA, K. S.; COSTA, C. H. M.; BASTOS, L. M.; CIAMPITTI, I. A. Cover crop and early nitrogen management for common bean in a tropical no-till system. **Agronomy Journal**, Madison, v.113, n.1, p.5143-5156, 2021.

MORTINHO, E. S.; JALAL, A.; OLIVEIRA, C. E. S.; FERNANDES, G. C.; PEREIRA, N. C. M.; ROSA, P. A. L.; DO NASCIMENTO, V.; DE SÁ, M. E.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Co-Inoculations with Plant Growth-Promoting Bacteria in the Common Bean to Increase Efficiency of NPK Fertilization. **Agronomy**, Basel, v.12, a.1325, p.1-15, 2022.

MUHAMMAD, I.; YANG, L.; AHMAD, S.; FAROOQ, S.; AL-GHAMDI, A. A.; KHAN, A.; ZEESHAN, M.; ELSHIKH, M. S.; ABBASI, A. M.; ZHOU, X. B. Nitrogen fertilizer modulates plant growth, chlorophyll pigments and enzymatic activities under different irrigation regimes. **Agronomy**, Basel, v.12, n.4, a.845, p.1-12, 2022.

MURRELL, E. G.; SCHIPANSKI, M. E.; FINNEY, D. M.; HUNTER, M. C.; BURGESS, M.; LACHANCE, J. C.; BARAIBAR, B.; WHITE, C. M.; MORTENSEN, D. A.; KAYE, J. P. Achieving Diverse Cover Crop Mixtures: Effects of Planting Date and Seeding Rate. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 1, p. 259–271, 2017.

NASCENTE, A. S.; CARVALHO, M. C. S.; MELO, L. C.; ROSA, P. H. **Nitrogen management effects on soil mineral nitrogen, plant nutrition and yield of super early cycle common bean genotypes**. Acta Scientiarum Agronomica, v. 39, n. 3, p. 369–378. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1807-86212017000300369&script=sci_abstract. Acesso em: 01 de fevereiro de 2024

NASCIMENTO, V. D.; ARF, O.; ALVES, M. C.; SOUZA, E. J. D.; SILVA, P. R. T. D.; KANEKO, F. H.; JALAL, A.; OLIVEIRA, C. E. S.; SABUNDJIAN, M. T.; FERRARI, S.; BUZO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Mechanical Chiseling and the Cover Crop Effect

on the Common Bean Yield in the Brazilian Cerrado. **Agriculture**, Basel, v.12, n.5, a.616, p.1-14, 2022.

OLIVEIRA, P.; KLUTHCOUSKI, J.; FAVARIN, J.L.; SANTOS, D.C. **Sistema Santa Brígida – Tecnologia Embrapa**: Consorciação de milho com leguminosas. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2010. 16 p. (Circular técnica, 88).

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

PIAS, O. H. C.; WELTER, C. A.; TIECHER, T.; CHERUBIN, M. R.; FLORES, J. P. M.; ALVES, L. A.; BAYER, C. Common bean yield responses to nitrogen fertilization in Brazilian no-till soils: A meta-analysis. **Rev. Bras. Cienc. Solo.**, v.46, n.1, e0220022, p.1-28, 2022.

PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.

RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A., FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo Campinas. (Boletim Técnico, 100), 1997. 285p.

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

SABUNDJIAN, M. T.; ARF, O.; KANEKO, F.H.; FERREIRA, J. P. Adubação nitrogenada em feijoeiro em sucessão a cultivo solteiro e consorciado de milho e *Urochloa ruziziensis*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 3, p. 292–299, jul. 2013.

SAPUCAY, M. J. L. C.; COELHO, A. E.; BRATTI, F.; LOCATELLI, J. L.; SANGOI, L.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; ZUCARELI, C. Nitrogen rates on the agronomic performance of second-crop corn single and intercropped with ruzigrass or showy rattlebox. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v.50, e65525, p.1-10, 2020.

SCHIPANSKI, M. E.; BARBERCHECK, M.; DOUGLAS, M. R.; FINNEY, D. M.; HAIDER, K.; KAYE, J. P.; KEMANIAN, A. R.; MORTENSEN, D. A.; RYAN, M. R.; TOOKER, J.; WHITE, C. A framework for evaluating ecosystem services provided by cover crops in agroecosystems. **Agricultural Systems**, v. 125, p. 12–22, 2014.

SILVA, A. A.; PAULINO, M. A. R.; MOLINA, L. S.; ZUFFO, A. M.; AGUILERA, J. G.; STEINER, F. ndice relativo de clorofila para a otimização da adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro em diferentes sistemas de produção. **Rev. Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 16, n.1, p.39-55, 2023.

SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; FRANZINI, V. I.; SAKADEVAN, K.; BUZETTI, S.; ARF, O.; BENDASSOLLI, J. A.; SOARES, F. A. L. Use of nitrogen from fertilizer and cover crops by upland rice in an oxisol under no-tillage in the cerrado. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.51, p.728–737, 2016.

SILVEIRA, P. M.; GONZAGA, A. C. O. Portable chlorophyll meter can estimate the nitrogen sufficiency index and levels of topdressing nitrogen in common bean. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v.41, n.1, p.1-6, 2017.

SINGH, B.; ALI, A. M. Using Hand-Held chlorophyll meters and canopy reflectance sensors for fertilizer nitrogen management in cereals in small farms in developing countries. **Sensors**, Basel, v.19, n.4, p.1-21, a.1127, 2020.

SOARES, D. A.; SEKIYA, B. M. S.; MODESTO, V. C.; NAKAO, A. H.; FREITAS, L. A.; SOUZA, I. M. D.; LUZ, J. H. S.; GALINDO, F. S.; LUPATINI, G. C.; MATEUS, G. P.; BONINI, C. S. B.; ANDRIGHETTO, C.; MENDES, I. C.; PAVINATO, P. S.; ANDREOTTI, M. Accumulated carbon fractions in tropical sandy soils and their effects on fertility and grain yield in an integrated crop? livestock system. **Sustainability**, Basel, v.15, p.1-18, a.13829, 2023.

SORATTO, R. P.; CATUCHI, T. A.; SOUZA, E. F. C.; GARCIA, J. L. N. Plant density and nitrogen fertilization on common bean nutrition and yield. **Rev. Caatinga**, Mossoró, v.30, n.3, p.670-678, 2017.

SOUZA, S. S.; COSTA JÚNIOR, P. A.; FLÔRES, J. A.; MINGOTTE, F. L. C.; LEMOS, L. B. Maize cropping systems and response of common bean in succession subjected to nitrogen fertilization. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v.49, e55718, p.1-11, 2019.

SUAREZ, J. C.; ANZOLA, J. A.; CONTRERAS, A. T.; SALAS, D. L.; VANEGAS, J. I.; URBAN, M. O.; BEEBE, S. E.; RAO, I. M. Photosynthetic and grain yield responses to intercropping of two common bean lines with maize under two types of fertilizer applications in the colombian amazon region. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 301, a.111108, p.1-11, 2022.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **World Agricultural Production - Circular Series (2020)**. Foreign agricultural service office of global analysis, 38 f. Novembro. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/gats/default.aspx>. Acessado em: 22 out. 2021.

WANG, K.-H.; SIPES, B. S.; SCHMITT, D. P. CROTALARIA AS A COVER CROP FOR NEMATODE MANAGEMENT: A REVIEW. **Nematropica**, [s. l.], p. 35–58, 2002.

VENÂNCIO, L. M.; SIVA, A. V.; MORAIS, L. M.; REIS, L. G. B. Teores de clorofila e nitrogênio foliar no trigo em função da cultura antecessora e adubação nitrogenada. **Jornada Científica E Tecnológica Do Ifsuldeminas**, v.14, n.1, p.1-4, 2022.

ZAFAR, M., ABBASI, M. K., KHAN, M. A., KHALIQ, A., SULTAN, T., & ASLAM, M. Effect of plant growth-promoting rhizobacteria on growth, nodulation and nutrient accumulation of lentil under controlled conditions. **Pedosphere**, v. 22, n. 6, p. 848-859, 2012.

ZUCARELI, C., PIAZZOLI, D., SAPUCAY, M. J. D.C., PRANDO, A. M., JUNIOR, J. A. D. O. Densidade de plantas e adubação nitrogenada em cobertura no desenvolvimento e desempenho produtivo do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 2, p. 178-191, 2019.