

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**INTERAÇÃO ENTRE SISTEMAS DE CULTIVO E
ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA EM
COBERTURA NO MILHO**

**Jordana de Araujo Flôres
Engenheira Agrônoma**

2018

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**INTERAÇÃO ENTRE SISTEMAS DE CULTIVO E
ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA EM
COBERTURA NO MILHO**

Jordana de Araujo Flôres

**Orientador: Prof. Dr. Leandro Borges Lemos
Coorientador: Prof. Dr. Glauco de Souza Rolim**

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de
Jaboticabal, como parte das exigências para a
obtenção do título de Doutora em Agronomia
(Produção Vegetal)**

2018

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: INTERAÇÃO ENTRE SISTEMAS DE CULTIVO E ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA EM COBERTURA NO MILHO

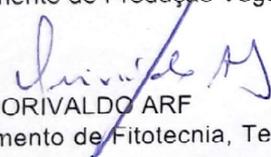
AUTORA: JORDANA DE ARAUJO FLÔRES

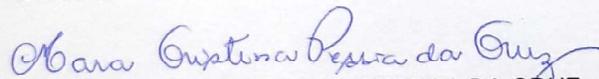
ORIENTADOR: LEANDRO BORGES LEMOS

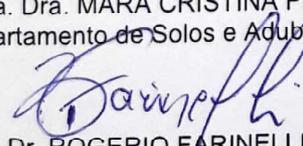
COORIENTADOR: GLAUCO DE SOUZA ROLIM

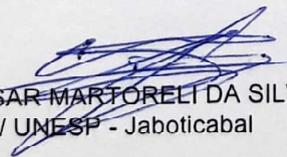
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. LEANDRO BORGES LEMOS
Departamento de Produção Vegetal / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. ORIVALDO ARF
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. ROGERIO FARINELLI
Fundação Educacional de Barretos / UNIFEB - Barretos, SP


Prof. Dr. CÉSAR MARTORELI DA SILVEIRA
CTA / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 26 de novembro de 2018

F634i

Flôres, Jordana de Araujo

Interação entre sistemas de cultivo e estratégias de adubação nitrogenada em cobertura no milho / Jordana de Araujo Flôres. -- , 2018

57 p. : il., tabs. + 1 CD-ROM

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara,

Orientador: Dr. Leandro Borges Lemos

Coorientador: Dr. Glauco de Souza Rolim

1. Zea mays. 2. consórcio. 3. épocas de cultivo. 4. evapotranspiração. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

JORDANA DE ARAUJO FLÔRES – filha de João Consalter Flôres e Elen de Brito Araújo, nasceu em Humaitá/AM, aos 17 dias de fevereiro de 1988. Iniciou o ensino básico (fundamental e médio) em Humaitá nas Escolas Estaduais Dom Bosco e Patronato Maria Auxiliadora. Graduada em Agronomia em 25 de janeiro de 2013 pela Universidade Federal do Amazonas, campus de Educação, Agricultura e Ambiente – IEAA, localizado em Humaitá/AM. Na graduação foi bolsista de iniciação científica FAPEAM (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas) e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), realizando diversos projetos na área de fitotecnia sob orientação dos professores Dr. Edgard Siza Tribuzy e Dr. Carlos Eduardo Pereira. Mestre em Agronomia (Produção Vegetal) em fevereiro de 2015, pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP/Câmpus de Jaboticabal, sendo bolsista da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), sob orientação do Professor Dr. Leandro Borges Lemos. Ingressou no Doutorado pelo Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) – em março de 2015, pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP/Câmpus de Jaboticabal, sendo bolsista do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), tendo como orientador o Professor Dr. Leandro Borges Lemos e coorientador Professor Dr. Glauco de Souza Rolim.

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação”.
(Simone de Beauvoir)

DEDICO

A Deus, por ser meu refúgio e minha fortaleza.

Aos meus amados pais João Consalter Flôres e Elen de Brito Araújo (minhas rochas) pelos sacrifícios, amor e dedicação durante minha vida; à minha avó Raimunda pelas orações, e aos meus irmãos João Victor, Jaqueline, Jéssica, Éricles e Juliana por toda confiança e incentivo, oferecidos durante toda minha caminhada.

Aos meus amados sobrinhos Vinicius, Eduardo, Maria Clara e João Roberto, por serem a luz na minha vida.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – FCAV/UNESP, pelos ensinamentos oferecidos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão de bolsa de estudos de doutorado.

Ao Professor Dr. Leandro Borges Lemos, pela oportunidade de crescer e trabalhar com o que gosto, pela orientação, amizade, ensinamentos e paciência dispensada ao longo dessa jornada.

Ao Professor Dr. Glauco de Souza Rolim, por dar um novo sentido a minha pesquisa, pela coorientação, e por estar sempre disposto a esclarecer minhas dúvidas.

À Professora Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz, pelo auxílio na pesquisa, pela amizade e ensinamentos, fundamentais para meu crescimento como pesquisadora, docente e principalmente como ser humano.

Aos docentes do curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal da FCAV/UNESP pela importante contribuição acadêmica.

Aos membros da Comissão do Exame Geral de Qualificação Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz e Prof. Dr. Glauco Eduardo Pereira Cortez, pelas valiosas contribuições para a melhoria do artigo científico.

Aos membros da Banca de Defesa Prof. Dr. Orivaldo Arf, Prof. Dr. Cesar Martoreli da Silva, Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz e Prof. Dr. Rogerio Farinelli, pelas valiosas contribuições.

À Fazenda de Ensino e Pesquisa da FCAV, Câmpus de Jaboticabal, na pessoa do Sr. Marcelo Scatolin, a quem tenho orgulho de chamar de amigo, agradeço aos funcionários, Anderson Danilo Camargo, Antonio Donizeti Ferrari, Claudinei Soares Figueiredo, Francisco Lourenço de Souza, Gilberto dos Santos, João Bernardo do Nascimento, Vagner Colovati, pelo apoio na condução dos trabalhos de campo e pelo companheirismo.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal Geraldo Mangela de Assis, Lázaro José Ribeiro da Silva, Mônica R. Ignácio Colovati, Osmar Lúcio Trentin, Rubens Libório, Sebastião Nicoline (in memoria), pelo apoio e ensinamentos.

Aos amigos, Hugo Dias Nunes, Leonardo Rodrigues, Marcus Alves, Pedro Afonso Couto Junior, Stefany Silva de Souza e Victor D'Amico Damião pela ajuda durante a condução do experimento, trocas de experiências, conselhos, ajuda mútua, risadas nos momentos de tensão, desabafos nos corredores, auxílio nas horas de dificuldades e principalmente por partilharem comigo bons momentos que jamais serão esquecidos.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa Sustentabilidade em Sistemas Agrícolas – SAGRIS, pela ajuda durante a condução do experimento e importantes contribuições na execução deste trabalho.

Aos colegas do Laboratório de fertilidade de solo pela contribuição técnica e científica para a realização deste trabalho.

À Juciléia Irian dos Santos, Suzana Targanski Sajovic Pereira, Diandro Ricardo Barilli e Mariane Rodrigues Ferreira, minha família ao longo desta jornada, por serem meu refúgio, pela dádiva de convivermos com nossas semelhanças e diferenças, pelos sorvetes, pelas risadas (e foram muitas), pelos choros (poucos, mas necessários), por erguerem a mão incontáveis vezes em meu auxílio, por acreditarem mesmo quando eu não o fazia. Amo vocês.

Aos amigos Adão, Adriane, Amanda, Ana Laura, Carla, Edgard, Gilberto, Larissa, Luan, Nicole, Suellen, Tatiane, Taynara e Thiago, pela mão de obra qualificada, pelas palavras de incentivo, por todos os nossos bons momentos que jamais serão esquecidos.

Aos colegas Abmael Cardoso e Vanessa Longhini pela contribuição científica para que este trabalho pudesse ser concluído. Serei eternamente grata.

Por fim, a todos aqueles que fizeram parte da minha trajetória acadêmica e depositaram uma enorme confiança em mim, e que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. Aspectos gerais da cultura do milho.....	2
2.2. A adubação nitrogenada na cultura do milho	3
2.3. O cultivo de milho em consórcio com Urochloa e crotalaria	5
2.4. A importância do aspecto climático no milho	8
2.5. Evapotranspiração	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1. Caracterização, histórico e localização da área experimental	10
3.2. Experimentos I e II.....	10
3.2.1. Delineamento experimental e tratamentos.....	10
3.2.2. Instalação e condução do experimento.....	12
3.2.3. Avaliações.....	15
3.3. Análise estatística	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1. Experimento I - Milho cultivado na segunda safra	18
4.2. Experimento II - Milho cultivado na primeira safra.....	26
5. CONCLUSÕES	43
6. REFERÊNCIAS	44
APÊNDICE – Dados climáticos diários da área experimental.	50

Interação entre sistemas de cultivo e estratégias de adubação nitrogenada em cobertura no milho

RESUMO – O objetivo com este trabalho foi avaliar a influência de sistemas de consórcios de crotalária e de Urochloa na cultura do milho, cultivado no sistema convencional na segunda e na primeira safra, sob doses de nitrogênio aplicado em cobertura. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 3x5, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por três sistemas de cultivo (milho exclusivo, milho consorciado com crotalária e milho consorciado com Urochloa), e cinco doses de nitrogênio (N): 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N aplicado em cobertura. No milho de segunda safra, os sistemas de cultivo influenciaram as variáveis diâmetro do colmo e altura de plantas, apresentando menores valores no milho consorciado com braquiária. A produtividade não foi prejudicada pelos consórcios, sendo estes influenciados apenas pelas doses de N, com maior produtividade na dose de 50 kg ha⁻¹ de N. No cultivo de milho de primeira safra, foi evidenciada maior competição entre a cultura produtora de grãos e as espécies consorciadas. A produtividade foi maior no sistema com milho exclusivo (9.570 kg ha⁻¹) e menor no sistema milho consorciado com Urochloa (7.480 kg ha⁻¹). Houve interação entre os sistemas de cultivos x doses de N, apontando maior produtividade para o sistema de milho exclusivo na dose de 100 kg ha⁻¹ de N (12.440 kg ha⁻¹). A relação de doses de nitrogênio X evapotranspiração real com as variáveis analisadas variam de acordo com sistema de cultivo.

Keywords: *Zea mays*, consórcio, épocas de cultivo, evapotranspiração.

Interaction between cropping systems and topdressing fertilization strategies in maize

ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate the intercropping systems of crotalaria and Urochloa with maize crop, in the second and the first crop season, under doses of topdressing nitrogen applied in the conventional system. Randomized complete block design was used in a 3x5 factorial scheme with four replications. The plots consisted of three crop systems (exclusive maize, maize intercropped with crotalaria and maize intercropped with Urochloa), and five doses of nitrogen (N): 0, 50, 100, 150, and 200 kg ha⁻¹ of N applied in topdressing. In the second-crop season maize, the crop systems influenced the variables stem diameter and plants height, presenting lower values in corn intercropped with Urochloa. Yield was not affected by the intercropping systems, with them influenced only by N rates, with the highest yield at the dose of 50 kg ha⁻¹ of N. In the crop of first-season maize, greater competition was observed between the maize and intercropped species. Yield was higher in the system with exclusive maize (9.570 kg ha⁻¹) and lower in the maize intercropped with Urochloa system (7.480 kg ha⁻¹). There was interaction between cropping systems and doses of N, indicating higher yield for the exclusive maize system at the dose of 100 kg N ha⁻¹ (12.440 kg ha⁻¹). The ratio DN X ETr with the variables vary depending on the cultivation system.

Keywords: *Zea mays*, intercropping, growing season, evapotranspiration.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas agrícolas atuais são caracterizados pela produção intensiva de grãos, uso de monocultivos, elevada utilização de fertilizantes e de agroquímicos. Recentemente, a conscientização ambiental tem despertado interesse por práticas agrícolas que sejam sustentáveis. Com isso, as pesquisas em torno do desenvolvimento de tecnologias que minimizem os danos da exploração agrícola ao meio ambiente têm sido cada vez mais evidenciadas (Gitti et al., 2012). Dentre essas tecnologias, diversos estudos foram realizados com o intuito de avaliar os benefícios de cultivos consorciados na cultura do milho (Pariz et al., 2011; Costa et al., 2012; Gitti et al., 2012; Kappes e Zancanaro, 2015), buscando ainda adequar técnicas de manejo da adubação nitrogenada, com a finalidade de suprir tanto as necessidades da cultura quanto da espécie consorciada.

Destaca-se que as recomendações de Cantarella et al. (1997) não são adequadas aos sistemas de cultivo de milho consorciado, havendo a necessidade de investigação científica buscando otimizar o uso de fertilizantes na produção agrícola, principalmente em relação aos adubos nitrogenados.

O nitrogênio (N) é altamente requerido pelas plantas, sendo fator limitante para as culturas agrícolas, e com alto impacto no custo de produção. É também o nutriente absorvido em maiores quantidades pela cultura do milho e o que tem maior influência na produtividade de grãos. Portanto, o manejo adequado de N se faz necessário principalmente nos sistemas consorciados, por apresentarem potencial de competição quando manejados de forma incorreta.

A disponibilidade de nutrientes e a exigência nutricional influenciam a competição entre plantas. São fatores relacionados com a variação climática que ocorre ao longo do ano, nas distintas épocas de cultivo, como na primeira safra (safra verão), na segunda safra (safrinha) e mais recentemente na terceira safra (safra irrigada). Dentre os fatores climáticos podem ser destacados, a pluviosidade, temperatura e radiação como os que mais afetam a cultura do milho, devido a sua ação direta em todo ciclo de desenvolvimento. Outro fator importante a ser considerado nos cultivos do ponto de vista agroclimatológico é a evapotranspiração, por se tratar de um processo dinâmico, relacionando a demanda hídrica dos cultivos, fator este também limitante para as culturas, principalmente em sistemas de

consórcio. A evapotranspiração é representada pelas perdas de água na superfície do solo (evaporação) e na superfície das folhas (transpiração) ocorridas sob a forma de vapor, com variações influenciadas pelas condições de solo, clima e estágio de desenvolvimento da cultura.

Independente do sistema de cultivo, é necessário que exista afinidade em relação ao desenvolvimento vegetal entre as espécies utilizadas no consórcio. Gramíneas como o milho e a *Urochloa ruziziensis*, apresentam elevadas taxas de crescimento devido sua alta capacidade fotossintética (Taiz e Zeiger, 2013). As leguminosas, em contrapartida, com destaque para *Crotalaria spectabilis*, possuem grande habilidade para incorporar N ao sistema de produção, seja nos sistemas de preparo de solo convencional ou no plantio direto. Assim, a escolha da espécie e do manejo da adubação nitrogenada é importante para reduzir a competição entre as culturas e garantir o sucesso do consórcio.

Os objetivos com esse trabalho foram: ⁱ verificar a resposta do milho à adubação nitrogenada em cobertura, em sistemas de cultivo com milho exclusivo, milho consorciado com crotalárias e consorciado com *Urochloa*, quando cultivado em primeira e segunda safras. ⁱⁱ avaliar a evapotranspiração real nos sistemas de cultivo em função das doses de N e relaciona-la ao estado nutricional e produtividade de milho em primeira safra.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos gerais da cultura do milho

Da família Poaceae, o milho (*Zea mays L.*) é uma planta originária da América Central, sendo um cereal mundialmente produzido e consumido, devido sua aplicação variável, seja na alimentação humana ou na alimentação animal (Fornasieri Filho, 2007)

Como terceiro maior produtor mundial de milho, o Brasil tem participação média de 8% na oferta mundial, sendo os maiores produtores os Estados Unidos, com participação média de 35% na produção mundial, e a China com 21% de participação. Desse modo, cerca de 43% da produção mundial concentra-se nas Américas (FAO,

2013). No Brasil a produção elevada de milho pode estar relacionada entre outros fatores, com a possibilidade de plantio em duas épocas no ano. Sendo a primeira denominada safra de verão, e a segunda denominada safrinha. Porém, mesmo com tal vantagem em relação aos demais produtores e ocupando o 3º lugar no ranking mundial, o Brasil não se destaca entre os países com maior produtividade, em decorrência da diversificação no cultivo desse cereal. Por se tratar de um país com proporções continentais, a variação climática interfere diretamente nos sistemas de cultivo, uma vez que o milho é produzido de norte a sul do País, submetido ainda a vários níveis de tecnificação.

A produtividade brasileira de grãos de milho tem apresentado crescimento gradativo nos últimos anos, passando de 3.600 kg ha⁻¹ em 2009 para 4.800 kg ha⁻¹ em 2016. O Estado de São Paulo é o 5º maior produtor no Brasil (médias das safras), porém em produtividade, ocupa o 8º lugar com média de 6.000 kg ha⁻¹. Há, deste modo um longo caminho ainda a percorrer para alcançar a produtividade potencial, que é de 16.000 kg ha⁻¹ de grãos (Assis et al., 2006; Conab, 2016).

De maneira geral a produtividade de uma cultura resulta da otimização do uso da área de cultivo, fato este relacionado com utilização adequada de insumos, principalmente fertilizantes, e das condições ambientais nos sistemas agrícolas. O atual sistema tem como principais características, monocultivo, produção intensiva de grãos, e elevada utilização de insumos (fertilizantes e agroquímicos), de modo que nos dias atuais, a conscientização ambiental tem despertado interesse por pesquisas, que envolvam alternativas sustentáveis que minimizem os danos da exploração agrícola ao meio ambiente. Tais pesquisas envolvem principalmente a adoção de sistemas de cultivo que possibilitem a maximização da área, bem como o aproveitamento eficiente dos fertilizantes utilizados, em especial adubos nitrogenados, por estes serem altamente requeridos pelas plantas e por sua instabilidade no solo.

2.2. A adubação nitrogenada na cultura do milho

Nutriente altamente requerido pelas plantas, o nitrogênio (N) é fator limitante para as culturas agrícolas, e com alto impacto no custo de produção. É também o nutriente absorvido em maiores quantidades pela cultura do milho, o que tem maior

influência na produtividade de grãos e o de comportamento mais instável no solo (Fornasier Filho, 2007).

A concentração do N molecular (N_2) na atmosfera, é cerca de 78% por volume, entretanto, esta forma não é assimilável aos seres vivos. No solo, cerca de 95% do N encontrado está na matéria orgânica em forma estável, porém não disponível para as plantas, de modo que apenas 5% do N encontra-se na forma assimilável, nitrato (NO_3^-) ou amônio (NH_4^+). A maior parte do nitrogênio encontrado nas plantas está combinado à compostos. Por se um elemento estrutural, age na planta como constituinte de moléculas de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos e citocromos, além de ser integrante da molécula de clorofila (Fornasier Filho, 2007; Taiz e Zeiger, 2013).

A dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta é influenciada pelo tipo de fertilizante, formas de manejo, sistema de cultivo e condições edafoclimáticas. Com a intensificação da agricultura, anualmente novos híbridos são lançados no mercado, alterando consideravelmente essa dinâmica, pois as culturas possuem cada vez maiores exigências nutricionais, para concluir seu ciclo de forma satisfatória. Nos estádios iniciais, é fundamental para o desenvolvimento do sistema radicular e posteriormente para o crescimento aéreo. Atualmente, no Brasil, cerca de 56% do nitrogênio é consumido na forma de ureia, 27% como nitrato de amônio e 17% como sulfato de amônio (IPNI, 2017).

O milho extrai grandes quantidades de nitrogênio do solo, necessitando de cerca de 140 kg ha^{-1} de N para produzir 10 t ha^{-1} de grãos (de acordo com classe de eficiência de uso), e usualmente requer o uso de adubação nitrogenada para complementar a quantidade suprida pelo solo ($20 \text{ kg de N por } 1\% \text{ de MO}$), quando se deseja produtividades elevadas (Fornasier Filho, 2007). Pesquisas tem apresentado resultados de aplicação com até 200 kg ha^{-1} de nitrogênio (Costa et al, 2012; Souza et al, 2011; Farinelli e Lemos 2012), em classe alta de resposta a sua aplicação, com produtividade acima de 10 t ha^{-1} .

Farinelli e Lemos (2012), avaliaram a resposta do milho em função da adubação nitrogenada em cobertura (0 kg ha^{-1} , 40 kg ha^{-1} , 80 kg ha^{-1} , 120 kg ha^{-1} e 160 kg ha^{-1}), em sistemas de plantio convencional e direto. Observaram que a adubação nitrogenada de cobertura promoveu acréscimos significativos nas

características agronômicas e nutricionais do milho, com a produtividade máxima de grãos obtida com 151 kg ha⁻¹ de N. Nas doses de 90 kg ha⁻¹ e 145 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

De maneira geral, as recomendações oficiais de adubação para a cultura do milho evoluíram consideravelmente no Brasil, porém as recomendações vigente não estão adequadas aos sistemas de cultivo existentes, principalmente aos cultivos consorciados, havendo a necessidade de investigação científica buscando otimizar o uso destes fertilizantes na produção agrícola.

2.3. O cultivo de milho em consórcio com *Urochloa* e *crotalaria*

Os sistemas de cultivo de milho consorciado vêm sendo amplamente utilizados em sistemas de cultivo diversos, por associarem benefícios ligados a conservação do ambiente de cultivo e a otimização da produção. A escolha da cultura anual de importância econômica e adaptada ao consórcio é uma característica necessária para que este sistema tenha sucesso. Em meio as culturas anuais o milho destaca-se como uma das principais explorações agrícolas no Brasil, não apenas pela área cultivada, mas também pela importância econômica e social. Com o intuito de desenvolver tecnologias e estratégias de manejo mais eficientes, pesquisas objetivando avaliar os benefícios de cultivos consorciados na cultura do milho (Pariz et al., 2011; Costa et al., 2012; Gitti et al., 2012; Kappes e Zancanaro 2015), tem sido cada vez mais difundidas no meio agrícola.

Costa et al. (2012) avaliaram a produtividade de grãos e de forragem do consórcio entre milho e espécies de braquiária (safras de 2008/2009 e 2009/2010), submetidos a doses de nitrogênio em cobertura, em sistema plantio direto. Constataram que a espécie *U. ruziziensis* foi a mais competitiva com o milho em consórcio, o que proporcionou menores teores nutricionais e ICF nas duas safras analisadas. O crescimento vegetativo, os componentes da produção e a produtividade de grãos do milho não foram influenciados pelos consórcios. A adubação nitrogenada em cobertura aumentou linearmente o ICF, os teores de N, P e S, bem como os componentes da produção e a produtividade de grãos.

Em estudo recente, Gitti et al. (2012) com o objetivo de aumentar a produção de palha para o sistema plantio direto sem interferência na produtividade do milho,

avaliaram o efeito da *Crotalaria juncea* e da *C. spectabilis* semeadas em diferentes épocas nas entrelinhas do milho. Foi notado que, apenas o consórcio simultâneo de *C. juncea* nas entrelinhas do milho afetou sua produtividade; a *C. juncea* em sistema exclusivo produziu 8,05 t ha⁻¹ a mais de matéria seca em relação à *C. spectabilis*; a utilização da *C. spectabilis* nas entrelinhas do milho com semeadura simultânea e nos estádios V₄ e V₇ aumentou a produção de matéria seca total e não interferiu na operação de colheita e na produtividade do milho.

Ainda em estudos relacionados com o consórcios na cultura do milho, Kappes e Zancanaro (2015), avaliaram os rendimentos do milho em função dos consórcios simultâneos (verão e safrinha) com *Urochloa ruziziensis*, *Crotalaria ochroleuca*, *C. juncea* e *C. spectabilis* nas modalidades de semeadura na linha, entrelinha e a lanço, em dois espaçamentos de semeadura (0,45 m e 0,9 m), na implantação do SPD. Constataram que o milho consorciado com *C. juncea*, no verão, apresentou menor produtividade de grãos, porém, forneceu quantidades consideráveis de palhada para a cultura em sucessão. No cultivo de safrinha, o milho exclusivo no espaçamento de 0,45 m entrelinhas e os consórcios com *U. ruziziensis* a lanço e *C. spectabilis* na linha de semeadura, resultaram nas maiores produtividades de grãos.

Desta forma, independente do sistema de cultivo, é necessário que exista afinidade em relação ao desenvolvimento vegetal entre as espécies utilizadas no consórcio afim de evitar competição entre as espécies. Tal competição pode ser influenciada principalmente pelo índice de precipitação, disponibilidade e exigência nutricional das culturas utilizadas.

Em relação a forrageira, as vantagens na utilização das braquiárias vão desde a sua capacidade de se desenvolver em solos ácidos e com baixa fertilidade, a sua produção de biomassa, importante para manutenção dos sistemas (Kluthcouski et al., 2013). Devido a constante preocupação em produzir grãos de forma sustentável em 2001 surgiu o Sistema Santa Fé (Kluthcouski, 2000) desenvolvido em parceria com a Embrapa Arroz e Feijão, que preconiza a utilização consorciada de culturas produtoras de grãos (milho, sorgo e arroz) com forrageiras, disponibilizando grãos e forragem verde na época mais seca do ano.

De modo geral, gramíneas como o milho e a *Urochloa ruziziensis*, apresentam elevadas taxas de crescimento devido sua alta capacidade fotossintética. Ainda que

ocorra competição interespecífica entre os consórcios, o milho é tido como uma espécie competitiva, devido ao seu porte alto e rápido crescimento inicial, que promovem a dominância do dossel pela interceptação da radiação, limitando a disponibilidade de recursos para a cultura em consorciação (Taiz e Zeiger, 2013; Kappes e Zancanaro, 2015).

A espécie *Urochloa ruziziensis* é uma forrageira rústica, destacando-se por possuir crescimento vigoroso, facilidade de formação o que favorece a rápida cobertura do solo, adequa-se a diversas modalidades de semeadura, podendo ser semeada a lanço ou incorporada ao solo, possui também elevada produtividade de matéria seca, e susceptibilidade aos herbicidas usados na dessecação, sendo excelente alternativa para os sistemas de cultivo conservacionistas (Silveira et al., 2011; Machado et al., 2013).

Visando incorporar as leguminosas consorciadas com milho e braquiárias no sistema ILP, surgiu o Sistema Santa Brígida. Uma tecnologia também desenvolvida pela EMBRAPA, baseia-se na produção de culturas graníferas, consorciados com adubos verdes. A introdução do adubo verde no consórcio tem como finalidade o aporte do suprimento de N para o sistema de produção, por meio da fixação biológica do N atmosférico, sem afetar a produtividade de grãos da cultura principal (Oliveira et al., 2010; Kappes e Zancanaro, 2015).

Amplamente utilizadas na adubação verde, o gênero *Crotalaria* ocupa posição de destaque nos estudos relacionados a culturas de cobertura. Pertencente família das Fabaceas, apresentam elevada produção de matéria seca e acúmulo de N, possuindo também grande habilidade para incorporar N ao sistema de produção, seja no sistema de plantio convencional ou direto. De maneira geral são plantas arbustivas, de ciclo curto, crescimento ereto e determinado, podendo variar de 1,0 a 1,5 m (*Crotalaria spectabilis*) e de 1,0 a 3,0 m (*Crotalaria juncea*) de altura, dependendo do manejo e condições edafoclimáticas. Outro aspecto importante das *Crotalaria*s, é a utilização como planta armadilha para solos infestados por nematóides fitopatogênicos (Wang et al., 2002; Rosa et al., 2013)

Assim, a escolha correta das espécies para compor o sistema de cultivo consorciado torna-se importante tanto do ponto de vista agrícola quanto ecológico, promovendo melhorias no ambiente solo-planta.

2.4. A importância do aspecto climático no milho

Considerado o fator de maior risco para a atividade agrícola, o clima contribui decisivamente para o sucesso das espécies cultivadas. Por ser uma planta de origem tropical, o milho necessita principalmente de calor e umidade para completar seu desenvolvimento fisiológico. O elemento meteorológico que melhor explica a estabilidade do desenvolvimento desta cultura é a temperatura do ar. Segundo Gadioli et al. (2000), com a utilização da temperatura média do ar diária, é possível estimar a quantidade de energia química metabólica produzida pela planta. Ainda em relação a temperatura, as plantas possuem limitações quanto a faixa térmica ideal, interrompendo as suas atividades fisiológicas quando em condições inóspitas (Fornasieri Filho, 2007).

Em termos hídricos, de acordo com Bergamaschi et al (2004), a necessidade para o ciclo completo do milho varia de 200 a 400 mm, podendo sofrer alterações de acordo com o tipo de manejo, os locais e épocas de cultivo. Com a mudança no sistema de produção, tem-se realizado seu cultivo em duas épocas distintas, o milho de primeira safra, o qual possui boa distribuição de chuvas durante o ciclo, e o milho de segunda safra, que quase sempre necessita de suplementação hídrica via irrigação, para que seu desenvolvimento ocorra de forma eficiente. Desse modo, mesmo que ocorram limitações hídricas no ambiente, plantas de milho podem apresentar boas taxas de produção devido ao seu material genético, tendo em vista que a eficiência do uso da água para a produção de grãos varia entre os híbridos utilizados, sendo no embonecamento (R1) o período de máxima exigência.

Outro elemento climático que tem forte influência na cultura do milho é a radiação solar. O milho, por pertencer ao grupo de plantas C4, apresenta ótima eficiência no uso da radiação solar, respondendo com altos rendimentos a ampliação da intensidade luminosa, proporcionados por sua elevada taxa fotossintética. O período de maior sensibilidade à variação de radiação ocorre no início da fase produtiva, ou seja, logo após o pendoamento (VT) (Bergamaschi et al., 2004; Bergamaschi et al., 2006, Taiz e Zeiger, 2013).

2.5. Evapotranspiração

As culturas, de modo geral, consomem grande volume de água durante seu ciclo de desenvolvimento. A maior parte deste volume apenas passa pela planta, perdendo-se posteriormente na atmosfera. Embora trate-se de perda de água, este fluxo é necessário para o desenvolvimento vegetal, uma vez que a água tem papel fundamental no metabolismo, por participar da constituição celular e do processo de fotossíntese, e por este motivo sua taxa deve ser mantida dentro de limites ótimos para cada cultura (Taiz e Zeiger, 2013).

A necessidade hídrica de uma determinada cultura é estimada a partir das observações da perda de água no sistema solo-planta-atmosfera. Essa perda ocorre normalmente na superfície do solo pela evaporação (EV) e na planta pela transpiração (T) resultante dos processos metabólicos. Tais processos na natureza ocorrem simultaneamente, sendo difícil distinguir o vapor d'água liberado tanto pelo solo, quanto pela planta. Por esta razão, ao que se refere ao processo total de transferência de água na forma de vapor de superfícies vegetadas para a atmosfera foi adotado o termo evapotranspiração (ET) amplamente utilizado nos dias atuais (Doorenbos & Kassam, 2000; Pereira et al., 2013).

Uma das principais variáveis do ciclo hidrológico da planta, a evapotranspiração sofre influência direta das características fisiológicas das plantas, tipo de solo e clima (radiação, temperatura, umidade relativa e vento). A evapotranspiração pode ainda ser classificada em potencial (ETP) ou real (ETr), de acordo com às condições hídricas as quais as culturas estão impostas. De modo que ETP, é a perda máxima de água para atmosfera, em forma de vapor, que ocorre em uma vegetação em pleno crescimento e sem restrições hídricas. E ETr, é aquela que ocorre em qualquer cultura, em qualquer estágio fenológico, seja em condições limitantes ou não (Pereira et al., 2013; Bergamaschi e Matzenauer, 2014).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização, histórico e localização da área experimental

Durante o ano agrícola de 2016/2017 foram conduzidos experimentos com o cultivo de milho em Jaboticabal – SP, em latitude de 21° 14' 59" S e longitude de 48° 17' 13" W, com altitude média de 565 metros acima do nível do mar. O clima do local é do tipo Aw, caracterizado por ser tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, segundo classificação de Köppen.

Os dois experimentos foram conduzidos na mesma área, em Latossolo Vermelho eutroférico de textura argilosa (500 g kg⁻¹ de argila). Antecedendo a instalação do experimento, o solo foi cultivado com milho no sistema de preparo convencional, sendo mantido em pousio até instalação dos experimentos I e II.

3.2. Experimentos I e II

Experimento I – Cultivo de milho de segunda safra (safrinha) conduzido durante o ano agrícola de 2016. **Experimento II** – Cultivo de milho de primeira safra (safra verão) conduzido durante o ano agrícola de 2016/2017.

3.2.1. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento adotado foi de blocos casualizados em esquema fatorial 3x5 (sistemas de cultivo x doses de N), com quatro repetições. **Experimento I** – as parcelas foram representadas por três sistemas de cultivo (SC): milho exclusivo, milho em consórcio com *Crotalaria juncea* e milho em consórcio com *Urochloa ruziziensis*. **Experimento II** – as parcelas foram representadas por três sistemas de cultivo (SC): milho exclusivo, milho em consórcio com *Crotalaria spectabilis* e milho em consórcio com *Urochloa ruziziensis*. (Tabela 1).

Tabela 1 - Descrição dos sistemas de cultivo de milho na segunda e primeira safra, Jaboticabal-SP.

Sistema de cultivo (SC)	Cultivo de 2ª safra (2016)	Cultivo de 1ª safra (2016/2017)
Exclusivo	Milho	Milho
Consórcio 1	Milho + <i>Crotalaria juncea</i>	Milho + <i>Crotalaria spectabilis</i>
Consórcio 2	Milho + <i>Urochloa ruziziensis</i>	Milho + <i>Urochloa ruziziensis</i>

Foram utilizadas cinco doses de nitrogênio (DN) sendo 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N (fonte ureia, 45%N) (Cantarella et al., 1997) aplicadas em cobertura, no estágio vegetativo V₆, em filete contínuo a 10 cm de distância da linha de cultivo, com incorporação via lâmina de irrigação (15 mm) aplicada via aspersão convencional.

Cada parcela foi constituída de seis linhas de milho espaçadas a 0,45 m e com 5 m de comprimento, perfazendo área total de 13,25 m² com área útil de 9,00 m², formada pelas quatro fileiras centrais (Figura 1).

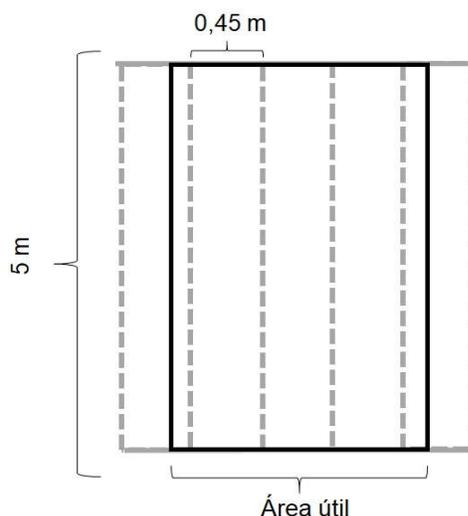


Figura 1- Croqui da parcela experimental e área útil da parcela, no milho de segunda e primeira safra cultivados em Jaboticabal – SP, 2016 e 2016/2017.

3.2.2. Instalação e condução do experimento

O primeiro experimento foi conduzido de fevereiro a julho de 2016, caracterizado como cultivo de segunda safra ou safrinha. O segundo experimento foi conduzido de novembro de 2016 a abril de 2017, denominado de cultivo de primeira safra ou safra de verão.

Antecedendo à instalação dos experimentos, fez-se o preparo convencional do solo (escarificação, aração e gradagem) e a coleta de amostras para avaliação dos atributos químicos (Raij et al., 2001), na profundidade de 0 a 20 cm, obtendo-se os valores conforme Tabela 2.

O milho de segunda safra foi semeado mecanicamente em 11/02/2016 utilizando-se o híbrido AS 1642 PRO 2, ciclo precoce (± 140 dias), visando estabelecer população de 56.000 plantas ha^{-1} , com espaçamento entrelinhas de 0,45 m. Em 22/11/2016, foi semeado mecanicamente o milho de primeira safra, utilizando o híbrido 2B710, de ciclo precoce (± 140 dias), visando estabelecer população de 60.000 plantas ha^{-1} , com espaçamento entrelinhas de 0,45 m, seguindo as recomendações dos fabricantes.

Tabela 2 - Atributos químicos do solo, na profundidade de 0-20 cm, por meio de análise química preliminar à instalação dos experimentos em Jaboticabal-SP.

Atributos	Cultivo de 2ª safra (2016)	Cultivo de 1ª safra (2016/2017)
pH (CaCl ₂)	5,3	5,1
MO g/dm ³	24	23
P (resina) mg/dm ³	47	47
S-SO ₄ ⁻² mg/dm ³ ;	7	8
K ⁺ mmol _c /dm ³	2,5	3,5
Ca ²⁺ mmol _c /dm ³	34	34
Mg ²⁺ mmol _c /dm ³	15	14
H+Al mmol _c /dm ³	35	37
SB mmol _c /dm ³	52	51
CTC (T) mmol _c /dm ³	87	88
V%	59	58

Na adubação de semeadura do milho de segunda safra foram utilizados 20 kg ha^{-1} de N, 70 ha^{-1} kg de P₂O₅ e 57 kg ha^{-1} de K₂O e para a adubação de semeadura do milho de primeira safra foram aplicados, 20 kg ha^{-1} de N, 70 kg ha^{-1} de P₂O₅ e 40 kg ha^{-1} de K₂O, para uma alta classe de resposta à adubação.

As sementes das plantas de cobertura foram distribuídas a lanço, previamente a semeadura da cultura do milho, utilizando-se 20 kg ha⁻¹ de *Crotalaria juncea* e *Crotalaria spectabilis* respectivamente, e 15 kg ha⁻¹ de sementes de *Urochloa ruziziensis* para as duas safras.

Quando necessário os tratos culturais referentes ao controle de plantas daninhas, pragas e doenças foram realizados mediante monitoramento. O manejo químico de plantas daninhas foi realizado nos sistemas com milho exclusivo e milho consorciado com *U. ruziziensis* utilizando os herbicidas glifosato potássico (1302 g ea ha⁻¹) e atrazina (1500 g ia ha⁻¹), respectivamente. No cultivo de milho consorciado com *C. spectabilis* e *C. juncea* não foi utilizado o manejo químico das plantas invasoras, em função do efeito depressivo dos herbicidas conforme relatado por Nogueira e Correia (2016).

As condições climáticas vigentes durante a condução das culturas de verão encontram-se na Figura 2A e 2B. Os elementos meteorológicos utilizados neste trabalho foram extraídos de um conjunto de dados pertencentes ao acervo da área de Agrometeorologia do Departamento de Ciências Exatas da FCAV/Unesp. As observações feitas do campus de Jaboticabal são cotadas, digitadas em formato padronizado e é realizada a consistência e controle de qualidade.

A colheita do milho de segunda safra foi realizada em 06/07/2016 e do milho de primeira safra em 16/04/2017.

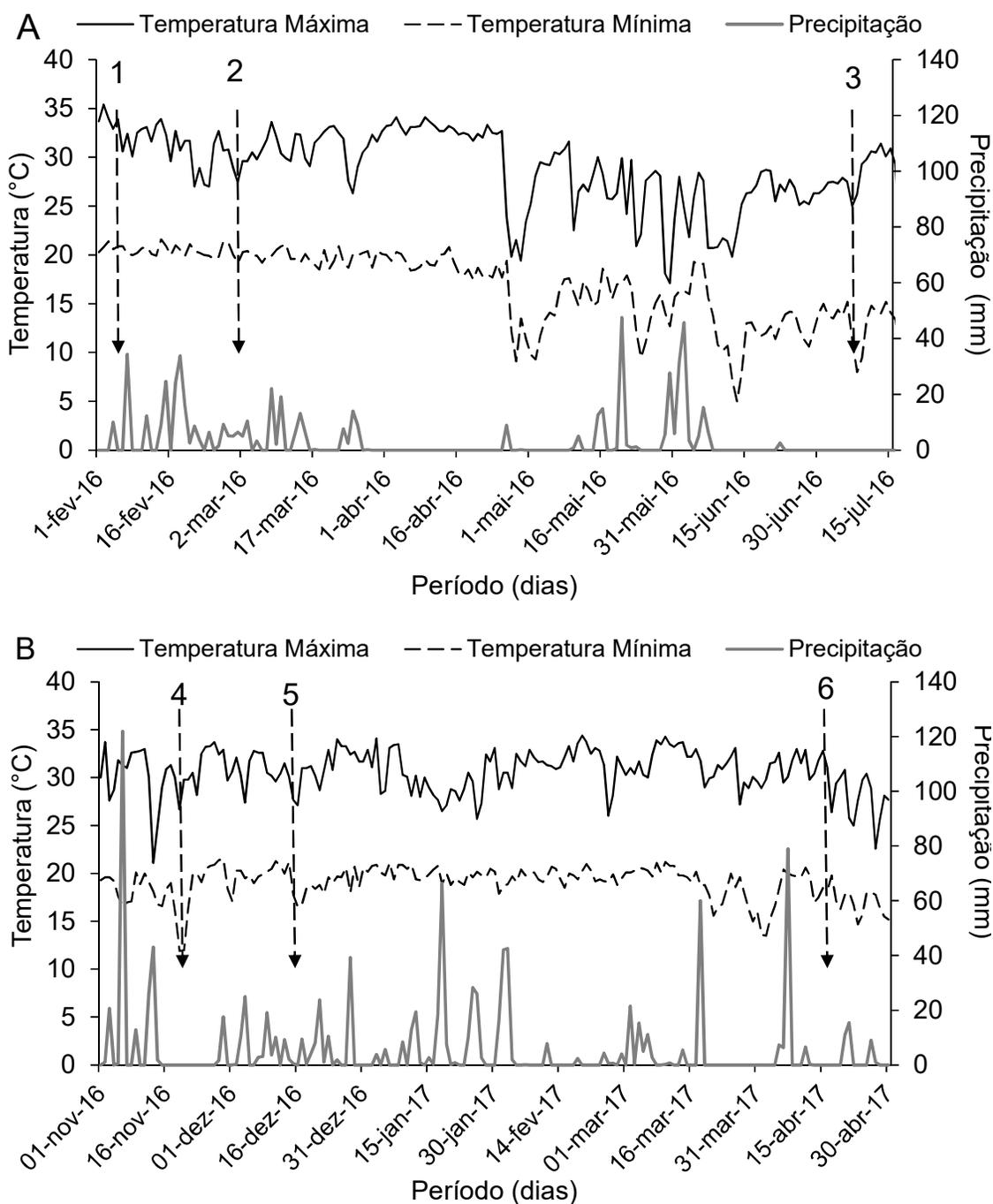


Figura 2A e 2B - Temperatura máxima e mínima do ar (°C) e precipitação acumulada (mm) quinzenal, durante o período experimental. As marcações indicam, épocas de semeaduras do milho (1 e 4), adubação nitrogenada de cobertura (2 e 5) e colheita (3 e 6) do milho de segunda safra (safrinha) e de primeira safra (safrinha) no ano de 2016 e 2016/2017 respectivamente, em Jaboticabal-SP.

3.2.3. Avaliações

No cultivo exclusivo e consorciado para ambas as safras, determinaram-se:

a) **Teores de macronutrientes foliares** - por ocasião do florescimento feminino foram coletadas em dez plantas por parcela, o terço central de dez folhas abaixo e opostas à espiga principal, excluindo-se a nervura central, lavadas com água corrente e solução de detergente neutro 1ml L⁻¹ secas em estufa com circulação forçada de ar a 65-70°C; e em seguida foram processadas em moinho tipo Wiley. Determinou o teor de N foliar, segundo método descrito por Malavolta et al. (1997), e os teores de P, K, Ca e Mg, segundo método descrito por Carmo et al. (2000);

b) **Altura de plantas (m)** - por ocasião da maturidade fisiológica, época em que os grãos apresentavam a camada negra (R₆) no ponto de inserção com o sabugo, foi medida em 10 plantas por parcela, com o auxílio de uma régua graduada, a distância entre o colo da planta e a inserção da última folha (folha bandeira);

c) **Altura de inserção da espiga principal (m)** - foi realizada medindo-se a distância entre o colo da planta e a inserção da espiga principal, em amostras de 10 plantas, tomadas ao acaso;

d) **Diâmetro do colmo (mm)** - foi medido utilizando-se um paquímetro digital no segundo entrenó acima das raízes adventícias de cinco plantas seguidas, dentro da área útil de cada parcela;

Após R₆ foram coletadas 5 espigas na área útil de cada parcela e determinou-se;

e) **Comprimento de espiga (cm)** - medido com o auxílio de uma régua graduada;

f) **Diâmetro da espiga (mm)** - foi mensurado o diâmetro da parte mediana de cinco espigas, com uso de um paquímetro digital;

g) **Massa da espiga (g)** - foi determinado por meio da massa média de cinco espigas sem palha;

h) **Número de fileiras de grãos e número de grãos por fileira** - determinados a partir da contagem do número de fileiras e média do número de grãos em duas fileiras, em cinco espigas por parcela;

i) **Massa de 1000 grãos** - determinada pela coleta ao acaso de quatro amostras de 1000 grãos, realizando-se a pesagem com correção dos valores para 0,13 kg kg⁻¹ em base úmida;

j) **Produtividade de grãos** - após a maturidade dos grãos, foi efetuada a colheita manual das espigas da área útil em cada parcela, sendo posteriormente trilhadas mecanicamente, determinando-se a produtividade de grãos, corrigindo-se o teor de água para 0,13 kg kg⁻¹ em base úmida.

k) **Matéria seca do sistema** – foi utilizado quadro de madeira com dimensões internas de 0,5m x 0,5m, sendo coletadas amostras de plantas correspondentes a cada parcela, lavadas e secas em estufa de ventilação forçada de ar a 65 a 70°C até massa constante.

l) **Índice de colheita** - foi obtido após a maturidade fisiológica (R₉) pela relação percentual entre a matéria seca de grãos e a matéria seca total da parte aérea (fitomassa total), em cinco plantas na área útil de cada parcela.

m) **Evapotranspiração real** - foi obtido utilizando estação agrometeorológica móvel desenvolvida de acordo com Bernad et al. (2014), com objetivo de realizar as avaliações de campo de maneira simplificada. Foi avaliado o microclima a partir dos valores de a umidade relativa e temperatura do ar, na base e no topo das plantas de milho cultivados nos três (Figura 3A) sistemas milho exclusivo, milho consorciado com *Crotalaria spectabilis* e milho consorciado com *Urochloa ruziziensis*. Desenvolvendo, um sistemas de coleta de dados baseados na plataforma arduino (SCD) aproveitando componentes de fácil acesso e baixo custo de aquisição, simplicidade para montar e programar.

A frequência de coleta ocorreu durante os estádios de pendoamento (VT) até o ponto de maturidade fisiológica (R₆), em dois pontos da parcela (Figura 3B). O SCD foi programado para realizar leituras em intervalos de 3 segundos e médias armazenadas com o auxílio do sistema de aquisição automática de dados, para posterior download dos dados em computador por meio de cartão SD.

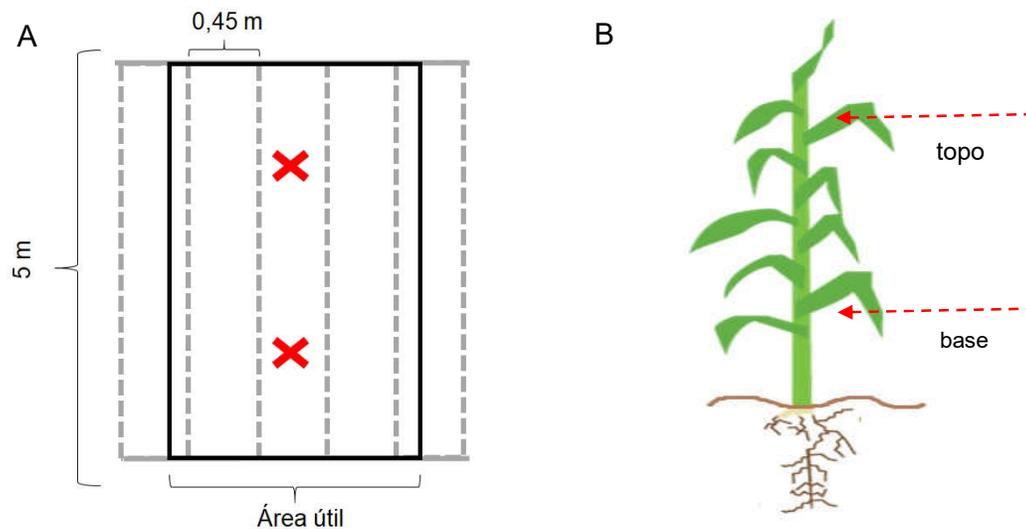


Figura 3 A - Pontos de coleta de dados dentro da parcela experimental. 3B - ponto de coleta na base e topo de plantas no cultivo de milho na primeira safra em Jaboticabal – SP, 2016/2017.

A evapotranspiração foi determinada pelo método para estimativa de ET pela Razão de Bowen (1926):

$$LE = \frac{Rn - G}{\left(1 + y \frac{(T_1 - T_2)}{(ea_1 - ea_2)}\right)} \quad \text{equação 1}$$

sendo; LE: evapotranspiração de referência (mm.d^{-1}); Rn: saldo de radiação ($\text{MJ.m}^{-2} \text{d}^{-1}$); G: densidade de fluxo de calor no solo ($\text{MJ.m}^{-2} \text{d}^{-1}$); T_1 : temperatura média diária da base ($^{\circ}\text{C}$); T_2 : temperatura média diária do topo ($^{\circ}\text{C}$); ea_1 : pressão atual de vapor média diária base (kPa); ea_2 : pressão atual de vapor média diária topo (kPa); y : constante psicométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

3.3. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$) e, quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). O efeito de doses de N e a interação entre sistemas de cultivo x doses de N em cobertura, quando significativos, foram avaliados por análise de regressão polinomial de segunda ordem. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software estatístico AgroEstat (Barbosa e Maldonado Júnior, 2009).

Na avaliação da acurácia do modelo de previsão proposto no experimento III utilizou-se o Erro Médio Absoluto Percentual, que mede o valor médio de erro entre as séries observadas e ajustadas. A média do erro absoluto percentual em inglês mean absolute percentage error (MAPE), é uma das medidas de precisão mais populares nas previsões. A grande vantagem de utilizar essa expressão está na sua representação em termos percentuais (%) que permite um rápido entendimento. (Kim e Kim, 2016; Camelo et al., 2018).

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\left| \frac{Yest_i - Yobs_i}{Yobs_i} \right| \times 100 \right)}{N} \quad \text{equação 2}$$

sendo; MAPE: média do erro absoluto percentual (%); Yest_i: dado estimado; Yobs_i: dado observado; N: número de amostras ou dados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento I - Milho cultivado na segunda safra

Na segunda safra, os resultados foram significativos ao teste F para teores de N, P, K e Mg nas folhas (Tabela 3). Os teores de nutrientes nas folhas de milho até o florescimento encontraram-se dentro do recomendado por Malavolta et al. (1997), observados em Lara Cabezas (2011) e Gott et al. (2014).

Ao considerar que os nutrientes são armazenados no colmo, para que assim sejam translocados para a planta inteira, os valores obtidos mantêm relação com os resultados referentes ao diâmetro do colmo (Tabela 4), justificando a menor concentração nos sistemas consorciados até o florescimento.

Apesar dos teores de fósforo (P) no solo estarem altos, os resultados obtidos nas análises foliares apresentaram valores abaixo do adequado. Tal fato pode ser justificado pela baixa precipitação observada logo após a adubação de cobertura (Figura 2A), minimizando assim a absorção desse nutriente. Todavia, apesar de os valores apresentarem-se baixos não foi observada deficiência nas plantas.

O teor de nitrogênio foliar foi o único que apresentou diferença significativa para sistemas de cultivo e doses de N. Verificou-se ainda que houve interação entre os fatores estudados (Figura 4), com ajuste ao modelo linear para milho exclusivo e ajuste quadrático para o milho em consórcio com *C. juncea* e para o milho consorciado com *U. ruziziensis*.

No milho exclusivo e em consórcio com *C. juncea* as doses utilizadas não foram suficientes para que o teor de N foliar alcançasse o ponto máximo, de acordo com a equação de regressão o ponto máximo para o milho consorciado com *U. ruziziensis* foi de 28,83 g kg⁻¹ na dose de 94,37 kg ha⁻¹ de N. Tais resultados concordam com os trabalhos desenvolvidos por Farinelli e Lemos (2012) que, estudando a eficiência do uso de N em híbridos de milho, relataram que os aproveitamentos deste elemento decresceram com a elevação das doses aplicadas, devido ao suprimento de nitrogênio extrapolar as necessidades da cultura do milho.

Para verificar a precisão dos dados, o MAPE (Figura 4) foi calculado utilizando os valores médios de teor de N foliar estimados e observados pela função da equação de regressão. Os valores de MAPE foram baixos, isto quer dizer que os limites inferiores e superiores estão próximos dos valores reais (quanto menor for o MAPE, menor a taxa de erro dos dados).

Tabela 3 - Teor de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foliar de milho em função do cultivo exclusivo e consorciado com *C. juncea* e *U. ruziziensis* e da adubação nitrogenada em cobertura no milho de segunda safra (2016) em Jaboticabal – SP¹

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg
	----- g kg ⁻¹ -----				
Sistema de cultivo (SC)					
Milho	29,98 a	1,62 b	34,70 a	5,72	1,84 a
Milho + <i>C. juncea</i>	29,07 a	1,80 a	28,25 b	5,38	1,57 b
Milho + <i>U. ruziziensis</i>	26,82 b	1,78 a	25,80 b	5,54	1,52 b
Dose de N (kg ha ⁻¹) (DN)					
0	26,71	1,75	30,50	5,32	1,55
50	27,95	1,69	28,83	5,70	1,68
100	29,30	1,68	30,16	5,36	1,61
150	30,52	1,77	27,50	5,68	1,74
200	28,65	1,76	30,91	5,65	1,64
Regressão ²	Q	-	-	-	-
Teste F					
SC	29,76**	6,83**	31,36**	1,05 ns	7,16**
DN	13,71**	0,78 ns	1,75 ns	0,74 ns	0,73 ns
SCxDN	7,45**	0,66 ns	1,12 ns	0,11 ns	0,19 ns
C.V. (%)	4,66	9,67	12,40	13,40	17,66

¹Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ** (p<0,01),

* (p<0,05) e ns - não significativo pelo teste F. ²Equação quadrática (Q).

N = - 0,4533x² + 3,364x + 23,525 R² = 0,86**

Considerando os valores médios de teor de N foliar obtidos, e a porcentagem de erro calculado pelo MAPE para milho exclusivo de 2,62%, para milho consorciado com crotalaria de 1,91% e para milho consorciado com *Urochloa* de 3,77%, houve variação entre os limites inferiores e superiores de teor de N foliar para milho exclusivo de 27,36 – 32,60 g kg⁻¹, para milho consorciado com crotalaria de 27,16 – 30,98 g kg⁻¹ e para milho consorciado com *Urochloa* de 23,05 – 30,59 g kg⁻¹. O teor de N foliar no milho, foi menor em consórcio com a *U. ruziziensis*, porém, essa variação não refletiu na produtividade (Tabela 4) obtida nesse experimento, afirmando assim a viabilidade dos sistemas de cultivo.

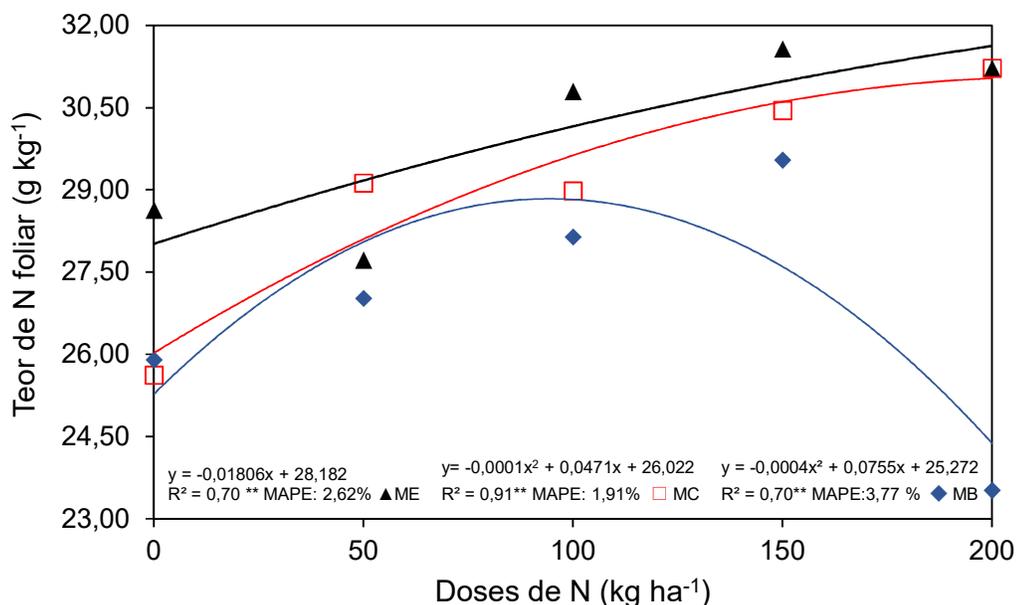


Figura 4 - Teor de N nas folhas de milho de segunda safra em função de sistemas de cultivo (milho exclusivo - ME, milho + crotalária - MC, milho + Urochloa – MB) e doses de N cultivado em Jaboticabal – SP, 2016.

Dentro das variáveis agrônômicas avaliadas, diâmetro de espiga sem palha e comprimento de espiga sem palha, bem como altura de inserção da espiga principal e número de grãos por fileira no milho de segunda safra, não foram influenciadas pelos tratamentos (Tabela 4).

As variáveis diâmetro do colmo, massa da espiga sem palha, altura de plantas, número de fileiras de grãos e massa de mil grãos tiveram influência dos sistemas de cultivo, havendo ainda interação dos fatores sistema de cultivo x doses de N, para as variáveis diâmetro do colmo e altura de plantas (Figuras 5A e 5B).

Para diâmetro do colmo (Figura 5A), no sistema de milho exclusivo houve comportamento constante, e para os sistemas consorciados com *C. juncea* e *U. ruziziensis* o modelo quadrático foi o de melhor ajuste. O ponto máximo para diâmetro foi de 19,9 mm na dose de 128 kg ha⁻¹ de N e 19,01 mm na dose de 93 kg ha⁻¹ de N, para o milho consorciado com *C. juncea* e *U. ruziziensis* respectivamente.

A altura de plantas (Figura 5B) teve comportamento constante no sistema de milho consorciado com *C. juncea*, diferentemente do milho exclusivo e consorciado com *U. ruziziensis* que tiveram melhor ajuste no modelo quadrático.

Tabela 4 - Diâmetro do colmo (DC), altura de plantas (ALP), altura de inserção da espiga principal (AIEP), diâmetro da espiga sem palha (DESP), comprimento espigas sem palha (CESP), massa de espiga sem palha (MESP) de milho em função do cultivo exclusivo e consorciado com *C. juncea* e *U. ruziziensis* e da adubação nitrogenada em cobertura no milho de segunda safra (2016) em Jaboticabal – SP¹

Tratamento	DC -- mm --	ALP -----m-----	AIEP	DESP -- mm --	CESP cm	MESP kg
Sistema de cultivo (SC)						
Milho	19,96	2,35	1,25	45,54	11,18	0,127 b
Milho + <i>C. juncea</i>	18,85	2,35	1,28	46,11	10,65	0,134 ab
Milho + <i>U. ruziziensis</i>	18,16	2,27	1,23	46,58	10,65	0,139 a
Dose de N (kg ha ⁻¹) (DN)						
0	18,72	2,33	1,25	46,10	11,44	0,136
50	19,42	2,34	1,27	46,44	11,42	0,137
100	19,35	2,32	1,24	45,94	11,16	0,133
150	19,52	2,32	1,25	46,54	10,53	0,135
200	17,91	2,31	1,25	45,35	10,10	0,124
Regressão ²	Q	-	-	-	-	-
Teste F						
SC	13,07**	24,12**	2,93 ^{ns}	2,54 ^{ns}	0,70 ^{ns}	3,66**
DN	4,38**	0,90 ^{ns}	0,45 ^{ns}	1,28 ^{ns}	2,08 ^{ns}	1,72 ^{ns}
SCxDN	3,44**	3,10**	1,28 ^{ns}	0,51 ^{ns}	2,02 ^{ns}	1,37 ^{ns}
C.V. (%)	5,89	1,77	4,77	3,15	13,01	10,73

¹Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey **($p < 0,01$),

*($p < 0,05$) e ^{ns} - não significativo pelo teste F.²Equação quadrática (Q).

DC= $-0,0001x^2 + 0,022x + 18,662$ $R^2 = 0,87^{**}$

No sistema consorciado com *C. juncea*, o milho não teve competição suficiente ao ponto de comprometer seu desenvolvimento primário. Gitti et al. (2012), estudando épocas de semeadura de *C. spectabilis* e *C. juncea* com milho, também não constataram diferenças significativas na altura de planta do milho em função dos cultivos consorciados.

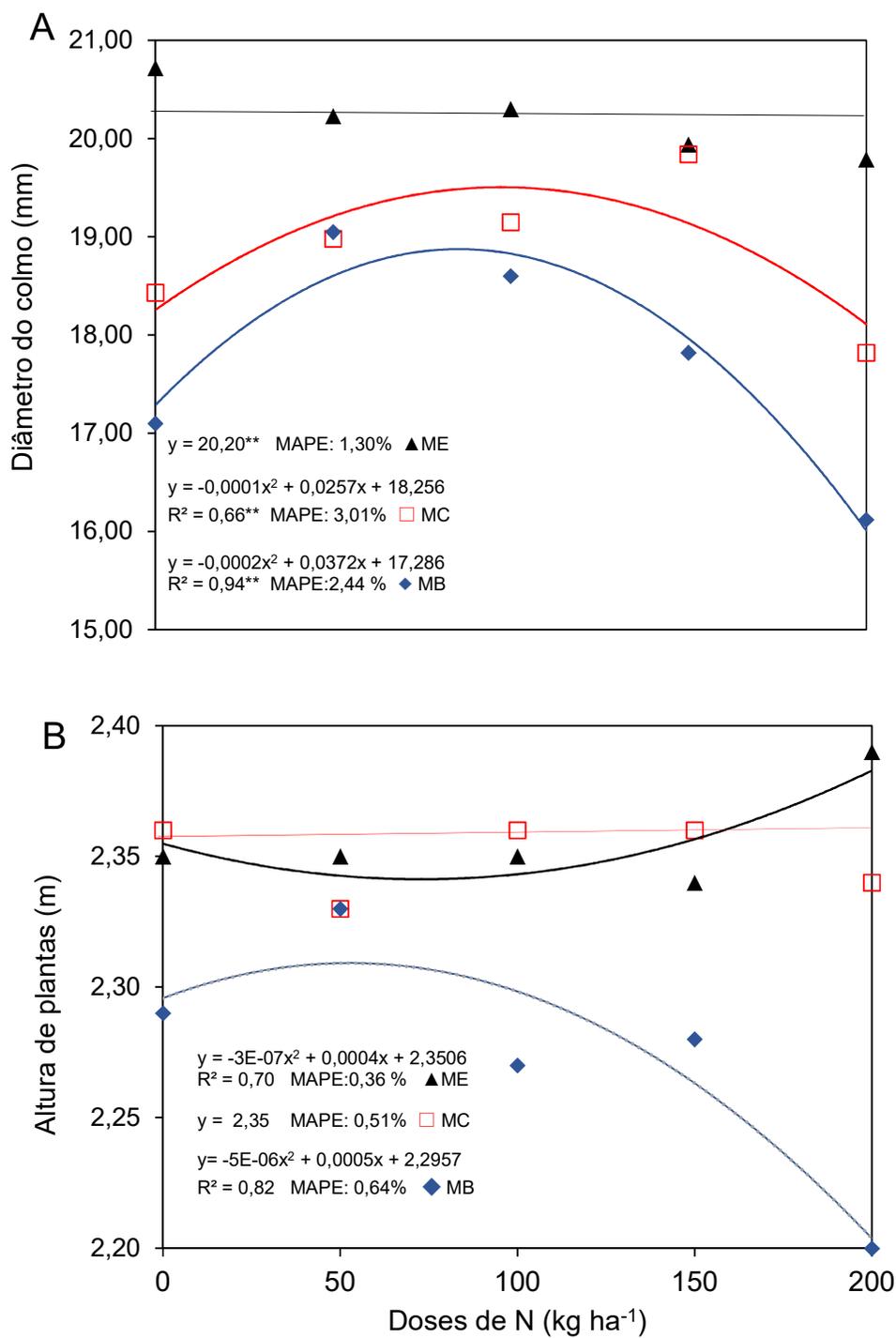


Figura 5 – Diâmetro do colmo e altura de plantas do milho de segunda safra em função de sistemas de cultivo (milho exclusivo - ME, milho + crotalária - MC, milho + Urochloa – MB) e doses de N cultivado em Jaboticabal – SP, 2016.

Observa-se que no milho exclusivo o ponto mínimo para altura de plantas obtido foi de 2,34 m na dose 72 kg ha⁻¹ de N e no milho consorciado com *U. ruziziensis* foi obtido o ponto de máximo de 2,30 m na dose de 52 kg ha⁻¹ de N. Os resultados obtidos confirmam a existência de competição por água, luz e nutrientes entre o milho e as plantas consorciadas. As variáveis diâmetro do colmo e altura de plantas estão diretamente relacionadas com a capacidade de translocação de nutrientes a espiga, e a competição faz com que a planta direcione seus recursos para crescimento mais rápido com a finalidade de evitar sombreamento, resultando principalmente na diminuição do diâmetro do colmo (Costa et al., 2012; Fiorentin et al., 2012).

O crescimento primário e secundário (vertical e radial) das plantas está relacionado com a absorção dos nutrientes, principalmente do N, por este influenciar diretamente a divisão e expansão celular e o processo fotossintético (Fornasier Filho 2007). Colmos grossos, além de serem resistentes ao tombamento, apresentam elevada capacidade de armazenar fotoassimilados que contribuem para o enchimento dos grãos, bem como para plantas maiores (Costa et al., 2012; Kappes e Zancanaro 2015).

O número de fileiras de grãos é característica intrínseca ao genótipo, e pouco influenciada pelo manejo, de modo que a redução observada possivelmente deva-se a menor quantidade de fotoassimilados armazenados no colmo das plantas de milho em consórcio (Gitti et al., 2012).

Os cultivos consorciados apresentaram valores de massa de mil grãos semelhantes, ambos acima de 330 g, diferentemente do cultivo solteiro 311 g (Tabela 5). Porém, mesmo apresentando diferenças significativas para variáveis relacionadas a produtividade como número de fileiras de grãos e massa de mil grãos, a produção do milho não foi afetada pelos sistemas de cultivo, mas sim pela disponibilidade de N nos sistemas.

As doses de N aplicadas apresentaram resultados significativos para produtividade de grãos (Tabela 5), havendo ainda interação entre sistema de cultivo x doses de N, ajustando-se ao modelo quadrático (Figura 6).

Observa-se que mesmo no tratamento sem aplicação de N em cobertura, houve bons resultados, podendo ser atribuído à fertilidade do solo da área experimental, o qual apresenta teor de matéria orgânica satisfatório, associada ao nitrogênio oriundo do fertilizante aplicado na semeadura (20 kg ha⁻¹ de N).

Tabela 5 - Número de fileiras de grãos por espiga (NF), número de grãos por fileira (GF), massa de 1000 grãos (MG), produtividade de grãos (PG) de milho em função do cultivo exclusivo e consorciado com *C. juncea* e *U. ruziziensis* e da adubação nitrogenada em cobertura no milho de segunda safra (2016) em Jaboticabal – SP¹

Tratamento	NF ----- n° -----	GF ----- g -----	MG ----- g -----	PG kg ha ⁻¹
Sistema de cultivo (SC)				
Milho	15,2 a	23,9	311 b	6.375
Milho + <i>C. juncea</i>	14,4 b	24,2	331 a	5.823
Milho + <i>U. ruziziensis</i>	14,6 b	23,6	332 a	5.263
Dose de N (kg ha ⁻¹) (DN)				
0	14,9	23,6	329	5.222
50	14,4	24,6	321	5.590
100	14,8	24,0	330	6.395
150	14,5	23,0	326	6.145
200	14,9	24,3	318	5.950
Regressão ²	-	-	-	Q
Teste F				
SC	5,14*	0,47 ^{ns}	6,89**	63,50**
DN	1,10 ^{ns}	1,05 ^{ns}	0,78 ^{ns}	26,22**
SCxDN	0,83 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,71 ^{ns}	3,35**
C.V. (%)	4,93	9,03	6,17	5,36

¹Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ** (p<0,01), * (p<0,05) e ^{ns} - não significativo pelo teste F. ²Equação quadrática (Q).
PG = -0,0623x² + 16,485x + 5146,6 R² = 0,87**

A produtividade do milho de segunda safra tende a ser menor em relação à de primeira safra, seja pela diferença de tecnologia aplicada (híbrido e sistema de irrigação) ou pelas limitações climáticas da época de cultivo em si (Costa et al., 2011). Todavia, os resultados encontram-se dentro dos valores médios de 6.164 kg ha⁻¹, descritos pela Conab (2016) para o Estado de São Paulo. Os pontos de máxima produtividade foram de 6.813 e 6.361 kg ha⁻¹ na dose de 134 kg ha⁻¹ de N, para milho exclusivo e milho consorciado com *C. juncea* respectivamente, e para o milho consorciado com *U. ruziziensis* o ponto de máxima produtividade foi de 5.698 kg ha⁻¹ na dose de 102 kg ha⁻¹ de N.

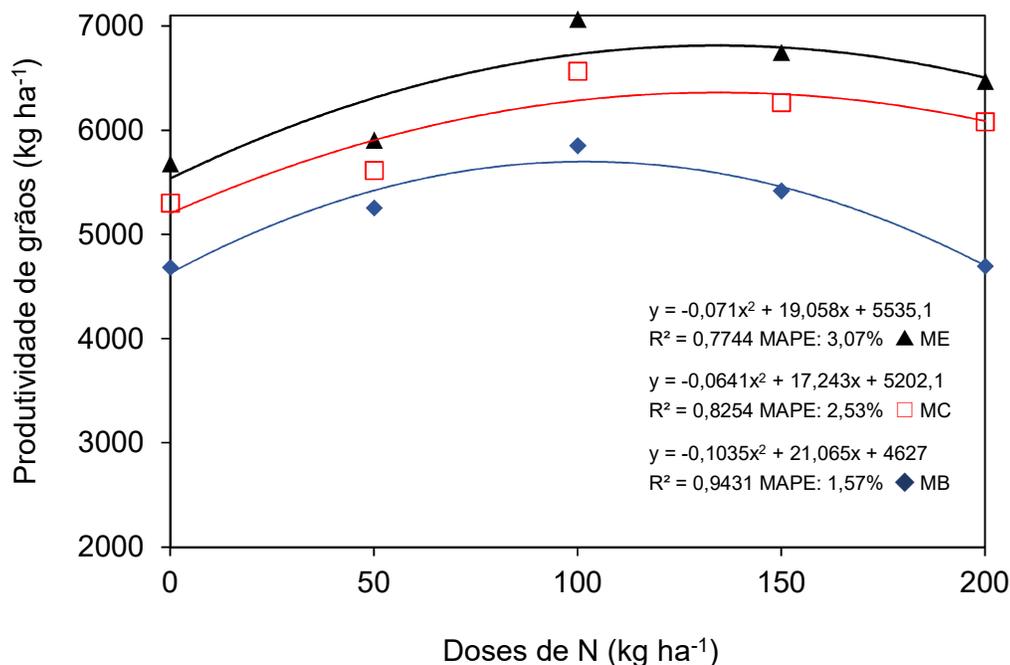


Figura 6 – Produtividade de grãos de milho de segunda safra em função de sistemas de cultivo (milho exclusivo - ME, milho + crotalária - MC, milho + Urochloa – MB) e doses de N cultivado em Jaboticabal – SP, 2016.

4.2. Experimento II - Milho cultivado na primeira safra

No milho de primeira safra, somente os teores foliares de N e P não tiveram efeitos significativos para sistemas de cultivo (Tabela 6). Os teores mensurados na época de florescimento, mostraram-se coerentes aos teores obtidos por Lara Cabezas (2011) e Gott et al. (2014), com exceção do N foliar, que apresentou-se em deficiência, de acordo com autores citados.

Possivelmente, os efeitos do N aplicado em cobertura foram influenciados pela precipitação pluvial excessiva (Figura 2) à qual a cultura foi submetida, após as aplicações de N em cobertura. Os dados climáticos apontam acúmulo de 340 mm até fevereiro de 2017 quando as chuvas diminuíram, refletindo nos caracteres avaliados, em virtude da provável perda de nitrogênio.

Tabela 6 - Teor de Nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foliar de milho em função do cultivo exclusivo e consorciado com *C. spectabilis* e *U. ruziziensis* e da adubação nitrogenada em cobertura no milho de primeira safra (2016/2017) em Jaboticabal – SP¹.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg
	----- g kg ⁻¹ -----				
Sistema de cultivo (SC)					
Milho	28,02	2,07	24,8 a	4,36 a	1,70 b
Milho + <i>C. juncea</i>	27,17	2,10	23,3 b	4,22 a	1,85 a
Milho + <i>U. ruziziensis</i>	27,02	2,10	23,2 b	3,86 b	1,69 b
Dose de N (kg ha ⁻¹) ² (DN)					
0	25,62	1,95	22,2	4,40	1,80
50	27,23	2,17	24,4	4,10	1,80
100	25,97	2,08	24,4	3,95	1,64
150	29,28	2,14	23,6	4,25	1,76
200	28,93	2,11	24,1	4,03	1,73
Regressão ²	L	Q	Q	-	-
Teste F					
SC	1,44 ^{ns}	0,19 ^{ns}	9,14 ^{**}	7,74 ^{**}	4,66 [*]
DN	8,19 ^{**}	3,68 [*]	5,40 ^{**}	2,29 ^{ns}	1,66 ^{ns}
SCxDN	1,20 ^{ns}	1,71 ^{ns}	0,78 ^{ns}	1,37 ^{ns}	0,59 ^{ns}
C.V. (%)	7,37	7,42	5,68	9,99	10,60

¹Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ^{**}(p<0,01), ^{*}(p<0,05) e ^{ns} - não significativo pelo teste F. ²Equação linear (L) e quadrática (Q).

N = 0,0173x + 25,672 R² = 0,70^{**};

P = -1E-05x² + 0,0026x + 1,982; R² = 0,60^{*};

K = -0,0001x² + 0,03x + 22,54; R² = 0,64^{**}.

As características agrônômicas, diâmetro do colmo, comprimento da espiga, massa da espiga, altura de plantas e altura de inserção da espiga principal, foram influenciados pelos sistemas de consórcio (Tabela 7).

Maiores valores médios para diâmetro de colmo foram evidenciados no cultivo de milho exclusivo, apresentando comportamento quadrático (Tabela 7), sendo constatadas diferenças significativas para o diâmetro do colmo, com ponto de máximo crescimento (21,37 mm) na dose de 100 kg ha⁻¹ de N. Tal resultado foi semelhante ao obtido para o cultivo do milho de segunda safra (Tabela 4), conferindo novamente características de competição entre as plantas utilizadas nestes sistemas, independentemente da safra.

Tabela 7 - Diâmetro do colmo (DC), diâmetro da espiga sem palha (DESP), comprimento espigas sem palha (CESP), massa de espiga sem palha (MESP), altura de plantas (ALP), altura de inserção da espiga principal (AIEP) de milho em função do cultivo exclusivo e consorciado com *C. spectabilis* e *U. ruziziensis* e da adubação nitrogenada em cobertura no milho de primeira safra (2016/2017) em Jaboticabal – SP¹.

Tratamento	DC -- mm --	ALP -----m-----	AIEP -----	DESP --mm --	CESP -- cm --	MESP kg
Sistema de cultivo (SC)						
Milho	21,34 a	2,16 b	1,23 b	50,85	13,60 a	0,216a
Milho+ <i>C. spectabilis</i>	20,96 ab	2,30 a	1,31 a	50,71	13,24 ab	0,204 a
Milho+ <i>U. ruziziensis</i>	20,35 b	2,28 a	1,25 b	50,54	12,68 b	0,177 b
Dose de N (kg ha ⁻¹) (DN)						
0	19,81	2,22	1,25	50,52	12,57	0,193
50	21,06	2,26	1,28	50,96	13,39	0,200
100	21,37	2,26	1,27	49,96	13,17	0,190
150	21,01	2,23	1,25	50,59	13,29	0,200
200	21,17	2,26	1,27	51,48	13,46	0,211
Regressão ²	Q	-	-	-	-	-
Teste F						
SC	4,26*	7,75**	9,51**	0,16 ^{ns}	3,88**	7,69**
DN	3,84**	0,23 ^{ns}	0,62 ^{ns}	1,30 ^{ns}	1,39 ^{ns}	0,79 ^{ns}
SCxDN	1,75 ^{ns}	0,38 ^{ns}	1,09 ^{ns}	1,82 ^{ns}	1,17 ^{ns}	1,71 ^{ns}
C.V. (%)	5,22	5,42	4,48	3,35	7,97	16,25

¹Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ** (p<0,01), * (p<0,05) e ^{ns} - não significativo pelo teste F. ²Equação quadrática (Q).
DC = -8E-05x² + 0,0216x + 19,943; R² = 0,85**

Uma vez que é conhecida a relação de competição entre as espécies consorciadas, a planta direciona seus recursos para o crescimento vertical, a fim de evitar o sombreamento, resultando na maioria dos casos, diâmetro de colmo menor e altura de plantas e inserção da espiga principal consequentemente maiores.

Médias elevadas para altura de inserção da espiga principal (Tabela 7), bem como sua homogeneidade conforme também observado no milho de segunda safra (Tabela 4), mostram-se importantes, por favorecerem a colheita mecanizada. Esta característica viabiliza menor perda de espigas pela plataforma de corte da colhedora de grãos e diminui o risco de embuchamento em sistemas consorciados.

A altura de inserção da espiga principal tem-se mostrado importante nos pontos de vista econômico e ambiental. Quanto menores as perdas de grãos no campo maior o rendimento da lavoura. Quando não há impedimento físico na atividade de colheita

(embuchamento) há menor consumo de combustível, minimizando os gastos e a emissão de gases poluentes oriundos da queima de combustíveis fósseis.

A produtividade do milho foi influenciada pelos fatores sistema de cultivo × doses de N (Tabela 8). No sistema de cultivo com milho exclusivo o modelo quadrático teve melhor ajuste. Os sistemas de consórcio com *C. spectabilis* e *U. ruziziensis* foram melhores ajustados no modelo linear (Figura 7). O ponto de máxima produtividade foi encontrado no sistema de produção de milho exclusivo com 12.182 kg de milho no ponto correspondente a dose de 113 kg ha⁻¹ de N, havendo decréscimo da produção nas doses maiores, comportamento similar ao observado no cultivo de segunda safra.

Tabela 8 - Número de fileiras de grãos por espiga (NF), número de grãos por fileira (GF), massa de 1000 grãos (MG), produtividade de grãos (PG) de milho em função do cultivo exclusivo e consorciado com *C. spectabilis* e *U. ruziziensis* e da adubação nitrogenada em cobertura no milho de primeira safra (2016/2017) em Jaboticabal – SP¹.

Tratamento	NF ----- n° -----	GF -----	MG ---- g ----	PG kg ha ⁻¹
Sistema de cultivo (SC)				
Milho	19,4	29,7	268	9.579
Milho+ <i>C. spectabilis</i>	19,4	29,1	264	8.765
Milho+ <i>U. ruziziensis</i>	19,1	28,7	269	7.482
Dose de N (kg ha ⁻¹) (DN)				
0	19,5	27,6	263	6.208
50	19,2	29,8	271	8.235
100	19,4	29,2	262	9.822
150	19,0	29,4	269	10.009
200	19,2	29,7	269	8.769
Regressão ²	-	-	-	Q
Teste F				
SC	0,26 ^{ns}	1,27 ^{ns}	0,54 ^{ns}	419,76 ^{**}
DN	0,35 ^{ns}	2,10 ^{ns}	0,68 ^{ns}	527,63 ^{**}
SCxDN	0,33 ^{ns}	1,60 ^{ns}	0,67 ^{ns}	183,93 ^{**}
C.V. (%)	6,54	7,21	6,35	2,67

¹Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ^{**}(p<0,01), ^{*}(p<0,05) e ^{ns} - não significativo pelo teste F. ²Equação quadrática (Q).

PG = -0,2267x² + 59,129x + 6096 R² = 0,99^{**}

Seguindo a mesma linha de comportamento das características agrônômicas, a produtividade de grãos foi maior no sistema de milho exclusivo, seguido do consórcio com *C. spectabilis* e *U. ruziziensis* com a menor produtividade.

Uma das possíveis explicações para este resultado diz respeito a proximidade botânica entre o milho e a braquiária. Ambas possuem o metabolismo C₄, gramíneas pertencentes à mesma família Poacea, o que confere a elas altas taxas de crescimento devido sua elevada capacidade fotossintética, sendo estas altamente competitivas no ambiente (Taiz e Zeiger, 2013). Quanto mais próximas forem duas espécies em termos ecológicos, ou seja, família, gênero etc., a competição entre elas tende a ser maior, pois essas plantas possuem as mesmas exigências, em termos nutricionais, água e luz, sendo umas das justificativas para redução de produtividade.

As crotalarias apresentam metabolismo C₃, portanto possuem menor porte, bem como taxa de crescimento lento e constante, o que as tornam boas alternativas ao consórcio, principalmente por não competirem com o milho de forma agressiva. Apresentam pouco ou nenhum efeito negativo na produtividade de grãos, em comparação com a *U. ruziziensis*. Gitti et al. (2012), avaliando o efeito da *Crotalaria juncea* e *C. spectabilis* semeadas em diferentes épocas nas entrelinhas do milho, e Kappes e Zancanaro (2015), avaliando sistemas de consórcios de milho com coberturas vegetais, observaram comportamento similar ao observado neste experimento.

A utilização de espécies leguminosas em consórcio com o milho contribui, além da ciclagem de nutrientes, para manutenção do sistema de cultivo. Algumas espécies têm se mostrado eficientes no controle de nematoides, podendo ser incorporadas ao solo, ou utilizadas como cobertura devido sua produção de biomassa de 9,14 e 7,27 t ha⁻¹, *C. juncea* e *spectabilis*, respectivamente (Gitti et al., 2012; Kappes e Zancanaro, 2015).

Todavia é importante ressaltar que a dose máxima nesse estudo de 200 kg ha⁻¹ de N no cultivo consorciado com *C. spectabilis*, não foi suficiente para a que o milho expressasse seu valor máximo de produção. Estes resultados demonstram a necessidade de se realizar mais pesquisas sobre a adubação nitrogenada neste sistema de consórcio, bem como nas diferentes épocas de cultivo deste cereal, tendo em vista que a cultura do milho, o nitrogênio e sua absorção, são influenciados tanto pelo ambiente de cultivo (época e clima) quanto pelas espécies utilizadas.

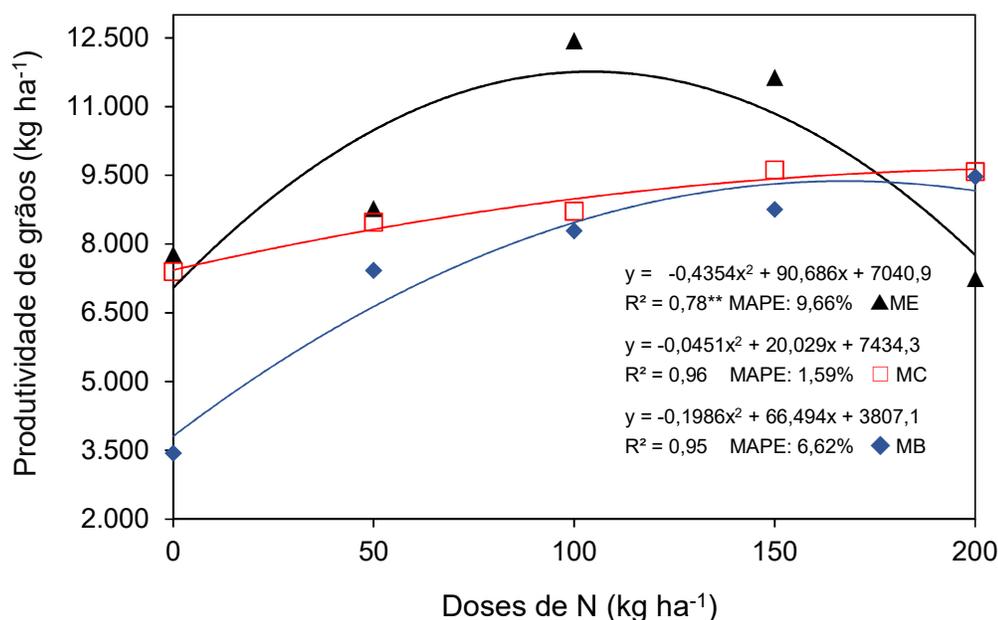


Figura 7 - Produtividade de grãos de milho de primeira safra em função de sistemas de cultivo (milho exclusivo - ME, milho + crotalária - MC, milho + Urochloa – MB) e doses de N cultivado em Jaboticabal – SP, 2016/2017.

A evapotranspiração real (ET_r) apresentou diferença nos sistemas estudados (Figura 8). Tal fato deve-se sobretudo à competição entre as espécies por espaço e água, uma vez que a ET_r está relacionada ao conteúdo de água tanto na atmosfera, quanto no solo (Tahiri et al., 2006; Kunz et al., 2007).

Bergamashi et al. (2006) constataram que a redução na produção é maior quando as plantas são submetidas a déficit hídrico no período de polinização, e início da formação do grão, e que nesse período, a razão entre a evapotranspiração real e a potencial explica quase 80% das variações na produtividade de grãos, justificando o período de avaliação nesse estudo.

Nos sistemas consorciados a ET_r sobressaiu-se ligeiramente em comparação ao sistema de cultivo exclusivo, em média a ET_r para milho consorciado com crotalaria foi de 3,13 mm dia⁻¹, para milho consorciado com Urochloa 3,03 mm dia⁻¹ e para milho exclusivo a média obtida foi de 2,95 mm dia⁻¹. Isto ocorre devido a maior massa (somatória milho e plantas de cobertura) por área, observado pelas massas produzidas em cada sistema, MSS (Figura 11B, 11D e 11F) de modo que o consórcio demanda maior quantidade de água no solo para que as plantas consigam realizar todas as suas funções metabólicas.

Dentro das doses aplicadas, os sistemas alcançaram índices de evapotranspiração acima de 3 mm dia⁻¹. No tratamento sem aplicação de N em cobertura, observou-se altas taxas de ETr, considerando que os valores de ETr é composta pela somatória da evaporação e transpiração, os resultados obtidos deve-se possivelmente pela elevada taxa de evaporação do solo uma vez que em ambiente com limitação nutricional as plantas não desenvolvem-se adequadamente, resultando em menor cobertura vegetal na superfície do solo.

Analisando individualmente o comportamento das espécies utilizadas observa-se que, a *C. spectabilis* por tratar-se de uma espécie C₃, maior variação na quantidade de massa, o que influencia diretamente na taxa de evaporação, que neste caso é maior nesse sistema pela menor capacidade de cobertura do solo e transpiração menor, em razão da quantidade de massa das plantas no sistema de consórcio milho + crotalária, em comparação com a *Urochloa* C₄.

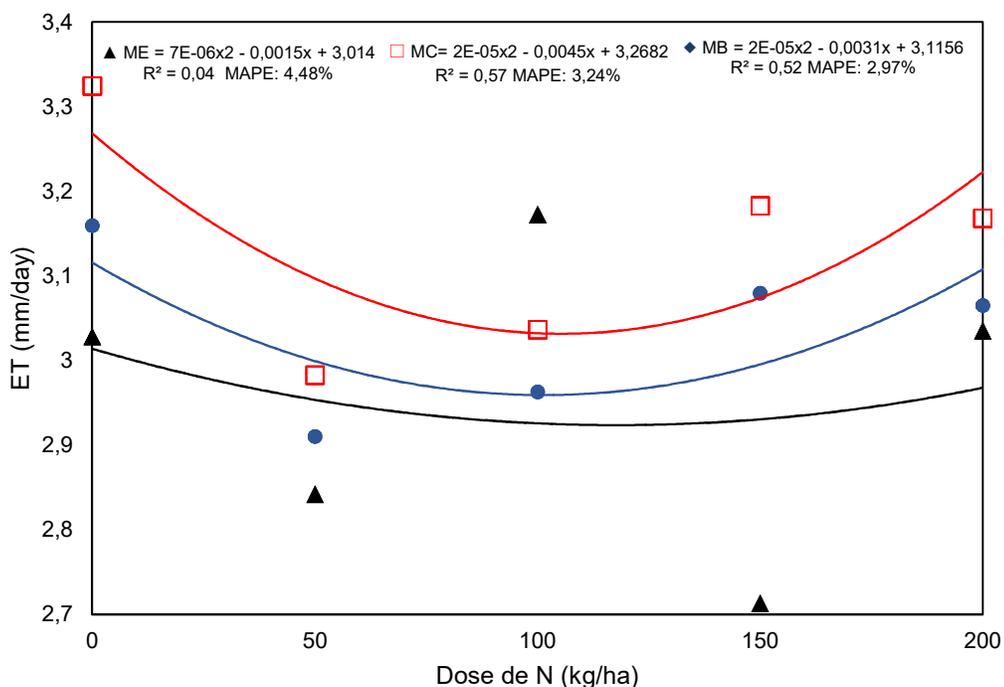


Figura 8 – Relação de doses de nitrogênio (DN) e evapotranspiração real (ETr), para cultivo de milho de primeira safra no município de Jaboticabal – SP, 2016/2017
ME = Milho Exclusivo, MC = Milho + Crotalária, MB = Milho + Urochloa

Em termos hídricos verificou-se que os valores para ETr no consórcio com *Urochloa* foi menor em comparação com o consórcio com a *C. spectabilis*, possivelmente em razão da diferença entre a evaporação, neste caso menor devido a maior cobertura do solo da *Urochloa* e maior transpiração devido a massa de plantas presente na área. Porém salienta-se que mesmo que ocorra uma inversão entre os sistemas, o fluxo de evaporação será quase sempre maior em relação a transpiração, pois uma vez que a água é absorvida pela planta, ela é utilizada nos processos fisiológicos, que por fim estará presente no enchimento de grãos.

Ainda no sistema milho consorciado com *Urochloa* a competição interespecífica entre as gramíneas influencia na taxa de evapotranspiração deste sistema, devido à proximidade botânica da *Urochloa* com o milho, acelerando o metabolismo destas espécies, afim de evitar o sombreamento que possa vir a ocorrer, liberando assim maior quantidade de vapor d'água.

As relações entre DN x ETr e as variáveis teores de N e P foliares tiveram comportamentos distintos de acordo os sistemas propostos por este estudo (Tabela 9). Para o milho exclusivo, nos tratamentos com doses acima da dose recomendada (100 kg ha^{-1} de N) e baixa ETr observou-se aumento do teor de N foliar (Figura 9A), em doses abaixo da dose recomendada e baixa ETr foram observados teores elevados para P foliar (Figura 9B). No milho consorciado com *C. spectabilis* observou-se que em doses acima da recomendada e alta ETr houve aumento dos teores de N foliar (Figura 9C), em doses acima da dose recomendada e baixa ETr foi observado teor elevado de P foliar (Figura 9D). Para o sistema de milho consorciado com *U. ruziziensis* foi observado que nas doses abaixo da recomendada e alta ETr houve aumento do teor de N (Figura 9E) e os teores de P foliar foram maiores quando aplicadas doses de N acima do recomendado e baixa ETr (Figura 9F).

Para teor de N foliar tal relação deve-se pela diferença de concentração do N nos diferentes tratamentos, uma vez que este sofre influência direta da quantidade de N fornecida, da capacidade de absorção e do ambiente ao qual a cultura está inserida. Observou-se também que em DN e ETr baixos, as concentrações de N igualam-se aos teores obtidos em condição de alta DN e ETr, tal fato pode estar relacionado com o efeito de diluição que comumente ocorre nas plantas, uma vez que o conteúdo de N varia de acordo com a massa da planta analisada.

Em doses baixas de N (50 kg ha⁻¹ de N) as plantas não crescem de maneira eficiente, o que acarreta em uma baixa quantidade de massa seca da planta porém altas concentrações de N na planta, ocorrendo o inverso quando em doses de N adequadas, ou seja o aumento na quantidade de massa seca porém a concentração de N na planta é baixa. Para Plénet & Lemaire (1999), a concentração de nitrogênio na biomassa da parte aérea diminuiu durante o período de crescimento do milho, diminuindo assim a concentração de N com o tempo, ou com o avanço da maturidade.

Tabela 9 - Equações da relação de doses de nitrogênio (DN) e evapotranspiração real (ETr) com as variáveis teor de N, P foliar, para os sistemas de milho exclusivo e consorciado cultivado na primeira safra no município de Jaboticabal – SP, 2016/2017.

Equação - milho exclusivo	MAPE	R ²
N= -4,6905 E-07x ³ + 3,4951E-05 x ² + 2,061E-02x + 1,4851E01	4,47%	0,62
P= -2,3073E-06x ² + 2,5887E-04x + 1,1053E0	2,58%	0,51
Equação - milho em consórcio com <i>C. Spectabilis</i>	MAPE	R ²
N = 1,8801E-07x ³ – 1,1219E-05x ² + 1,5669E-02x + 7,8266E00	5,48%	0,59
P = -3,8319E-08x ³ + 1,1782E-05 x ² – 3,5722E-04x + 1,0993E00	2,97%	0,57
Equação - milho em consórcio com <i>U. ruziziensis</i>	MAPE	R ²
N = -1,0692E-07x ⁴ + 9,5247E-05 x ³ – 2,3784E-02x ² + 1,9135E00x – 7,2142E01	5,54%	0,57
P = -3,7325E-07x ³ + 1,3788E-04x ² – 1,2432E-02x + 1,8727E00	7,07%	0,58

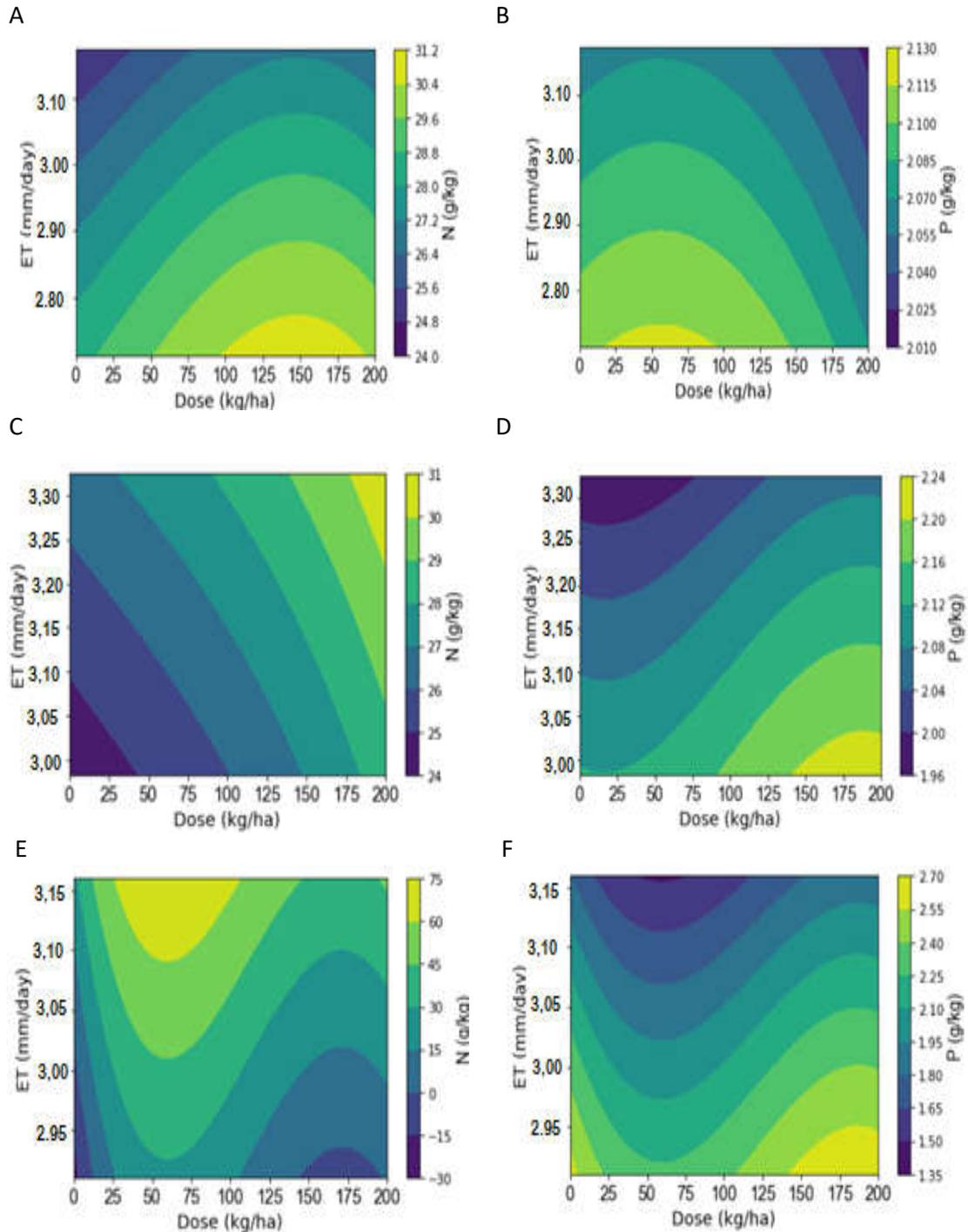


Figura 9 - Relação de doses de nitrogênio (DN) e evapotranspiração real (ETr) com variáveis teor de N (A), P (B) para o sistema de milho exclusivo, teor de N (C), P (D) para o sistema de milho consorciado *C. spectabilis* e teor de N (E), P (F) para o sistema de milho consorciado com *U. ruziziensis* cultivado na primeira safra no município de Jaboticabal – SP, 2016/2017.

Para as variáveis teores de K e Ca foliares as relações entre DN x ETr e tiveram comportamentos distintos apresentados pelas equações (Tabela 10) de acordo os sistemas propostos por este estudo. Para o milho exclusivo, nos tratamentos com doses acima da dose recomendada e baixa ETr observou-se aumento no teor Ca foliares (Figura 10A), para K o maior teor foliar foi observado, na faixa próxima a dose recomendada e alta ETr (Figura 10B). No milho consorciado com *C. spectabilis* em doses acima da dose recomendada e baixa ETr foi observado teor elevado para K foliar (Figura 10C), para Ca foliar observou-se maior teor, quando aplicado a dose recomendada de fertilizante e alta Etr (Figura 10D). Para o sistema de milho consorciado com *U. ruziziensis* foi observado que em doses acima da dose recomendada e baixa ETr foram observados teores elevados para K foliar (Figura 10E), nas doses abaixo da recomendada e alta ETr houve aumento do teor de Ca foliar (Figura 10F).

Tabela 10 - Equações da relação de doses de nitrogênio (DN) e evapotranspiração real (ETr) com as variáveis teor de K, Ca foliar, para os sistemas de milho exclusivo e consorciado cultivado na primeira safra no município de Jaboticabal – SP, 2016/2017.

Equação - milho exclusivo	MAPE	R ²
$K=4,0266E-07x^3 - 1,8549E-04x^2 + 2,3786 E-02x + 1,1462E01$	3,88%	0,50
$Ca = 2,0909E-09x^3 - 1,5526E-06x^2 + 3,3957E-04x - 2,2743E-02$	6,40%	0,67
Equação - milho em consórcio com <i>C. Spectabilis</i>	MAPE	R ²
$K = -1,7113E-06x^3 + 6,9699E-04x^2 - 6,8278E-02x + 1,4884E01$	5,04%	0,65
$Ca = 3,2506E-07x^3 - 1,3852E-04x^2 + 1,3508E-02x + 1,7350E00$	7,64%	0,58
Equação - milho em consórcio com <i>U. ruziziensis</i>	MAPE	R ²
$K = -1,2274E-04x^2 + 2,9341E-02x + 1,2235E1E01$	4,14%	0,53
$Ca = 1,9093E-05x^2 - 6,0715E-03x + 2,1339E00$	6,18%	0,50

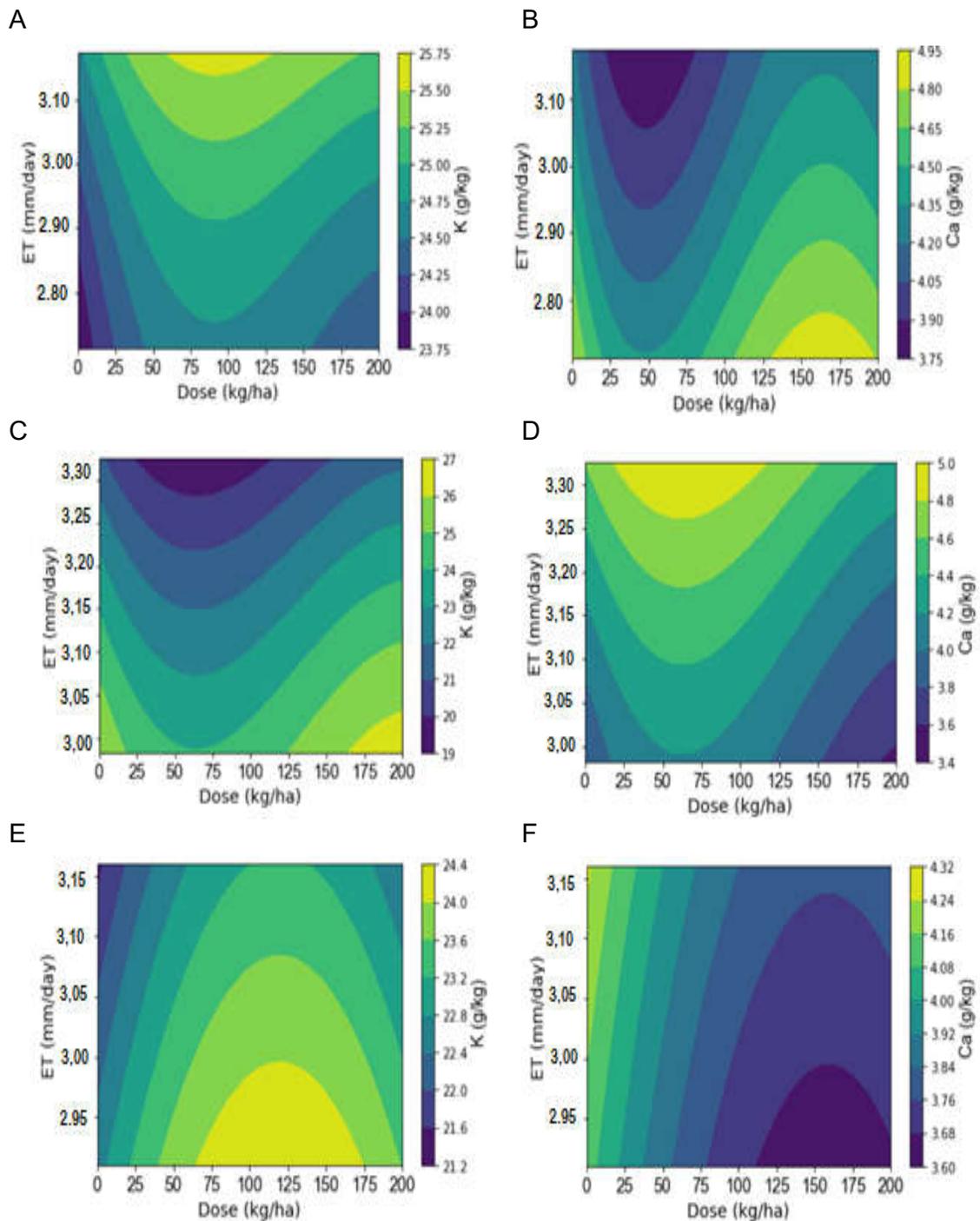


Figura 10 - Relação de doses de nitrogênio (DN) e evapotranspiração real (ETr) com as variáveis teor de K (A), Ca (B), para o sistema de milho exclusivo, teor de K (C), Ca (D) para o sistema de milho consorciado *C. spectabilis* e teor de K (E), Ca (F) para o sistema de milho consorciado com *U. ruziziensis* cultivado na primeira safra no município de Jaboticabal – SP, 2016/2017.

Para as variáveis teor de Mg foliar e massa seca do sistema as relações entre DN x ETr tiveram comportamentos distintos como mostram as equações (Tabela 11) de acordo os sistemas escolhidos por este estudo. No milho exclusivo o maior teor Mg foliar foi observado na faixa próxima a dose recomendada, e baixa ETr (Figura 11A). A massa seca do sistema de milho exclusivo (MSS) obteve maiores rendimentos quando fornecida doses de N acima do recomendado (175 kg ha^{-1} de N) e ETr alta (Figura 11B). A quantidade de massa está relacionada com o crescimento da planta em diâmetro, altura, e a quantidade grãos produzidos. No milho consorciado com *C. spectabilis* observou-se que o teor de Mg foliar, foi maior quando aplicada dose abaixo da recomendada, em alta Etr (Figura 11C). A maior quantidade de massa seca do sistema (MSS) foi obtida na faixa próxima a dose recomenda ($75\text{-}150 \text{ kg ha}^{-1}$ de N) e alta ETr (Figura 11D). Para o sistema de milho consorciado com *U. ruziziensis* foi observado que nas doses abaixo da recomendada (100 kg ha^{-1} de N) e alta ETr houve aumento do teor de Mg foliar (Figura 11E) e a maior quantidade de massa seca do sistema foi obtida quando aplicada dose de N acima da recomendada e alta ETr (Figura 11F).

Tabela 11 - Equações da relação de doses de nitrogênio (DN) e evapotranspiração real (ETr) com as variáveis teor de Mg foliar e massa seca do sistema (MSS), para os sistemas de milho exclusivo e consorciado cultivado na primeira safra no município de Jaboticabal – SP, 2016/2017

Equação - milho exclusivo	MAPE	R ²
Mg = $-6,1606\text{E-}06x^2 + 1,1656\text{E-}03x + 9,3839\text{E-}01$	6,27%	0,24
MSS = $3,3865\text{E-}02x^2 - 1,1817\text{E}00x + 2,4689\text{E}03$	5,42%	0,51
Equação - milho em consórcio com <i>C. Spectabilis</i>	MAPE	R ²
Mg = $1,6877\text{E-}08x^3 - 5,7315\text{E-}06x^2 + 2,5268\text{E-}04x + 9,1773\text{E-}01$	10,33%	0,51
MSS = $1,3448\text{E-}03x^3 - 6,3739\text{E-}01x^2 + 8,8474\text{E}01x + 1,6168\text{E}03$	4,55%	0,63
Equação - milho em consórcio com <i>U. ruziziensis</i>	MAPE	R ²
Mg = $4,6783\text{E-}06x^2 - 1,9185\text{E-}03x + 9,8380\text{E-}01$	6,77%	0,52
MSS = $1,4528\text{E-}03x^3 - 6,8785\text{E-}01x^2 + 9,9302\text{E}0x + 1,3441\text{E}03$	5,52%	0,69

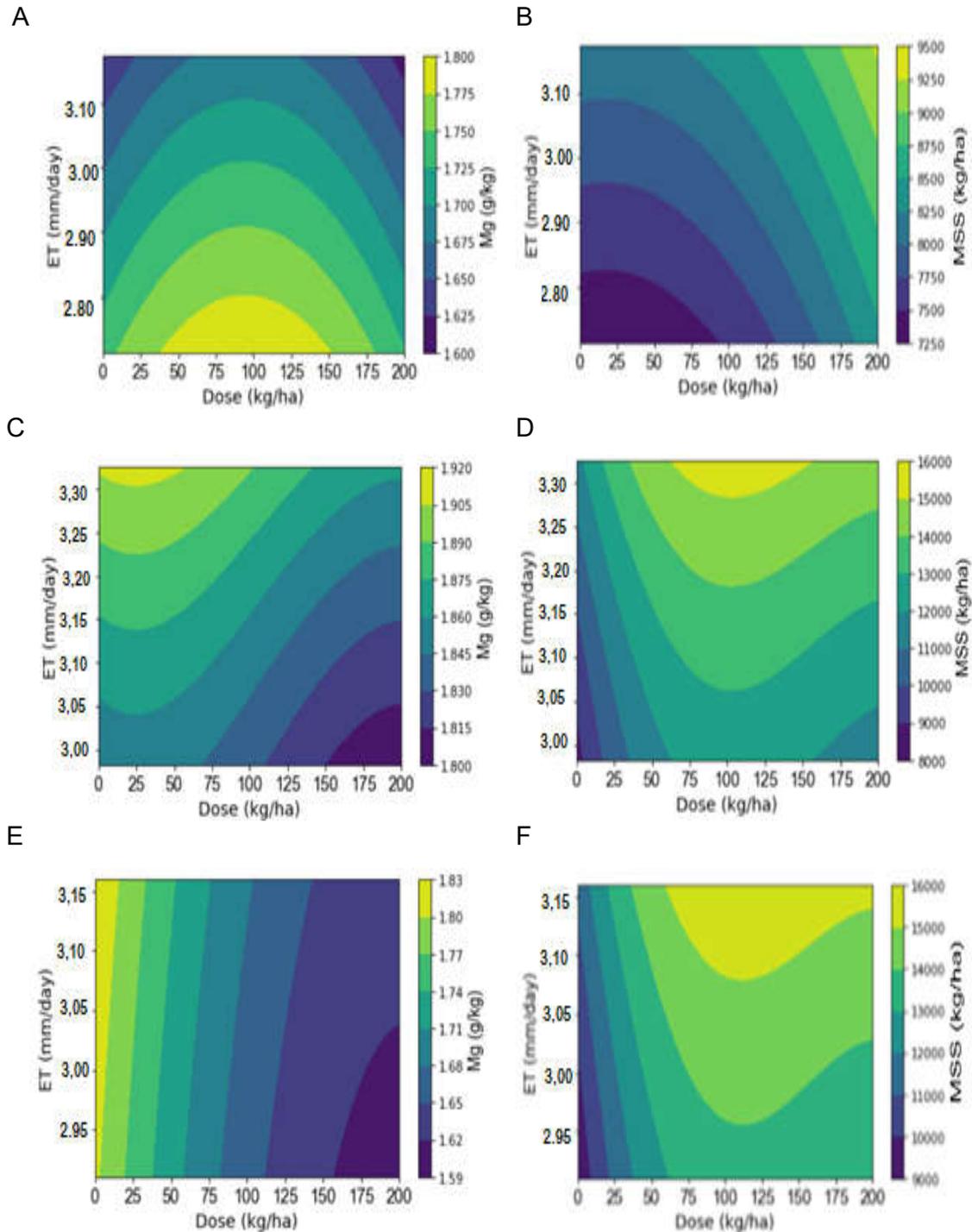


Figura 111 - Relação de doses de nitrogênio (DN) e evapotranspiração real (ETr) com as variáveis teor de Mg (A), MSS (B), para o sistema de milho exclusivo, teor de Mg (C), MSS (D) para o sistema de milho consorciado *C. spectabilis* e teor de Mg (E), MSS (F) para o sistema de milho consorciado com *U. ruziziensis* cultivado na primeira safra no município de Jaboticabal – SP, 2016/2017.

As relações entre DN x ETr para as variáveis índice de colheita e produtividade de grãos tiveram comportamentos similares de acordo os sistemas avaliados por este estudo (Tabela 12). No sistema com milho exclusivo o índice de colheita e produtividade de grãos apresentam maiores valores médios com a utilização da dose recomendada (100-150 kg ha⁻¹ de N) (Figura 12A e B), uma vez que sua relação está diretamente ligada a quantidade de massa seca da parte área e massa seca de grãos. A produtividade foi melhor na dose de 100 kg ha⁻¹ independentemente da ETr, isso ocorre pois, mesmo que a ETr seja inferior a 3mm dia⁻¹ a quantidade água no solo, foi suficiente para a demanda hídrica da cultura, refletindo diretamente na quantidade de grãos produzidos. Para milho consorciado com *C. spectabilis* os resultados referentes a índice de colheita e produtividade de grãos, tiveram o mesmo comportamento, os melhores resultado foram observados em doses abaixo da recomendada (50- 100 kg ha⁻¹ de N) e alta ETr (Figura 12C e D). Para o sistema de milho consorciado com *U. ruziziensis* foi observado que nas doses abaixo da recomendada (100 kg ha⁻¹ de N) e alta ETr houve aumento do índice de colheita e produtividade de grão (12E e F).

Tabela 12 - Equações da relação de doses de nitrogênio (DN) e evapotranspiração real (ETr) com as variáveis teor de N, P, K, Ca, Mg foliar, massa seca do sistema (MSS), índice de colheita (IC) e produtividade de grãos (PG) para o sistema de milho exclusivo e consorciado cultivado na primeira safra no município de Jaboticabal – SP, 2016/2017.

Equação milho exclusivo	MAPE	R ²
IC = 5,7177E-10x ⁴ – 3,3325E-07x ³ + 4,9528E-05x ² – 1,4390E-03x + 4,0403E-01	2,28%	0,93
PG = 1,9819E-05x ⁴ – 1,1285E-02x ³ + 1,6165E00x ² – 3,3242E01x + 8,1650E03	1,15%	0,99
Equação milho em consórcio com <i>C. Spectabilis</i>	MAPE	R ²
IC= -2,7040E-09x ⁴ + 2,2723E-06x ³ – 5,5799E-04x ² + 4,4978E-02x – 1,6471E00	3,62%	0,80
PG = -3,2425E-05x ⁴ + 2,7488E-02x ³ – 6,8235E00x ² + 5,6588E02x – 2,0242E04	2,13%	0,93
Equação milho em consórcio com <i>U. ruziziensis</i>	MAPE	R ²
IC= -2,3007E-09x ⁴ + 2,0066E-06x ³ – 4,9812E-04x ² + 4,0233E-02x – 1,4887E00	5,02%	0,79
PG = -2,0272E-05 x ⁴ + 1,6843E-02x ³ – 4,1538E00x ² + 3,5991E02x – 1,2417E04	3,07%	0,99

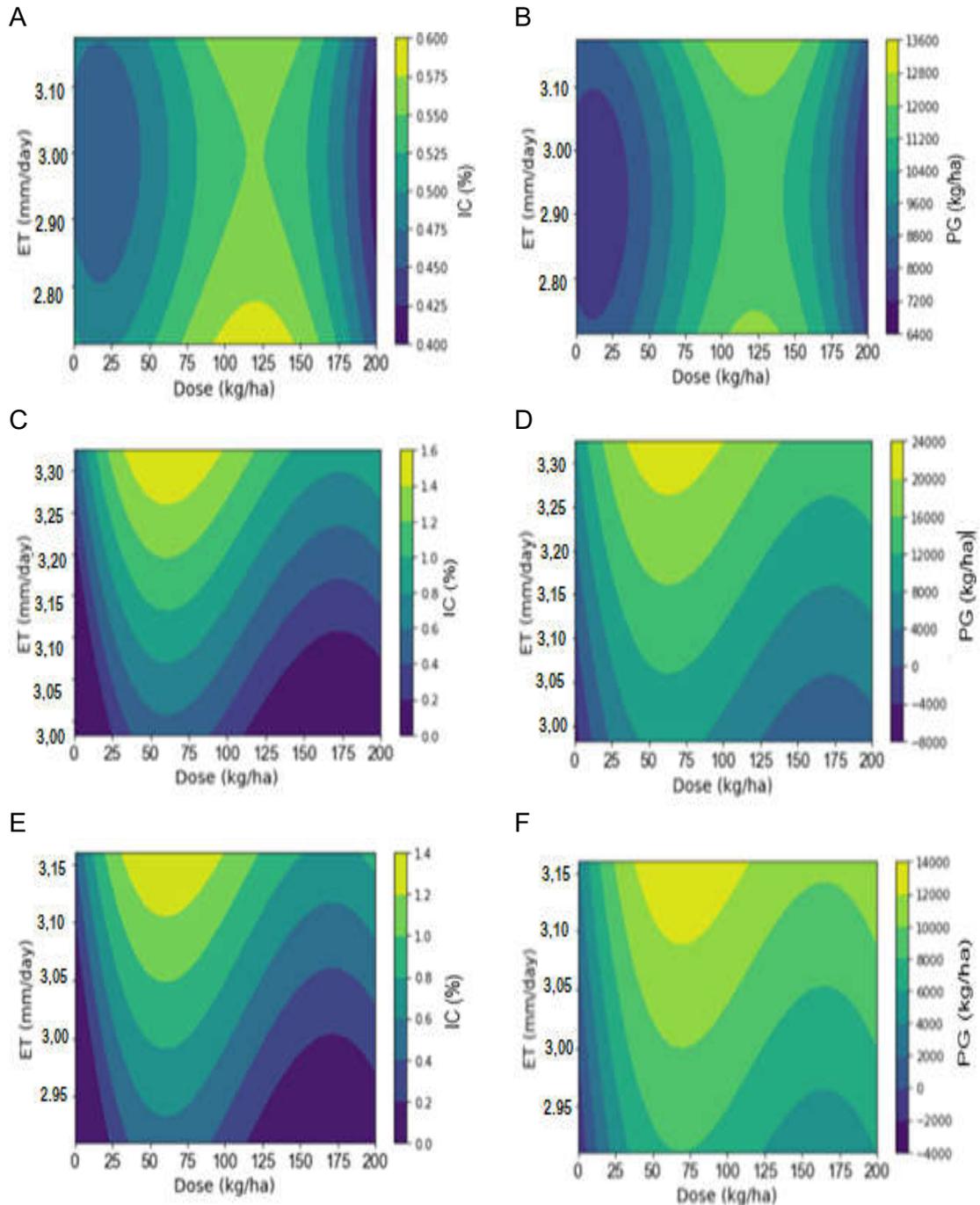


Figura 12 - Relação de doses de nitrogênio (DN) e evapotranspiração real (ETr) com as variáveis IC (A), PG (B), para o sistema de milho exclusivo, IC (C), PG (D) para o sistema de milho consorciado *C. spectabilis* e IC (E), PG (F) para o sistema de milho consorciado com *U. ruziziensis* cultivado na primeira safra no município de Jaboticabal – SP, 2016/2017.

Considerando que a água influencia diretamente na disponibilidade e absorção dos nutrientes, para o cultivo de milho exclusivo e consorciado o fluxo de água solo-planta foi suficiente para a absorção eficiente dos nutrientes avaliados uma vez que estes não apresentaram valores que caracterizam deficiência. Em relação a ETr deve-se considerar que os índices altos dos sistemas consorciados estão relacionados possivelmente a alta taxa de evaporação da água do solo, em decorrência do sistema de cultivo, uma vez que a evapotranspiração é a somatória de evaporação e transpiração (Bergamaschi e Matzenauer, 2014; Pereira et al.,2013).

Mesmo tendo diversas respostas da relação DN e Etr para matéria seca dos sistemas, índice de colheita e produtividade, a dose de aproximadamente 100 kg ha^{-1} de N e ETr acima de $3,0 \text{ mm dia}^{-1}$ propiciam resultados satisfatórios nos sistemas de cultivo do milho consorciado.

É importante ressaltar a relevância desse estudos, uma vez que pesquisas que abrangem o efeito da interação entre sistemas de cultivo, estratégias de adubação nitrogenada e a ETr são escassas e mostram-se necessárias em razão da modificação dos sistemas de cultivos agrícolas atuais.

5. CONCLUSÕES

a) Nos cultivos de segunda e primeira safra a espécie *Urochloa ruziziensis*, mostrou-se mais competitiva em consórcio com o milho, prejudicando a produtividade de grãos em relação as *Crotalárias juncea* e *C. spectabilis*.

b) A produtividade de grãos é superior no cultivo de milho solteiro principalmente quando submetido as doses de 134 e 104 kg ha⁻¹ de N na segunda e primeira safra respectivamente.

c) Para os teores de macronutrientes foliares nos sistemas estudados, os melhores resultados são obtidos em baixa ETr.

d) Nos sistemas consorciados há otimização das variáveis massa seca, índice de colheita e produtividade quando alta a taxa de ETr, sendo estabelecida faixa ideal de ETr entre 2,9-3,3 mm dia¹.

6. REFERÊNCIAS

Assis JP, Dourado Neto D, Nass LL, Manfron PA, Bonnacarrère RAG, Martin TN (2016) Simulação estocástica de atributos do clima e da produtividade potencial de milho utilizando-se distribuição triangular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília** 41:539-543.

Barbosa JC, Maldonado Junior W (2009). **AgroEstat versão 1.0 - Sistema de análises estatísticas de ensaios agronômicos**. Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal, SP.

Barnard H, Findley M, Csavina J (2014) PARduino: A simple and inexpensive device for logging photosynthetically active radiation. **Tree Physiol** 34:640–645.

Bergamaschi H, Dalmago GA, Bergonci JI, Bianchi CAM, Müller AG, Comiram F, Heckler BMM. (2004) Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39: 831-839

Bergamaschi H, Dalmago GA, Comiran F, Bergonci JI, Muller AG, França S, Santos AO, Radin B, Bianchi CAM, Pereira PG. (2006) Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41:243-249.

Bergamaschi H, Matzenauer R. (2014) **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 84 p.

Bowen IS (1926) The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. **Physical Review** 27:779-787.

Camelo HN, Lucio PC, Leal Junior JBV, Carvalho PCMC Paulo (2018) Proposta para Previsão de Velocidade do Vento Através de Modelagem Híbrida Elaborada a Partir dos Modelos ARIMAX e RNA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 33:115-129.

Cantarella H, Raij, BV, Camargo CE. O. Cereais. In: Raij BV, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC. (1997) **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico. p. 43-71.

Carmo CAF de S; Araujo WS de, Bernardi AC de C, Saldanha MFC (200) **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 41p. (Circular Técnica, 6).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira grãos** (2016)182p.

Costa MSSA, Pivetta LA, Costa LA de M, Pivetta LG, Castoldi G, Steiner F (2011) Atributos físicos do solo e produtividade do milho sob sistemas de manejo e adubações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental** 15:810–815.

Costa NR, Andreotti M, Gameiro RA, Pariz CM, Buzetti S, Lopes KSM (2012) Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 47:1038-1047.

Doorenbos J, Kassam A H. (2000) **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33). 306p.

Farinelli R e Lemos LB (2012) Nitrogênio em cobertura na cultura do milho em preparo convencional e plantio direto consolidados. **Pesquisa Agropecuária Tropical**.42:63-70.

Fiorentin CF, Lemos LB, Fornasieri Filho D, Jardim CA (2012) Influência da consorciação com *Brachiaria ruziziensis* e do nitrogênio residual na cultura do milho. **Revista de Ciências Agrárias** 35:184-192.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Production: crops**. 2012.

Fornasieri filho, D. (2007). **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep. p. 576.

Gadioli JL, Dourado-Neto D, García AG, Basanta MdV. (2000) Temperatura do ar, rendimento de grãos de milho e caracterização fenológica associada à soma calórica. **Scientia Agricola**, 57:377-383.

Gitti DC, Arf O, Vilela RG, Portugal JR, Kaneko FH, Rodrigues RAF (2012) Épocas de semeadura de crotalária em consórcio com milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo** 11:156-168.

Gott RM, Aquino LA, Carvalho AMX, Santos LPD, Nunes PHMP, Coelho BS (2014) Índices diagnósticos para interpretação de análise foliar do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental** 18:1110–1115.

IPNI, International Plant Nutrition Institute. 2017. **Consumo aparente de fertilizantes e matérias-primas em 2017.**

Kappes C e Zancanaro L (2015) Sistemas de consórcios de braquiária e de crotalárias com a cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo** 14:219-234,

Kim S and Kim H (2016) A new metric of absolute percentage error for intermittent demand forecasts. **International Journal of Forecasting** 32:669–679.

Kluthcouskl J, Cobucci T, Aidar H, Yokoyama LP, Oliveira IP, Costa JLSC, Silva JG, Vilela L, Barcellos AO, Magnabosco CU (2000) **Sistema Santa Fé-Tecnologia Embrapa:** integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 28p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular técnica, 38).

Kluthcouskl J, Cordeiro LAM, Ceccon G, Oliveira P (2013) Braquiária na Agropecuária Brasileira: uma História de Sucesso. In: CECCON, G. (Ed.). **Consórcio Milho-Braquiária.** Brasília, Embrapa Agropecuária Oeste, p.23.

Kunz JH, Bergonci JI, Bergamaschi H, Dalmago GA, Heckler BMM, Comiran F (2007) Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 42:1511-1520.

Lara Cabezas WAR (2011) Manejo de gramíneas cultivadas em forma exclusiva e consorciada com *Brachiaria ruziziensis* e eficiência do nitrogênio aplicado em cobertura. **Revista Milho e Sorgo** 10:130-145.

Machado LAZ, Cecato U, Jank L, Verzignassi JR, Valle CB. (2013) Identificação e características de forrageiras perenes para consórcio com milho. In: CECCON, G. (Ed.). **Consórcio Milho-Braquiária.** Brasília: Embrapa, p68.

Malavolta E; Vitti GC, Oliveira SA (1997) **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** Piracicaba: Potafós, 2 ed., p. 148-241.

Nogueira CHP, Correia NM (2016) Selectivity of Herbicides Bentazon and Nicosulfuron for *Crotalaria juncea* Intercropped with Maize Culture. **Planta Daninha** 34:747-758.

Oliveira P de, Kluthcouskl J, Favarin JL, Santos D de C (2010) **Sistema Santa Brígida – Tecnologia Embrapa**: Consorciação de Milho com Leguminosas. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 16p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular técnica, 88).

Pariz CM, Andreotti M, Azenha MV, Bergamaschine AF, Mello LMM de, Lima RC (2011) Produtividade de grãos de milho e massa seca de braquiárias em consórcio no sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural** 41:875-882.

Pereira AR, Sedyama GC, Villa Nova NA. (2013) **Evapotranspiração**. Campinas:Fundag. 323 p

Plénet D and Lemaire G. 1989. Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Determination of critical N concentration. **Plant Soil** 216:65–82.

Raij BV, Andrade JC, Cantarella H, & Quaggio JA. (2001) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônômico. 284p.

Rosa JMO, Westerich JN, Wilcken SRS (2013) Reprodução de *Meloidogyne javanica* em olerícolas e em plantas utilizadas na adubação verde. **Tropical Plant Pathology** 38: 133-141.

Silveira PM, Silva JH, Lobo Junior M, Cunha PCR (2011) Atributos do solo e produtividade do milho e do feijoeiro irrigado sob sistema integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 46:1170-1175.

Souza JA; Buzetti S, Teixeira Filho MCM, Andreotti M, SÁ ME, Arf O (2011) Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha irrigado em plantio direto. **Bragantia** 70: 447-454.

Tahiri AZ, Anyoji H, Yasuda H (2006) Fixed and variable light extinction coefficients for estimating plant transpiration and soil evaporation under irrigated maize. **Agricultural Water Management** 84:186-192.

Taiz L e Zeiger E (2013) **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre:Artemed. p. 954.

Wang KH, Sipes BS, Schmitt DP (2002) Crotalaria as a cover crop for nematode management: a review. **Nematropica** 32:35-57.

APÊNDICE

APÊNDICE – Dados climáticos diários da área experimental.

Tabela 1. Valores diários de temperatura máxima e mínima do ar (T máx e T mín - °C), precipitação pluviométrica (P – mm) nos meses de janeiro e fevereiro de 2016, referentes ao ciclo do milho. Fonte: Estação Agroclimatológica Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP - Campus de Jaboticabal, SP

Dia	Janeiro/2016			Fevereiro/2016		
	T máx	T mín	P	T máx	T mín	P
	-----°C -----		mm	-----°C -----		mm
1	30,9	20,6	8,6	33,7	20,3	0,0
2	28,9	21,3	0,4	35,4	20,8	0,0
3	27,3	21,3	0,8	34	21,4	0,0
4	29,4	20,4	0,0	32,9	20,6	10,0
5	30,8	21,1	0,0	33,9	20,9	0,0
6	31,3	20,2	0,0	30,6	20,9	0,0
7	32,1	20,8	0,0	32,4	20,1	34,4
8	31,2	21,8	8,8	30,1	20	0,0
9	27,1	21,6	16,6	32,5	20,2	0,0
10	29,8	21,3	17,9	32,9	20,7	0,0
11	27,1	20,8	57,7	33,1	20,8	12,3
12	23,1	21,2	64,6	31,6	20,1	0,0
13	25,4	21,6	17,6	33,3	19,9	0,0
14	25,1	21	79,2	33,9	21,6	9,0
15	25,1	21,4	116,3	32,3	20,9	24,6
16	28,4	19,6	0,0	29,6	20	0,0
17	29,5	17,7	0,0	32,7	21	24,0
18	28,8	19,1	0,0	30,7	20,5	33,8
19	27,3	20,1	1,9	31,7	19,9	15,8
20	29,9	19	0,0	31,7	21,1	2,5
21	29,8	18,6	0,0	27	20,4	8,6
22	31,3	18	0,0	28,9	20,2	3,7
23	32	18,4	0,0	27,2	20	0,0
24	32,7	19,8	0,0	27	19,9	6,4
25	32,6	18,9	9,0	31,4	19,6	0,0
26	33	19,7	8,1	32,7	19,8	1,5
27	31,3	21,4	5,0	30,7	21,4	9,3
28	30,9	20,2	9,6	30,8	21,2	5,1
29	28	20,3	23,0	28,9	20	5,0
30	31,5	20	0,0	-	-	-
31	32,7	20	0,0	-	-	-
Total	-	-	445,1	-	-	206,0

Tabela 2. Valores diários de temperatura máxima e mínima do ar (T máx e T mín - °C), precipitação pluviométrica (P – mm) nos meses de março e abril de 2016, referentes ao ciclo do milho. Fonte: Estação Agroclimatológica Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP - Campus de Jaboticabal, SP

Dia	Março/2016			Abril/2016		
	T máx -----°C	T mín -----	P mm	T máx -----°C	T mín -----	P mm
1	27,4	19,2	6,4	33,2	20,0	0,0
2	29,6	20,3	5,0	33,3	19,4	0,0
3	29,6	20,4	10,4	34,1	20,3	0,0
4	30,5	20,0	0,0	33,1	20,1	0,0
5	29,8	19,9	3,3	32,3	19,3	0,0
6	30,8	19,2	0,0	33,1	18,4	0,0
7	31,8	19,9	0,0	33,1	18,5	0,0
8	33,6	19,9	22,0	33,2	18,8	0,0
9	32,1	20,5	2,1	34,1	19,5	0,0
10	30,4	20,9	19,1	33,6	19,0	0,0
11	29,9	21,1	0,0	33,2	18,9	0,0
12	29,6	19,6	0,0	32,7	20,0	0,0
13	32,4	19,6	6,5	32,7	20,1	0,0
14	32,3	19,2	13,1	33,2	20,8	0,0
15	29,9	20,1	6,5	32,9	19,3	0,0
16	29,1	19,4	0,0	32,3	18,1	0,0
17	31,5	19,0	0,3	32,5	17,9	0,0
18	32,0	18,5	0,0	32,3	18,5	0,0
19	32,6	20,5	0,0	31,7	17,5	0,0
20	33,1	18,6	0,0	32,4	18,7	0,0
21	33,2	19,4	0,0	32,0	17,8	0,0
22	32,5	20,9	0,0	33,3	18,0	0,0
23	31,9	19,2	7,6	32,5	17,7	0,0
24	27,6	18,7	2,4	32,4	19,1	0,0
25	26,3	20,1	14,0	32,7	17,7	0,0
26	29,0	20,0	9,0	23,9	19,4	8,9
27	30,5	20,2	0,0	19,8	12,1	0,0
28	31,1	20,4	0,2	21,5	9,1	0,0
29	32,3	18,7	0,0	19,4	13,5	0,2
30	31,6	20,4	0,0	23,4	11,4	0,0
31	32,6	20,1	0,0	-	-	-
Total	-	-	127,9	-	-	9,1

Tabela 3. Valores diários de temperatura máxima e mínima do ar (T máx e T mín - °C), precipitação pluviométrica (P – mm) nos meses de maio e junho de 2016, referentes ao ciclo do milho. Fonte: Estação Agroclimatológica Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP - Campus de Jaboticabal, SP

Dia	Maio/2016			Junho/2016		
	T máx	T mín	P	T máx	T mín	P
	-----°C -----		mm	-----°C -----		mm
1	25,2	9,8	0,0	28,0	16,3	31,4
2	28,1	9,3	0,0	24,8	16,3	45,7
3	29,5	11,7	0,0	21,8	16,0	3,5
4	29,3	13,4	0,0	25,9	19,3	0,0
5	29,2	14,1	0,0	28,4	19,0	5,0
6	30,5	13,8	0,0	27,6	19,1	15,2
7	30,3	16,4	0,0	20,7	15,6	6,6
8	30,8	17,5	0,0	20,7	13,8	0,0
9	31,6	17,6	0,0	20,8	10,8	0,0
10	22,5	16,1	0,8	21,7	10,2	0,0
11	26,5	14,8	5,0	21,4	10,7	0,0
12	27,2	17,3	0,0	19,8	7,2	0,0
13	26,5	16,3	0,0	22,3	5,0	0,0
14	28,2	14,8	0,0	25,2	8,0	0,0
15	30,0	15,2	12,6	26,3	13,0	0,0
16	28,3	18,6	14,8	26,4	13,1	0,0
17	25,8	17,6	0,0	27,1	12,1	0,0
18	25,7	15,5	0,0	28,5	11,7	0,0
19	26,3	17,0	0,5	28,7	12,0	0,0
20	29,9	17,1	47,5	28,6	12,7	0,0
21	24,2	17,9	1,8	25,5	11,4	0,0
22	29,7	16,7	0,8	27,2	12,8	2,5
23	20,9	12,1	1,2	26,5	13,9	0,0
24	22,1	9,5	0,0	27,7	14,2	0,0
25	27,6	11,1	0,0	26,9	14,1	0,0
26	28,1	13,5	0,0	25,1	12,4	0,0
27	28,6	15,1	0,0	25,5	11,3	0,0
28	28,1	16,0	0,0	25,2	10,6	0,0
29	18,1	14,1	5,6	26,3	12,2	0,0
30	17,1	12,7	27,6	26,3	14,1	0,0
31	23,7	15,7	5,9	-	-	-
Total	-	-	124,1	-	-	109,9

Tabela 4. Valores diários de temperatura máxima e mínima do ar (T máx e T mín - °C), precipitação pluviométrica (P – mm) nos meses de julho e agosto de 2016, referentes ao ciclo do milho. Fonte: Estação Agroclimatológica Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP - Campus de Jaboticabal, SP

Dia	Julho/2016			Agosto/2016		
	T máx	T mín	P	T máx	T mín	P
	-----°C -----		mm	-----°C -----		mm
1	26,7	15,0	0,0	27,9	14,2	0,0
2	27,4	13,8	0,0	28,8	15,3	0,0
3	27,5	13,5	0,0	28,3	12,9	0,0
4	27,3	14,4	0,0	29,1	13,5	0,0
5	27,9	13,8	0,0	30,5	16,2	0,0
6	27,5	15,2	0,0	31,1	15,2	0,0
7	25,0	11,2	0,0	32,2	13,9	0,0
8	26,2	8,0	0,0	32,7	14,9	0,0
9	29,3	9,4	0,0	30,7	15,1	0,0
10	29,8	13,4	0,0	20,1	12,0	0,2
11	30,6	14,8	0,0	23,5	8,4	0,0
12	30,5	14,2	0,0	25,9	7,8	0,0
13	31,4	14,0	0,0	29,9	8,5	0,0
14	30,1	15,2	0,0	33,0	13,3	0,0
15	30,9	14,1	0,0	32,6	14,9	17,3
16	29,3	13,4	0,0	24,6	16,0	0,0
17	20,5	9,1	0,0	31,4	14,4	0,0
18	24,0	4,7	0,0	33,4	16,1	0,0
19	25,9	7,7	0,0	34,2	15,1	1,4
20	26,7	10,4	0,0	26,0	19,0	32,3
21	26,8	10,7	0,0	21,0	10,7	5,2
22	25,2	11,5	0,0	20,2	9,1	0,0
23	29,0	11,0	0,0	27,5	8,3	0,0
24	29,9	14,7	0,0	29,8	12,3	0,0
25	29,4	15,2	0,0	31,2	14,4	0,0
26	29,5	12,8	0,0	30,2	14,1	0,0
27	30,3	13,9	0,0	31,6	13,3	0,0
28	28,6	14,7	0,0	32,8	15,7	0,0
29	29,4	14,1	0,0	32,7	16,6	0,0
30	28,0	13,2	0,0	28,9	17,3	6,5
31	27,2	13,5	0,0	19,1	15,1	8,9
Total	-	-	0,0	-	-	71,8

Tabela 5. Valores diários de temperatura máxima e mínima do ar (T máx e T mín - °C), precipitação pluviométrica (P – mm) nos meses de setembro e outubro de 2016, referentes ao ciclo do milho. Fonte: Estação Agroclimatológica Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP - Campus de Jaboticabal, SP

Dia	Setembro/2016			Outubro/2016		
	T máx	T mín	P	T máx	T mín	P
	-----°C -----		mm	-----°C -----		mm
1	27,4	14,5	0,0	32,0	14,6	0,0
2	32,4	14,4	4,7	32,2	15,2	0,0
3	29,6	18,5	0,0	32,3	15,5	3,4
4	23,8	17,2	0,3	26,5	16,8	0,0
5	30,4	16,8	1,2	29,9	15,4	0,0
6	24,0	16,8	3,2	26,4	15,2	0,0
7	23,4	15,0	0,0	28,0	10,4	0,0
8	26,5	12,2	0,0	31,0	13,6	0,0
9	29,7	14,0	0,0	33,9	15,1	0,0
10	33,0	15,5	0,0	34,6	16,4	0,0
11	33,1	17,3	0,0	35,0	17,1	19,0
12	33,0	17,7	0,0	33,1	16,9	0,0
13	34,6	18,1	0,0	30,0	18,1	15,4
14	31,4	18,1	0,0	24,0	19,7	6,9
15	29,5	17,0	0,0	32,2	19,7	0,0
16	31,9	13,9	0,0	35,6	19,4	0,0
17	34,9	16,8	0,0	36,6	21,4	0,0
18	36,1	20,7	0,0	36,4	22,6	0,2
19	34,6	17,7	8,4	36,7	22,2	0,0
20	28,9	15,3	0,0	32,8	22,1	0,0
21	26,8	9,0	0,0	32,4	19,5	11,8
22	31,0	11,5	0,0	31,0	19,5	7,3
23	33,6	13,9	0,0	32,3	19,2	0,0
24	31,9	15,8	0,0	33,0	21,7	0,0
25	29,3	14,9	0,0	29,0	20,0	0,0
26	29,4	11,6	0,0	35,0	19,9	0,0
27	30,1	11,9	0,0	29,8	18,3	0,0
28	33,0	13,9	0,0	27,9	15,0	0,0
29	33,6	16,4	0,0	29,8	13,0	0,0
30	33,5	14,0	0,0	32,6	14,9	0,0
31	-	-	-	32,2	17,8	0,0
Total	-	-	17,8	-	-	64,0

Tabela 6. Valores diários de temperatura máxima e mínima do ar (T máx e T mín - °C), precipitação pluviométrica (P – mm) nos meses de novembro e dezembro de 2016, referentes ao ciclo do milho. Fonte: Estação Agroclimatológica Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP - Campus de Jaboticabal, SP

Dia	Novembro/2016			Dezembro/2016		
	T máx	T mín	P	T máx	T mín	P
	-----°C -----		mm	-----°C -----		mm
1	30,0	19,3	0,0	30,6	17,1	0,0
2	33,7	19,6	1,0	32,1	20,3	0,3
3	27,6	19,6	20,6	30,3	20,3	10,6
4	28,7	19,2	0,0	27,4	19,5	25,0
5	31,8	17,6	0,5	31,8	19,8	0,0
6	31,3	16,6	121,9	32,8	19,0	0,0
7	31,0	17,0	0,0	32,6	19,7	2,8
8	32,6	17,1	0,0	32,6	19,9	3,1
9	32,7	20,1	12,8	30,5	20,2	19,1
10	32,8	18,9	0,0	30,2	20,5	3,6
11	33,0	20,0	0,0	29,6	21,3	10,1
12	30,1	19,1	25,8	30,4	20,8	0,0
13	21,1	18,1	43,0	31,5	20,0	9,2
14	24,9	16,8	1,8	30,1	21,2	2,1
15	29,0	16,6	0,0	27,7	17,8	0,5
16	30,9	18,4	0,0	27,1	16,5	0,0
17	31,3	19,0	0,0	31,0	16,8	9,4
18	30,0	16,0	0,0	31,0	18,5	0,2
19	26,7	11,9	0,0	31,2	18,8	4,0
20	29,8	12,0	0,0	30,2	18,4	8,1
21	29,8	16,5	0,0	28,7	18,8	23,7
22	30,5	20,0	0,0	30,7	17,9	1,0
23	28,2	20,0	0,0	32,9	19,6	10,5
24	32,5	19,1	0,0	30,8	19,0	0,0
25	33,2	20,5	0,0	34,0	19,7	1,8
26	33,3	20,8	0,0	33,3	19,6	0,0
27	33,7	20,9	0,0	33,3	20,6	0,0
28	32,4	21,4	1,6	32,4	18,0	39,3
29	32,9	21,5	17,5	32,7	20,7	0,0
30	29,7	18,4	0,0	31,7	18,6	0,0
31	-	-	-	31,7	20,6	0,0
Total	-	-	246,5	-	-	184,4

Tabela 7. Valores diários de temperatura máxima e mínima do ar (T máx e T mín - °C), precipitação pluviométrica (P – mm) nos meses de janeiro e fevereiro de 2017, referentes ao ciclo do milho. Fonte: Estação Agroclimatológica Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP - Campus de Jaboticabal, SP

Dia	Janeiro/2017			Fevereiro/2017		
	T máx	T mín	P	T máx	T mín	P
	-----°C -----		mm	-----°C -----		mm
1	32,9	20,2	0,0	30,5	18,7	42,1
2	31,1	20,8	0,0	30,5	18,9	42,6
3	34,1	20,9	3,8	28,9	19,7	2,0
4	28,3	20,1	0,0	32,5	19,1	0,0
5	28,6	19,8	5,7	31,7	20,4	0,0
6	33,1	21,1	0,0	31,2	19,8	0,1
7	33,4	19,4	0,0	32,9	20,0	0,0
8	33,5	20,9	0,0	32,1	20,1	0,0
9	30,3	20,9	8,4	31,6	19,4	0,0
10	30,1	20,5	0,0	31,7	19,1	0,0
11	28,1	20,9	12,8	31,3	19,7	7,8
12	30,2	19,4	19,4	31,2	20,7	0,0
13	28,0	19,3	0,8	30,9	20,5	0,0
14	30,0	19,5	0,0	31,1	19,4	0,0
15	29,0	19,9	2,7	32,1	18,5	0,0
16	28,2	20,4	0,3	33,3	20,0	0,0
17	27,7	20,8	18,3	31,7	19,8	0,0
18	26,5	18,9	66,4	33,6	19,4	2,4
19	27,1	20,0	7,6	34,4	20,3	0,0
20	28,8	18,8	0,2	33,7	21,0	0,0
21	28,6	19,5	0,8	32,5	20,3	0,0
22	27,6	19,1	0,0	33,1	19,2	0,0
23	28,8	18,8	0,0	32,8	19,4	0,0
24	30,5	20,1	10,0	31,4	19,2	4,3
25	29,6	19,6	28,3	26,0	19,1	0,5
26	25,7	20,2	26,0	28,1	19,9	0,6
27	27,3	19,8	2,7	32,2	18,8	0,0
28	32,4	19,6	0,0	31,2	19,5	4,0
29	31,7	20,5	0,0	-	-	-
30	33,1	20,2	0,0	-	-	-
31	28,8	17,9	15,9	-	-	-
Total	-	-	230,1	-	-	106,4

Tabela 8. Valores diários de temperatura máxima e mínima do ar (T máx e T mín - °C), precipitação pluviométrica (P – mm) nos meses de março e abril de 2017, referentes ao ciclo do milho. Fonte: Estação Agroclimatológica Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP - Campus de Jaboticabal, SP

Dia	Março/2017			Abril/2017		
	T máx	T mín	P	T máx	T mín	P
	-----°C -----		mm	-----°C -----		mm
1	30,3	20,1	0,0	28,9	13,6	0,0
2	31,0	20,1	21,5	29,8	13,5	0,0
3	30,4	20,3	0,3	31,5	15,3	0,0
4	31,7	20,6	15,3	31,6	16,6	0,0
5	30,3	20,5	5,0	32,6	18,4	7,3
6	30,0	20,3	11,1	29,5	20,4	6,3
7	32,4	19,7	2,6	30,1	20,0	79,0
8	33,9	21,1	0,0	31,8	19,8	0,0
9	33,5	20,1	0,0	33,0	19,7	0,0
10	34,3	21,2	0,3	31,5	19,6	0,0
11	33,5	20,8	0,7	32,9	20,6	6,5
12	33,2	20,8	0,0	29,8	19,8	0,2
13	33,6	19,8	0,0	30,4	17,0	0,0
14	33,7	19,8	5,5	31,8	17,5	0,0
15	32,2	19,6	0,0	32,8	18,5	0,0
16	32,2	19,1	0,0	31,0	18,3	0,0
17	33,0	20,2	0,0	26,4	19,8	0,0
18	31,8	18,7	60,0	29,4	17,1	0,0
19	29,0	18,8	0,0	30,0	16,3	0,0
20	29,9	17,7	0,0	30,8	17,8	11,0
21	30,1	15,6	0,0	25,8	18,0	15,4
22	31,3	16,5	0,0	25,0	16,7	0,0
23	30,9	16,8	0,0	27,6	14,7	0,0
24	31,5	18,4	0,0	29,7	15,7	0,0
25	32,2	20,0	0,0	30,4	18,0	0,0
26	33,1	18,6	0,0	28,9	18,0	9,0
27	27,2	19,6	0,0	22,6	17,8	1,0
28	29,5	18,0	0,0	25,6	16,4	0,0
29	28,9	16,3	0,0	28,1	15,5	0,0
30	30,1	15,0	0,0	27,7	15,2	0,0
31	29,6	16,0	0,0	-	-	-
Total	-	-	122,3	-	-	135,7