

TEMPERATURA E UMIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE MILHO CONSORCIADO E EM MONOCULTIVO COM E SEM IRRIGAÇÃO

JOÃO DANILO BARBIERI¹; PAULO SERGIO LOURENÇO DE FREITAS²;
RIVANILDO DALLACORT³; DIEGO FERNANDO DANIEL⁴; ROBERTO
REZENDE² E WILLIAM FENNER³

¹Departamento de Agronomia, UNEMAT, BR - MT-358, Km 7 - Jardim Aeroporto, 78300-000, Tangará da Serra - MT, Brasil. jd.barbieri@hotmail.com

²Programa de Pós-graduação em Agronomia, UEM, Bloco J45 - Av. Colombo, 5790 - 2º Piso - Zona 7, 87020-900, Maringá - PR, Brasil. pslfreitas@uem.br; rrezende@uem.br

³Programa de Pós-graduação em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola, UNEMAT, BR - MT-358, Km 7 - Jardim Aeroporto, 78300-000, Tangará da Serra - MT, Brasil. rivanildo@unemat.br; fennerwilliam@gmail.com

⁴Programa de Pós-graduação em Agronomia, UTFPR, Via do Conhecimento, Km 1, 85503-390, Pato Branco - PR, Brasil. diegodaniel.agro@gmail.com

1 RESUMO

Cultivos consorciados visam à maximização sustentável do uso do solo e água, e têm-se tornado uma alternativa para regiões com períodos chuvosos relativamente curtos e temperaturas elevadas. O objetivo foi verificar a dinâmica e a manutenção da umidade do solo, em função das oscilações da temperatura do solo em sistemas de milho consorciado com e sem irrigação. O delineamento experimental foi composto por doze tratamentos, sendo: milho, braquiária e crotalária em monocultivo, consórcio entre milho e braquiária, consórcio entre milho e crotalária, e sem cobertura do solo, em dois sistemas (seis tratamentos irrigados e seis sem irrigação), com quatro repetições. Avaliou-se a temperatura do solo nas profundidades de 10, 20, 30 e 40 cm e umidade do solo na camada entre 0-30 cm. Foram avaliados os componentes de produção do milho ao final do ciclo. O cultivo do milho em consórcio com a crotalária ou braquiária, proporcionou redução da temperatura média do solo em 17,4 e 17,6%, respectivamente. O consórcio reduziu a amplitude térmica do solo quando comparado com o milho em monocultivo. A umidade do solo apresentou menores valores nas fases de desenvolvimento, intermediária e final para os cultivos de milho consorciado. O cultivo do milho em consórcio irrigado não apresentou diferença significativa na produtividade em relação ao monocultivo.

Palavras-chave: braquiária, consórcio, crotalária, reflectometria no domínio do tempo, *Zea mays* L.

BARBIERI, J. D.; FREITAS, P. S. L. DE; DALLACORT, R.; DANIEL, D. F.;
REZENDE, R.; FENNER, W.

TEMPERATURE AND SOIL MOISTURE IN MAIZE CULTIVATED IN SINGLE AND
INTERCROPPING SYSTEMS WITH AND WITHOUT IRRIGATION

2 ABSTRACT

Intercropping aims at sustainable maximization of soil and water use, and has become an alternative for regions with relatively short rainy periods and high temperatures. The aim was to verify the dynamics and maintenance of soil moisture as a function of soil temperature oscillations in intercropped corn systems with and without irrigation. The experimental design was composed of twelve treatments: corn, brachiaria and crotalaria in monoculture, intercropping between corn and brachiaria, intercropping between corn and crotalaria, and uncovered soil, in two systems (six irrigated treatments and six without irrigation), with four replications. Soil temperature at depths of 10, 20, 30, and 40 cm and soil moisture in the 0–30 cm layer was evaluated. The production components of corn at the end of the cycle were evaluated. Corn intercropped with crotalaria or brachiaria provided a 17.4 and 17.6% reduction in average soil temperature, respectively. Intercropping reduced the temperature range of the soil compared to corn in monocrop. Soil moisture showed lower values at the development, intermediate, and final stages for the intercropped corn crops. Corn under irrigated intercropping showed no significant difference in yield compared with monocropping.

Keywords: brachiaria, intercrop, crotalaria, time domain reflectometry, *Zea mays* L.

3 INTRODUÇÃO

O sistema de cultivo em consórcio está cada vez mais evidente quanto as suas vantagens em relação aos sistemas de monocultivo. Esse sistema pode ser estabelecido com sementeiras simultâneas ou com diferença de alguns dias entre a sementeira das culturas envolvidas (CECCON, 2013; SOUZA et al., 2019). Diversas culturas anuais são usadas para tal finalidade, mas a preferência é pela cultura do milho, destinando a produção para grãos ou silagem (JAKELAITIS et al., 2004).

O sistema de cultivo de milho em consórcio com a cultura da crotalaria proporciona muitas vantagens ao sistema agrícola, tais como: fixação do nitrogênio atmosférico, biomassa rica em P, K e Ca, sistema radicular ramificado e profundo, facilita a ciclagem de nutrientes e promove a descompactação do solo, cultura que inibe a proliferação de fitonematoides, entre outras vantagens (TEODORO et al., 2011; GAZOLA et al., 2013).

O cultivo de milho consorciado com braquiária também proporciona inúmeras vantagens como a melhoria nas propriedades

físicas do solo, redução na infestação de plantas daninhas (PACHECO et al., 2009) e aumentos na produtividade de culturas subsequentes (BARDUCCI et al., 2009).

Um fator importante a ser considerado no cultivo de culturas consorciadas é a competição por recursos, como água, luz e nutrientes, que podem variar de acordo com a época de sementeira, tipos de culturas envolvidas, população de plantas, espaçamento utilizado e local de cultivo (CECCON, 2013).

O milho por ser uma cultura com metabolismo de fixação de carbono (C4), é considerado ótimo para sistemas de consórcio, pois possui acelerado crescimento inicial, porte alto, com alta capacidade de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e boa adaptação para cultivo intercalado com outras culturas (OLIVEIRA et al., 2010). Essas características são desejáveis em um consórcio, visto que, a busca é por sistemas em que as forrageiras ou leguminosas sejam manejadas sem prejudicar a cultura principal.

Carneiro (2014) estudando a temperatura do solo com cobertura vegetal

sobre o mesmo, notou que a umidade do solo se apresentou de suma importância, pois afetou o fluxo de calor no solo, modificando a amplitude da temperatura no perfil do solo em função da evaporação da água do solo.

A umidade do solo sofre interferência por fatores como a vegetação presente, textura do solo, topografia e região de cultivo, sofrendo grande variabilidade no tempo e no espaço (SANTOS; MONTENEGRO; SILVA, 2011). Assim, a utilização de sistemas de consórcio ou de cobertura morta sobre o solo, afetam a dinâmica do solo, apresentando valores de umidade mais elevados em relação a sistemas de monocultivo (GHANBARI et al., 2010).

A temperatura e a umidade do solo estão diretamente relacionadas entre elas, de modo que o aquecimento do solo reduz a umidade, afeta a biota do solo e o crescimento de raízes das plantas (BAO et al., 2016), sendo que estes dois fatores podem ser influenciados pela presença ou ausência de biomassa na superfície do solo (CARNEIRO, 2014). Dessa forma, a cobertura do solo tanto por massa seca ou por área foliar das culturas, proporciona redução da temperatura do solo e, conseqüentemente, menor taxa de evaporação da água do solo.

A evaporação da água do solo é o principal componente do balanço hídrico para áreas com culturas irrigadas ou de sequeiro, especialmente nas fases iniciais de desenvolvimento das culturas. Aliado ao consórcio, o uso da irrigação aumenta o fluxo de calor no sistema solo-atmosfera, reduzindo o aquecimento do solo, principalmente em solos onde não se utiliza o sistema de plantio direto, estes por possuírem alta capacidade calorífica da água em relação aos solos sem cobertura ou que não utilizam irrigação (RIBAS et al., 2015).

Desta forma, compreender os efeitos do consórcio de milho com diferentes culturas sobre a dinâmica da temperatura e da umidade do solo em condições irrigadas e

não irrigadas, é um fator cada vez mais importante no planejamento e no manejo de cultivos consorciados, principalmente quando se utiliza o milho como cultura principal, devido ao seu enorme impacto na economia e na agricultura brasileira. Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar a influência de sistemas de milho consorciado sobre a dinâmica e a manutenção da umidade do solo, em função das oscilações da temperatura do solo em ambiente irrigado e não irrigado.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado no campo experimental do Centro Tecnológico de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto (CETEGEO-SR) na Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, no município de Tangará da Serra - MT. Próximo à área experimental encontra-se uma estação meteorológica automática com equipamentos da Campbell Scientific Inc., instalada nas coordenadas geográficas latitude 14° 65' 00" S, longitude 57° 43' 15" O e altitude de 440 metros, da qual foram obtidos os dados meteorológicos utilizados para estimar a evapotranspiração de referência - ETo, calculados pelo método Penman-Monteith - FAO 56 (ALLEN et al., 1998; ALLEN et al., 2006). A ETo foi utilizada para determinar quando e quanto irrigar obedecendo os valores de Kc da cultura para cada fase de crescimento (ALLEN et al., 1998).

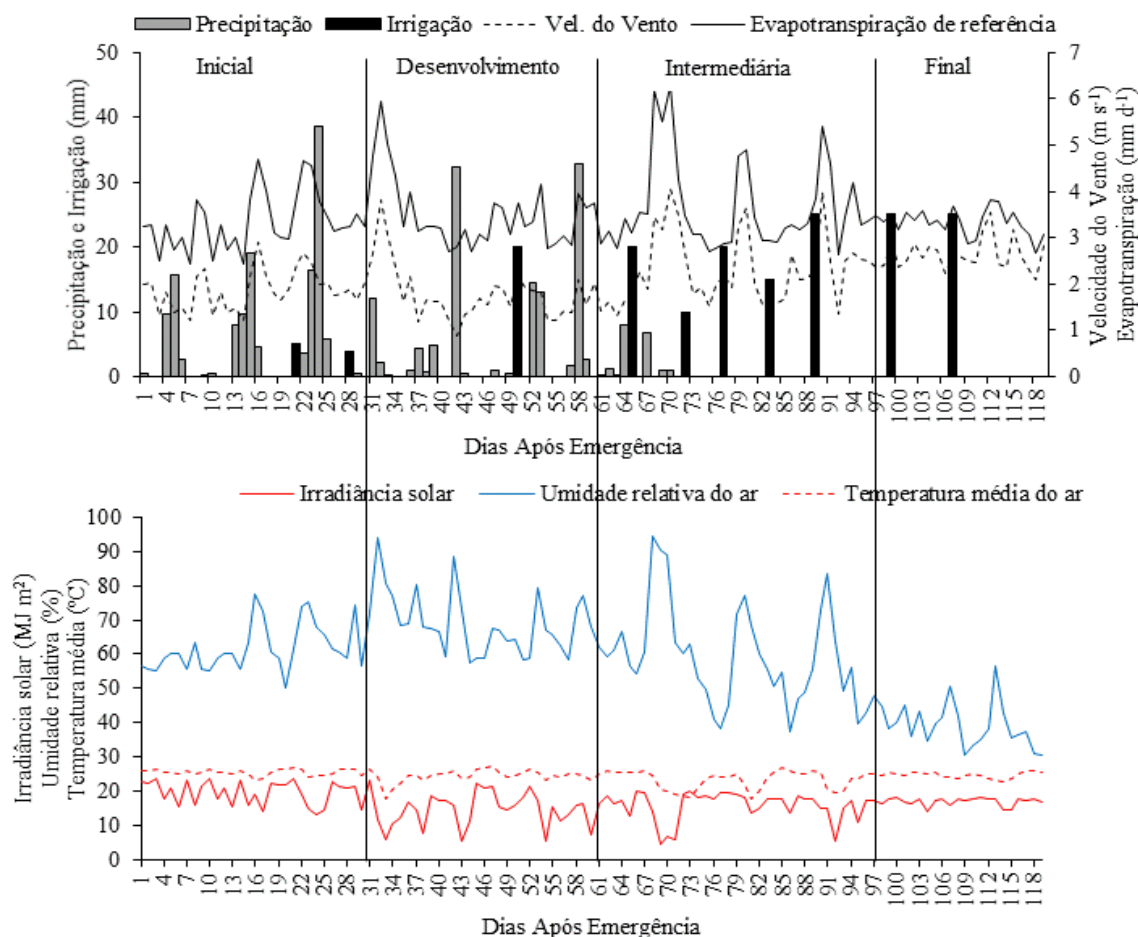
De acordo com Köppen, o clima da região é classificado como tropical úmido megatérmico (Aw), onde se apresentam elevadas temperaturas, com uma estação seca, que compreende os meses de maio a setembro, e uma chuvosa que vai de outubro a abril, apresentando pluviosidade média anual de 1.830 mm e temperatura média do ar de 24.7°C (DALLACORT et al., 2011; DANIEL et al., 2021). O solo é classificado

como Latossolo Vermelho distroférrico com textura argilosa (SANTOS et al., 2018).

Os dados diários de precipitação, irrigação, temperatura média, irradiância solar e umidade relativa do ar, da semeadura até a colheita, estão apresentados na Figura 1. A precipitação e a irrigação aplicada corresponderam a 286 e 170 mm, respectivamente, totalizando um volume de 356 mm durante o período de cultivo. Há uma relação inversamente proporcional

entre a umidade do ar e a radiação, sendo que, o aumento da irradiância solar tende a diminuir a umidade, já a temperatura do ar diminui em dias que a irradiância solar é baixa. No dia 06/03/2019 ocorreu a emergência das plantas. Neste período ainda ocorreu constantes precipitações, atendendo as necessidades hídricas da cultura na fase inicial e desenvolvimento, já aos 70 DAE iniciou-se o período de estiagem.

Figura 1. Dados de precipitação, irrigação, temperatura média do ar, irradiância solar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e evapotranspiração de referência durante o experimento.



Fonte: Os autores (2022).

A semeadura do milho (*Zea mays* L.) foi realizada após a colheita da soja para representar a segunda safra no estado de Mato Grosso, ocorrendo no dia 28 fevereiro de 2019, realizada pelo método de semeadura direta com uma semeadora

modelo Baldan PP-SOLO-4500. Foi utilizado o híbrido de milho Agrisure Viptera3 Syngenta SX7341, de ciclo médio de 105 dias, com 3 plantas por metro, espaçadas por 0,50 m entre linhas, totalizando 60.000 plantas por hectare. As

culturas de consórcio foram a crotalária (*Crotalaria spectabilis* Roth.) e a braquiária dictyoneura (*Brachiaria humidicola* cv. Llanero), semeadas concomitantemente a semeadura do milho, com regulagem para 30 sementes por metro. O espaçamento utilizado para o consórcio foi o mesmo de 0,50 m, porém, intercalando as linhas de milho e cultura secundária (crotalária ou braquiária).

A adubação foi realizada de acordo com análise do solo (Tabela 1), conforme as recomendações de Sousa e Lobato (2004). Para a soja cultivada em área total anteriormente a este experimento (primeira safra no Mato Grosso), realizou-se a correção do solo, com 1,49 t ha⁻¹ de calcário

dolomítico. A adubação de base para a soja constituiu-se de 400 kg ha⁻¹ de fertilizante mineral NPK, fórmula 5-25-15, aplicados na linha da semeadura. Para a semeadura deste experimento (milho segunda safra) não foi realizado a calagem, porém, foram adicionados 250 kg ha⁻¹ de fertilizante mineral NPK, fórmula 5-25-15, aplicados na linha da semeadura, tanto na área irrigada quanto na área não irrigada. As culturas da crotalária e da braquiária foram conduzidas sem adubação. Os tratos culturais foram realizados de acordo com as recomendações para as culturas (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004; CARVALHO; AMABILE, 2006; OLIVEIRA et al., 2010).

Tabela 1. Análise química e física do solo na camada 0-20 cm da área experimental da UNEMAT em Tangará da Serra-MT.

Características químicas											
Amostra	pH H ₂ O	P -- mg dm ⁻³	K --	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	M.O.
				----- cmol _c dm ⁻³ -----						%	g dm ⁻³
Área irrigada	6,4	2,8	27,2	3,3	1,7	0,0	2,9	5,1	8,0	63,7	28,1
Área não irrigada	5,5	1,8	37,4	1,5	1,0	0,1	5,2	2,6	7,8	33,1	28,7

Física				Micronutrientes				
Amostra	Areia	Silte	Argila	Zn	Cu	Fe	Mn	B
	----- g kg ⁻¹ -----			----- mg dm ⁻³ -----				
Área irrigada	337,8	88,4	573,8	1,4	1,9	71,4	64,1	0,5
Área não irrigada	384,0	72,4	543,6	1,1	2,0	70,7	64,1	0,3

SB: (Soma de bases) = Ca + Mg + K; CTC = Capacidade de Troca Catiônica Total; V: Saturação de bases; M.O.: Matéria Orgânica. **Fonte:** Os autores (2022).

O delineamento experimental adotado foi o fatorial duplo (Ambientes x Tratamentos), em esquema de faixas composto por duas faixas, uma irrigada e outra sem irrigação, com doze tratamentos, sendo: Milho em monocultivo; Braquiária em monocultivo; Crotalária em monocultivo; Consórcio entre milho e braquiária (Milho x Braquiária); Consórcio entre milho e crotalária (Milho x Crotalária); e Sem cobertura do solo (Sem cultura), em dois sistemas de irrigação (seis tratamentos irrigados e seis sem irrigação), com quatro repetições cada tratamento (Figuras 2 e 3). Cada parcela experimental possuía a área de

20 m² (4 x 5 metros), compreendidas por 10 linhas de 4 metros de comprimento, sendo destas utilizadas as 6 linhas centrais como área útil para cada repetição (Figura 3).

Em relação ao monitoramento e a comparação dos valores de temperatura e umidade do solo, o delineamento experimental adotado foi o fatorial triplo (Ambientes x Tratamentos x Fases). Os ambientes e os tratamentos são os mesmos supracitados e as fases de desenvolvimento do milho foram determinadas para melhor entendimento das variações da temperatura e da umidade do solo durante o período do experimento, dividindo o ciclo da cultura em

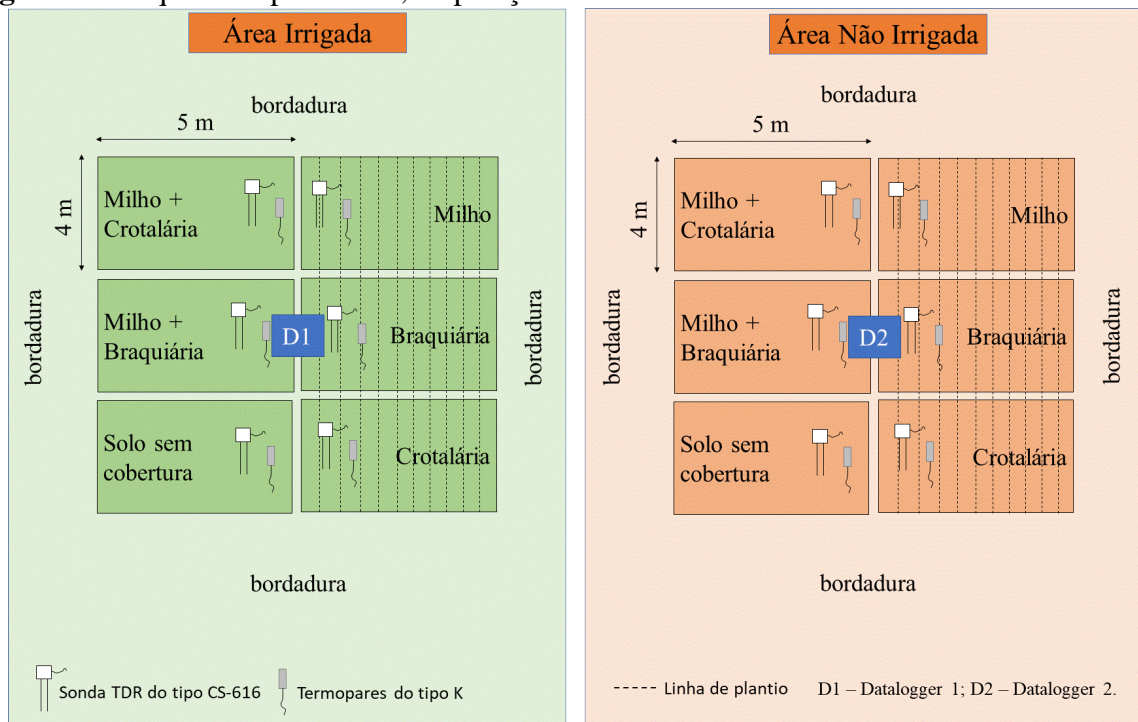
quatro fases: Inicial (I): do plantio até 10% de cobertura do solo (semeadura até V3); Desenvolvimento (II): final da fase inicial até início do pendoamento (V4 até V14); Intermediária (III): início do pendoamento

até o início da maturação dos grãos (VT até R5); Final (IV): do início da maturação até a colheita (R6 até colheita), conforme metodologia descrita por Ritchie, Hanway e Benson (1993) e Allen et al. (2006).

Figura 2. Disposição dos tratamentos e dos ambientes de irrigação no experimento.



Fonte: Os autores (2022).

Figura 3. Croqui do experimento, disposição dos tratamentos e dos sensores utilizados.

Fonte: Os autores (2022).

Para o ambiente com irrigação foram necessários os dados da E_{To} obtidos pela estação meteorológica, calculando dessa forma a evapotranspiração da cultura (E_{Tc}) que foi determinada multiplicando a E_{To} pelo coeficiente da cultura (K_c) e dividido pela eficiência do sistema de irrigação, para a determinação da disponibilidade total de água no solo, lâmina líquida de irrigação e lâmina bruta de irrigação. Foi utilizado os seguintes valores de capacidade de campo = $0,361 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e ponto murcha permanente = $0,232 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (DANIEL, 2011). Para calcular a quantidade irrigada foram utilizadas as Equações 1, 2, 3, 4 e 5.

$$E_{Tc} = E_{To} * K_c \quad (1)$$

$$DTA = \frac{CC - PMP * D_s}{10} \quad (2)$$

$$DRA = DTA * \text{Fator}_{\text{disp.}} \quad (3)$$

$$LLI = DRA * Z_{\text{rad.}} \quad (4)$$

$$LBI = LLI * E_f \quad (5)$$

Em que: E_{Tc} é evapotranspiração da cultura (mm); E_{To} é evapotranspiração de referência (mm); K_c é o coeficiente da cultura; DTA é disponibilidade total de água no solo (mm cm^{-1}); CC é capacidade de campo (%); PMP é ponto de murcha permanente (%); D_s é densidade aparente do solo (g cm^{-3}); DRA é disponibilidade real de água no solo (mm); $\text{Fator}_{\text{disp.}}$ é fator de disponibilidade de água no solo (50); $Z_{\text{rad.}}$ é a profundidade efetiva do sistema radicular na fase (cm); LLI é lâmina líquida de irrigação; LBI é lâmina bruta de irrigação; e E_f é eficiência do sistema (decimal).

A irrigação foi realizada por um sistema de aspersão composto por 6 aspersores (Eco232 Frabrimar, Brasil) com bocais de $4,0 \times 2,8 \text{ mm}$ espaçados em 12×12 metros, com coeficiente de uniformidade de distribuição de 83% e eficiência do sistema de 80% sob pressão de 30 mca, proporcionando uma lâmina de água aplicada de $9,80 \text{ mm h}^{-1}$.

Os sensores utilizados para medir a temperatura do solo foram os termopares do

tipo K, constituídos pela junção do termopar composto pelas ligas do cromo e alumínio (Chromel⁺ e Alumel) nas pontas, estas foram protegidas por cápsulas de alumínio e devidamente lacradas com resina e fita de autofusão (Fita de Autofusão 3M™ Scotch™ 23, Brasil) para evitar a corrosão das pontas dos termopares (WERNECK, 1996; THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005). Na área central de cada tratamento, foram instalados 4 sensores na horizontal, nas profundidades de 10, 20, 30 e 40 cm. Os valores de temperatura do solo foram expressos em °C.

Para monitorar a umidade do solo, foram utilizadas sondas de reflectometria no domínio do tempo (TDR) do tipo CS-616 (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2004), instaladas na profundidade de 20 cm, também na horizontal no centro de cada tratamento. As sondas TDR foram previamente calibradas e aferidas em laboratório e os valores de umidade do solo obtidos foram ajustados pela equação proposta por Vasconcelos et al. (2018). Os dados de umidade do solo foram expressos em umidade volumétrica ($m^3 m^{-3}$). Tanto os sensores de temperatura como os de umidade, foram conectados a uma placa multiplexadora, conectados a dois *Dataloggers* (CR1000, Campbell Scientific Inc., EUA), um em cada sistema (irrigado e não irrigado), programados para armazenar os dados coletados em intervalos de 30 segundos.

O índice de área foliar (IAF) para a cultura do milho foi calculado de acordo com o procedimento descrito por Mckee (1964), em que foram coletadas 4 plantas de cada tratamento em cada ambiente de

irrigação nos estádios V6, V9, V12, VT, R1 e R5. A área das folhas foi estimada pela soma do comprimento de todas as folhas multiplicado pela largura máxima, e multiplicado pelo fator de conversão (0,75). Para a obtenção do IAF soma-se a área das folhas (m^2) e divide pela superfície de solo disponível para cada planta (m^2).

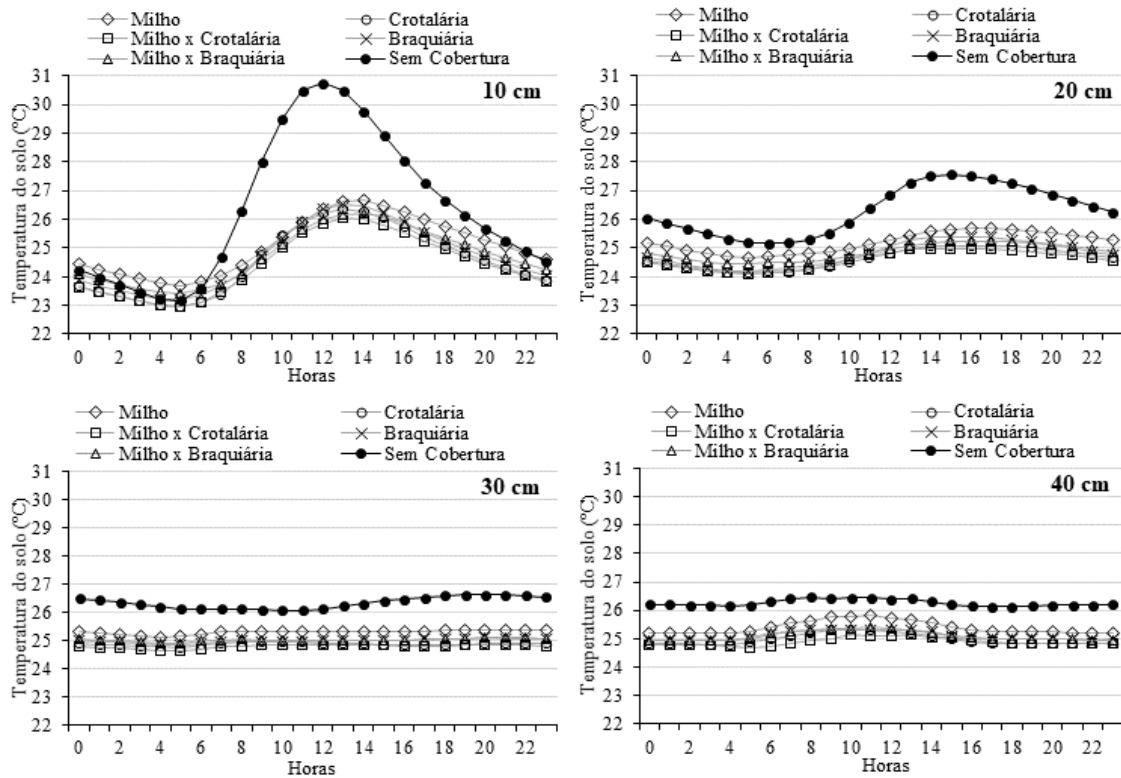
A colheita do milho foi realizada no dia 01/07/2019, completando o ciclo com 124 dias após a semeadura (DAS) e 120 dias após a emergência (DAE). Foram avaliados na cultura do milho: altura de planta, diâmetro do colmo, acúmulo de massa seca da planta, altura de inserção da espiga, diâmetro e comprimento da espiga, número de fileiras e de grãos por fileiras, peso de 1000 grãos, massa dos grãos e produtividade.

Os dados dos componentes de produção do milho, bem como os valores de temperatura e umidade do solo, foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F, e ao apresentarem significância a 5% de probabilidade, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Para análise dos dados foi utilizado o programa estatístico SISVAR versão 5.8 (FERREIRA, 2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

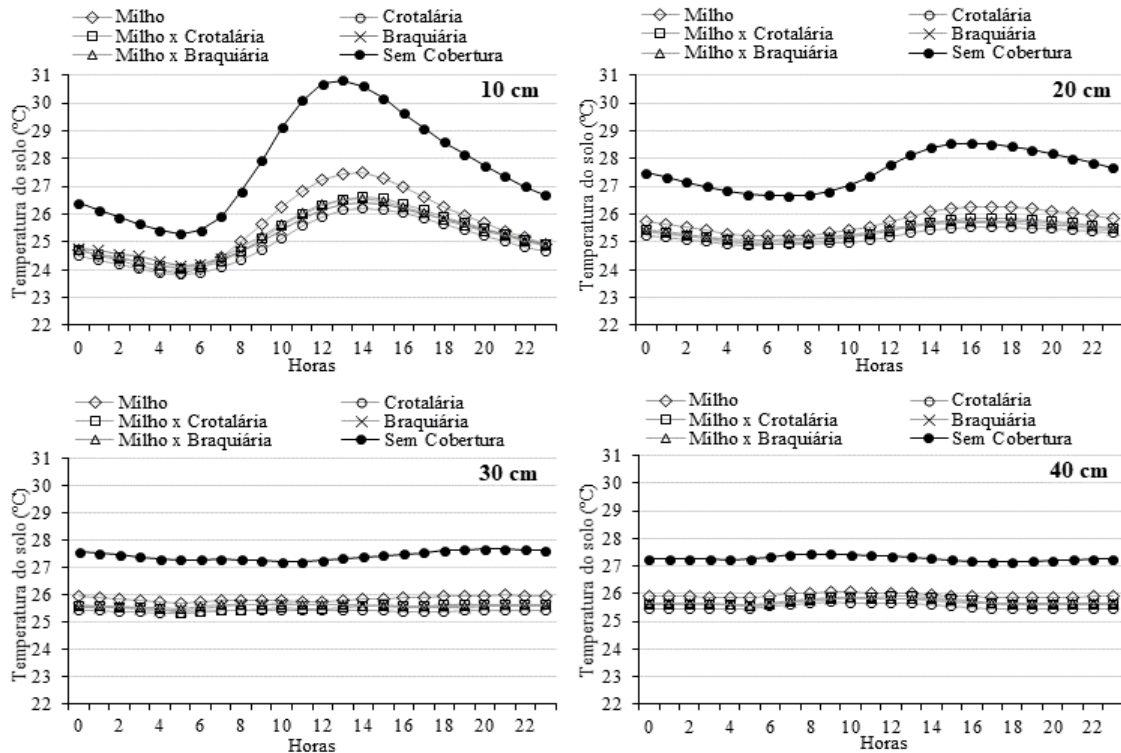
A maior temperatura média do solo foi observada às 12:00 horas para o tratamento sem cobertura de solo “solo exposto e sem cultura”, com média de 30,8 e 30,7°C para o ambiente não irrigado e irrigado, respectivamente (Figuras 4 e 5).

Figura 4. Variação horária da temperatura média do solo em diferentes profundidades (10, 20, 30 e 40 cm) para cada tratamento em ambiente irrigado.



Fonte: Os autores (2022).

Figura 5. Variação horária da temperatura média do solo em diferentes profundidades (10, 20, 30 e 40 cm) para cada tratamento em ambiente não irrigado.



Fonte: Os autores (2022).

Para os tratamentos cultivados tanto em monocultivo como em consórcio, o horário que ocorreram as maiores temperaturas foram das 13:00 às 15:00 horas na profundidade de 10 cm, tanto para o ambiente irrigado, quanto para o não irrigado. Estes são horários que também apresentaram maiores temperaturas do solo em experimentos conduzidos por Trevisan (2019), trabalhando com culturas consorciadas no estado de São Paulo, para a cultura o milho em monocultivo e em consórcio com a *Crotalaria spectabilis*.

O tratamento sem cobertura de solo apresentou maior amplitude de temperatura do solo, devido não proporcionar cobertura vegetal e proteção contra a irradiância solar. Para os tratamentos com consórcio, a amplitude foi menor devido a maior cobertura do solo pelas plantas. Gasparim et al. (2005), em experimentos no estado do Paraná, com os mesmos tipos de sensores, observaram que a cobertura com massa seca reduz a amplitude da temperatura no perfil do solo, em relação ao solo nu e quanto maior a densidade da cobertura sobre o solo, menor é a temperatura no perfil do solo.

Observamos na profundidade de 20 cm que as maiores temperaturas ocorreram entre as 14:00 e 16:00 horas, e apresentaram amplitude térmica do solo reduzida, conforme já esperado e também observado por Gasparim et al. (2005), utilizando os mesmos tipos de sensores, porém em tratamentos com quantidades de palhada como cobertura do solo. Kojima et al. (2018), constataram que ocorre um aumento na condutividade térmica do solo, conforme

os valores de umidade do solo aumentavam, bem como maior era o contato entre as partículas do solo e o fluxo de massa. Esses fenômenos ocorrem de forma lenta, transferindo calor gradativamente e resultando em atraso no aquecimento do solo em camadas mais profundas. Neste experimento, podemos observar o atraso no aquecimento do solo em profundidades maiores a 20 cm, colaborando com os resultados obtidos pelos autores.

As médias de temperaturas horárias do solo para o ambiente irrigado foram menores que para o ambiente não irrigado, isso devido as irrigações terem sido realizadas nos horários das 17:00 às 18:00 horas, horário em que as temperaturas do solo se encontram em altos valores. Apesar das poucas irrigações realizadas, houve uma redução de 0,73°C comparadas ao ambiente sem irrigação. Em termos de qualidade do solo, um estudo de Crusciol et al. (2010) mostrou que o cultivo de Braquiária em consórcio com o milho, proporcionou maior aeração do solo, menores valores de resistência mecânica do solo à penetração, temperatura mais baixa na superfície do solo e maior disponibilidade de água para as plantas. Todas essas mudanças são favoráveis ao crescimento das plantas.

A temperatura do solo apresentou significância entre o ambiente e tratamento apenas para a profundidade de 10 cm (Tabela 2). Para as demais profundidades e para a umidade do solo, houve somente significância isolada para as fontes de variação.

Tabela 2. Temperatura média do solo aos 10 cm de profundidade em sistemas irrigado e não irrigado em função dos tratamentos para cada estágio da cultura do milho.

Fatores	Temperatura do solo - 10 cm (°C)				
	Fases				
Ambiente (AM)	I	II	III	IV	QM
Irrigado	27,98bA	26,31bB	23,98bC	23,33bD	110,42**
Não irrigado	28,29aA	26,71aB	25,06aC	25,21aC	54,97**
QM	1,17*	1,95**	14,09**	42,35**	--
Tratamento (TR)	Fases				
	I	II	III	IV	QM
Milho	28,19aA	26,29bB	23,96bC	24,15cC	31,87**
Crotalária	27,87aA	25,56cB	23,75bC	22,86dD	39,02**
Braquiária	28,11aA	27,42aB	26,08aC	25,25bD	13,24**
Milho x Crotalária	28,13aA	25,91cB	23,55bC	23,29dC	41,24**
Milho x Braquiária	28,07aA	26,22bB	23,72bC	23,22dC	40,91**
Sem Cobertura	28,48aA	27,67aB	26,06aD	26,85aC	8,72**
QM	0,32 ^{ns}	5,73**	11,68**	18,69**	--
AM x TR	Irrigado	Não irrigado		QM	
Milho	25,52bA	25,78bA		0,55 ^{ns}	
Crotalária	24,92cA	25,10cA		0,25 ^{ns}	
Braquiária	25,17bcB	28,26aA		76,49**	
Milho x Crotalária	24,97cB	25,47bcA		1,99**	
Milho x Braquiária	25,18bcA	25,44bcA		0,53 ^{ns}	
Sem Cobertura	26,65aB	27,88aA		12,01**	
QM	6,73**	30,38**		--	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. ^{ns} = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. QM = Quadrado Médio. Fases: Inicial (I): do plantio até 10% de cobertura do solo (semeadura até V3); Desenvolvimento (II): final da fase inicial até início do pendoamento (V4 até V14); Intermediária (III): início do pendoamento até o início da maturação dos grãos (VT até R5); Final (IV): do início da maturação até a colheita (R6 até colheita). **Fonte:** Os autores (2022).

Analisando estatisticamente quanto aos ambientes em função dos estádios da cultura, notou-se que as temperaturas foram maiores na fase inicial e desenvolvimento da cultura, certamente pelo baixo índice de área foliar e pelo baixo índice de evapotranspiração, que promove a circulação de água entre solo e atmosfera, proporcionando um microclima com menores temperaturas nas horas mais quentes do dia. Com relação ao ambiente irrigado, as temperaturas foram menores em todos os estádios da cultura, devido as irrigações terem sido realizadas em horários das 17:00 às 18:00 horas, proporcionando a redução da temperatura do solo.

Na fase inicial, a temperatura entre os tratamentos não apresentou diferenças estatísticas e foram os maiores valores observados para todos os tratamentos. Os maiores valores de temperatura do solo foram obtidos para o tratamento sem cultura, em todas as fases. Entre os tratamentos com cobertura vegetal, o tratamento com braquiária apresentou os maiores valores de temperatura, sendo que nas fases de desenvolvimento e intermediária os valores foram semelhantes ao tratamento sem cultura. Na comparação entre o ambiente e tratamento, observamos que o tratamento com braquiária para o ambiente não irrigado, não diferiu estatisticamente apenas do tratamento sem cultura, apresentando

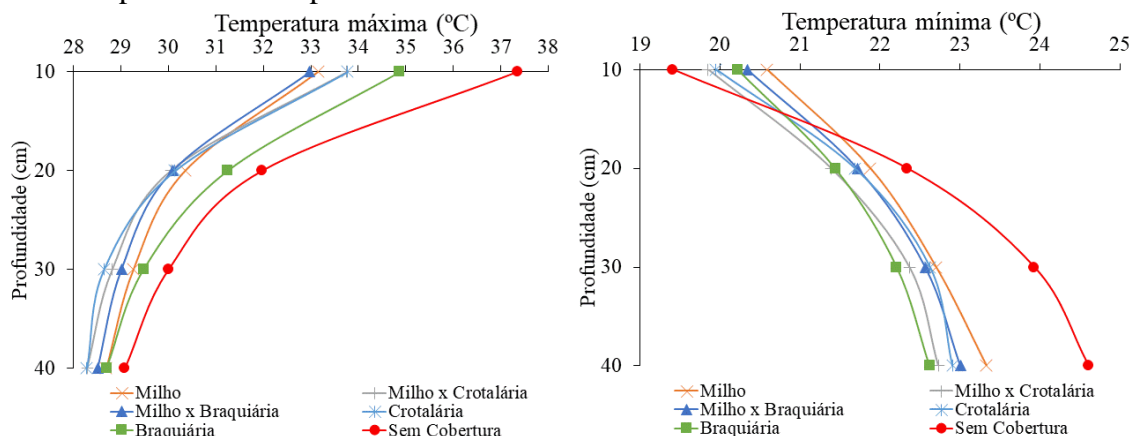
valores de 28,3 e 27,9°C, respectivamente, para braquiária e sem cultura.

A temperatura do solo tem influência sobre a absorção de nutrientes. A cultura do milho aproveita o nitrogênio (N) na forma nítrica e amoniacal. Quando o milho é exposto a temperaturas extremas de solo, essa absorção de N pode ficar prejudicada, principalmente nas fases de maiores exigências deste nutriente (fase vegetativa - V4 e V8), acarretando em perdas de produtividade da cultura. A absorção de N ocorre devido a genes que estão presentes nas raízes e folhas do milho e são ativados durante estes estágios, sendo responsáveis pela regulação estomática, estímulo do movimento de água nas raízes, formação de cadeias carbônicas para a assimilação de N e absorção e transporte de fósforo

(SAKAKIBARA; TAKEI; HIROSE, 2006). Desta forma, o consórcio pode ser um aliado na manutenção e regulação da temperatura do solo, evitando valores extremos que possam prejudicar a absorção de nutrientes.

Apesar da tendência similar entre os sistemas (Figura 6), observou-se uma maior amplitude térmica no sistema sem cultura, apresentando os maiores valores médios de temperatura máxima, quando comparando com os outros sistemas, seja ele em consórcio ou monocultivo. Para a temperatura mínima do solo em ambiente sem cobertura (sem cultura) na profundidade de 10 cm, a variação da temperatura do ar é transmitida ao solo, ocasionando quedas de temperatura do solo como observado em relação aos outros tratamentos.

Figura 6. Valores médios das temperaturas máximas e mínimas do solo em diferentes profundidades para os tratamentos avaliados.



Fonte: Os autores (2022).

A dinâmica da temperatura do solo é influenciada por diversos fatores, um deles é a profundidade do solo (OLIVEIRA et al., 2005). A principal fonte de energia para o solo é a irradiação solar, aquecendo o solo por condução de calor da superfície para o interior do perfil do solo, onde ocorre um retardamento na difusão da energia térmica em maiores profundidades do solo (GASPARIM et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2005). Comportamento este, que pode ser comprovado devido ao solo atingir sua máxima temperatura diária somente após o

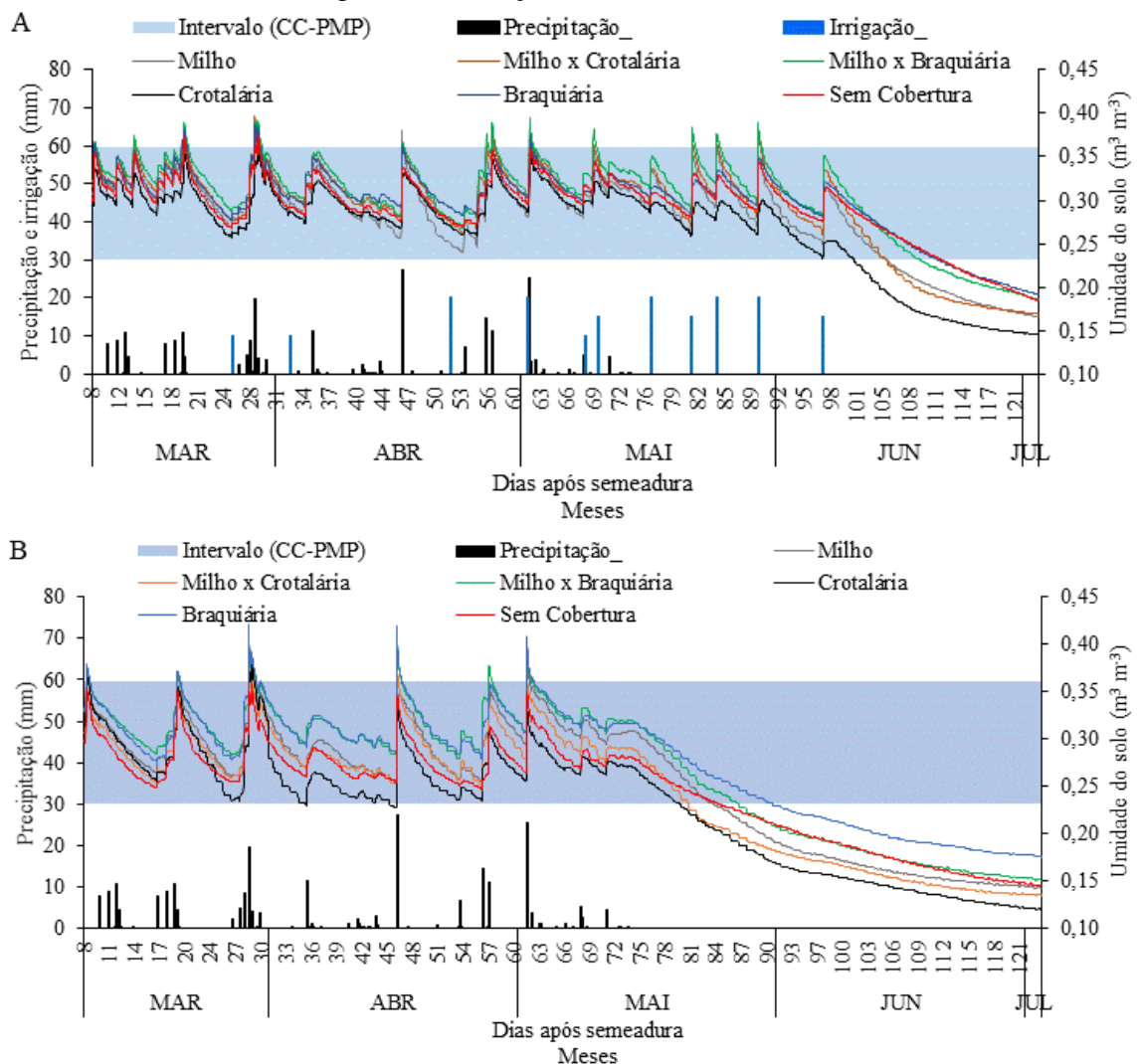
ar atingir sua temperatura máxima. Em maiores profundidades no perfil do solo, o intervalo da variação das temperaturas do solo é mais longo e as oscilações são menores.

Estão apresentados na Figura 7, os valores de umidade do solo para cada tratamento nos ambientes irrigado (7A) e não irrigado (7B). Notou-se que para o ambiente não irrigado com o tratamento referente ao monocultivo da crotalária, a umidade do solo atingiu valores correspondentes a umidade no ponto de

murcha permanente aos 27, 35, 43 e 45 DAS, a partir de 80 DAS todos os tratamentos apresentaram umidade do solo próximo ao ponto de murcha permanente, período em que a cultura do milho se encontrava no fim da fase intermediária. Para o ambiente irrigado, não houve ocorrência de dias em que a umidade do solo atingisse o ponto de

murcha permanente. A partir dos 100 DAS (fase final da cultura do milho) todos os tratamentos atingiram ponto de murcha permanente, inclusive no ambiente irrigado, já que a irrigação foi interrompida a partir do momento que o milho atingiu a maturidade fisiológica.

Figura 7. Umidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nos ambientes avaliados (A – ambiente irrigado; B – ambiente não irrigado), em função dos tratamentos durante o ciclo do milho.



Fonte: Os autores (2022).

A umidade do solo variou de acordo com as culturas em consórcio, pois ao fim do ciclo do milho aos 120 DAS, as culturas da crotalária e braquiária ainda estavam em pleno desenvolvimento, devido ao ciclo mais longo que o milho, apresentando

folhas, flores e frutos, ou seja, estas culturas estavam com alta taxa de evapotranspiração, como observado por Souza, Lima e Carvalho (2012). Estes mesmos autores observaram que o cultivo consorciado apresentou valores superiores de evapotranspiração, em função

do desenvolvimento simultâneo da mucunacina e da cultura do milho, com consequente aumento da área foliar total responsável pela transpiração de ambas.

Analisando a umidade do solo entre os ambientes, observou-se diferenças estatísticas em todos os estádios da cultura. Notou-se que em todos os estádios da

cultura, o tratamento com braquiária em monocultivo apresentou maiores valores de umidade comparados aos demais, porém as fases da cultura apresentaram diferenças significativas devido ao regime pluviométrico que ocorreu até os 63 DAS (Tabela 3).

Tabela 3. Umidade do solo na profundidade média de 0 a 30 cm, para os sistemas irrigado e não irrigado em função dos tratamentos avaliados para cada estágio da cultura do milho.

Fatores	Umidade do solo (Prof. 0-30 cm) (m ³ m ⁻³)				
	Fases				
Ambiente (AM)	I	II	III	IV	QM
Irrigado	0,319aA	0,303aC	0,309aB	0,210aD	0,061**
Não irrigado	0,297bA	0,288bB	0,251bC	0,158bD	0,098**
QM	0,006**	0,003**	0,040**	0,033**	--
Tratamento (TR)	Fases				
	I	II	III	IV	QM
Milho	0,312bA	0,291bB	0,278bC	0,177cD	0,027**
Crotalária	0,280dA	0,274cA	0,255cB	0,153dC	0,028**
Braquiária	0,321abA	0,312aA	0,296aB	0,210aC	0,020**
Milho x Crotalária	0,310bcA	0,297bB	0,277bC	0,172cD	0,031**
Milho x Braquiária	0,327aA	0,314aB	0,297aC	0,195bD	0,029**
Sem Cobertura	0,300cA	0,286bB	0,278bB	0,197bC	0,017**
QM	0,002**	0,002**	0,002**	0,003**	--
AM x TR	Irrigado		Não irrigado		QM
Milho	0,279dA		0,250cB		0,004**
Crotalária	0,263eA		0,218eB		0,016**
Braquiária	0,295abA		0,274aB		0,004**
Milho x Crotalária	0,287cA		0,241dB		0,017**
Milho x Braquiária	0,300aA		0,266bB		0,009**
Sem Cobertura	0,289bcA		0,242dB		0,017**
QM	0,003**		0,006**		--

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. ^{ns} = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. QM = Quadrado Médio. Fases: Inicial (I): do plantio até 10% de cobertura do solo (semeadura até V3); Desenvolvimento (II): final da fase inicial até início do pendoamento (V4 até V14); Intermediária (III): início do pendoamento até o início da maturação dos grãos (VT até R5); Final (IV): do início da maturação até a colheita (R6 até colheita). **Fonte:** Os autores (2022).

Analisando a influência dos ambientes nos tratamentos, notamos que para o ambiente irrigado, os maiores valores de umidade estão nos tratamentos de Milho x Braquiária e Braquiária, já para o ambiente não irrigado o maior valor está somente para o tratamento com Braquiária. A cultura da

crotalária apresenta rápido crescimento assim como a cultura do milho, dessa forma, tanto para o ambiente irrigado quanto para o não irrigado, os menores valores de umidade foram observados para os tratamentos Milho x Crotalária e monocultivo de crotalária, sendo que a alta taxa de evapotranspiração é

um dos principais fatores responsáveis por isso.

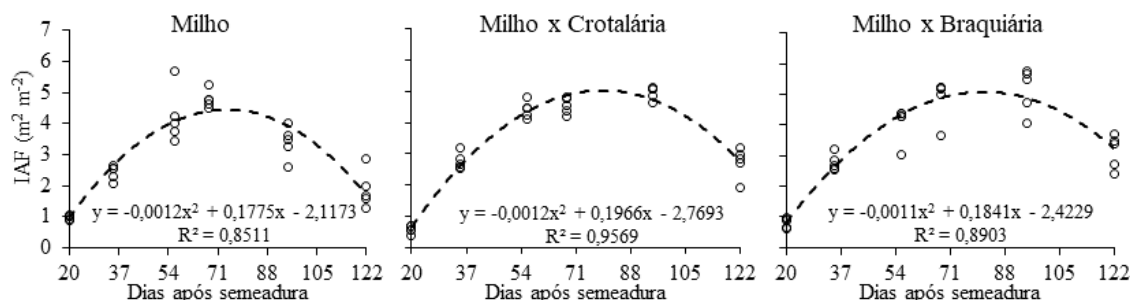
O aumento do IAF da cultura do milho, interfere indiretamente no processo de evaporação da água do solo, pois aumenta a interceptação da irradiação solar incidente, aumentando o sombreamento sobre o solo e reduzindo a energia que chega a ele. A evaporação da água do solo é maior no início do ciclo da cultura do milho, devido ao percentual de área foliar ser menor, e à medida que ocorre o fechamento das entrelinhas do cultivo pelo dossel, a evaporação perde importância e diminui consideravelmente (BERGAMASCHI et al., 2004; DALMAGO et al., 2010). Essa presença de água no início do ciclo, afeta o fluxo de calor do solo, modificando os valores de amplitude da temperatura do solo em função da evaporação (CARNEIRO et al., 2014; CORTEZ et al., 2015). Do mesmo modo, a ausência de água também afeta o fluxo de calor no solo, dificultando a condução de calor das camadas superficiais para as mais profundas (FUNARI; PEREIRA FILHO, 2017; OLIVEIRA et al., 2019).

Os sistemas convencionais de produção agrícola podem provocar modificações que prejudicam os atributos físico-hídricos do solo, como porosidade, densidade, retenção hídrica, temperatura e umidade do solo, utilizados como indicadores de qualidade do solo (ROSSETTI; CENTURION, 2013). Desta forma, tais indicadores de qualidade do solo nos fornecem parâmetros e sinais de degradação do mesmo, afim de se adotar manejos e sistemas alternativos que melhoram a estruturação do solo (SANTI et al., 2012; STEFANOSKI et al., 2013).

Dentre os atributos físico-hídricos do solo, destacam-se a temperatura e a

umidade, pois impactam diretamente no desenvolvimento das culturas agrícolas (HEINRICH et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2005). Segundo Gasparim et al. (2005), a temperatura do solo está diretamente relacionada com os processos de interação solo-planta-atmosfera. Temperaturas do solo acima de 42°C, promovem modificações na biota do solo, afetando negativamente nas raízes e plântulas das culturas agrícolas (ZHOU et al., 2013; HEINZE et al., 2017), na mineralização da matéria orgânica (CONANT et al., 2011) e na evaporação da água do solo, diante disto, sistemas mais conservacionistas e que mantêm a umidade do solo em valores mais adequados podem beneficiar as culturas agrícolas.

O índice de área foliar (IAF) médio da cultura do milho não apresentou diferenças entre os tratamentos e os ambientes, devido ao espaçamento e densidade de plantas adequado e a cultura da crotalária e a braquiária possuírem porte inferior a cultura do milho, não interferindo no IAF (Figura 8). O crescimento e o desenvolvimento da cultura do milho podem ser afetados pelos sistemas de cultivo (consórcio) em que está envolvido ou até mesmo afetar os mesmos. Assim, alguns fatores como a evaporação da água do solo e o IAF, determinam a demanda hídrica de uma cultura. Considerando que as plantas retiram do solo a água que necessitam, o IAF interfere indiretamente na retirada de água, determinando maior ou menor velocidade do processo, conforme o seu estágio de desenvolvimento (DALMAGO, 2010). Andrade (2008) estudando a cultura do milho em dois sistemas de cultivo (plantio direto e plantio convencional), também não encontrou diferenças no IAF, com valores próximos de 0,40 m² m⁻² (20 DAS) e máximo de 5,30 m² m⁻² (62 DAS).

Figura 8. Índice de área foliar (IAF) da cultura do milho em monocultivo e em consórcio.

Fonte: Os autores (2022).

Observando as variáveis analisadas da cultura do milho, notamos que a altura das plantas foi menor no tratamento de monocultivo de milho no ambiente não

irrigado, porém no ambiente irrigado não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios das variáveis analisadas da cultura do milho com a interação entre Ambientes (Com ou Sem irrigação) x Tratamentos (Sistemas de cultivo).

Tratamentos x Ambiente	Altura de planta (cm)		Altura de inserção da espiga (cm)		Diâmetro do colmo (cm)	
	Irrigado	Não irrigado	Irrigado	Não irrigado	Irrigado	Não irrigado
Monocultivo milho	197,1aA	187,2bB	103,6aA	99,8aA	2,1A	2,1A
Milho x Crotalária	192,5aB	203,9aA	101,1aA	99,9aA	1,7B	2,1A
Milho x Braquiária	202,2aA	201,7aA	107,6aA	100,1aB	2,1A	2,2A
DMS coluna:	8,40		8,36		1,47	
DMS linha:	9,28		6,86		1,21	
Tratamentos x Ambiente	Diâmetro da espiga (cm)		Número de fileiras		Massa seca da planta (g)	
	Irrigado	Não irrigado	Irrigado	Não irrigado	Irrigado	Não irrigado
Monocultivo milho	4,8abA	4,9aA	15,5aA	15,2aA	129,3aA	124,6aA
Milho x Crotalária	4,8bA	4,8aA	14,2bB	15,6aA	105,3bB	131,6aA
Milho x Braquiária	5,0aA	4,9aA	15,5aA	15,5aA	138,2aA	142,4aA
DMS coluna:	1,7		1,1		22,5	
DMS linha:	1,4		0,9		18,4	
Tratamentos x Ambiente	Produtividade (kg ha ⁻¹)					
	Irrigado			Não irrigado		
Monocultivo milho	9765,3aA			8403,7aB		
Milho x Crotalária	9391,3aA			8793,8aA		
Milho x Braquiária	10298,7aA			9882,9aA		
DMS coluna:				1222,0		
DMS linha:				1002,2		

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. DMS = Diferença Mínima Significativa. **Fonte:** Os autores (2022).

A produtividade apresentou diferenças somente no ambiente não irrigado, sendo que a menor produtividade foi obtida no monocultivo de milho, fato que está relacionado a umidade do solo que, para monocultivo de milho a umidade foi menor entre os tratamentos, ocasionando déficit hídrico, pois em sistema em consórcio, a cobertura do solo pela área foliar ocorre mais rapidamente, reduzindo a taxa de evaporação da água do solo. Chieza et al. (2017) mencionam que o manejo correto das culturas em consórcio, bem como a escolha da época correta de semeadura possui impacto significativo na produção de milho, e podem ter influenciado na produtividade encontrada neste experimento.

Outro fator que também pode afetar o rendimento do milho em consórcio com a braquiária, por exemplo, é a presença de plantas daninhas da família Poaceae, que possam conviver com as culturas, e podem afetar a braquiária e o milho devido ao seu difícil controle. As principais plantas daninhas encontradas neste experimento foram: *Digitaria sanguinalis*, *Cenchrus echinatus*, *Dactyloctenium aegyptium* e *Cynodon dactylon*. Jakelaitis et al. (2004) citam que há necessidade de aplicação de subdoses de herbicidas, como o foransulfuron+iodosulfuron-methyl ou o nicosulfuron, no sentido de manejar áreas de milho consorciado com braquiária, com objetivo de controlar as plantas daninhas e reduzir a taxa de crescimento da braquiária.

Apesar da produtividade da cultura do milho não ser maior nos tratamentos em consórcio, a utilização de adubos verdes e plantas de cobertura podem beneficiar o agroecossistema, melhorando o aporte de N por meio da fixação biológica das leguminosas, acumulando matéria orgânica na superfície do solo, melhorando os atributos físico-químicos e biológicos do solo, controlando a dinâmica da temperatura e umidade do solo e diminuindo as perdas de solo por erosão (OLIVEIRA et al., 2010; CECCON, 2013; WUTKE et al., 2014).

6 CONCLUSÕES

O cultivo do milho em consórcio com a crotalária ou braquiária, proporcionou redução da temperatura média do solo em 17,4 e 17,6% respectivamente, quando comparado com monocultivo de milho, reduzindo a amplitude térmica.

A temperatura média diária do solo sem cobertura foi 4°C maior em relação aos ambientes cultivados em consórcio.

Para os tratamentos em consórcio, a umidade do solo apresentou os valores menores nas fases de desenvolvimento, intermediária e final, confirmando que o consumo de água pelas culturas em consórcio é maior devido ao número de plantas por m².

O cultivo do milho em consórcio não apresentou diferença significativa na produtividade em relação ao monocultivo. A produtividade para cultivo em consórcio não apresentou diferenças entre os ambientes irrigado e não irrigado, porém o monocultivo de milho sofreu redução na produtividade quando não irrigado.

7 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de doutorado do primeiro autor. A Universidade Estadual de Maringá (UEM) e a Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) pelo apoio concedido na realização deste estudo.

8 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiration del cultivo**: guías para la determinación de los requerimientos de água de los cultivos. Roma: FAO, 2006. (Riego y Drenaje, 56).

ANDRADE, J. G. **Perdas de água por evaporação de um solo cultivado com milho nos sistemas de plantio direto e convencional**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

BAO, X.; ZHU, X.; CHANG, X.; WANG, S.; XU, B.; LUO, C.; ZHANG, Z.; WANG, Q.; RUI, Y.; CUI, X. Effects of soil temperature and moisture on soil respiration on the Tibetan plateau. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 11, n. 10, p. 9-15, 2016.

BARDUCCI, R. S.; COSTA, C.; CRUSCIOL, C. A. C.; BORGHI, É.; PUTAROV, T. C.; SARTI, L. M. N. Produção de *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum* com milho e adubação nitrogenada. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 58, n. 222, p. 211-222, 2009.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 9, p. 831-839, 2004.

CAMPBELL SCIENTIFIC. **Instruction Manual**. CS616 and CS625 Water Content Reflectometers. Logan: Campbell Scientific, 2004.

CARNEIRO, R. G. **Perfil da temperatura do solo nos biomas florestais da amazônia e mata atlântica com aplicação da transformada em ondeletas**. 2014. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais,

Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

CARNEIRO, R. G.; MOURA, M. A. L.; SILVA, V. P. R.; SILVA JUNIOR, R. S.; ANDRADE, A. M. D.; SANTOS, A. B. Variabilidade da temperatura do solo em função da liteira em fragmento remanescente de mata atlântica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 1, p. 99-108, 2014.

CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F. **Cerrado**: Adubação verde. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2006. 369 p.

CECCON, G. **Consórcio Milho-Braquiária**. Brasília, DF: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013.

CHIEZA, E. D.; GUERRA, J. G. M.; ARAÚJO, E. S.; ESPÍNDOLA, J. A.; FERNANDES, R. C. Produção e aspectos econômicos de milho consorciado com *Crotalaria juncea* L. em diferentes intervalos de semeadura, sob manejo orgânico. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, n. 2, p. 189-196, 2017.

CONANT, R. T.; RYAN, M. G.; ÅGREN, G. I.; BIRGE, H. E.; DAVIDSON, E. A.; ELIASSON, P. E.; EVANS, S. E.; FREY, S. D.; GIARDINA, C. P.; HOPKINS, F. M.; HYVÖNEN, R.; KIRSCHBAUM, M. F.; LAVALLEE, J. M.; LEIFELD, J.; PARTON, W. J.; STEINWEG, J. M.; WALLENSTEIN, M. D.; WETTERSTEDT, J. A. M.; BRADFORD, M. A. Temperature and soil organic matter decomposition rates - synthesis of current knowledge and a way forward. **Global Change Biology**, Chicago, v. 17, n. 11, p. 3392-3404, 2011.

CORTEZ, J. W.; NAGAHAMA, H. J.; OLSZEWSKI, N.; PATROCINIO FILHO, A. P.; SOUZA, E. B. Soil moisture content

- and surface temperature in tillage systems and stages of development of maize crop. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 4, p. 699-710, 2015.
- CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; BORGHI, E.; MATEUS, G. P. Benefits of integrating crops and tropical pastures as systems of production. **Better Crops**, Ottawa, v. 94, n. 2, p. 14-16, 2010.
- DALLACORT, R.; MARTINS, J. A.; INOUE, M. H.; FREITAS, P. S. L.; COLETTI, A. J. Distribuição das chuvas no município de Tangará da Serra, médio norte do Estado de Mato Grosso, Brasil. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 193-200, 2011.
- DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; KRÜGER, C. A. M. B.; BERGONCI, J. I.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Soil surface water evaporation under no-tillage and conventional tillage systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, n. 8, p. 780-790, 2010.
- DANIEL, D. F.; BARBIERI, J. D.; DALLACORT, R.; FENNER, W.; TIEPPO, R. C.; KRAUSE, W. Agroclimatic aptitude for maize crop in regions of Mato Grosso state, Brazil. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, Mérida, v. 24, n. 3, p. 1-15, 2021.
- DANIEL, T. A. D. **Avaliação de níveis de irrigação sobre as componentes de produção e produtividade de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) no município de Tangará da Serra-MT**. 2011. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 2004.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FUNARI, F. L.; PEREIRA FILHO, A. J. Estimativa do fluxo de calor no solo a partir da temperatura do solo em São Paulo, SP. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 38, n. 1, p. 49-57, 2017.
- GASPARIM, E.; RICIERI, R. P.; SILVA, S. M.; DALLACORT, R.; GNOATTO, E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 107-115, 2005.
- GAZOLA, R. N.; MELO, L. M. M.; DINALLI, R. P.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GARCIA, C. M. P. Sowing depths of brachiaria in intercropping with corn in no tillage planting. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 157-166, 2013.
- GHANBARI, A.; DAHMARDEH, M.; SHIAHSAR, B. A.; RAMROUDI, M. Effect of maize (*Zea mays* L.)-cowpea (*Vigna unguiculata* L.) intercropping on light distribution, soil temperature and soil moisture in arid environment. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, Helsinki, v. 8, n. 1, p. 102-108, 2010.
- HEINRICHS, R.; VITTI, G. C.; MOREIRA, A.; FIGUEIREDO, P. A. M.; FANCELLI, A. L.; CORAZZA, E. J. Características químicas de solo e rendimento de fitomassa de adubos verdes e de grãos de milho, decorrente do cultivo consorciado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 71-79, 2005.
- HEINZE, J.; GENSCHE, S.; WEBER, E.; JOSHI, J. Soil temperature modifies effects of soil biota on plant growth. **Journal of**

Plant Ecology, Oxford, v. 10, n. 5, p. 808-821, 2017.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R.; SILVA, A. F.; FREITAS, F. C. L. Manejo de plantas daninhas no consórcio de milho com capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*). **Planta Daninha**, Campinas, v. 22, n. 4, p. 553-560, 2004.

KOJIMA, Y.; HEITMAN, J. L.; SAKAI, M.; KATO, C.; HORTON, R. Bulk density effects on soil hydrologic and thermal characteristics: A numerical investigation. **Hydrological Processes**, Des Moines, v. 32, n. 14, p. 2203-2216, 2018.

MCKEE, G. W. A coefficient for computing leaf area in hybrid corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 56, n. 2, p. 240-241, 1964.

OLIVEIRA, K. A. S.; DALLACORT, R.; BARBIERI, J. D.; DANIEL, D. F.; TIEPPO, R. C.; SANTOS, S. B. Variabilidade mensal e sazonal da temperatura do solo em diferentes condições de cobertura e de profundidades na região de Tangará da Serra, Mato Grosso. **Científica**, Jaboticabal, v. 47, n. 3, p. 256-268, 2019.

OLIVEIRA, M. L.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 535-539, 2005.

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

PACHECO, L. P.; PIRES, F. R.; MONTEIRO, F. P.; PROCÓPIO, S. O.; ASSIS, R. L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; CARMO, M. L.; PETTER, F. A. Sobressemeadura da soja como técnica para supressão da emergência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 455-463, 2009.

RIBAS, G. G.; STRECK, N. A.; SILVA, S. D.; ROCHA, T. S. M.; LANGNER, J. A. Temperatura do solo afetada pela irrigação e por diferentes coberturas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 5, p. 817-828, 2015.

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

ROSSETTI, K. V.; CENTURION, J. F. Sistemas de manejo e atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 5, p. 472-479, 2013.

SAKAKIBARA, H.; TAKEI, K.; HIROSE, N. Interactions between nitrogen and cytokinin in the regulation of metabolism and development. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 11, n. 9, p. 440-448, 2006.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; MARTIN, T. N.; PIRES, J. L.; FLORA, L. P. D.; BASSO, C. J. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 9, p. 1346-1357, 2012.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.;

- ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018. 356 p.
- SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, D. D. Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 7, p. 670-679, 2011.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.
- SOUZA, A. P.; LIMA, M. E.; CARVALHO, D. F. Evapotranspiração e coeficientes de cultura do milho em monocultivo e em consórcio com a mucuna-cinza, usando lisímetros de pesagem. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 7, n. 1, p. 142-149, 2012.
- SOUZA, R. T.; VALADÃO, F. C. A.; VALADÃO JÚNIOR, D. D.; GUIMARÃES, P. R.; PAULA, V. R. R. Maize-crotalaria intercropping systems. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 40, n. 4, p. 1455-1468, 2019.
- STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013.
- TEODORO, R. B.; OLIVEIRA F. L.; SILVA, D. M. N.; FÁVERO, C.; QUARESMA, M. A. L. Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no cerrado do alto vale do Jequitinhonha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 635-643, 2011.
- THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora Érica, 2005.
- TREVISAN, M. **Atributos físico-hídricos do solo em sistemas consorciados de milho com adubos verdes sob manejo orgânico**. 2019. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2019.
- VASCONCELOS, A. T.; TIEPPO, R. C.; DALLACORT, R.; SANTI, A.; ANDREA, M. C. S. Laboratory temperature-compensating calibration procedure for soil water content determination by reflectometry. **Científica**, Jaboticabal, v. 46, n. 3, p. 221-225, 2018.
- WERNECK, M. M. **Transdutores e Interfaces**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 1996.
- WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. *In*: LIMA FILHO, O. F. L.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. C. (ed.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 59-168.
- ZHOU, Z.; JIANG, L.; DU, E.; HU, H.; LI, Y.; CHEN, D.; FANG, J. Temperature and substrate availability regulate soil respiration in the tropical mountain rainforests, Hainan Island, China. **Journal of Plant Ecology**, Oxford, v. 6, n. 5, p. 325-334, 2013.