



GABRIELA SABRINE FRANÇA SILVA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E DINÂMICA DA ÁGUA NO SOLO NO
CONSÓRCIO MILHO - BRAQUIÁRIA**

TERESINA - PI

2019

GABRIELA SABRINE FRANÇA SILVA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E DINÂMICA DA ÁGUA NO SOLO NO
CONSÓRCIO MILHO - BRAQUIÁRIA**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal do Piauí, como
parte das exigências do programa de
Pós Graduação em Agronomia
Agricultura Tropical para obtenção do
título de mestre em Ciências.

Orientador

Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior

Coorientador

Dr. Milton José Cardoso

TERESINA – PI

2019

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias
Serviço de Processamento Técnico

S586d Silva, Gabriela Sabrine França
Desempenho agrônomo e dinâmica da água no solo no consórcio
milho - braquiária. / Gabriela Sabrine França Silva - 2019.
90 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Programa
de Pós-Graduação em Agronomia, Teresina, 2019.
Orientação: Prof. Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior

1. Armazenamento de água no solo 2. *B.ruziziensis* 3. Densidades
de semeadura 4. ILP I. Título

CDD 631.432

GABRIELA SABRINE FRANÇA SILVA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E DINÂMICA DA ÁGUA NO SOLO NO
CONSÓRCIO MILHO-BRAQUIÁRIA**

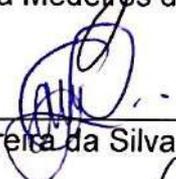
Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

APROVADA em 14 de junho de 2019.

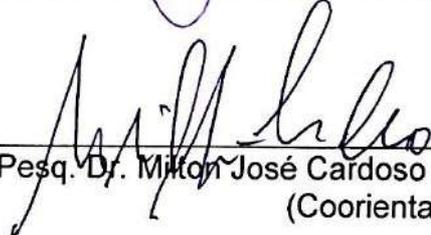
Comissão Julgadora:



Prof. Dr. Luis Gonzaga Medeiros de Figueredo Júnior – UESPI



Prof. Dr. Everaldo Moreira da Silva – CPCE/UFPI



Pesq. Dr. Milton José Cardoso – EMBRAPA Meio-Norte
(Coorientador)



Pesq. Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior – EMBRAPA Meio-Norte
(Orientador)

TERESINA-PI

2019

DEDICO

Ao meu Deus, Jeová, por me conceder tudo e pela vida.

Aos meus pais Francisco Lopes e Socorro Lima, meus maiores incentivadores.

À minha irmã, Carla Sabrine.

Aos demais amigos e familiares.

Aos que participaram da minha formação e sempre serviram de motivação a essa conquista.

AGRADECIMENTOS

À Jeová Deus, por me conceder saúde e por estar presente em minha vida onde quer que eu vá, me apresentando sempre sua bondade imerecida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Programa de Pós Graduação em Agronomia – Agricultura Tropical da Universidade Federal do Piauí e a todos os que foram meus professores, em nome de Francisco Edinaldo Pinto Mousinho, pelo incentivo desde a graduação.

À Embrapa Meio-Norte pelo apoio financeiro ao projeto, pela infraestrutura concedida e auxílio para condução deste experimento.

À UFMA – Campus Chapadinha, em nome dos professores Dr. Gregori da Encarnação Ferrão, Dr. Washington da Silva Sousa e Dr. Edmilson Igor Bernardo Almeida, pelo espaço cedido, apoio e colaboração com o deslocamento para a fazenda.

À Fazenda Barbosa, em nome de Vitor Barbosa e Fernando Devicari, pelo apoio prestado, assim como a disponibilização do espaço físico, mão de obra, prestatividade em todas as atividades experimentais.

Aos meus familiares, em especial meus pais, Francisco Lopes da Silva, que sempre me incentiva a ter coragem pra ir em frente e apoia as minhas decisões; e minha mãe, Maria do Socorro França Lima, que se dedica todos os dias, me dando exemplo, além de me proporcionar mais que o necessário a fim de que a minha caminhada seja menos dolorosa. Também, à minha irmã Carla Sabine França Silva, pela companhia do dia-a-dia. Obrigada pelo amor de vocês.

Ao meu orientador, Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior, por me mostrar que sair da minha zona de conforto é aprendizado, pela cobrança, pelos desafios, pela confiança, pela persistência, por ser esse profissional exemplar, dando apoio, sugestões e conselhos em todos os momentos que necessitei, e pela amizade.

Ao meu Co-orientador, Dr. Milton José Cardoso e aos meus colaboradores Dr. Edson Alves Bastos e Raimundo Bezerra de Araújo Neto pelos ensinamentos, sugestões, contribuições com o meu trabalho e disponibilidade em atender as minhas dúvidas.

Aos meus companheiros de experimento da UFMA, Misael Batista Farias Araujo, Lusiane de Sousa Ferreira e Raiane de Sousa Andrade, que me ensinaram como temos aptidões diferentes e pela dedicação em serem excelentes profissionais, ainda como graduandos.

À família que Jeová me deu em Chapadinha, no período de condução do meu experimento, Maria José Caldas, Darlene Caldas, Douglas Santos, Diacerlania Araújo, Francenildo Araújo e Yasmin Araújo, por terem me adotado, de coração, durante esses meses que fiquei na cidade e por serem um exemplo pra mim.

Aos meus colegas de viagens ao experimento, Lucélia Brito, Ivanderlete Marques, Marcos Vinicius Pereira e Smaieilô Conceição, pelo companheirismo e apoio imprescindível nas inúmeras atividades, muitas vezes com tempo reduzido para serem cumpridas.

Ao Dr. Henrique Antunes de Sousa, por se disponibilizar sempre que necessário, sem medir esforços pra ajudar, pelo apoio na condução do experimento, pelos conselhos, pela confiança, pela amizade e parceria no trabalho.

Ao Dr. Paulo Henrique Soares da Silva, pelos momentos de descontração no dia-a-dia na Embrapa, pela consideração e pelos conselhos profissionais.

Aos técnicos da Embrapa Meio Norte, José Afonso Abreu, José Moreira, José Duarte, Gustavo Carvalho e Antonio Vieira, pelas contribuições nas atividades.

Aos colegas de pós graduação, em especial, Antonia Maria de Cássia, Izaías Oliveira, José Claudio Ferraz, Ana Maria Moura, Adriana Conceição e Alcilane Arnaldo, pelas contribuições nas disciplinas, além das descontrações e companheirismo.

Aos meus companheiros da Embrapa Meio Norte, Anne Caroline Melo, Danilo Oliveira, Suzane Carvalho, Geania Souza, Adalisa Gomes, Fátima Pires, Amanda Héllen Sobral, Leovanio Barbosa, Kaleby Henrique Silva, Ananda Beserra, Aline Negreiros, Sarah Batista, Cleidiane Macedo, Nadja Nara Silva e aos companheiros de orientação, Marcos Vinicius Pereira, Marcus Willame Carvalho, Nailson Alves, Tiago Luan Santos e Marcelo Ribeiro.

A todos minha eterna gratidão.

*“O solo, por si mesmo, dá fruto aos poucos:
primeiro a haste, depois a espiga,
e finalmente o grão maduro na espiga.
Mas, assim que os grãos ficam maduros,
ele passa a foice, porque chegou o tempo de colheita.”*

Marcos 4:28,29.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Imagem da área experimental. Fonte: Google Earth, 2018.	31
Figura 2 – Extrato do balanço hídrico normal mensal, para o período de 1976 a 2015. Fonte: Passos et al. (2016).	32
Figura 3 – Curvas de retenção de água no solo obtida pelo método de Van Genutchen (1980) em cada profundidade avaliada. Brejo, MA. 2018.	33
Figura 4 – Croquis de distribuição do conjunto TDR no campo, multiplexadores e hastes.	40
Figura 5 – Estação meteorológica automática instalada na Fazenda Barbosa. Brejo, MA. 2018.	42
Figura 6 - Temperaturas média, máxima e mínima do ar durante o período experimental. Fazenda Barbosa. Brejo – MA, 2018.	45
Figura 7 – Radiação solar global e evapotranspiração diárias durante o período experimental. Fazenda Barbosa. Brejo – MA, 2018.	45
Figura 8 - Precipitação diária registrada durante o período experimental. Fazenda Barbosa. Brejo – MA, 2018.	46
Figura 9 – Balanço hídrico climatológico decenal durante o ciclo de cultivo das culturas em consórcio. Brejo, MA. Safra 2017/2018.	47
Figura 10 - Produtividade de espigas – PE (A) e grãos de milho – PG (B) em cultivo solteiro e consórcio com diferentes densidades de semeadura B. ruziziensis. ** (p<0,01) Teste t. Brejo, MA. Safra 2017/2018.	50
Figura 11 – Altura de plantas de B. ruziziensis em diferentes épocas de avaliação (AP-1 e AP-2), em função de diferentes densidades de braquiária em consórcio com milho. MS: Milho solteiro; MD1: Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 2kg ha ⁻¹ ; MD2: Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 4kg ha ⁻¹ ; MD3: Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 6kg ha ⁻¹ ; MD4: Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 8kg ha ⁻¹ ; BR: Braquiária solteira. Brejo, MA. Safra 2017/2018.	53
Figura 12 – Número de plantas de B. ruziziensis (NP) em diferentes densidades de semeadura (DSB) consorciada com milho. ** (p<0,01) pelo Teste t. Brejo, MA. Safra 2017/2018.	54
Figura 13 – Rendimento de massa verde da B. ruziziensis (MV) consorciada com híbridos de milho sob diferentes densidades de plantio da forrageira (DSB), em dois períodos de avaliação. ** (p<0,01) pelo Teste t. Brejo, MA. Safra 2017/2018.	55
Figura 14 - Rendimento de massa seca de B. ruziziensis (MS) consorciada com híbridos de milho sob diferentes densidades de plantio da forrageira, em dois períodos de avaliação. ** (p<0,01) pelo teste t. Brejo, MA. Safra 2017/2018.	56
Figura 15 – Relação entre a produtividade de grãos de milho (PGM) e a produção de massa seca de B. ruziziensis (MSB) nas densidades de semeadura da forrageira	

(DSB), com o cultivo do híbrido de milho 30F 53VYHR(A) e Status Viptera 3 (B). * e ** (p<0,05) e (p<0,01), respectivamente, pelo teste t.....58

Figura 16 – Altura de plantas do híbrido Pioneer 30F 53VYHR e da *B. ruziziensis* durante o crescimento e desenvolvimento das culturas, em cada sistema de cultivo avaliado. MS: Milho solteiro; MD1: Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 2kg ha⁻¹; Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 8kg ha⁻¹; BR: Braquiária solteira. Brejo, MA. Safra 2017/2018.....62

Figura 17 – Variação do armazenamento de água no solo em função do acúmulo de graus-dia de cada cultura avaliada nos sistemas de cultivo em cada profundidade de monitoramento, 0-0,3m (A) e 0,3-0,6m (B). MS: Milho solteiro; MD1: Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 2kg ha⁻¹; MD4: Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 8kg ha⁻¹; BR: Braquiária solteira. CC: Capacidade de campo; PMP: Ponto de murcha permanente; AC: Armazenamento crítico. Brejo, MA. Safra 2017/2018.....64

Figura 18 – Armazenamento de água no solo (ARM) em função das profundidades (A) – 0-0,3m e 0,3-0,6m – e dos sistemas de cultivos(B) avaliados no período 1 de monitoramento. MS: Milho solteiro; MD1: Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 2kg ha⁻¹; Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 8kg ha⁻¹; BR: Braquiária solteira. Brejo, MA. 2018.67

Figura 19 – Armazenamento de água no solo (ARM) em função das profundidades (A) – 0-0,3m e 0,3-0,6m – e dos sistemas de cultivos(B) avaliados no período 2 de monitoramento. MS: Milho solteiro; MD1: Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 2kg ha⁻¹; Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 8kg ha⁻¹; BR: Braquiária solteira. Brejo, MA. 2018.69

Figura 20 – Armazenamento de água no solo (ARM) em função das profundidades (A) – 0-0,3m e 0,3-0,6m – e dos sistemas de cultivos(B) avaliados no período 3 de monitoramento. MS: Milho solteiro; MD1: Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 2kg ha⁻¹; Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 8kg ha⁻¹; BR: Braquiária solteira. Brejo, MA. 2018.70

Figura 21 – Variação do armazenamento de água no solo em cada profundidade – 0-0,3m e 0,3-0,6m – em função dos sistemas de cultivos avaliados no Período 4 de monitoramento da umidade do solo. MS: Milho solteiro; MD1: Milho+ Densidade de semeadura da braquiária (2kg ha⁻¹); MD4: Milho+ Densidade de semeadura da braquiária (8kg ha⁻¹); BRS: Braquiária solteira). Brejo, MA. 2018.72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características químicas do solo da área experimental. Brejo, MA, 2018.	32
Tabela 2 - Características físico-hídricas da área experimental. Fazenda Barbosa, Brejo, MA, 2018.....	33
Tabela 3 – Descrição e duração de cada período de monitoramento de umidade do solo.....	41
Tabela 4 – Massa de cem grãos (MCG), altura de plantas (AP), altura de inserção de espigas (AE), produtividade de espigas (PE) e produtividade de grãos (PG) de dois híbridos de milho consorciado com <i>B. ruziziensis</i> . Brejo, MA. Safra 2017/2018.....	48
Tabela 5 – Número de plantas (NP); 1ª e 2ª avaliação (AP1 e AP2) da altura de plantas, massa verde e massa seca de <i>B. ruziziensis</i> consorciada com dois híbridos de milho. Brejo, MA. 2018.....	52
Tabela 6 – Eficiência do uso da terra (EUT) do consórcio milho – braquiária e das culturas em cultivo solteiro em diferentes densidades de semeadura da braquiária. Safra 2017/2018.....	60
Tabela 7 - Quadrados médios (QM) e coeficientes de variação (CV) da análise de variância para o armazenamento diário de água (AS), nas duas profundidades do solo, em respostas aos diferentes sistemas de cultivo avaliados, em quatro períodos de monitoramento. Brejo, MA. 2018.....	66

RESUMO

Objetivou-se avaliar o desempenho agronômico e a dinâmica da água no solo no consórcio milho-braquiária em resposta a diferentes densidades de semeadura da braquiária. Conduziu-se experimento na Fazenda Barbosa, em Brejo, MA. Os tratamentos constaram da combinação de dois híbridos simples de milho (Pioneer 30F 53VYHR e Syngenta Status Viptera 3) e quatro densidades de semeadura da *Brachiaria ruziziensis* (2, 4, 6 e 8 kg ha⁻¹ de sementes), em consórcio com o milho, bem como ambas as culturas em monocultivo. No milho foram determinados por ocasião da colheita: altura de plantas, altura de inserção de espigas, massa de cem grãos, produtividade de espigas e produtividade de grãos. Na braquiária determinou-se a densidade de plantas, altura de plantas, massa verde e massa seca total. O desempenho do consórcio foi avaliado pelo uso eficiente da terra em cada sistema de cultivo avaliado. Durante o ciclo das culturas, realizou-se a análise de crescimento e o monitoramento da umidade do solo, em duas profundidades (0 a 0,3m e de 0,3 a 0,6 m), com o uso da TDR (*Time Domain Reflectometry*). Avaliou-se o armazenamento de água no solo em quatro sistemas de cultivo (milho solteiro, braquiária solteira, milho consorciado com braquiária nas densidades de semeadura de 2 e 8 kg ha⁻¹), em quatro períodos de monitoramento. Os tratamentos foram arranjados em parcelas subdivididas, com os sistemas de cultivos nas parcelas e as profundidades de medição nas subparcelas, cujos dados foram submetidos ao teste de Tukey (p<0,05), com uso do pacote ExpDes versão 3.5.1, na linguagem R. Com a finalidade de produção de grãos de milho, a densidade de semeadura da braquiária ideal para o bom rendimento do consórcio foi de 1,7 e 3,0 kg ha⁻¹, com o uso dos híbridos 30F 53VYHR e Status Viptera 3, respectivamente. Com finalidade de produção de forragem para pastagem animal, a densidade de semeadura da braquiária ideal para o bom rendimento do consórcio foi de 8,0 e 6,2 kg ha⁻¹, com o uso dos híbridos 30F 53VYHR e Status Viptera 3, respectivamente. No consórcio milho – braquiária as melhores eficiências do uso da terra são observadas com as densidades de semeadura da braquiária entre 2 e 4 kg ha⁻¹. O cultivo do milho em consórcio com a *B. ruziziensis* promove maior extração de água do solo, notadamente, na camada de 0-0,3m, nas fases de maior exigência hídrica do milho.

Palavras chave: Armazenamento de água no solo, *B. ruziziensis*, densidades de semeadura, ILP.

ABSTRACT

It was aimed to evaluate the agronomic performance and the dynamics of the water in the soil in the intercropping of maize and *B. ruziziensis* in response to different sowing densities of the brachiaria grass. The experiment was carried out in Brejo, MA. The treatments consisted of the combination of two simple hybrids of maize (Du Point do Brasil® 30F 53VYHR and Syngenta® Status Viptera 3) and four sowing densities of the *B. ruziziensis* (2, 4, 6 and 8 kg ha⁻¹ of seeds), in intercropping with maize, as well as both crops in monoculture. In maize they were established in the harvest: height of plants, height of insert of maize ears, one hundred grains mass, maize ears yield and maize grains yield. In the *B. ruziziensis* was determined the plants density, height of plants, green weight and total drought weight. The intercropping performance was evaluated by the efficient use of the earth in each cultivation system. During the cropping cycle, it has done the growth analysis and the monitoring of the soil moisture content, in two depths (0-0.3m; 0.3-0.6 m), with the use of TDR (Time Domain Reflectometry). The storage of water was evaluated in the soil in four cultivation systems (monoculture maize, monoculture *B. ruziziensis*, intercropping maize-brachiaria grass in the sowing densities of 2 and 8 kg ha⁻¹), in four monitoring periods. The treatments were arranged in subdivided parcels, with the cultivations systems in the parcels and the measurement depths in the subparcels, whose data were submitted to the Tukey test (P<0.05), with use of the package ExpDes version 3.5.1, in R language. For maize grain production, the better sowing density of the brachiaria for great yield of the intercropping was 1.7 and 3.0 kg ha⁻¹, with the use of the hybrids 30F 53VYHR and Status Viptera 3, respectively. For the production animal pasture, the better sowing density brachiaria for the great yield of the intercropping was 8.0 and 6.2 kg ha⁻¹, with the use of the hybrids 30F 53VYHR and Status Viptera 3, respectively. In the intercropping maize with brachiaria grass the best earth use efficiencies are observed with the sowing densities of the *B. ruziziensis* between 2 and 4 kg ha⁻¹ of seeds. The intercropping maize with *B. ruziziensis* promotes larger extraction of water in soil, especially, in the 0-0.3m layer, in the phases of larger water requirement of the maize.

Key words: Water soil storage, *B. ruziziensis*, seeding rate, crop-livestock integration.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	9
1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1. Consórcio milho com braquiária	15
2.2. Densidade de semeadura da braquiária em consórcio com a cultura do milho 19	
2.3. Balanço de água no solo.....	23
2.4. Monitoramento de água no solo através da reflectometria no domínio do tempo (TDR)	26
2.5. Perda de água por evapotranspiração	29
3. MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1. Local do experimento	31
3.2. Histórico da área	33
3.3. Manejo do consórcio milho versus braquiária	34
3.4. Características agronômicas da cultura do milho.....	35
3.4.1. Altura de plantas e inserção de espigas	35
3.4.2. Massa de cem grãos e produtividade de grãos e espigas.....	36
3.5. Características agronômicas da braquiária	36
3.5.1. Densidade de plantas	36
3.5.2. Altura de plantas, massa verde e massa seca total.....	36
3.6. Uso eficiente da terra	37
3.7. Medidas de crescimento das plantas	38
3.8. Monitoramento do conteúdo de água no solo	38
3.9. Monitoramento climático	42
3.10. Balanço hídrico	43

3.11. Delineamento experimental e análise estatística	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1. Dados climáticos	44
4.1.1. Balanço hídrico no solo	46
4.2. Características agronômicas da cultura do milho.....	47
4.2.1. Massa de cem grãos, altura de plantas e altura de inserção de espiga	48
4.2.2. Produtividade de espigas e de grãos.....	49
4.3. Características agronômicas da cultura <i>B. ruziziensis</i>	52
4.3.1. Altura de plantas de <i>B. ruziziensis</i>	52
4.3.2. Densidade de plantas de <i>B. ruziziensis</i>	53
4.3.3. Massa verde e seca de <i>B. ruziziensis</i>	54
4.4. Relação produtividade grãos de milho versus massa seca de <i>B. ruziziensis</i>	
57	
4.4.1. Uso eficiente da terra.....	60
4.4.2. Medidas de crescimento das plantas.....	62
4.5. Dinâmica da água no solo no consórcio milho-braquiária	63
4.5.1. Armazenamento de água no solo	63
4.5.1.1. Armazenamento de água no solo – Período 1	66
4.5.1.2. Armazenamento de água no solo – Período 2	68
4.5.1.3. Armazenamento de água no solo – Período 3	70
4.5.1.4. Armazenamento de água no solo – Período 4	71
5. CONCLUSÕES.....	74
REFERÊNCIAS.....	75

1. INTRODUÇÃO

A agricultura é a principal atividade produtora responsável pelo desenvolvimento socioeconômico de vários municípios da mesorregião do Leste Maranhense. No início dos anos 2000, o Leste Maranhense tornou-se o segundo polo da agricultura de grãos de base empresarial no Maranhão, com concentração nas microrregiões de Chapadinha e do Baixo Parnaíba Maranhense, com crescente produção de grãos, principalmente, dos plantios de arroz, milho, milheto e, sobretudo, da soja (HOLANDA, 2008).

A exploração agrícola da região foi responsável pela transformação de ambientes de Cerrado em sistemas agrícolas convencionais, os quais provocam a degradação física, química e biológica de extensas áreas. No entanto, é notório que as pastagens atuam em contramão a essa tendência, à medida que a expansibilidade de seus sistemas radiculares e atividade biológica decorrente permitem a ciclagem de nutrientes do subsolo, com a deposição de hastes e folhas na superfície do solo (CASSOL, 2003).

Neste sentido, tem sido interessante a adoção do consórcio entre culturas de grãos e forrageiras, desde que seja manejada de forma adequada a fim de atingir um bom desempenho a ambas as culturas a depender do interesse final do produtor, tornando imprescindível o conhecimento do comportamento das espécies na competição por água, luz e nutrientes.

Neste aspecto, pesquisas sobre a disponibilidade hídrica para as plantas é de suma importância, tendo em vista que afeta o crescimento das culturas pois está diretamente relacionada com a abertura estomática e afeta diretamente a matéria seca.

As incertezas climáticas, principalmente relacionadas com a precipitação pluvial regulam a oscilação da produção das pastagens e das culturas de grãos. Dessa forma, o balanço de água no solo faz-se necessário ao passo que torna possível quantificar as entradas e saídas de água no solo, dentre estas a evapotranspiração das culturas. Para tanto, é requerido o monitoramento da umidade do solo para quantificar a variação de água no perfil com o cultivo do consórcio nas condições edafoclimáticas locais. Neste sentido, o método do balanço hídrico vem sendo usado por muitos cientistas para estimar o consumo hídrico e, ou, a eficiência no uso de água

para várias culturas (PREVEDELLO et al., 2007; WARD et al., 2012; SILVA et al., 2014b).

No caso específico da região Meio-Norte do Brasil, destacam-se os estudos executados no bioma Cerrado da região sudoeste do Piauí abordando produção de biomassa e composição nutricional de espécies forrageiras de cobertura (BARROS et al., 2015), determinação do ISNA para subsidiar o zoneamento de risco climático do consórcio milho-braquiária (ANDRADE JÚNIOR et al., 2017), determinação do Kc do consórcio milho-braquiária (SILVA, 2011) e avaliação de atributos físicos do solo (SOUSA et al., 2016a, 2016b).

Ressalta-se a importância de estudos visando avaliar a dinâmica da água no solo nos principais sistemas integrados tais como os que preconizam o consórcio das culturas forrageiras, sobretudo da *Brachiaria ruziziensis*, ao cultivo do milho, especialmente, na mesorregião Leste Maranhense. No presente estudo, objetivou-se avaliar o desempenho agrônômico e a dinâmica da água no solo no consórcio milho-braquiária em resposta a diferentes densidades de semeadura da braquiária.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Consórcio milho com braquiária

Segundo dados do Departamento de Florestas do Ministério do Meio Ambiente, em 2012 o Brasil já possuía 140 milhões de hectares de áreas degradadas – ou seja, terras abandonadas que são mal utilizadas ou estão em processo de erosão. Com o intuito de recuperar solos degradados, estudos da EMBRAPA (2013) recomendam espécies que produzam grande quantidade de massa verde e consigam aprofundar bastante o seu sistema radicular, quer em cultivo solteiro quer em consórcio com outras culturas comerciais.

A introdução de espécies forrageiras aos sistemas produtivos destaca-se em razão da elevada produtividade de matéria seca e sua eficiência em reciclagem de nutrientes, uma vez que, estas gramíneas forrageiras possuem o sistema radicular agressivo, capaz de explorar maior volume de solo, podendo alcançar mais de um metro de profundidade e aproveitando a adubação residual da cultura de verão (CRUSCIOL et al., 2012).

O consórcio é uma combinação de espécies de plantas de cobertura, complementares quanto ao hábito de crescimento, exploração de diferentes extratos, profundidade de raízes e demanda nutricional. O intuito é simular uma floresta tropical criada em menos de um ano, na qual o conjunto de plantas adotadas resgate o complexo de elementos perdidos e que as culturas subsequentes necessitam (PENTEADO, 2007).

Segundo Castoldi et al. (2011), quando o milho é associado com culturas de interesse, como a braquiária, esta fornece um sistema de produção sustentável. Neste sistema, manejo e conservação garantem que os recursos naturais são usados da forma mais apropriada.

Sabe-se que as pastagens contribuem com a deposição de hastes e folhas na superfície do solo criando uma camada de cobertura morta na qual se desenvolve um microclima favorável o que contribui para elevar o teor de matéria orgânica do solo (VALADÃO et al, 2016). Dessa forma, busca-se promover com a introdução de plantas de cobertura consorciada com as culturas de grãos, a proteção do solo contra erosão (KRAMBERGER et al., 2009); o aumento da macroporosidade, que diminui a resistência do solo à penetração das raízes e aumenta a infiltração de água (NICOLOSO et al., 2008), dentre outros aspectos que conferem a melhoria da qualidade do solo.

O sistema de plantio do milho consorciado com a braquiária, além de propiciar redução do custo de renovação da pastagem, também proporciona aumento da produção de carne e leite; controle de pragas, doenças e plantas daninhas; recuperação da fertilidade do solo; permite a formação de palhada para o sistema plantio direto; diversificação de culturas favorecendo a rotação; diminuição da necessidade de novos desmatamentos; aumento da eficiência de utilização de fertilizantes e corretivos e maior estabilidade de renda ao produtor (BALBINO et al., 2011).

Neste sentido, o consórcio de culturas produtoras de grãos e forrageiras tropicais tem alcançado sucesso devido ao acúmulo de biomassa entre as espécies ocorrerem em tempo e espaço diferentes (KLUTHCOUSKI; YOKOYAMA, 2003). No entanto, o conhecimento no comportamento das espécies, pela competição por fatores de produção, torna-se de grande importância para o êxito na formação da pastagem no período seco, e para a produção satisfatória da cultura produtora de grãos.

As espécies dos gêneros *Brachiaria* (syn. *Urochloa*), como *B. decumbens*, *B. brizantha* e *B. ruziziensis* são ainda caracterizadas por apresentarem sistema radicular vigoroso e profundo, elevada tolerância à deficiência hídrica e absorção de nutrientes em camadas mais profundas do solo, desenvolvendo-se em condições ambientais desfavoráveis para a maioria das culturas produtoras de grãos e das espécies utilizadas para cobertura do solo (BARDUCCI et al., 2009).

A cultura da braquiária tem origem na África Tropical, sendo considerada uma gramínea perene e vigorosa, que se adapta em diversas condições edafoclimáticas (PEREIRA; CAMPOS, 2000). A espécie *Brachiaria ruziziensis* apresenta estabelecimento rápido e potencial de crescimento no início da estação chuvosa, possibilita consórcios com leguminosas, florescimento sincronizado e concentrado no final do verão, alta produção de sementes, boa opção para a semeadura direta devido apresentar um ágil estabelecimento, qualidade da massa seca e facilidade de dessecação por herbicidas. Em contrapartida, esta espécie tem baixa adaptação a solos mal drenados, ácidos e de baixa fertilidade, além de alta suscetibilidade às cigarrinhas comuns em pastagens e à mancha foliar fúngica, apresenta baixa competição com invasoras e pouca tolerância à seca (FONSECA; MARTUSCELLO, 2010).

As principais características desta espécie são intensa produção de sementes, na qual a quantidade em um quilo corresponde aproximadamente a 250 mil sementes, apresentando maior facilidade de uso no sistema agropastoril, devido não formar touceiras que dificultam a sua destruição. Ainda se destaca por apresentar um odor peculiar e ser muito palatável, com folhas consideradas largas, com pilosidade e cor verde pálido (VILELA, 2012).

Alimento de alto valor energético, o milho é a base alimentar de diversos sistemas de produção de proteína animal, estando presente em inúmeras formulações de ração destinadas a animais, principalmente em áreas de utilização de sistemas de integração lavoura – pecuária (ILP). A maior parte do que é produzido tem como destino final as indústrias de beneficiamento de ração animal, tendo uma parcela significativa destinada à produção de forragem conservada (LEITE, 2015). A cultura do milho em comparação com outros cereais possui vantagens no consórcio com forrageiras, sendo: a competitividade no consórcio, devido ao porte alto das plantas de milho; a altura de inserção da espiga permitindo que a colheita seja realizada sem maiores prejuízos; disponibilidade de herbicidas gramínicidas pós-emergentes,

seletivos ao milho; possibilidade de se trabalhar com diferentes espaçamentos (SILVA et al., 2004).

Silva et al. (2011) afirmam que o Sistema de Plantio Direto, quando consegue produzir e manter acima de cinco toneladas de palha por hectare na superfície do solo, proporciona diminuição da densidade da camada superficial, melhora a infiltração de água e aeração, favorecendo a manutenção de maior umidade do solo e o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, entre outros benefícios. A manutenção deste aporte de palha na superfície resulta na dissipação de energia da compactação, resultando em menor densidade dos solos.

No cultivo integrado, a definição do objetivo principal da produção pode ser determinante para a implantação do sistema. Ceccon (2011a) afirma que, antes de iniciar a semeadura, o agricultor precisa definir se o objetivo do consórcio é formação de palha, pasto ou ambos, pois a forma de implantação difere quanto à espécie de braquiária, ao método de semeadura e à população de plantas da forrageira.

Correia et al. (2013) estudando a cultura da soja em rotação com o consórcio de milho com *B. ruziziensis* concluíram que o primeiro ano já beneficiou a população de plantas, a altura de plantas e a produção de grãos de soja em relação ao monocultivo de milho no mesmo período. Além disso, observaram que na cultura da soja em rotação, a densidade e a matéria seca de plantas invasoras reduziram linearmente com o aumento da quantidade de sementes de braquiária utilizadas no ano anterior.

Fernandes (2015) objetivando avaliar, em sistema de integração lavoura pecuária, a quantidade de palhada residual formada em diferentes sistemas de manejo, observaram que o manejo da *B. Ruziziensis* promove maior quantidade de palha residual sem controle químico e a maior intensidade de pastejo interfere na quantidade desta palhada acumulada sobre a superfície do solo para implantação da soja como cultura de sucessão.

Costa et al. (2012) com o objetivo de avaliar a produtividade de grãos e de forragem do consórcio entre milho e espécies de braquiária, submetidos a doses de N em cobertura, em sistema plantio direto, constataram que este sistema garante quantidade acima de 5.000 kg de matéria seca por hectare, tanto para o fornecimento à alimentação animal quanto para a sustentabilidade e a continuidade do sistema plantio direto.

Ao avaliar o desempenho do milho safrinha consorciado com a *Brachiaria ruziziensis* cv. Comum cultivada em diferentes épocas de semeadura, Richart et al. (2010) constataram evidências da viabilidade técnica do consórcio desde que as duas espécies sejam implantadas simultaneamente, pois, desta forma, o cultivo consorciado permitiria a produção de grãos de milho, sem o comprometimento do estabelecimento da *B. ruziziensis*.

Com o intuito de avaliar a produção de milho e da forrageira *Brachiaria brizantha* em consórcio sob adubação fosfatada e nitrogenada, e a formação da pastagem após a colheita do milho, Quaresma et al. (2010) chegaram à conclusão que há aproveitamento da adubação residual, beneficiando o desenvolvimento do capim após a colheita do cereal, inclusive no início da estação seguinte.

Tsumanuma (2004) estudando o desempenho do milho consorciado com *B. brizantha*, *B. decumbens* e *B. ruziziensis* semeadas na entrelinha da cultura simultaneamente à semeadura do milho, e na época de adubação de cobertura do milho ratificaram a não existência de diferença significativa para produtividade entre todos os tratamentos estudados (milho consorciado e em monocultivo).

Sereia et al. (2012) relataram que no final do ciclo do milho, quando se encontrava após estágio de grãos farináceos-duro, ocorreu uma retomada do crescimento das braquiárias e atribuiu esse comportamento ao maior estímulo luminoso recebido pelas forrageiras, devido a senescência das folhas do milho que se pronuncia nesta fase do desenvolvimento. Neste estudo, foi atingido valores de produtividade de massa seca de 6,3 t ha⁻¹ para *B. ruziziensis*, demonstrando o grande potencial de utilização desta espécie para fornecimento de forragem no período seco.

Neste contexto, o consórcio milho-braquiária mostra-se uma excelente opção para o incremento produtivo em áreas agrícolas, aliando técnica, viabilidade e sustentabilidade nas propriedades agrícolas, promovendo maior uso eficiente da terra.

2.2. Densidade de semeadura da braquiária em consórcio com a cultura do milho

Em regiões tropicais, um dos grandes problemas para sustentabilidade do sistema de plantio direto é a rápida decomposição da matéria orgânica, levando à necessidade de produção de grandes quantidades de palha (CHIODEROLI et al., 2012). Na busca da recuperação da fertilidade de áreas degradadas com rápido

retorno do capital investido tem-se optado pela adoção do sistema de consórcio entre milho e forrageira. Todavia, para obtenção de sucesso econômico nesse sistema são necessárias práticas culturais adequadas referentes ao arranjo de plantas na área. Isto é necessário para redução da influência da competição entre as espécies consorciadas (FREITAS, 2013).

O aumento da competição intraespecífica, decorrente da maior população da forrageira, aliado à presença das plantas de maior porte no consórcio reduzem a disponibilidade de radiação solar além de estabelecer um microclima na região baixa com temperaturas mais amenas, influenciando a regulação estomática da braquiária por ser uma espécie de ciclo metabólico C4 (SILVA JÚNIOR et al., 2018). Conforme Freitas et al. (2013), no consórcio de milho com forrageiras, a produção de espigas pode ser influenciada pelas competições intra e interespecíficas por fotoassimilados, fato que pode reduzir o índice de prolificidade devido ao aumento da esterilidade feminina na cultura.

A maior taxa de acúmulo de matéria seca produzida nos estádios iniciais de desenvolvimento do milho em relação a diversas forrageiras (SILVA et al., 2004) resultará em maior interceptação da radiação solar (FREITAS et al., 2008). Essa interceptação varia conforme as características morfológicas do cultivar, como altura de planta e arquitetura foliar, além da população de plantas e espaçamentos utilizados (FREITAS et al., 2008). A maior produtividade de grãos de genótipos de milho que apresentam arquitetura foliar ereta se deve à maior interceptação de radiação por unidade de área foliar, apresentando consequente taxa assimilatória líquida (ROMANO, 2005). Todavia, reduções na produtividade do milho poderão ocorrer em função da competição interespecífica pelos recursos de crescimento com a forrageira (CRUZ et al., 2009; CARVALHO et al., 2011; PARIZ et al., 2011).

Pesquisas comprovaram que o consórcio da braquiária com o milho reduziu o rendimento da forrageira, em relação ao monocultivo, nos mais variados arranjos de semeadura (FREITAS et al., 2005; LEONEL et al., 2009). Acredita-se que a competição das plantas de braquiária com as culturas possa limitar o fornecimento de alguns recursos para a cultura, ocasionando deficiências que provocam alterações nas características fisiológicas relacionadas com a fotossíntese, como a deficiência hídrica (FLOSS, 2008), nutricional (MELO et al., 2006) e baixa luminosidade ou sombreamento (FARIA, 2011). Essas limitações podem levar a alterações na

condutância estomática, concentração interna de gases com consequências na eficiência fotossintética e no uso eficiente da água (FREITAS, 2013).

Braz et al. (2005), ao avaliar o consórcio milho verificou que, em termos comparativos, a braquiária consorciada com o milho produziu 12% de massa seca total em relação à obtida no cultivo solteiro. Verificaram ainda que o índice de área foliar no consórcio correspondeu apenas a 19% do valor obtido pela braquiária solteira e que os valores estimados de taxa instantânea de crescimento da cultura também tiveram a mesma tendência.

Nos sistemas agrícolas, a água tende a ser o primeiro recurso a ficar limitante no meio, o que tende a se intensificar com o aumento de plantas presentes em uma mesma área (VIDAL, 2010). Como a água está diretamente relacionada ao movimento dos nutrientes no solo e com as trocas gasosas das plantas, via transpiração e assimilação de CO₂, espera-se que a competição seja mais pronunciada em situações onde mais de uma espécie é cultivada em uma mesma área (SILVA, 2014). O uso mais eficiente da água está diretamente relacionado ao tempo de abertura estomática, pois, enquanto a planta absorve CO₂, a água é perdida pela transpiração, com intensidade variável, dependendo do gradiente de potencial entre a superfície foliar e a atmosfera (CONCENÇO et al., 2007).

Embora a braquiária seja a espécie desejada após a colheita do milho, em uma maior densidade de semeadura, maior será a quantidade de indivíduos na disputa por água, luz e nutrientes, promovendo maior competição entre o milho e a braquiária (REIS, 2010). Em trabalho conduzido em condições controladas observou-se que a produção de milho foi afetada pela competição com plantas de *B. brizantha*, semeadas na mesma época, em estandes superiores a 50 plantas m⁻² (JAKELAITIS et al., 2006).

A competitividade inicial entre as culturas consorciadas pode ser amenizada com adoção de práticas culturais, como densidade de plantas, que retarda sobremaneira o acúmulo de biomassa por parte da forrageira, durante o período de competição. Pode-se também associar a estes métodos culturais aos métodos químicos que consistem na aplicação de herbicidas que vão reduzir a taxa de crescimento da forrageira (FREITAS, 2013).

A maximização da produção depende da população de plantas empregada, de acordo com a capacidade de suporte do meio e do sistema de produção adotado em conformidade com as características genético-fisiológicas da cultura (FANCELLI,

2003). Identificar e utilizar sistemas de cultivo que proporcionem boa cobertura do solo aliado ao maior retorno econômico é um desafio a ser alcançado, a fim de melhorar e manter a qualidade do solo e a produtividade das culturas (CECCON, 2011b).

Tendo isso em vista, a densidade de semeadura e o espaçamento do milho foram alterados ao longo do tempo. Isto ocorreu à medida que modificações de ordem genética, fisiológica, bioquímica e anatômica foram incorporadas nas plantas pelos programas de melhoramento, concomitantemente com as mudanças no manejo da cultura. Os híbridos lançados a partir da década de 1990 foram selecionados sob altas densidades de plantas, tendo-se tornado, também, mais tolerantes aos estresses ocasionados por deficiência hídrica ou nutricional (DUVICK, 1997).

Gimenes et al. (2008), com o objetivo de avaliar as interações e interferências de diferentes espécies de braquiária com diferentes densidades de semeadura, no desenvolvimento da cultura do milho, concluíram que os parâmetros fitotécnicos referente ao número de folhas, índice de área foliar e diâmetro de colmo da cultura do milho não sofreram interferência dos tratamentos com forrageiras avaliados no experimento, porém, a altura das plantas do milho foi afetada pelas densidades testadas de semeadura das *Poaceas*. Os mesmos autores observaram ainda que a densidade de semeadura da braquiária de 20 kg ha⁻¹, mesmo sendo indiferente para o parâmetro massa de mil grãos, interferiu significativamente na queda da produtividade final da cultura do milho.

Silva (2014), estudando os efeitos do cultivo consorciado do milho e da *B. brizantha* sobre as características fisiológicas e produtivas das culturas, constatou que a produtividade do milho em consórcio é reduzida em densidade de braquiária superior a oito plantas por m², além de comprovar que o sombreamento do milho afeta negativamente nas características fisiológicas da braquiária.

Alves et al. (2013) com o objetivo de determinar a população ideal de plantas de *B. ruziziensis* que não cause redução na produtividade de milho safrinha em consórcio, bem como o melhor desempenho da soja cultivada em sucessão, puderam constatar que em altas densidades de plantas, a competição intraespecífica da *B. ruziziensis* minimiza as influências sobre o milho safrinha em consórcio, de maneira a não afetar seu desempenho. Observaram ainda que o cultivo de milho safrinha consorciado com cinco plantas de *B. ruziziensis* m⁻² proporciona melhor rendimento do milho em consórcio e melhor desempenho da soja em sucessão.

Gimenes Júnior et al. (2011), avaliando os efeitos de densidades de *B. ruziziensis* no consórcio com a cultura do milho, em relação ao controle e desenvolvimento de plantas daninhas no sistema de integração lavoura-pecuária, constataram que a forrageira *B. ruziziensis* foi efetiva em reduzir o potencial competitivo das plantas daninhas *Digitaria horizontalis*, *Ipomoea grandifolia* e *Cenchrus echinatus*, por meio de redução no nível de infestação e interferência no desenvolvimento dessas espécies.

Ceccon et al. (2018), com o objetivo de avaliar a produtividade de grãos e de massa de milho, solteiro e consorciado com populações de plantas de duas espécies de *Brachiaria* para formação de palha ou pasto, observaram que o máximo rendimento total de massa seca foi obtido com a população de 10 e 12 plantas m⁻² da forrageira.

Batista et al. (2012), ao avaliar o consórcio milho safrinha com forrageiras no estado de São Paulo, obtiveram maior média de acúmulo de matéria seca de *B. ruziziensis* de 2.352 kg ha⁻¹, adotando a densidade de semeadura de 9 kg ha⁻¹, por ocasião da dessecação da forrageira para safra seguinte.

2.3. Balanço de água no solo

A água é fator determinante na produção agrícola, tendo em vista que a sua disponibilidade tem influenciado diretamente o sucesso agrícola e o retorno econômico esperado, tornando primordial o conhecimento sobre o conteúdo de água no solo. A instabilidade no regime pluviométrico, principalmente a má distribuição espacial e temporal, e elevadas taxas de evapotranspiração, são fatores limitantes a atividade agrícola no Nordeste brasileiro (LEMOS; BOTELHO, 2010).

As variáveis que compõe o balanço hídrico favorecem ao planejamento agropecuário e as práticas de controle de produção, ou seja, disponibilizam informações que permitem aos produtores identificar as fragilidades climáticas, sendo uma ferramenta essencial para o sucesso de um empreendimento agrícola, que inclui a decisão de optar ou não por sistemas de irrigação para suprir a deficiência hídrica no solo (SILVA JUNIOR et al., 2018).

O método que possibilita o estudo mais detalhado das condições hídricas em que a cultura se desenvolveu é o que contabiliza os processos da equação do balanço da água no solo (TIMM et al., 2002; CRUZ et al., 2005). Esta equação expressa que a soma algébrica, durante dado período, de todas as entradas (consideradas

positivas) e saídas (negativas) de água em um volume de solo controlado, submetido às peculiaridades dos fenômenos meteorológicos, dos atributos do solo e das características genéticas da espécie ou da variedade vegetal, resulta no saldo ou balanço de água no solo em um determinado período. Considera-se esse volume, no campo, delimitado por duas superfícies paralelas: a interface solo-atmosfera (limite superior do volume ou superfície do solo) e uma superfície horizontal localizada à profundidade do sistema radicular efetivo do cultivo (limite inferior do volume) (BRITO et al., 2009).

A CAD (capacidade de água disponível) é calculada pela relação entre CC (capacidade de campo) e PMP (ponto e murcha permanente) em uma determinada profundidade (Z) de interesse, logo, tem-se $CAD = (CC - PMP) * Z$. Uma das aplicações práticas do conhecimento da capacidade de água disponível no solo (CAD) é a utilização em zoneamentos agroclimáticos, por meio dos balanços hídricos (REICHERT et al., 2011). A capacidade de campo é considerada uma condição de umidade do solo que ocorre depois que toda a água livre foi drenada pela gravidade e o ponto de murcha permanente como uma tensão na qual as plantas murcham permanentemente, não sendo mais capazes de voltar à turgidez inicial (LEPSCH, 2011).

A relação entre a evapotranspiração de referência e a evapotranspiração real das plantas representa a deficiência hídrica que ocorre no solo, ou seja, a umidade do solo está abaixo do desejável, ou da água facilmente disponível, fazendo com que a planta reduza suas atividades metabólicas, resultando na diminuição do crescimento e desenvolvimento da mesma. Essa indisponibilidade hídrica é que deve ser reposta pelas chuvas e/ou irrigação para que se tenha a expressão de toda a potencialidade produtiva de uma espécie (SANTOS et al., 2010).

A precipitação pluviométrica é o principal meio da entrada de água no sistema agrícola, sendo primordial para o entendimento da dinâmica hídrica do meio e pode ser utilizada como um indicador de épocas mais adequadas para a semeadura (BARRETO et al., 2014). Para tanto, apenas os dados de precipitação pluvial não são suficientes para se prever a quantidade de água disponível no solo para as culturas, visto que esses informam somente a entrada de água no solo.

A evapotranspiração representa a perda de água para a atmosfera por meio da evaporação de água do solo e da transpiração das plantas através das folhas. O conhecimento da evapotranspiração é de grande relevância na estimativa da

necessidade de irrigação das culturas, sendo um dos primeiros fatores que deve ser conhecido para um eficaz manejo racional de recursos hídricos (BACK, 2007).

Neste sentido, têm-se aderido a diferentes metodologias em campo a fim de se obter o requerimento hídrico das culturas por meio da evapotranspiração da cultura, estes incluem métodos meteorológicos e do balanço de água no solo por meio do uso de sondas ou lisímetros e podem resultar em indicadores a serem utilizados no manejo racional da irrigação (POSSE et al., 2008; SILVA et al., 2012). Dentre os indicadores utilizados está o coeficiente de cultura (K_c), que compreende a relação entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração de referência, que incorpora características da planta (como área foliar, altura e manejo da cultura) e efeitos da evaporação do solo, variando ao longo do ciclo em função da taxa de crescimento e, conseqüentemente, da variação da cobertura do solo (ALLEN et al., 2005).

Diversas pesquisas foram realizadas no estado do Piauí usando o balanço hídrico para determinar as necessidades de água e processar zoneamento de risco climático de culturas solteiras nas duas últimas décadas: milho (ANDRADE JÚNIOR et al., 2008), algodão herbáceo (ANDRADE JUNIOR et al., 2006), soja (ANDRADE JUNIOR et al., 2007b) e em consórcio, milho e feijão-caupi (FERREIRA et al., 2008), milho e *B. ruziziensis* (ANDRADE JUNIOR et al., 2010), milho e *B. brizantha* cv. Marandu (SILVA et al., 2014a).

Silva et al. (2014b), analisando os componentes do balanço hídrico e o perfil do sistema radicular em *Brachiaria decumbens*, em nove meses do ano de 2011, observaram que o fluxo de água no limite inferior ($z = 0,30$ m) do solo ocorreu somente no sentido descendente, sendo perdidos 103,14 mm de água por drenagem, o que representa 24,12 % de toda a água fornecida à cultura. A evapotranspiração total da *Brachiaria decumbens* foi de 324,96 mm.

Silva (2011), estudando a necessidade hídrica no consórcio milho - *Brachiaria ruziziensis*, observaram que a ET_c média variou de 3,91 a 4,56 mm dia⁻¹, tendo sido menor que a ET_o (4,89 e 4,78 m dia⁻¹) dos 45 aos 55 DAS. A partir dos 65 DAS do milho, esse comportamento se inverte e a ET_c se eleva de 5,58 mm dia⁻¹ a 6,41 mm dia⁻¹, atingindo o valor máximo aos 75 DAS, coincidindo com as fases de formação de espigas e enchimento de grãos no milho e máxima área foliar da braquiária.

Machado et al. (2015), com o intuito de determinar os componentes do balanço hídrico de uma área cultivada no consórcio milho-pastagem, em condições de sequeiro na bacia hidrográfica do Rio Mundaú, Pernambuco, observaram que os

valores médios de ET para o solo nu, consórcio milho-braquiária e braquiária solteira foram, respectivamente, 0,8; 1,5 e 1,1 mm d⁻¹. Neste estudo, o consórcio milho-pastagem sofreu estresse hídrico, em quase todo período experimental, tendo em vista os valores da relação ET/ET_o serem inferiores a 1.

Rocha et al. (2014) determinaram a variação do conteúdo de água no solo através da TDR, com cultivo de milho por meio do balanço de água, na qual o uso da técnica mostrou-se eficiente para o estudo da dinâmica da água no solo.

2.4. Monitoramento de água no solo através da reflectometria no domínio do tempo (TDR)

Vários equipamentos de medição indireta do conteúdo de água no solo são alvos de pesquisa e já ocupam espaço no mercado atualmente. Entre eles, destaca-se o reflectômetro TDR – *Time Domain Reflectometry* (Reflectometria no domínio do tempo), devido diversas vantagens que apresenta, sobretudo, a maior precisão, além de apresentar-se uma técnica pouco influenciada pelos fatores ambientais o que permite a coleta automática de dados distribuídos espacialmente (GONÇALVES et al., 2011).

Segundo Calderón (2010), as vantagens da técnica da TDR são evidenciadas por esta permitir leituras contínuas em tempo real, ser de natureza não destrutiva, possuir grande exatidão de resultados, não oferecer riscos radioativos (fazendo analogia ao método de moderação de nêutrons), resolução espacial e temporal satisfatória, além de simples obtenção dos dados e possibilidade de automatização do sistema. Como desvantagens, pode-se citar a dependência dos atributos físicos e químicos do solo, calibração trabalhosa para os diferentes tipos de solo e o elevado custo do equipamento (SANTOS et al., 2012).

A utilização desta técnica para fins de determinação da umidade do solo se consagra na relação existente entre a constante dielétrica aparente do solo (K_a) e o teor volumétrico de água do solo (θ) e tem impulsionado várias pesquisas, destacando-se a determinação do teor de água do solo (LACERDA et al., 2009; KAISER et al., 2010; LYRA, 2010) e da condutividade elétrica da solução do solo (GRAFF et al., 2010), a identificação da dinâmica de extração de água do solo pelas culturas (SILVA et al., 2009; ANJOS et al., 2017), a estimativa da evapotranspiração

das culturas (FIGUEIREDO et al., 2009) e os estudos de movimento de água no solo (BIZARI et al., 2016).

A TDR é uma técnica fundamentada fisicamente na velocidade de propagação de pulsos de micro-ondas em cabos condutores envoltos pelo meio com constante dielétrica diferente da constante da água. Esse fenômeno se deve à diferença entre as constantes dielétricas (K), da água, do ar e do solo. Na matriz do solo essas constantes variam entre 1 e 81. O ar possui o valor mínimo igual a 1, as partículas sólidas variam entre 3 e 5, e a água, o valor máximo é de 81. A constante K medida no sistema solo-água-ar é denominada de constante dielétrica aparente (Ka) (SOUZA et al., 2016a).

Dessa forma, a TDR consiste em medir o tempo necessário para que um pulso eletromagnético se propague através de um cabo coaxial de impedância constante (50 Ω) até chegar a uma haste de transmissão paralela de metal – sonda - na outra extremidade do cabo, fincado no solo, que por sua vez, atua como meio dielétrico. O pulso, sob efeito das alterações no início da haste, sofre uma reflexão, seguindo trajeto até o final das hastes da sonda, de onde é definitivamente refletido de volta ao testador de cabos (SOUZA et al., 2016a). O tempo, em segundos, necessário para uma onda percorrer a haste e retornar até a sonda, de comprimento L, é dada pela seguinte equação:

$$t = \frac{2L}{v} = \frac{2L\sqrt{Ka}}{c} \quad (1)$$

$$Ka = \left(\frac{ct}{2L}\right)^2 \quad (2)$$

Onde:

t: tempo, em s;

v: velocidade do pulso eletromagnético, em m/s;

Ka: constante dielétrica do solo;

c: velocidade propagação das ondas eletromagnéticas no vácuo (3×10^8 m s⁻¹).

Topp *et al.* (1988) propôs uma equação polinomial de terceiro grau para converter os valores da constante dielétrica do solo em umidade em base volumétrica, cuja precisão sugere o uso da TDR sem a necessidade de calibrar para solos diferentes.

$$\theta_v = -5,3 \times 10^{-2} + 2,92 \times 10^{-2}Ka - 5,5 \times 10^{-4}Ka^2 + 4,3 \times 10^{-6}Ka^3 \quad (3)$$

Onde:

Ka: constante dielétrica do solo

Apesar desta equação ainda ser muito utilizada em diversos estudos, vários pesquisadores têm notado a necessidade de contínuas calibrações específicas para cada tipo de solo estudado, já que a constante dielétrica varia conforme as características do solo e, em consequência, da variação da umidade do solo em solos de textura argilosa e alto teor de matéria orgânica (REDER et al., 2014; KIM et al., 2017; GUIMARÃES, 2019).

Com o objetivo de determinar a variação do conteúdo de água no solo cultivado com milho através do balanço de água, em função de três métodos de determinação do coeficiente de estresse de água, e compará-la com a medida por TDR, Rocha et al (2014) basearam-se na eficácia e confiabilidade desse método para realização do balanço hídrico.

Com o intuito de calibrar a sonda TDR em um Latossolo Vermelho Amarelo cultivado com café Conilon, afim de verificar sua eficácia na determinação da umidade do solo, Souza et al. (2016b) constataram a aplicabilidade do uso da técnica devido ao ajuste excelente e baixos erros na estimativa da umidade do solo para o tipo de solo estudado.

Anjos et al. (2017), utilizando a técnica da TDR, monitoraram o armazenamento de água em um Plintossolo Argilúvico sob diferentes níveis de palhada durante o ciclo de quarta soca da cana-de-açúcar, em duas profundidades (0-0,3m; 0-0,6m).

Guimarães et al. (2019), avaliando a resposta à umidade do solo de um sensor portátil do tipo TDR para um Latossolo Vermelho Distroférico do Cerrado sob três diferentes sistemas de manejo do solo em três profundidades distintas no perfil do solo, indicaram o aparelho como eficaz na mensuração da umidade do solo em todas as profundidades e sistemas de manejo do específico Latossolo analisado, com diferença estatística entre os tratamentos, apresentando boa representatividade dos valores de umidade em função do período de resposta do sensor e da correlação entre a umidade pelo TDR e umidade pelo método gravimétrico.

Srivastava et al. (2018), avaliaram valores de evapotranspiração da cultura (ETc) do milho em uma região sub úmida usando quatro diferentes métodos para estimar a resistência do dossel da cultura, comparando com os valores de evapotranspiração da cultura diários obtidos através do balanço de água do solo e da mensuração da variação do conteúdo de água no solo por meio da TDR. O estudo

demonstrou confiabilidade da técnica da TDR para obtenção do conteúdo de água no solo de forma precisa, auxiliando a determinação da demanda hídrica das culturas.

2.5. Perda de água por evapotranspiração

O fator água é considerado um dos mais limitantes à produção, principalmente em épocas quentes e de baixa precipitação pluvial, pois afeta diretamente o processo de fotossíntese e a absorção de nutrientes. Nesse caso, uma importante característica das plantas cultivadas pode ser afetada: a eficiência no uso da água – caracterizada como a quantidade de água transpirada por uma planta para a produção de certa quantidade de matéria seca (SILVA et al., 2007).

O conhecimento do modo como as plantas utilizam a água no solo e de como respondem aos níveis de armazenagem a partir do balanço hídrico, pode ser uma saída viável para o estabelecimento de estratégias eficazes de manejo, visando ao melhor uso possível das reservas de água no solo pelas culturas. O movimento cíclico da água na lavoura começa com a penetração no solo por meio da infiltração, continua com o armazenamento temporário na zona do sistema radicular e termina com a remoção do solo por meio da drenagem, evaporação e absorção pelas raízes (HILLEL, 1998).

A evapotranspiração consiste no processo inverso da precipitação, pois é a contabilização da perda de água que foi evaporada do solo somada a transpiração das plantas (MENDONÇA et al., 2003). A evaporação da água do solo é influenciada por uma série de fatores que afetam a superfície do solo, dentre eles o manejo da lavoura, destacando-se a cobertura do solo com resíduos vegetais (DAMALGO et al., 2010). É influenciada pelo sombreamento do solo pela cultura, que depende da densidade e altura de plantas (ALLEN, PERREIRA, 2009), umidade da superfície do solo e disponibilidade de energia (ÁVILA, 2016).

A quantidade de água no solo aumenta em decorrência da diminuição da evaporação de água da superfície do solo e do aumento da quantidade de água infiltrada. Portanto, solos com cobertura vegetal conservam mais umidade no período da seca do que solos descobertos. Por outro lado, excesso hídrico aliado à cobertura do solo, no que tange a solos de péssima drenagem, pode causar anaerobiose, perda de nitrogênio e propiciar o desenvolvimento de doenças causadas principalmente por fungos (PENTEADO, 2007).

Souza et al. (2012), com o intuito de determinar a evapotranspiração de cultura e os coeficientes de cultura (K_c) do milho, em sistemas de monocultivo e de consórcio com mucuna-cinza, em seus diversos estádios de desenvolvimento, utilizando-se lisímetros de pesagem, constataram que o ciclo da cultura no monocultivo foi de 115 dias, com consumo total de água de 394 mm e no cultivo consorciado, 121 dias, com consumo total de 437 mm. Os valores de K_c para cada fase de desenvolvimento do milho em consórcio com a mucuna-cinza foram: I (0,40 – 0,60); II (0,70 – 0,85); III (1,0 – 1,15) e IV (0,70 – 0,90). Para o monocultivo, os valores de K_c foram: I (0,60 – 0,65), II (0,80 – 0,90), III (1,0 – 1,20) e IV (0,52 – 0,70).

Souza et al. (2015), com o intuito de determinar a necessidade de água e o coeficiente de cultura do milho e feijão-caupi em sistemas de plantio exclusivo e consorciado sob as condições de Semiárido brasileiro, concluíram que houve uma maior necessidade de água para as culturas do milho e do feijão caupi nos sistemas consorciados quando comparados aos sistemas exclusivos. Definiram que os valores de K_c no sistema de plantio consorciado foram iguais a 0,90; 1,43; 1,17 e 0,72 para o milho e 0,86; 1,25; 1,31 e 0,91 para o feijão-caupi, respectivamente, nas fases vegetativa, floração, enchimento de grãos e maturação, e no sistema exclusivo de 0,86; 1,23; 0,97 e 0,52 para o milho e de 0,68; 1,02; 1,06 e 0,63 para o feijão-caupi, nessa mesma ordem.

Ferreira et al. (2010) avaliaram a performance produtiva e as medidas de eficiência técnica e econômica do consórcio milho – feijão caupi em resposta à disponibilidade hídrica do solo, nas condições edafoclimáticas de Teresina, PI. Constataram que a produtividade de grãos das culturas em resposta à disponibilidade hídrica do solo foi reduzida no cultivo consorciado em relação ao solteiro.

Alguns estudos foram executados no Brasil sobre a demanda hídrica do consórcio milho e braquiária. Em Dourados, MS, Fietz et al. (2009) avaliaram o consumo hídrico do consórcio milho e *B. ruziziensis* com um lisímetro de pesagem. O consumo hídrico médio foi de 2,6 mm dia⁻¹ e os coeficientes de cultivo variaram de 0,64 a 1,63.

Silva (2011) em Alvorada do Gurguéia, PI, avaliaram o consórcio milho e *B. ruziziensis*, utilizando sonda de capacitância elétrica (FDR). No consórcio, o K_c medido, apresentou valor mínimo de 0,80, nos primeiros 45 DAS do milho (de 30% a 100% da cobertura do solo) e 25 DAS da braquiária (fase inicial de crescimento). A partir dos 55 aos 75 DAS do milho (início do pendoamento a florescimento até

formação de grãos) e dos 35 aos 55 DAS da braquiária (área foliar máxima), o Kc atingiu o valor máximo, variando de 1,0 a 1,30. No final da formação de espigas até a maturação final do milho, os valores de Kc's decresceram, variando de 1,1 a 0,8, dos 95 a 125 DAS do milho (e 75 a 115 DAS da braquiária (fase de maturação fisiológica).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local do experimento

O experimento foi conduzido na Fazenda Barbosa, situada no município de Brejo – MA (03°42'44" S; 42°55'44" W e 55 m de altitude) (Figura 1), na mesorregião Leste maranhense, microrregião de Chapadinha, no período de fevereiro a julho de 2018.

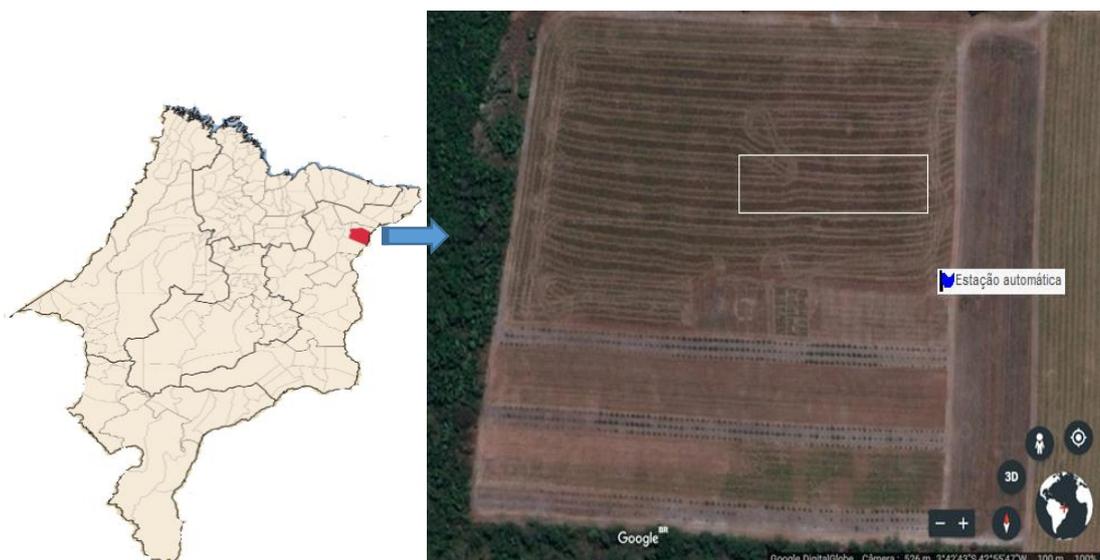


Figura 1 – Imagem da área experimental. Fonte: Google Earth, 2018.

Segundo balanço hídrico realizado por Passos et al. (2016) (Figura 2), utilizando uma série histórica de dados de 1976-2015, observa-se que na região de Chapadinha-MA, há um excedente hídrico nos meses de fevereiro a maio e um déficit hídrico de junho a dezembro, com uma concentração de 27,28% da evapotranspiração potencial no trimestre outubro – novembro – dezembro. A precipitação pluviométrica média anual é de 1613,2 mm, sendo os maiores índices registrados nos meses de fevereiro a maio.

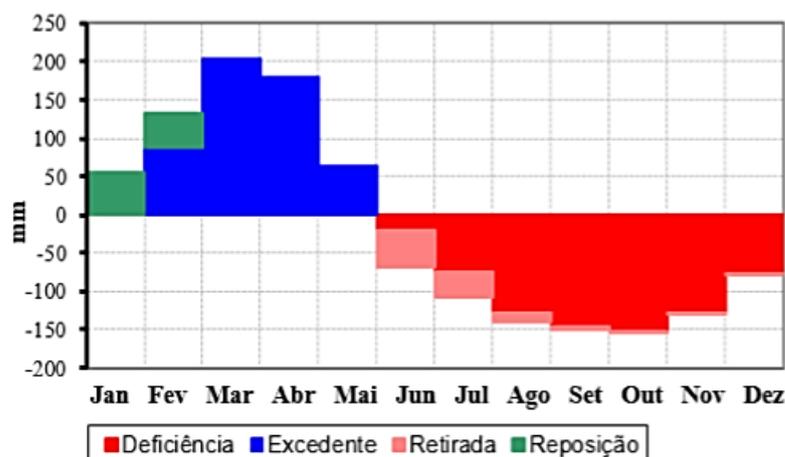


Figura 2– Extrato do balanço hídrico normal mensal, para o período de 1976 a 2015. Fonte: Passos et al. (2016).

O solo da área foi classificado segundo a Embrapa (2013), como um Argissolo Amarelo distrófico típico, textura franco-arenosa, com a presença de horizonte coeso (RESENDE et al., 2014) cujas características químicas, granulométricas e físico-hídricas, em três profundidade, estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Características químicas do solo da área experimental. Brejo, MA, 2018.

	Características químicas									
	pH	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	CTC	M.O.
	H ₂ O	(mg dm ⁻³)	(cmolc dm ⁻³)					(dag kg ⁻¹)		
0,0-0,1 m	5,60	14,32	0,06	0	1,72	0,54	0,21	6,72	9,05	1583,74
0,1-0,3 m	5,25	5,59	0,08	0	1,17	0,40	0,51	8,91	10,56	1546,45
0,3-0,6 m	5,14	3,66	0,03	0	0,88	0,35	0,59	8,86	10,12	1379,01

Os atributos físico-hídricos quantificados foram: granulometria, densidade do solo, capacidade de campo, ponto de murcha permanente (Tabela 2) e curva de retenção de água (Figura 3). Essa quantificação foi efetuada nas camadas de 0-0,1m; 0,1-0,2m; 0,2-0,6m. As amostras de solo indeformadas foram devidamente preparadas e saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água em uma bandeja, até atingir 2/3 da altura das amostras. A coleta das amostras e determinação laboratorial dos atributos físico-hídricos seguiu a metodologia preconizada pela Embrapa Solos (EMBRAPA, 2011).

Tabela 2 - Características físico-hídricas da área experimental. Fazenda Barbosa, Brejo, MA, 2018.

	Ds	CC	PMP	Areia	Argila	Silte	Classificação textural
	g cm ⁻³	%, em vol		g kg ⁻¹			
0,0 - 0,1 m	1,517	0,28	0,07	777	148	73	Franco arenosa
0,1 - 0,3 m	1,661	0,18	0,07	734	170	94	Franco arenosa
0,3 - 0,6 m	1,594	0,19	0,11	674	233	92	Franco argilo-arenosa

Ds: densidade do solo; CC: capacidade de campo; PMP: ponto de murcha permanente.

As curvas de retenção de água no solo (Figura 3) para as três profundidades avaliadas foram obtidas através do método de Van Genuchten (1980) após determinação em laboratório conforme Andrade Júnior et al. (2007).

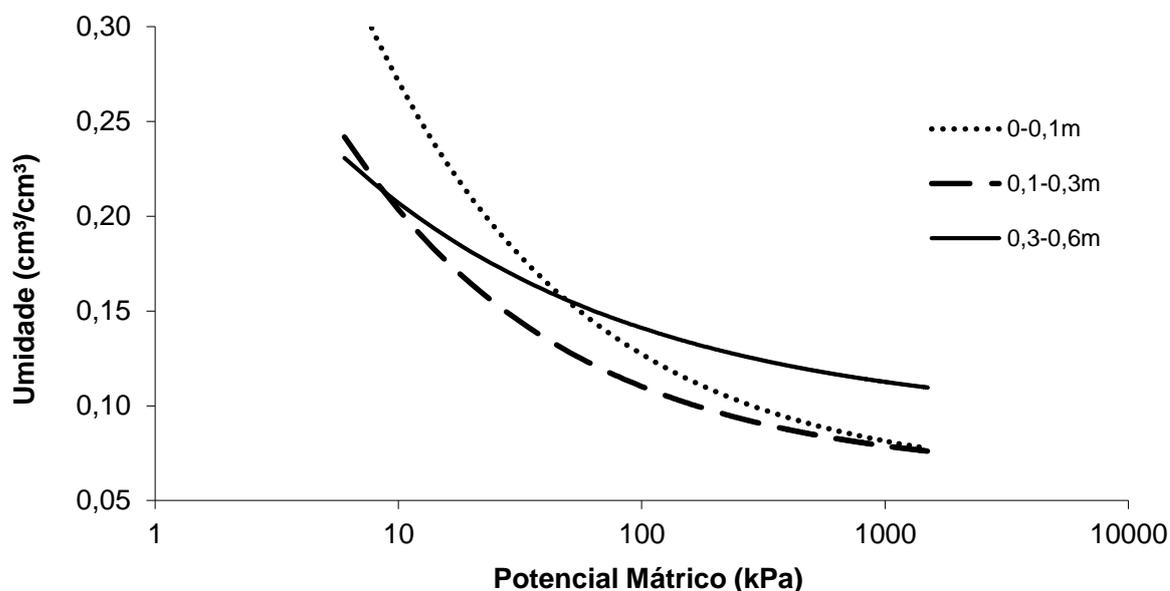


Figura 3 – Curvas de retenção de água no solo obtida pelo método de Van Genuchten (1980) em cada profundidade avaliada. Brejo, MA. 2018.

3.2. Histórico da área

A área utilizada para a realização deste experimento foi desmatada no ano de 2004, e no ano posterior prosseguiu-se o cultivo do arroz de terra alta. No período de 2006 a 2010 foi adotado o sistema de plantio direto com monocultivo da soja, com manejo da fertilidade do solo baseado na análise química a cada ano.

A partir do ano de 2011, foi adotado o plantio da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sobressemeadura a cultura da soja, quando esta encontrava-se no estágio de desenvolvimento 5.1 (início de formação de vagem). Depois da colheita da soja e do adequado desenvolvimento da forrageira, ocorria o pastejo de bovinos na área. Aos 20 dias antes do plantio da soja para a próxima safra, ocorria a dessecação da forrageira para uso da palhada sob plantio direto.

Em 2017, iniciou-se na área o projeto desenvolvido pela Embrapa Meio-Norte intitulado “Tecnologias para sistemas de produção integrados na região Meio-Norte do Brasil”, o qual proporcionou o cultivo do sorgo na área em estudo, utilizando adubação conforme análise química do solo e necessidade nutricional da cultura. Foi realizada a colheita manual da panícula do sorgo. Os resíduos culturais foram utilizados como palhada para o plantio das culturas, deste estudo, na safra 2017/2018.

3.3. Manejo do consórcio milho versus braquiária

O preparo da área ocorreu por meio de dessecação da cobertura vegetal, com a finalidade de obtenção de palhada para a realização do plantio direto. Este processo ocorreu em duas aplicações, sendo a primeira, em 16 de janeiro de 2018 utilizando 4200 g ha⁻¹ de glifosato, 0,2 L ha⁻¹ de óleo mineral e 0,05 L ha⁻¹ de adjuvante sintético; e a segunda aplicação em 23 de janeiro de 2018, com 2800g ha⁻¹ de glifosato, 806g ha⁻¹ de 2-4-D (2,4-dichlorophenoxy), 0,2 L ha⁻¹ de óleo mineral e 0,05 L ha⁻¹ de adjuvante sintético. A aplicação dos produtos foi realizada por meio de pulverizador tratorizado de barras com 28 m de comprimento, tendo-se utilizado bicos cônicos espaçados em 0,50 m e pressão de 60 psi.

A área experimental formada por 48 parcelas, com dimensões 10,0 m x 6,5 m, foi cultivada com milho híbrido simples da Du Pont do Brasil SA 30 F 53VYHR (H1), de ciclo precoce, responsivo ao manejo e alto potencial produtivo e o híbrido simples da Syngenta Seeds LTDA Status Viptera 3 (H2), de ciclo precoce com elevado potencial produtivo, além de ampla adaptação e estabilidade produtiva. O plantio foi realizado no dia 06 de fevereiro de 2018 e a colheita no dia 19 de junho de 2018, totalizando um ciclo de 133 dias.

A semeadura do milho foi realizada por meio de semeadora adubadora para plantio direto, com 13 linhas espaçadas em 0,5m, obtendo estande de 60.000 plantas ha⁻¹, tendo-se adotado 4 cm de profundidade de deposição da semente do milho. A

densidade da semeadura da braquiária variou conforme os tratamentos avaliados sendo utilizadas 2 kg ha⁻¹, 4 kg ha⁻¹, 6 kg ha⁻¹ e 8 kg ha⁻¹ de sementes incrustadas de *Brachiaria ruziziensis* apresentando VC 30%, aplicada a lanço em cada tratamento, manualmente.

Realizou-se o controle de plantas daninhas em 31 DAE do milho, com adição do herbicida Atrazina, na dosagem de 3,0 L ha⁻¹ do i.a, e 0,25 L ha⁻¹ de Nicossulfuron (25% da dose recomendada). A aplicação dos produtos foi realizada por meio de pulverizador tratorizado de barras com 28 m de comprimento, tendo-se utilizado bicos leque espaçados em 0,50 m e pressão de 60 psi. O controle de pragas e doenças foi realizado por meio de duas aplicações de inseticidas e fungicidas. A primeira, em 20 de fevereiro de 2018, aos 10 DAE do milho, contendo 30g ha⁻¹ de Benzoato de Emamectina, 60g ha⁻¹ de Trifloxistrobina e 120g ha⁻¹ de Tebuconazol. A segunda aplicação, ocorreu em 05 de março de 2018, aos 23 DAE do milho com 750g ha⁻¹ de Carbendazim e 240g ha⁻¹ de Espinosade.

A adubação foi realizada de acordo com o resultado da análise química do solo e a necessidade da cultura do milho. Na semeadura, foram utilizados 280 kg ha⁻¹ de NPK com 13% de N, 33% de P₂O₅ e 8% de K₂O. A primeira adubação de cobertura foi realizada quando as plantas apresentavam quatro folhas bem desenvolvidas, sendo aplicados 280 kg ha⁻¹ do adubo composto contendo 10% de N e 30% de K₂O. A segunda adubação de cobertura foi realizada quando as plantas apresentavam oito folhas completamente desenvolvidas, aplicando-se 44 kg ha⁻¹ de N, sendo este um adubo de liberação lenta (ureia protegida). Foram realizadas ainda, duas aplicações com micronutrientes via foliar, nos mesmos dias das pulverizações com fungicida e inseticida, contendo 30 g ha⁻¹ de Mo, 20 g ha⁻¹ de Co, 100g ha⁻¹ de Zn e 200g ha⁻¹ de Mn.

A colheita do milho ocorreu em 19/06/2018, aos 134 DAS do milho. Nesta ocasião, foi avaliado o desempenho agrônômico do milho, considerando uma área de 6m² da área útil da parcela. Além disso, foi realizada a primeira avaliação do desempenho da forrageira utilizando-se quatro repetições de 0,5m² da área útil da parcela. A segunda avaliação da forrageira ocorreu aos 168 DAS.

3.4. Características agrônômicas da cultura do milho

3.4.1. Altura de plantas e inserção de espigas

A altura de planta e inserção de espiga foi determinada no mesmo dia da colheita do milho por meio de medições, com trena graduada em centímetros. Para altura de planta, adotou-se a distância da superfície do solo até a inserção da folha bandeira e para altura de inserção de espiga adotou-se a distância da superfície do solo até a inserção da espiga principal. Utilizou-se em ambas variáveis a média de seis plantas tomadas aleatoriamente na área útil da parcela.

3.4.2. Massa de cem grãos e produtividade de grãos e espigas

Para estas avaliações foram coletadas todas as espigas da amostra da área útil da parcela (m²), logo após as mesmas foram pesadas para obtenção do peso de espigas e, posteriormente, foram debulhadas manualmente. Os grãos foram pesados, e em seguida retirou-se uma amostra para determinação do teor de umidade. Cabe salientar que o teor de umidade foi obtido pelo método elétrico não-destrutivo indireto, mediante o uso do aparelho G650 Analisador de umidade e impureza (Gemaka Agri®), o qual propicia leitura direta em display digital. Após a correção da umidade da massa de grãos para 13% de umidade, a produtividade de grãos foi transformada para quilogramas por hectare.

Para determinação da massa de 100 grãos realizou-se quatro amostragens por parcela de 100 grãos (13% de umidade) cada, logo após suas massas foram submetidas à pesagem em balança de precisão (0,01 g), obtendo-se assim, um valor médio.

3.5. Características agronômicas da braquiária

3.5.1. Densidade de plantas

A densidade de plantas foi determinada em única avaliação por ocasião da colheita do milho, mediante duas repetições da contagem simples de plantas contidas em uma área de 0,5 m² da área útil de cada parcela. Os dados foram transformados para número de plantas por hectare.

3.5.2. Altura de plantas, massa verde e massa seca total

A altura de plantas foi considerada da base do solo até as pontas médias das maiores plantas da área útil da parcela. A medição foi realizada em duas épocas distintas, sendo elas: colheita do milho (primeira avaliação – AV1); e momento referente à entrada dos animais para pastagem (segunda avaliação – AV2), respectivamente aos 134 e 168 DAS da braquiária, totalizando assim, um intervalo entre coleta de 34 dias.

Para se determinar a massa verde da braquiária coletou-se duas amostras de 0,5 m² por parcela. O material foi ceifado a 0,05 m de altura do solo, sempre em locais diferentes de uma coleta para outra, porém dentro da área útil de avaliação da parcela. No momento da coleta do material, as amostras foram acondicionadas em sacos para obtenção da massa verde. Dessa massa verde, coletou-se uma subamostra de aproximadamente 0,4 kg para determinação da matéria seca, conforme metodologia EMBRAPA (2005). As coletas foram realizadas nas mesmas ocasiões das medições da altura de plantas. A produção de massa verde e matéria seca foi transformada para quilogramas por hectare.

3.6. Uso eficiente da terra

A avaliação dos agrossistemas consorciados deve envolver indicadores econômicos e agroeconômicos, tais como: índice de uso eficiente da terra (UET), índice de agressividade, coeficiente relativo populacional, vantagem monetária e renda líquida, que parece ser a variável econômica mais indicada para a avaliação de consórcios comparando-os ao monocultivo (BELTRÃO, 1984).

O uso eficiente da terra (UET) possibilita comparar os rendimentos das culturas no consórcio em relação ao cultivo solteiro, sendo representado pela área de terra necessária com as culturas em monocultivo para proporcionar rendimento equivalente ao obtido com as culturas consorciadas (CARVALHO, 1988).

A estimativa da participação de cada cultura agrícola no rendimento combinado em consórcio foi efetuada pelo índice de uso eficiente da terra (UET). A fórmula utilizada para o cálculo do UET foi a sugerida por Willey (1979) e Trenbath (1979):

$$UET = \frac{Y_{mc}}{Y_{ms}} + \frac{Y_{bc}}{Y_{bs}} \quad (4)$$

Onde:

UET: Eficiência do uso da terra

Y_{mc}: rendimento de grãos de milho em consórcio, kg ha⁻¹;

Y_{ms}: rendimento de grãos de milho em monocultivo, kg ha⁻¹;

Y_{bc}: rendimento de massa seca da braquiária solteira, kg ha⁻¹;

Y_{bs}: rendimento de massa seca da braquiária em monocultivo, kg ha⁻¹.

3.7. Medidas de crescimento das plantas

Objetivando correlacionar as medidas de umidade do solo do M1 (Milho cv. 30F 53VYHR) com o desenvolvimento da cultura, foi mensurada, semanalmente, a altura das plantas com o auxílio de uma trena, considerando a distância entre a superfície do solo e a base da última folha totalmente expandida. Os valores foram comparados para cada uma das fases de desenvolvimento da cultura em cada sistema de cultivo avaliados.

3.8. Monitoramento do conteúdo de água no solo

A dinâmica da água no solo foi avaliada em termos dos componentes que afetam a disponibilidade de água no solo em resposta às diferentes densidades de semeadura da braquiária (MD1: 2 kg ha⁻¹; MD2: 4 kg ha⁻¹; MD3: 6 kg ha⁻¹ e MD4: 8 kg ha⁻¹) em consórcio com o milho cv. Pioneer 30F 53VYHR, bem como o cultivo solteiro de cada uma das culturas do consórcio avaliado, mantidos sobre a superfície do solo, quais sejam o armazenamento e as perdas de água por evaporação e transpiração das plantas.

No entanto, após análise dos dados optou-se por comparar apenas os dois monocultivos, a maior e a menor densidades de semeadura da braquiária avaliadas no consórcio, a saber MD1: 2 kg ha⁻¹ e MD4: 8 kg ha⁻¹, a fim de determinar maiores distinções entre a dinâmica da água em cada sistema de cultivo. Para tal, em cada tratamento, foi necessário o monitoramento do conteúdo de água no solo, iniciado a partir de 28 dias após a emergência (DAE) até 36 dias após a colheita do milho.

Para tanto, usou-se um equipamento TDR 100 automatizado, composto por sondas de 0,3 m de comprimento, multiplexadores e datalogger, programado para executar e armazenar as leituras a cada 30 minutos dia-a-dia, o que possibilitou a avaliação da dinâmica da água no solo com elevada precisão (Figura 4). Os valores

de umidade do solo, na escala diária, foram obtidos pela média dos 48 registros de cada dia.

No centro de cada parcela experimental, foram instaladas as sondas de TDR 100, com 0,30 m de comprimento, em duas profundidades do perfil do solo (0 - 0,30 e 0,30 - 0,60 m). A sonda superficial foi instalada fixando-a diretamente no solo, a cerca de 0,2 m da fileira central de plantas da parcela. Para a instalação da sonda mais interna (0,3 - 0,6m), foi necessária a escavação do solo até a profundidade de 0,3 m, para posterior fixação da sonda. As duas sondas foram fixadas o mais próximo possível, cerca de 0,1 m, de modo a evitar-se o efeito de possíveis variações na estrutura do solo, que pudesse servir de fonte de variação para análise da dinâmica da água no solo. Os registros foram iniciados a partir do dia 9 de março de 2018, após dois dias de instalação das sondas. O período de acompanhamento da dinâmica da água no solo durou quatro meses e meio, de 9 de março a 19 de julho de 2018.

Antes da montagem do equipamento TDR no campo foi efetuada a sua configuração, que consiste na determinação dos comprimentos virtuais dos cabos coaxiais de 50 Ω para cada multiplexador, com o uso do programa PCTDR. O referido comprimento de cabo é usado para automatização do aparelho pelo software LoggerNet. Esse software assim como os manuais de instalação, sondas, cabos, multiplexadores, placa solar e caixas de proteção do sistema em campo foram adquiridos junto a Campbell Inc. O sistema foi testado e configurado na Embrapa Meio-Norte, antes de ser levado para o campo.

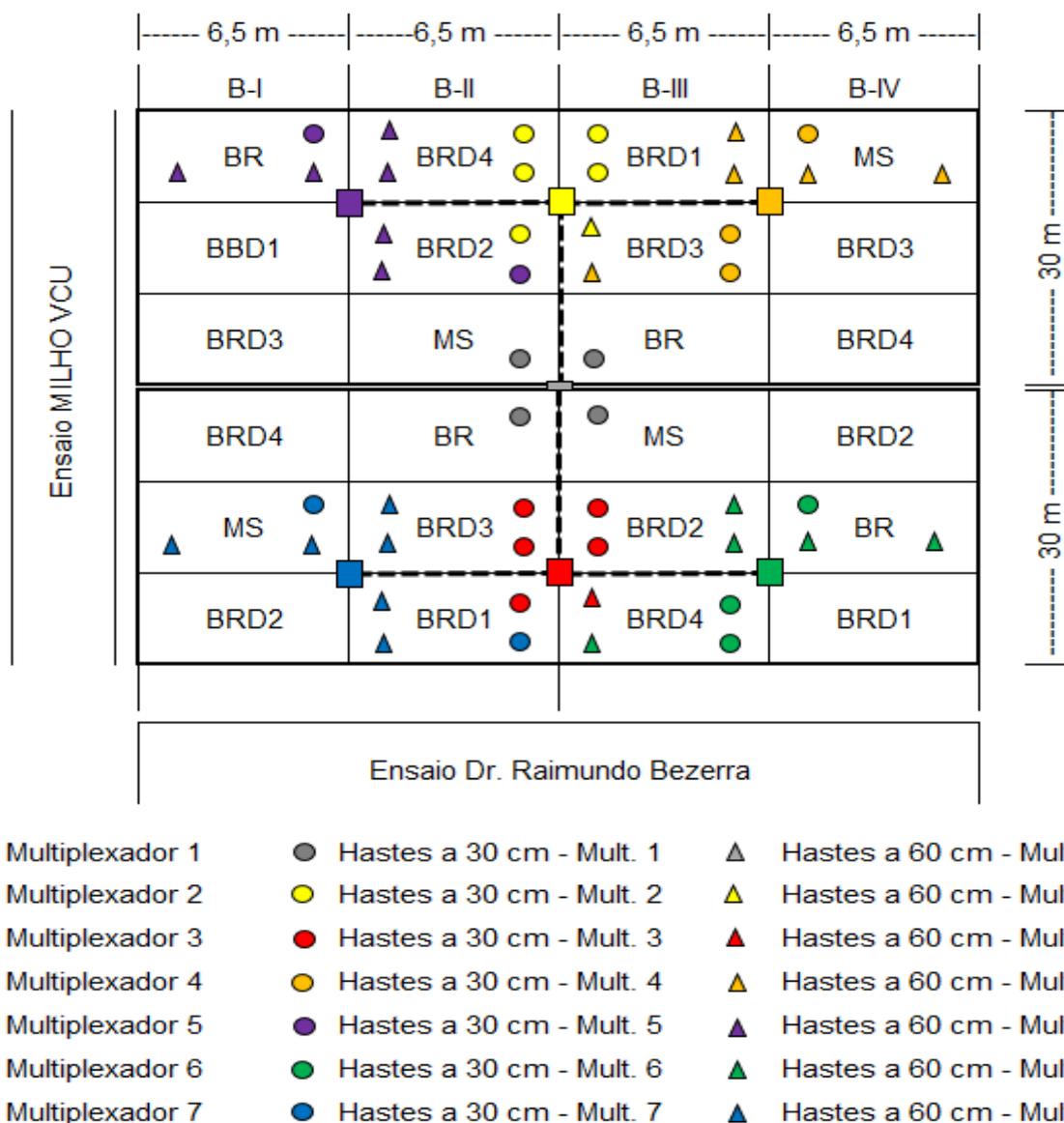


Figura 4 – Croquis de distribuição do conjunto TDR no campo, multiplexadores e hastes.

Após a obtenção dos dados de umidade do solo, calculou-se o armazenamento diário de água no solo (ARM) multiplicando-se o conteúdo volumétrico diário de água (cm^3 água cm^{-3} solo) pela espessura de cada profundidade do perfil do solo avaliada (300 mm) (equação 5). O limite superior (capacidade de campo) e inferior (ponto de murcha permanente) de disponibilidade de água no solo da área experimental foram determinados em laboratório usando-se o método da membrana de Richards, equivalentes aos pontos de tensão de -10 kPa e -1500 kPa, respectivamente (Tabela 2). É importante ressaltar que foram desprezadas as perdas de água ocorridas por escoamento superficial na superfície do solo e percolação

profunda abaixo da profundidade de 0,6 m, de modo a facilitar as estimativas de armazenamento e perdas de água no solo.

$$ARM_i = \theta_i \times E_s \quad (5)$$

Onde:

ARM_i: armazenamento de água diário no i-ésimo dia (mm);

θ_i: conteúdo de água no solo no i-ésimo dia medido pela TDR (cm³ cm⁻³);

E_s: espessura da profundidade de solo avaliada (300 mm).

O ARM foi calculado através dos valores médios de cada uma das fases de monitoramento (Tabela 3). Devido ao diferente tempo de desenvolvimento e acúmulo de biomassa entre as espécies, para cada período de monitoramento, o milho e a braquiária encontravam-se em fases de desenvolvimento distintas.

Tabela 3 – Descrição e duração de cada período de monitoramento de umidade do solo.

Período de monitoramento	Descrição	Duração
I	Milho em fase vegetativa e braquiária em emergência	32 a 50 DAS
II	Milho em florescimento e braquiária se estabelecendo	51 a 84 DAS
III	Milho em maturidade fisiológica até a colheita e braquiária no período vegetativo	85 a 127 DAS
IV	Milho colhido e braquiária em pleno crescimento	128 a 169 DAS

O armazenamento crítico representa a fração de água em relação a CAD (capacidade de água disponível), facilmente disponível no solo para as plantas, ou seja, o limite até o qual as plantas conseguem extrair água do solo sem haver redução de sua evapotranspiração. Foi adotado o valor desta fração igual a 0,5 para a cultura do milho e para pastagem, ou seja, a água facilmente disponível é igual a metade da água armazenada entre a CC e o PMP.

Com o intuito de permitir a avaliação do armazenamento de água no solo em relação aos limites crítico superior e inferior de disponibilidade de água na camada de 0-0,3m de profundidade, plotou-se as linhas indicativas do armazenamento de água no solo na condição de capacidade de campo (CC = 67 mm) e ponto de murcha permanente do solo (PMP = 23 mm), bem como do armazenamento crítico de água para as culturas (AC = 45 mm). Na camada de 0,3-0,6m, plotou-se as linhas indicativas do armazenamento de água no solo na condição de capacidade de campo (CC = 59

mm) e ponto de murcha permanente do solo (PMP = 33 mm), bem como do armazenamento crítico de água para as culturas (AC = 46 mm).

A variação do armazenamento de água no solo foi quantificada, nas profundidades 0 - 0,3 m e 0,3 - 0,6m, durante todo o período de monitoramento de umidade do solo com a TDR, sob diferentes sistemas de cultivo avaliados, em função do acúmulo de graus-dia (GD) para ambas as culturas avaliadas nos sistemas, conforme Vila Nova et al. (1972).

$$GD = (T_{min} - T_i) + \frac{(T_{máx} - T_{min})}{2} \quad (6)$$

Onde: GD: graus dias, em °C;

Tmax: temperatura do ar máxima diária, em °C;

Tmin: temperatura do ar mínima diária, em °C;

Ti: temperatura basal inferior da cultura, sendo 10 °C para o milho e 16° C para a braquiária.

3.9. Monitoramento climático

O registro dos dados climáticos ocorridos durante o período de condução do ensaio foi efetuado por uma estação agrometeorológica automática (Figura 5), distante cerca de 15 m da área experimental. Essa estação é constituída por sensores de temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar, velocidade e direção do vento e precipitação pluviométrica. Para realizar as leituras e armazenar os dados foi utilizado um microprocessador eletrônico (datalogger), programado para fazer médias das leituras dos sensores a cada 12 minutos.



Figura 5 – Estação meteorológica automática instalada na Fazenda Barbosa. Brejo, MA. 2018

Com esses registros, foi estimada a evapotranspiração de referência (ET_o) e quantificada as precipitações ocorridas durante o período de condução do ensaio. A evapotranspiração de referência diária foi estimada pelo método de Priestley e Taylor (1972) (PASSOS et al., 2017). Os autores recomendam o uso desse método como alternativa ao método padrão FAO Penman-Monteith ao avaliarem o desempenho de diferentes métodos de estimativa da ET_o para a região do Leste Maranhense.

$$ET_o = 1,26 W (R_n - G) \quad (7)$$

Onde:

W: fator de ponderação dependente da temperatura do ar;

R_n: radiação líquida total diária convertida em unidades de água evaporada, em mm dia⁻¹;

G: fluxo total diário de calor no solo.

O fator de ponderação (W) foi calculado conforme as equações a seguir.

$$W = 0,407 + 0,0145 T_{med} \quad \text{Para } 0^\circ \text{ C} < T_{med} < 16^\circ \text{ C} \quad (8)$$

$$W = 0,483 + 0,01 T_{med} \quad \text{Para } 16,1^\circ \text{ C} < T_{med} < 32^\circ \text{ C} \quad (9)$$

Onde:

T_{med}: temperatura média diária.

3.10. Balanço hídrico

O balanço hídrico foi calculado em escala decendial pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), considerando-se, como entrada de água no sistema, a precipitação pluvial (P) e saída, a evapotranspiração potencial (ETP). A capacidade de água disponível (CAD) adotada, na camada de 0-0,3m, é de 67 mm (Tabela 2).

3.11. Delineamento experimental e análise estatística

O ensaio foi conduzido em um delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições. Para análise dos dados de produção do milho, os tratamentos constaram da combinação do consórcio de milho com quatro densidades de semeadura da braquiária (2; 4; 6; e 8 kg ha⁻¹) e o milho solteiro (testemunha) versus dois híbridos simples de milho (Pioneer 30F 53VYHR e Status Viptera 3). Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial.

Para análise dos dados de desempenho agrônômico da braquiária, arranjados em esquema fatorial os tratamentos constaram da combinação do consórcio de milho com quatro densidades de semeadura da braquiária (2; 4; 6; e 8 kg ha⁻¹) versus dois híbridos simples de milho (Pioneer 30F 53VYHR e Status Viptera 3).

Os componentes de produção das culturas foram submetidos a análise pelo modelo de regressão que mais se ajustou, com uso do pacote ExpDes versão 3.5.1, na linguagem R (FERREIRA et al., 2013).

A umidade do solo foi monitorada durante quatro períodos de desenvolvimento das culturas, e a análise estatística foi realizada para cada uma das fases. Dessa forma, quanto ao armazenamento de água no solo, os tratamentos constaram dos seguintes sistemas de cultivo: milho solteiro (MS), braquiária solteira (BRS), milho consorciado com braquiária - densidade de semeadura 2 kg ha⁻¹ (MD1) e milho consorciado com braquiária - densidade de semeadura 8 kg ha⁻¹ (MD4); e duas profundidades de medição da umidade do solo (0 a 0,3 e de 0,3 a 0,6 m). Os tratamentos foram arranjados em parcelas subdivididas, com os sistemas de cultivos nas parcelas e as profundidades de medição nas subparcelas, cujos dados foram submetidos ao teste de Tukey ($p < 0,05$), com uso do pacote ExpDes versão 3.5.1, na linguagem R.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Dados climáticos

Ao longo do período deste estudo, registros extremos de temperatura mínima e máxima do ar foram de 18,5°C e 34°C, respectivamente (Figura 6). Quanto à Radiação solar global oscilou entre 2,3 e 13 MJ m⁻² dia⁻¹ com média diária de 9,4MJm⁻² (Figura 7). Os valores de radiação solar global e temperatura máxima e mínima do ar apresentaram maiores oscilações nos meses de fevereiro a abril.

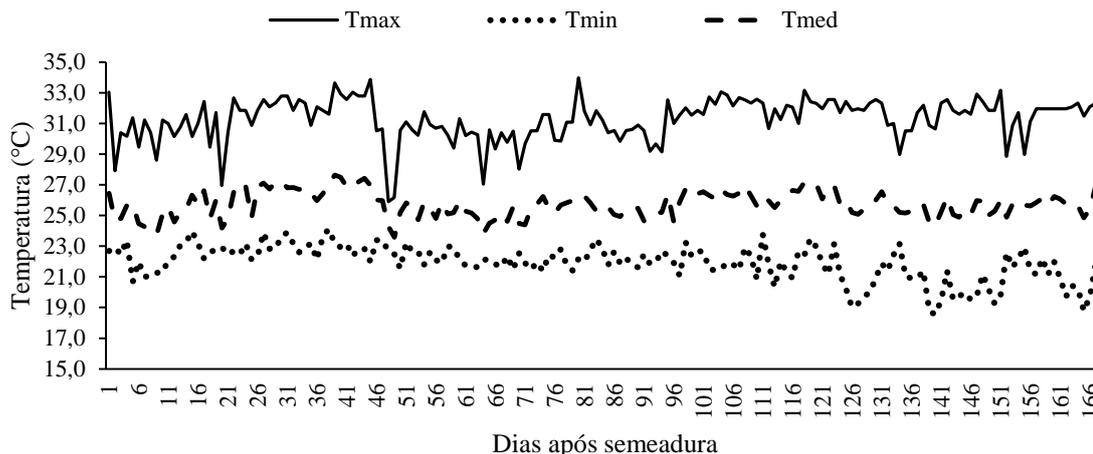


Figura 6 - Temperaturas média, máxima e mínima do ar durante o período experimental. Fazenda Barbosa. Brejo – MA, 2018.

Quanto a evapotranspiração de referência (ET_o), os registros diários extremos variaram de 5,0 mm, aos 17 e 26 DAS, a 0,9 mm, aos 48 DAS. Os menores valores de ET_o ocorreram justamente nos meses de março e abril, quando há redução nos valores de temperatura do ar (Figura 6) e, principalmente de radiação solar global (Figura 7), que promovem a redução dos valores de ET_o nessa época do ano.

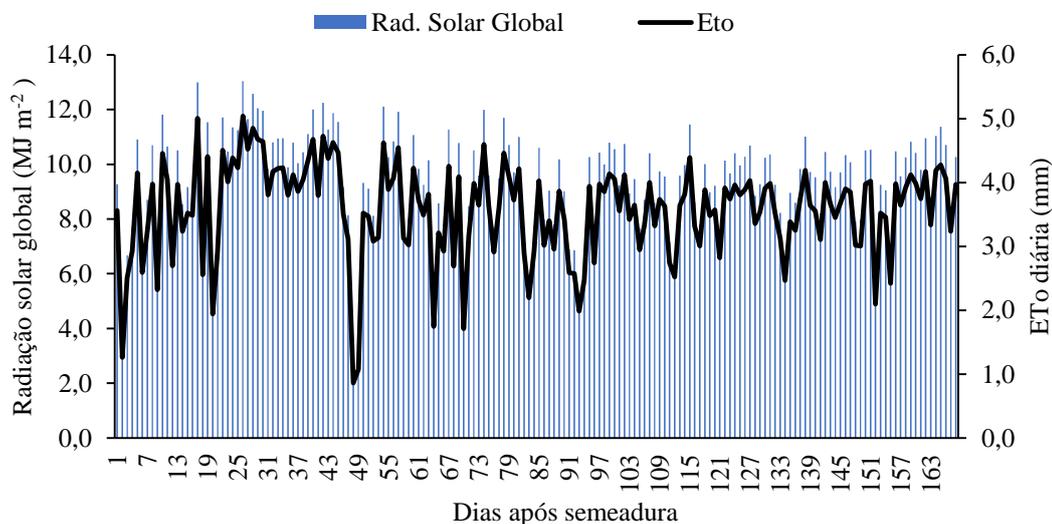


Figura 7 – Radiação solar global e evapotranspiração diárias durante o período experimental. Fazenda Barbosa. Brejo – MA, 2018.

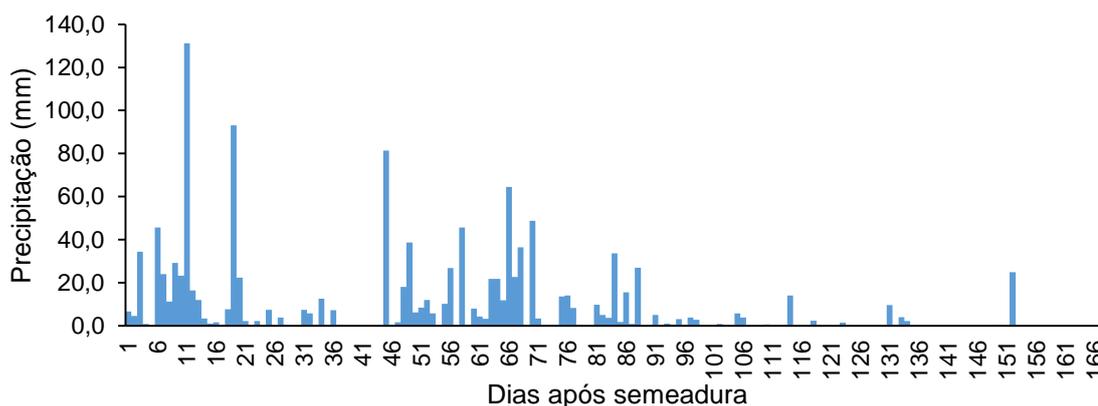


Figura 8 - Precipitação diária registrada durante o período experimental. Fazenda Barbosa. Brejo – MA, 2018.

Quanto a precipitação, registrou-se um total de 1242 mm desde a semeadura (06/02/2018) até a segunda colheita da braquiária (19/06/2018) (Figura 8). Houve registro de 73 eventos de precipitação durante o período de condução do experimento, que variaram de, um mínimo de 1,0 mm aos 93 DAS a, um máximo de 131,2 mm aos 11 DAS.

As precipitações concentraram-se nos meses de fevereiro a abril, com um período de estiagem de 14 a 22 de março, na fase de desenvolvimento vegetativo da cultura do milho. Passos et al. (2016) verificaram que na região em estudo a estação chuvosa se estende durante os meses de janeiro a maio, concentrando aproximadamente 84% do total acumulado, com índices de precipitação pluviométrica acima de 200 mm nestes meses, muito próximos aos índices pluviométricos no ano de execução do presente estudo.

4.1.1. Balanço hídrico no solo

Durante o período experimental, o excesso hídrico (389,9 mm) se concentrou entre o primeiro decêndio de fevereiro (semeadura) e o primeiro decêndio de março de 2018, além do período entre o terceiro decêndio de março e o terceiro decêndio de abril. No terceiro decêndio de fevereiro, iniciou-se um período de déficit hídrico, período em que houve um veranico na região do presente estudo, que durou oito dias (Figura 9). Houve déficit hídrico no solo (106,7 mm) durante o mês de março (M1 a M3). Neste período, a cultura do milho no consórcio encontrava-se na fase vegetativa (24 a 54 DAS), na qual o déficit hídrico pode afetar a condutância estomática, turgidez

celular e a fotossíntese, ocasionando decréscimos de área foliar e biomassa da planta (VIEIRA JÚNIOR et al., 2007).

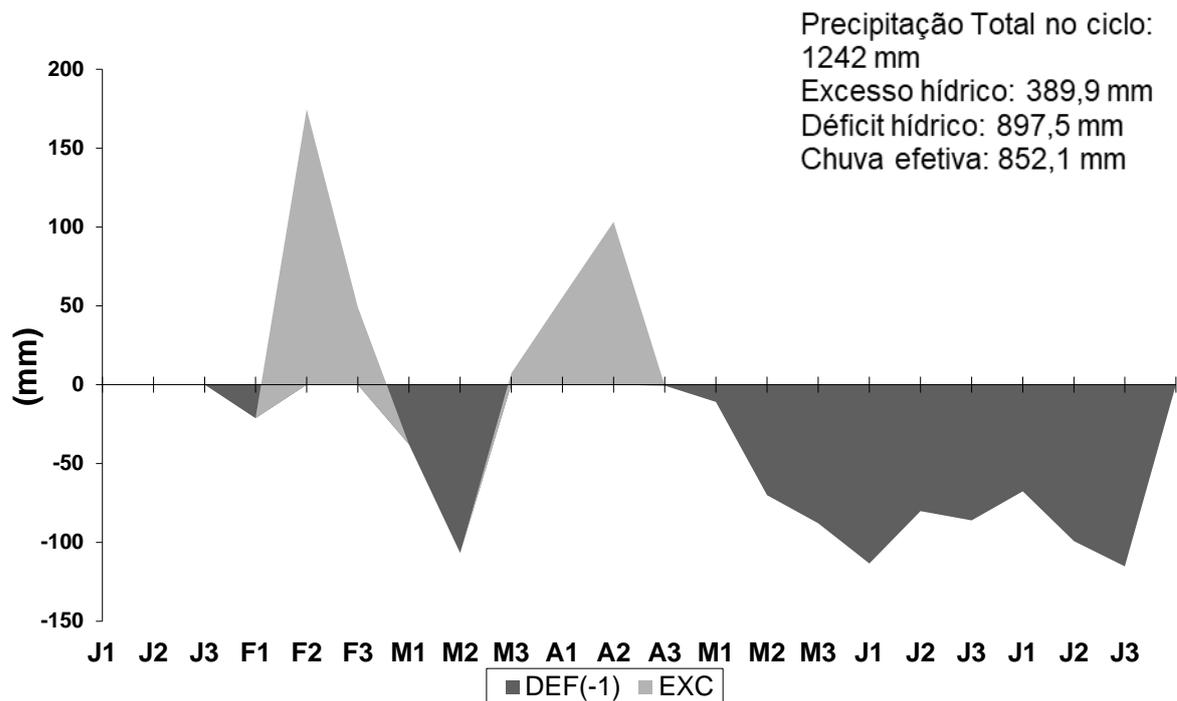


Figura 9 – Balanço hídrico climatológico decendial durante o ciclo de cultivo das culturas em consórcio. Brejo, MA. Safra 2017/2018.

Durante o mês de abril (A1 a A3), observou-se novo período de excedente hídrico no solo (103 mm). O período de déficit hídrico retornou somente a partir do terceiro decêndio de abril, com o final do período chuvoso, se prolongando até a segunda colheita da braquiária, o que totalizou finalmente, 897 mm de déficit hídrico no solo. A precipitação total foi 1242mm, sendo a precipitação efetiva apenas 852mm, resultando em um aproveitamento de 69% da água da chuva durante todo o período.

4.2. Características agrônômicas da cultura do milho

Não foram verificadas interações significativas dos híbridos de milho com as densidades de semeadura da braquiária em consórcio com o milho em todas as características avaliadas (Tabela 4).

Tabela 4 – Massa de cem grãos (MCG), altura de plantas (AP), altura de inserção de espigas (AE), produtividade de espigas (PE) e produtividade de grãos (PG) de dois híbridos de milho consorciado com *B. ruziziensis*. Brejo, MA. Safra 2017/2018

Tratamentos		MCG	AP	AE	PE	PG
Teste F	Bloco	0,033 ^{ns}	0,082 ^{ns}	0,626 ^{ns}	0,845 ^{ns}	0,741 ^{ns}
	H	0,025*	0,017*	0,430 ^{ns}	6,8E-04*	9,8E-04*
	D	0,076 ^{ns}	0,488 ^{ns}	0,920 ^{ns}	0,1E-05**	0,1E-04**
	H x D	0,397 ^{ns}	0,133 ^{ns}	0,350 ^{ns}	0,257 ^{ns}	0,547 ^{ns}
CV		5,62	4,61	14,76	5,27	5,06
		-- g --	----- cm -----		----- kg ha ⁻¹ -----	
Híbridos (H)	H1	28,8 b	165,6 a	66,8 a	5539,9 b	4567,5 b
	H2	30,0 a	159,6 b	64,4 a	5905,7 a	4895,4 a

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. H1: Pioneer 30F 53VYHR; H2: Syngenta Status Viptera 3.

Houve diferenças estatísticas entre os híbridos para as variáveis, massa de cem grãos, altura de plantas, produtividades de grãos e de espigas de milho. Em relação às densidades de semeadura da braquiária avaliadas no consórcio com o milho, foram verificadas diferenças estatísticas apenas quanto a produtividade de grãos e de espigas de milho.

4.2.1. Massa de cem grãos, altura de plantas e altura de inserção de espiga

A massa de cem grãos diferiu entre os híbridos de milho, na qual o Status Viptera 3 (30,0 g) apresentou maior massa de grãos que o 30F 53VYHR (28,8 g) (Tabela 4). Ceccon et al. (2010) também observaram diferenças entre híbridos de milho quanto a massa de cem grãos e não constaram diferenças entre o número de plantas de *B. ruziziensis* consorciadas com milho. Observaram que a massa de cem grãos foi de 32,1g, ligeiramente acima do valor encontrado no presente estudo com o uso do híbrido Status Viptera 3.

A altura de plantas foi distinta entre os híbridos de milho avaliados, onde os tratamentos com o híbrido simples 30F 53VYHR apresentaram valores superiores ao híbrido simples Status Viptera 3. Essa diferença em altura deve-se às diferenças genéticas existentes entre os dois materiais. A altura de planta é uma característica importante no consórcio milho - braquiária, já que é um dos fatores responsáveis pela competição entre plantas no consórcio (SKORA NETO, 2003; TSUMANUMA, 2004).

A altura de inserção de espiga não foi influenciada pelas densidades de semeadura da braquiária, em nenhuma dos híbridos avaliados. Esta característica é

importante, neste sistema de consórcio, afetando diretamente a colheita, tendo em vista que plantas com reduzida altura de espiga, em colheita mecanizada, a massa de forragem pode obstruir a plataforma de corte. Segundo Cobucci (2001), a ausência de diferenças estatísticas para as variáveis altura de plantas e de inserção de espigas, em consórcios de milho com *Brachiaria spp.*, em semeadura simultânea, pode ser explicada pelo fato das braquiárias apresentarem crescimento inicial lento, não interferindo no desenvolvimento do milho.

4.2.2. Produtividade de espigas e de grãos

Houve diferenças significativas entre os híbridos de milho, sendo que o híbrido Status Viptera apresentou valores superiores para ambas as variáveis. A melhor performance deste quanto a produtividade é esperada devido aos resultados quanto a massa de espigas e massa de cem grãos, pois estas variáveis apresentam grande relação com a produtividade.

A distribuição da radiação pode ser favorecida, entre outros aspectos, pela arquitetura do dossel, que varia conforme o genótipo utilizado. Avaliando híbridos de milho com diferentes arquiteturas de plantas, Romano (2005) constatou que a maior produtividade de grãos de genótipos de milho que apresentam arquitetura foliar ereta se deve à maior interceptação de radiação por unidade de área foliar, apresentando consequente taxa assimilatória líquida. A arquitetura mais ereta do híbrido Status Viptera 3 pode ter contribuído para uma maior interceptação luminosa nas folhas de milho, contribuindo com a eficiência fotossintética e aumento da produção de grãos.

Segundo resultados do Ensaio Nacional de cultivares de Milho Sul Precoce, safra 2015/2016, em áreas com 700m de altitude na região Sul do Brasil, foram obtidas produtividades média de grãos de milho de 12.324 kg ha⁻¹ com o híbrido Status Viptera 3 e 8.786 kg ha⁻¹ com o 30 F 53YHR, em monocultivo (ROCHA, 2016). Este resultado apresenta comportamento dos híbridos semelhante ao presente trabalho, tendo em vista que demonstra um melhor desempenho produtivo do híbrido Status Viptera 3 em relação ao 30 F 53YHR, performance que também se constatou em cultivo consorciado.

Houve diferenças significativas entre as densidades de plantio da *B. ruziziensis* para produtividade de grãos e espigas de milho. O modelo de melhor ajuste aos valores destas variáveis foi o modelo de regressão linear decrescente (Figura 10).

Para a produtividade de espigas, observou-se redução de 266,16 kg ha⁻¹ de espigas de milho por cada kg de semente de *B. ruziziensis*, obtendo-se a mínima produtividade de 4.524 kg ha⁻¹ na densidade de 8 kg ha⁻¹ de sementes.

Quanto a produtividade de grãos, observou-se redução de 237,49 kg ha⁻¹ de grãos de milho por kg de semente de *B. ruziziensis*, obtendo-se a mínima produtividade de 3.625 kg ha⁻¹ na densidade de 8 kg ha⁻¹ de sementes da forrageira. Ceccon et al. (2018), estudando a interferência da população de plantas de *B. ruziziensis* no consórcio com milho na região Centro Sul do Brasil, observaram redução de 42 kg ha⁻¹ de grãos de milho por planta de braquiária por m⁻², constatando que essa maior competição da braquiária provocada pelo aumento da sua densidade de semeadura no consórcio, reduz a produtividade de grãos de milho.

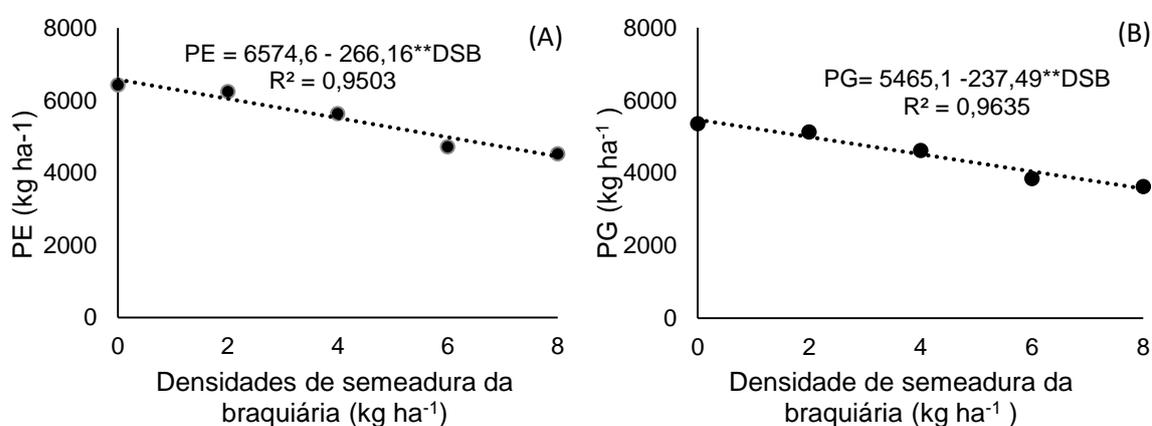


Figura 10 - Produtividade de espigas – PE (A) e grãos de milho – PG (B) em cultivo solteiro e consórcio com diferentes densidades de semeadura *B. ruziziensis*. ** (p<0,01) Teste t. Brejo, MA. Safra 2017/2018

Segundo IBGE (2018), na safra 2017/2018, a média de produtividade de grãos de milho no estado do MA e na microrregião de Chapadinha foi 3512 kg ha⁻¹ e 2511 kg ha⁻¹, respectivamente, em monocultivo em 1^a safra. Visto que o presente estudo obteve média de produtividade de grãos de milho em monocultivo de 5356 kg ha⁻¹, considera-se o resultado do presente trabalho adequado para as condições locais.

De forma similar, Freitas (2013) com o objetivo de avaliar os efeitos de diferentes arranjos de plantas e manejo da *B. brizantha* sobre as características fisiológicas e rendimento do milho, constatou decréscimo de produtividade de grãos de milho com o aumento da densidade de semeadura da forrageira, já que este aumento influenciou negativamente as características fisiológicas do milho, como eficiência do uso da água e concentração interna de carbono. O mesmo trabalho obteve a menor produtividade

de grãos com a densidade de semeadura de 6 kg ha⁻¹ de sementes da forrageira, que foi a maior densidade avaliada.

Reis (2010) observou que a produtividade do milho reduziu com o aumento da densidade de semeadura da forrageira, de forma que a aplicação de 2 kg ha⁻¹ de sementes de *B. brizantha*, houve um acréscimo de 25,63% na produtividade de milho quando comparado à densidade de semeadura de 8 kg ha⁻¹. Neste estudo, acréscimo de produtividade de grãos de milho foi de 29,3%, ao aplicar 2 kg ha⁻¹ de sementes de *B. ruziziensis* no consórcio em relação à densidade de semeadura de 8 kg ha⁻¹.

Ao avaliar o efeito da população de plantas de milho em monocultivo, ou em consórcio com *B. ruziziensis* em Ipameri – GO, em condições de segunda safra, Freitas et al. (2013) obtiveram a produtividade de grãos de 7.176 kg ha⁻¹, com a densidade de semeadura de 3,2 kg ha⁻¹ da braquiária e população de 60.000 de plantas de milho por hectare. Em contrapartida, a produção de massa seca de forragem foi de apenas 1500 kg ha⁻¹, o que comprova que as plantas de milho se encontravam em uma competição interespecífica menor que a deste estudo, que proporcionou com a mesma densidade de semeadura da braquiária e densidade de plantas de milho, a produção de 5513 kg ha⁻¹ de matéria seca de forragem.

Nesse sentido, a interferência das forrageiras no estado nutricional da cultura e na produtividade de grãos em sistemas de consórcio depende das condições de solo, clima, espécies utilizadas e do manejo empregado (CRUZ et al., 2009).

Pode-se observar que, à medida que a densidade de semeadura de *B. ruziziensis* no consórcio com o milho aumenta as produtividades tanto de espigas quanto de grãos diminuem, apresentando-se inversamente proporcionais. Brambilla et al. (2009) evidenciam que sem a presença da forrageira o milho aproveita melhor luz, água e nutrientes. O aumento do número de plantas de *B. ruziziensis*, em virtude do aumento da densidade de semeadura da forrageira, causa redução no desenvolvimento das espigas e na produção de grãos de milho, devido a intensificação dessa competição.

Neste sentido, Jakelaitis et al. (2006), avaliando os efeitos de densidade e época de emergência de *B. brizantha*, em competição com plantas de milho, verificaram que, à medida em que a forrageira se antecipa ao estabelecimento do milho, maior é o grau de interferência da forrageira sobre o rendimento de grãos de milho, e esta interferência é intensificada pelo aumento da densidade de *B. brizantha*.

Os principais fatores que propiciam a interferência de *B. ruziziensis* no rendimento do milho, são o rápido desenvolvimento do seu sistema radicular e alta

capacidade de absorção de nitrogênio. Da mesma forma que o milho, o N é o principal macronutriente limitante na produtividade das pastagens, principalmente aquelas formadas por espécies do gênero *Brachiaria* (CECATO et al., 2000; ALEXANDRINO, 2000). Portanto, a presença de um competidor durante o desenvolvimento e crescimento inicial do milho pode alterar a disponibilidade de N no solo e sua distribuição na planta (RAJCAN; SWANTON, 2001).

4.3. Características agronômicas da cultura *B. ruziziensis*

Não houve interação entre os híbridos de milho e as densidades de semeadura em todas as características avaliadas (Tabela 5). Houve diferenças significativas ($p < 0,01$) entre os híbridos de milho avaliados apenas quanto ao número de plantas. Em contrapartida, foram apresentadas diferenças entre as densidades de semeadura em quase todas as variáveis, exceto as duas avaliações de altura de plantas.

Tabela 5 – Número de plantas (NP); 1ª e 2ª avaliação (AP1 e AP2) da altura de plantas, massa verde e massa seca de *B. ruziziensis* consorciada com dois híbridos de milho. Brejo, MA. 2018

		NP	AP1	AP2	MV1	MV2	MS1	MS2
TESTE F	H	0,044*	0,347 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,951 ^{ns}	0,057 ^{ns}	0,939 ^{ns}	0,144 ^{ns}
	D	0***	0,149 ^{ns}	0,83 ^{ns}	8E-04**	3E-04**	9E-04**	6E-03**
	C x D	0,514 ^{ns}	0,601 ^{ns}	0,921 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,055 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,394 ^{ns}
CV (%)		14,17	5,45	4,06	17,03	19,91	17,27	25,8
			----- (cm) -----		----- (kg ha ⁻¹) -----			
Híbridos(H)	H1	58437 a	40,8 a	88,6 a	7397,5 a	14806 a	2307 a	6825 a
	H2	52500 b	40,1 a	87,5 a	7425 a	12852 a	2296 a	5943 a

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. M1: Pioneer 30F 53VYHR; M2: Syngenta Status Viptera 3. **($p < 0,01$).

4.3.1. Altura de plantas de *B. ruziziensis*

A altura de plantas de braquiária não foi afetada pelos fatores e interações estudadas (Tabela 5). No entanto, o crescimento da forrageira foi maior após a colheita do milho (Figura 11). Segundo Jakelaitis et al. (2006), no consórcio com baixas populações de *Brachiaria* (5 e 10 plantas m⁻²) o milho exerce maior domínio, pois este cresce e se desenvolve primeiro levando a uma supressão da forrageira principalmente pelo efeito do sombreamento. Após a colheita do milho, este efeito é descontinuado, de forma que a forrageira passa a receber maior luminosidade para

realização dos processos fotossintéticos, o que resulta em maiores alturas de plantas de braquiária na segunda avaliação (AP2).

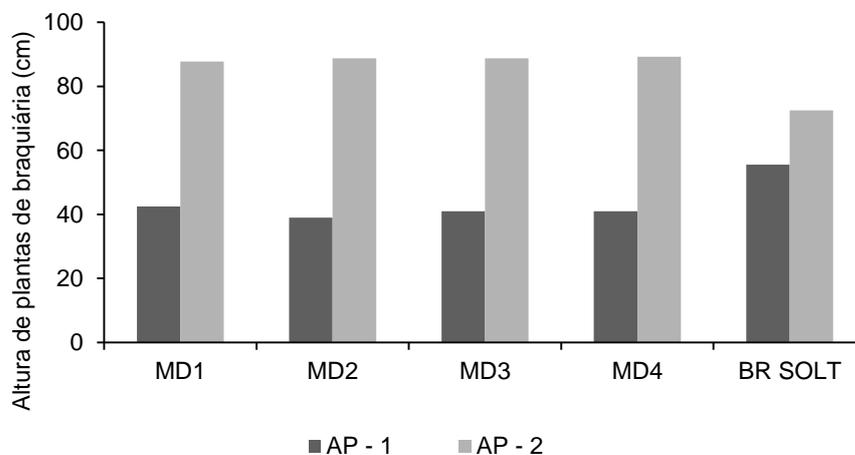


Figura 11 – Altura de plantas de *B. ruziziensis* em diferentes épocas de avaliação (AP-1 e AP-2), em função de diferentes densidades de braquiária em consórcio com milho. MS: Milho solteiro; MD1: Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 2kg ha⁻¹; MD2: Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 4kg ha⁻¹; MD3: Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 6kg ha⁻¹; MD4: Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 8kg ha⁻¹; BR: Braquiária solteira. Brejo, MA. Safra 2017/2018

4.3.2. Densidade de plantas de *B. ruziziensis*

O número de plantas de braquiária sofreu interferência dos fatores separadamente. O híbrido 30 F 53 YH R proporcionou maior número de plantas de *B. ruziziensis*, com média de 58437 plantas ha⁻¹, enquanto com o M2, apresentou uma média de 52.500 plantas ha⁻¹ (Tabela 5).

Entre as densidades de plantio da braquiária, o modelo de melhor ajuste foi o de regressão linear (Figura 12). Houve acréscimo de 5.281 plantas ha⁻¹ por kg de semente de *B. ruziziensis*, com valor máximo de 71.875 plantas ha⁻¹ com a densidade de 8 kg ha⁻¹ de sementes. A maximização da produção depende da população de plantas empregada, de acordo com a capacidade de suporte do meio e do sistema de produção adotado em conformidade com as características genético-fisiológicas da cultura (FANCELLI, 2003).

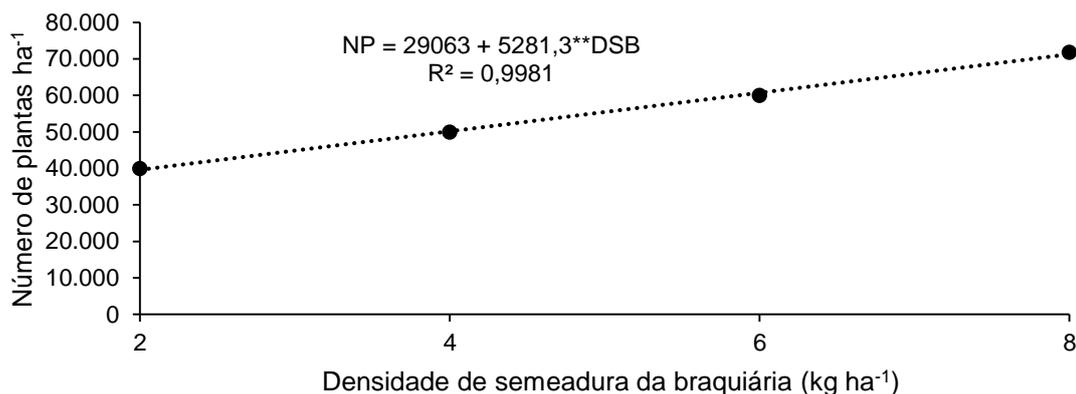


Figura 12 – Número de plantas de *B. ruziziensis* (NP) em diferentes densidades de semeadura (DSB) consorciada com milho. ** ($p < 0,01$) pelo Teste t. Brejo, MA. Safra 2017/2018.

O estabelecimento de espécies de braquiária consorciadas com milho pode ser satisfatoriamente obtido com densidades de 4 a 6 plantas m^{-2} (40 a 60 mil plantas ha^{-1}) da forrageira, em geral, sem reduzir a produtividade de grãos do milho (Kluthcouski e Aidar, 2003). Comparando os resultados obtidos neste estudo com as indicações dos autores, observou-se que o número de plantas encontrado foi bem próximo, variando entre 4 e 7,1 plantas m^{-2} (40000 a 71000 plantas ha^{-1}).

4.3.3. Massa verde e seca de *B. ruziziensis*

Em relação a massa verde da forrageira, os valores apresentaram melhor ajuste com o modelo de regressão linear (Figura 13). Na primeira avaliação, observou-se um incremento de 358,88 $kg\ ha^{-1}$ de massa verde por kg de semente de *B. ruziziensis*, com máxima produtividade de 8310 $kg\ ha^{-1}$ com a densidade de 8 $kg\ ha^{-1}$ de sementes. Na segunda avaliação, houve um acréscimo de 1257,6 $kg\ ha^{-1}$ de massa verde por kg de semente de *B. ruziziensis*, com a maior produtividade de 17175 $kg\ ha^{-1}$ com a densidade de 8 $kg\ ha^{-1}$ de sementes.

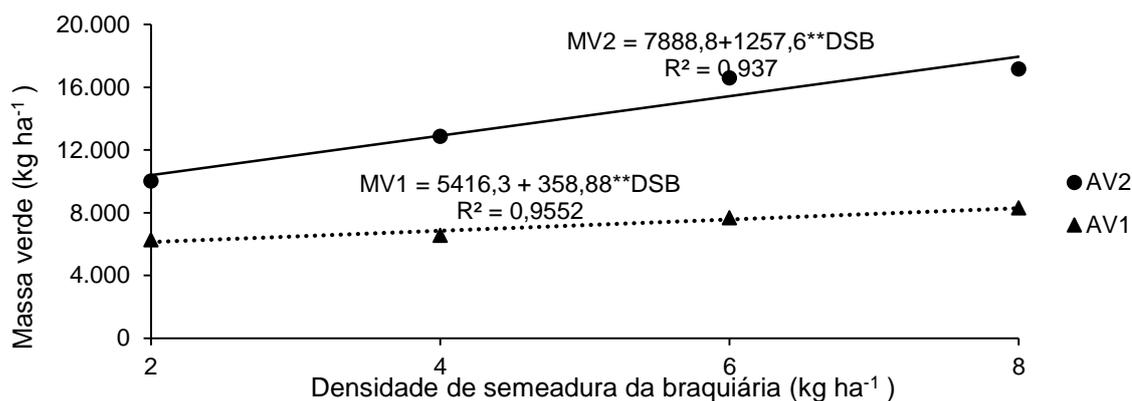


Figura 13 – Rendimento de massa verde da *B. ruziziensis* (MV) consorciada com híbridos de milho sob diferentes densidades de plantio da forrageira (DSB), em dois períodos de avaliação. ** ($p < 0,01$) pelo Teste t. Brejo, MA. Safra 2017/2018.

As densidades de plantio de *B. ruziziensis* foram distintas quanto a massa seca da forragem, apresentando melhor ajuste com o modelo de regressão linear em ambas as avaliações (Figura 14). Na primeira avaliação, observou-se acréscimo de 148,28 kg ha⁻¹ de massa seca por kg de semente de *B. ruziziensis*, com maior produtividade de 2837,25 kg ha⁻¹ com a densidade de 8 kg ha⁻¹ de sementes. Na segunda avaliação, observou-se acréscimo por kg de semente da forrageira, com maior produtividade de 7836 kg ha⁻¹ com a densidade de 8 kg ha⁻¹ de sementes.

Considerando que o produtor almeje a produção de alimento para o rebanho na entressafra, esse é um resultado vantajoso para o consórcio na região, pois maiores produções de massa seca da braquiária proporcionam mais alimento para os animais. O acréscimo na produção de biomassa seca proporciona melhor cobertura do solo, que por sua vez, diminui as perdas de água por evaporação, preservando e/ou melhorando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, o que permite aumentar o armazenamento de água e favorecendo o desenvolvimento radicular da soja, tornando-a, assim, menos suscetível aos veranicos na próxima safra (FRANCHINI et al, 2009).

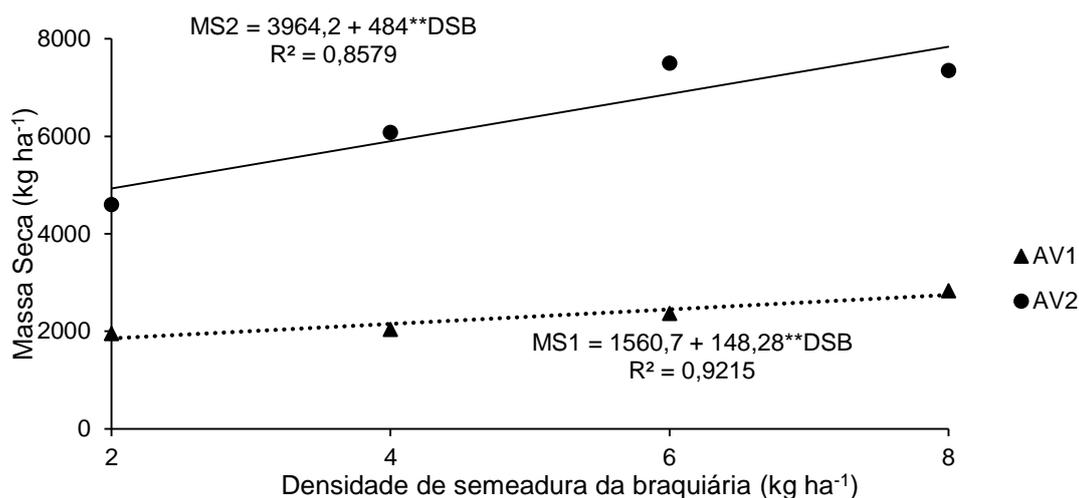


Figura 14 - Rendimento de massa seca de *B. ruziziensis* (MS) consorciada com híbridos de milho sob diferentes densidades de plantio da forrageira, em dois períodos de avaliação. **($p < 0,01$) pelo teste t. Brejo, MA. Safra 2017/2018.

Sereia et al. (2012) relataram valores de produtividade de massa seca de 6,3 t ha⁻¹ para *B. ruziziensis*, demonstrando o grande potencial de utilização desta espécie para fornecimento de forragem no período de seco. Pariz et al. (2011) obtiveram produtividade de matéria seca da *Brachiaria ruziziensis* de cerca de 6,4 t ha⁻¹ em consórcio com o milho.

Batista et al. (2012), avaliando o consórcio milho safrinha com forrageiras no estado do São Paulo, obtiveram maior média de acúmulo de matéria seca de *B. ruziziensis* de 2.352 kg ha⁻¹, adotando a densidade de semeadura de 9 kg ha⁻¹, por ocasião da dessecação da forrageira para safra seguinte. A diferença observada no potencial de produção de biomassa seca da *B. ruziziensis* entre os dois estudos pode ser explicada pelas condições climáticas distintas dos locais. A microrregião do Leste Maranhense possui condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento de forrageiras, com temperatura média mais elevada e alta incidência de radiação solar (LARA, 2007).

Os valores da temperatura basal inferior e da temperatura basal superior dependem da espécie vegetal, e quando alcançados ou ultrapassados, o efeito é a redução drástica ou mesmo a paralisação do desenvolvimento vegetativo das plantas (LARCHER, 2003). Segundo Lara (2007), a temperatura basal mínima de espécies do gênero *Braquiária* ocorre em torno de 16° C. A temperatura mínima durante todo o experimento não ultrapassou 18,5°C, tendo ocorrido somente após a colheita do milho (Figura 6). Assim, o alcance de valores superiores de massa seca de braquiária

mesmo em consórcio com o milho são esperados para as condições climáticas do Leste Maranhense.

Percebe-se uma tendência, na segunda avaliação, das plantas de *B. ruziziensis* recuperarem o crescimento pelo estresse provocado pelo sombreamento do milho, bem como pela aplicação do herbicida nicosulfuron, ocorrido aos 36 dias após a semeadura, com a finalidade de reduzir o crescimento da forrageira para não interferir na produtividade de grãos do milho.

Ceccon et al. (2014) verificaram que o aumento na população de plantas de *B. ruziziensis* proporcionou aumento na massa seca total da forrageira, com redução na massa seca e produtividade de grãos de milho, ressaltando que o cultivo de milho em espaçamento reduzido demanda mais cuidados para ajustar a população de plantas da forrageira, o que pode ser feito através do ajuste da densidade de semeadura.

4.4. Relação produtividade grãos de milho versus massa seca de *B. ruziziensis*

A competição entre comunidades vegetais somente se estabelece quando a intensidade de uso de recursos naturais pelos competidores suplanta a capacidade do meio em fornecer esses recursos, ou quando um dos competidores impede o acesso a esses recursos, como em condições de sombreamento (PITELLI, 1985). Neste contexto, no caso específico do consórcio milho – braquiária, é importante definir qual densidade de semeadura pode ser utilizada sem provocar quedas significativas na produtividade de grãos do milho.

Com o híbrido 30F 53VYHR (Figura 15A), observa-se que o aumento da densidade de semeadura de *B. ruziziensis*, a partir de 1,7 kg ha⁻¹ de sementes, provoca redução significativa da produtividade de grãos de milho no consórcio. Porém, com o híbrido Status Viptera 3 (Figura 15B), a redução da produtividade grãos de milho só ocorre a partir de 3,0 kg ha⁻¹ de sementes, indicando a interferência do desempenho de cada cultivar avaliada. Dessa forma, a produtividade de grãos de milho alcançada no presente estudo ao utilizar-se essas densidades de semeadura, seria de 5088 e 5084 kg ha⁻¹, com o uso dos híbridos 30 F 53VYH R e Status Viptera 3, respectivamente.

Com o híbrido 30F 53VYHR observa-se que houve um decréscimo de 29,3% de produtividade do milho ao adotar a densidade de semeadura 8 kg ha⁻¹ em relação

a densidade ideal obtida de 1,7 kg ha⁻¹. Já com o híbrido Status Viptera 3 observa-se um decréscimo de 28,1% na produção de grãos de milho ao adotar a densidade de semeadura de 8 kg ha⁻¹ em relação a densidade ideal obtida de 3,0 kg ha⁻¹.

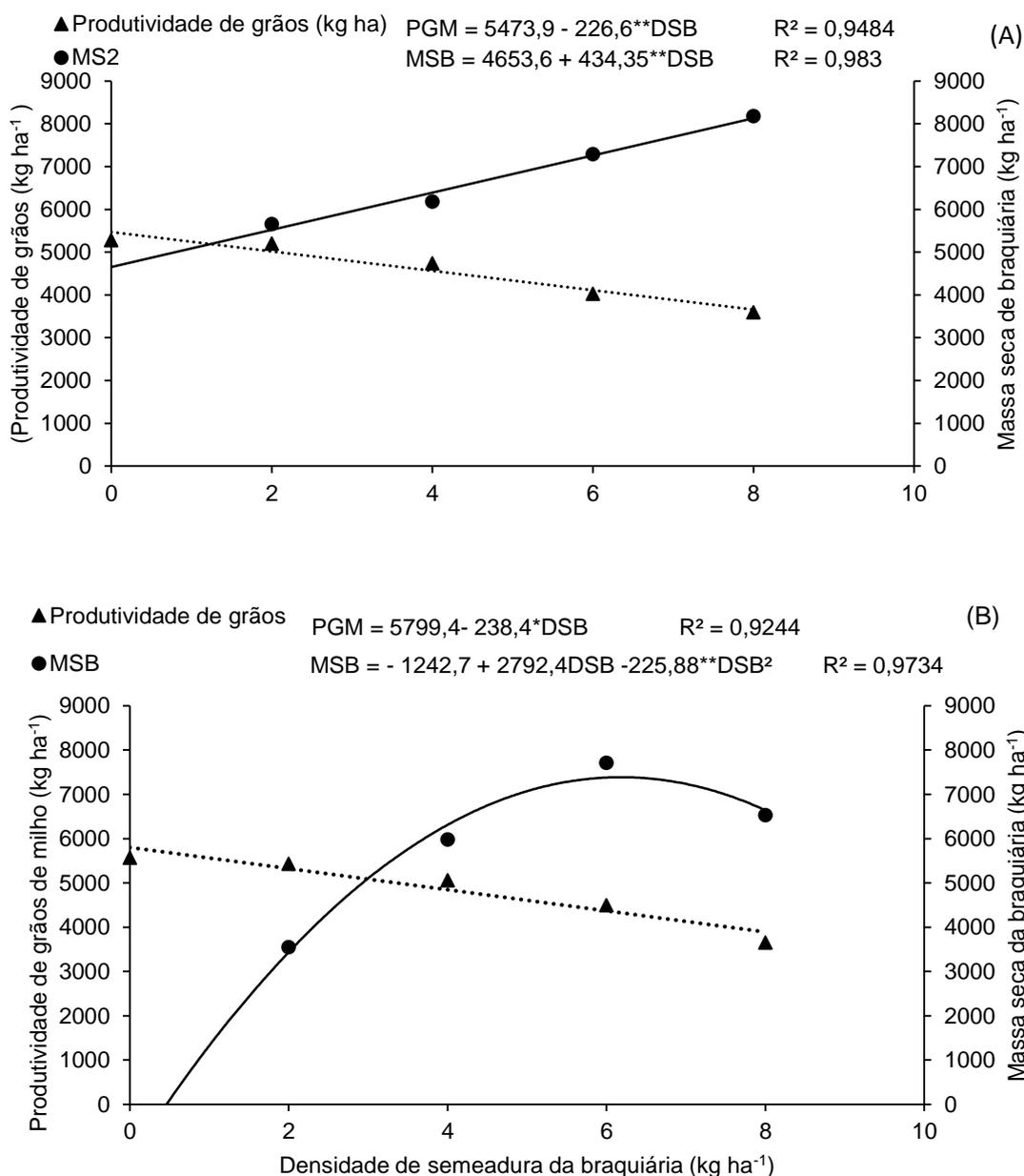


Figura 15 – Relação entre a produtividade de grãos de milho (PGM) e a produção de massa seca de *B. ruziziensis* (MSB) nas densidades de semeadura da forrageira (DSB), com o cultivo do híbrido de milho 30F 53VYHR(A) e Status Viptera 3 (B). * e ** (p<0,05) e (p<0,01), respectivamente, pelo teste t.

Neste contexto, constatou-se que o híbrido Status Viptera 3 se mostrou mais adaptável ao adensamento de semeadura no consórcio com *B. ruziziensis* nas condições de cultivo deste experimento, para a finalidade de produção de grãos e uso da forrageira como cobertura de solo, pois permanece em pleno desenvolvimento sem

reduções significativas de produtividade de grãos de milho com maior densidade de semeadura, proporcionando além da produção de grãos favorável, uma maior produção de palhada para cobertura de solo até a próxima safra.

O híbrido Status Viptera 3 apresentou melhor desempenho quanto a massa de cem grãos, produtividade de grãos e produtividade de espigas no consórcio com braquiária e em cultivo solteiro, o que expõe o alto potencial produtivo deste híbrido com ampla adaptação e resposta ao manejo. A arquitetura e o porte de plantas podem ser fatores determinantes da produtividade em espaçamentos reduzidos e cultivos adensados (KAPPES et al., 2011; MARCHÃO et al., 2006). A arquitetura mais ereta do híbrido Status Viptera 3 pode ter contribuído para seu melhor desempenho nas condições deste estudo, contribuindo para uma maior captação de luz e superioridade no consórcio, mesmo com maior densidade de semeadura da braquiária em cultivo consorciado.

No caso do presente estudo, com o intuito de obter-se maior produção de forragem para pastejo animal, no consórcio de *B. ruzizensis* com o híbrido de milho 30F 53VYHR, que apresentou tendência linear para produção de massa seca de braquiária, seria ideal adotar a maior densidade de semeadura da forrageira avaliada, 8kg ha⁻¹. No entanto, ao utilizar-se o híbrido de milho Status Viptera 3, adotaria-se a densidade de 6,2 kg ha⁻¹ de semente de braquiária. Dessa forma, a produção de massa seca de braquiária seria de 8178 kg ha⁻¹ e 7387 kg ha⁻¹, com o uso dos híbridos 30F 53VYHR e Statuts Viptera 3, respectivamente (Figura 15).

Ao avaliar a utilização do híbrido 30F 53VYHR, ainda percebe-se que a curva de melhor ajuste foi uma linear crescente, indicando que há possibilidade de aumentarmos mais a densidade da braquiária em consórcio com este híbrido de milho e conseguir atingir uma maior produção de forragem que a proporcionada pela densidade de apenas 8 kg ha⁻¹ de sementes de *B. ruzizensis*, que pode ser mais interessante ao produtor animal.

Entre outras vantagens, vale ressaltar que a braquiária continua produzindo massa após a colheita do milho (junho), proporcionando quantidade suficiente de palha para cobertura do solo e melhores condições às culturas subseqüentes (CECCON, 2007). Além disso, favorece maior ciclagem de nutrientes, melhor controle de plantas infestantes (COBUCCI et al., 1999), com estabilidade ao sistema plantio direto (SALTON, 2005).

Neste aspecto, vale ressaltar que o ponto de máximo acúmulo de massa seca pode não ser o ideal, e sim aquele em que ocorre uma mínima redução na produtividade e boa quantidade de massa adicionada, o que se espera em consórcio com as menores populações de *Brachiaria*, afinal este cultivo é adensado, caracterizando uma competição mais intensa entre as espécies (CECCON et al., 2018).

4.4.1. Uso eficiente da terra

Segundo Liebman (2012), um consórcio tem maior produção que o monocultivo das espécies que o compõe sempre que o índice de uso eficiente da terra (UET) atingir valor maior que 1. Os valores de UET evidenciados a partir de experimentos com diversos sistemas de policultivos indicam que são possíveis aumentos expressivos do uso eficiente da terra.

O cultivo consorciado de milho – braquiária avaliado apresentou maior potencial produtivo em relação aos monocultivos, exceto ao adotar-se a maior densidade de semeadura da forrageira avaliada. Os valores de UET nas densidades de plantio de *B. ruziziensis* 2, 4, 6 e 8 kg ha⁻¹ de sementes foram 1,15, 1,12, 1,04 e 0,99, respectivamente (Tabela 6). Neste sentido, a produtividade global do cultivo consorciado por unidade de área foram 15%, 12% e 4%, maiores que a produtividade nos monocultivos, com as densidades 2, 4 e 6 kg ha⁻¹ de sementes da forrageira no consórcio. Nessas três menores densidades, o UET foi acima de 1,0, indicando a existência do princípio da facilitação produtiva, ou seja, para essas densidades de semeadura avaliadas constatou-se que o consórcio se apresentou mais eficiente quanto ao uso da terra que os monocultivos (SANTIAGO et al, 2014).

Tabela 6 – Eficiência do uso da terra (EUT) do consórcio milho – braquiária e das culturas em cultivo solteiro em diferentes densidades de semeadura da braquiária. Safra 2017/2018

Cultivos	Produtividade em consórcio (kg ha ⁻¹)				Produtividade em Monocultivo (kg ha ⁻¹)
	MD1	MD2	MD3	MD4	
Milho (grão)	5131,13	4620,25	3842,75	3625,37	5356,12
<i>B. ruziziensis</i> (MS)	4601,00	6080,25	7501,67	7353,87	22824,00
EUT	1,15958	1,12901	1,04612	0,99906	

MS: Milho solteiro; MD1: Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 2kg ha⁻¹; MD2: Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 4kg ha⁻¹; MD3: Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 6kg ha⁻¹; MD4: Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 8kg ha⁻¹.

Andrade Júnior et al. (2017), com o intuito de determinar o ISNA para o milho e a *Brachiaria ruziziensis*, em sistemas monocultivo e consorciado, sob diferentes níveis de disponibilidade de água no solo, obtiveram no consórcio 43% a mais de eficiência em relação aos cultivos solteiro, utilizando aplicação nível de água de 100%ETo, condição que também ocorreu neste estudo, exceto no período vegetativo. Já com apenas 80% ETo, a eficiência decresce para 4%, mostrando que a disponibilidade hídrica tem influência direta com a eficiência do consórcio milho-braquiária.

Segundo Macedo (2009), os sistemas ILP que utilizam pastagem em sucessão a lavouras apresentam maior produção animal, com adicional da produção de grãos, efeitos positivos na qualidade do solo, proporcionando maior eficiência agrônômica do que sistemas pecuários extensivos ou que fazem uso de adubação de manutenção ou leguminosas.

É possível verificar ainda, que ao adotar a densidade de semeadura com 8 kg ha⁻¹ no consórcio milho-braquiária o uso eficiente da terra foi ligeiramente abaixo de 1. Isso indica que seriam necessários, aproximadamente, a mesma quantidade de área que em regime de monocultivo para se obter a produção das culturas em consórcios. Dessa forma, conclui-se que o aumento da densidade de semeadura avaliadas nas condições de cultivo do Leste Maranhense influenciam a uso eficiente da terra no consórcio milho-braquiária.

Braz et al. (2005), ao avaliar o consórcio milho- braquiária em Santo Antônio de Goiás – GO, verificou que, em termos comparativos, a braquiária consorciada com o milho produziu 12% de massa seca total em relação à obtida no cultivo solteiro. Verificaram ainda que o índice de área foliar no consórcio correspondeu apenas a 19% do valor obtido pela braquiária solteira e que os valores estimados de taxa instantânea de crescimento da cultura também acompanharam esse decréscimo.

Essa redução significativa de produção de braquiária pode ser atribuída a competição por luz, que reduz a produção de fotoassimilados. O aumento da interceptação luminosa, em decorrência do aumento de área foliar, afeta a fotossíntese líquida, que provoca maior fixação de carbono, e por sua vez, maior produção de fitomassa (HODGSON, 1990).

Neste caso, embora tenha-se observado uma diferença expressiva entre a produtividade alcançada pela braquiária em cultivo solteiro e em consórcio, ainda se nota maior eficiência no uso da terra no cultivo consorciado, desde que seja adotado menores densidades de plantio da braquiária em consórcio com o milho entre 2 e 4

kg ha⁻¹. Esse resultado coincide com o apresentado no tópico anterior, que ao relacionar as produtividades de grãos de milho e de massa seca de braquiária, encontrou resultado satisfatório com a densidade de 3,0 kg ha⁻¹ com o uso do híbrido Status Viptera 3.

O aumento da densidade de semeadura da *B. ruziziensis* em consórcio com híbridos de milho de alta produtividade, alia uma competição intraespecífica no desenvolvimento da braquiária à uma competição interespecífica já imposta pelo milho, pelos recursos que esta exige como água, luz e nutrientes. Isso compromete, sobremaneira, a produção de forragem, reduzindo a eficiência do uso da terra no consórcio.

4.4.2. Medidas de crescimento das plantas

O acréscimo de altura das plantas de milho apresentou-se mais acentuado entre 56 e 66 DAS. Após essa data, observou-se que a altura de plantas de milho se tornou constante devido a estabilização do crescimento após o florescimento (Figura 16). Para todas as avaliações, as diferentes densidades tiveram pequena influencia nesta variável. Em trabalho conduzido em condições controladas observou-se que a produção de milho foi afetada pela competição com plantas de *B. brizantha*, semeadas na mesma época, em estandes superiores a 50 plantas m⁻² (JAKELAITIS et al., 2006). No entanto, a maior densidade de semeadura avaliada neste trabalho não proporciona tão elevado número de plantas, o que pode-se atribuir a pequena influência do aumento da densidade de semeadura da braquiária ao nível de competição inferior, em número de plantas, obtido no presente trabalho.

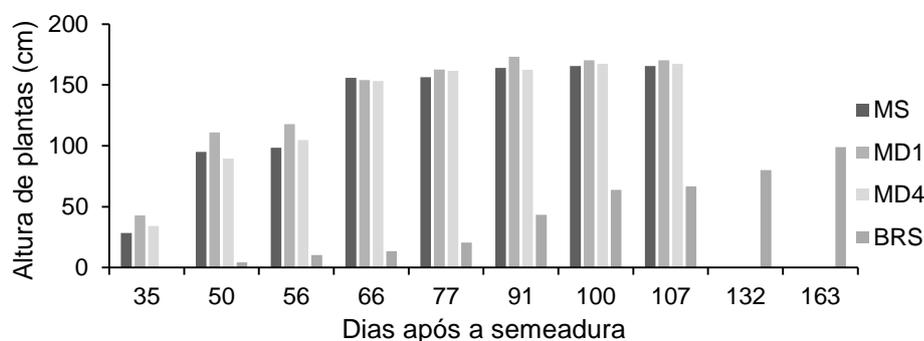


Figura 16 – Altura de plantas do híbrido Pioneer 30F 53VYHR e da *B. ruziziensis* durante o crescimento e desenvolvimento das culturas, em cada sistema de cultivo avaliado. MS: Milho solteiro; MD1: Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 2kg ha⁻¹; MD4: Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 8kg ha⁻¹; BR: Braquiária solteira. Brejo, MA. Safra 2017/2018

Vários autores observaram a intensificação do crescimento de espécies de braquiária com o aumento da interceptação luminosa, mostrando que a cultura atinge maiores valores de IAF e altura de dossel com maior porcentagem de luminosidade (TRINDADE et al., 2007; DANTAS et al., 2016; SILVEIRA et al., 2016; SOUZA, 2017).

A braquiária apresenta um crescimento mais lento, o que é algo vantajoso para o cultivo consorciado com o milho, devido ao acúmulo de biomassa entre as espécies ocorrerem em tempo e espaço diferentes (KLUTHCOUSKI & YOKOYAMA, 2003). Apesar da emergência das sementes de braquiária ter ocorrido em torno de 15 DAS, o seu estabelecimento foi desacelerado com a aplicação do herbicida nicossulfuron, seguido pelo sombreamento provocado milho.

Segundo Portes et al. (2000), no consórcio, onde ocorre menor estímulo luminoso, a planta converte seus carboidratos de reserva para o meristema apical, estimulando o alongamento de entre nó, na tentativa de buscar luz até um ponto crítico onde a planta paralisa seu crescimento, diminuindo o aparecimento de novos perfilhos.

O acréscimo de altura das plantas de braquiária foi mais acentuado a partir do período de maturação fisiológica do milho, no qual além da paralisação total do acúmulo de matéria seca nos grãos, acentua-se o processo de senescência natural das folhas das plantas, as quais, gradativamente, perdem a sua coloração verde característica (MAGALHÃES; DURÃES, 2006). Neste sentido, a interceptação luminosa sobre a braquiária começa a aumentar, contribuindo com as reações fotossintéticas, o que fica muito mais evidente após a colheita do milho, impulsionando o crescimento foliar da forrageira.

4.5. Dinâmica da água no solo no consórcio milho-braquiária

4.5.1. Armazenamento de água no solo

Quando iniciaram-se as medições de umidade do solo (471 GD ou 32 DAS), os teores de água na profundidade de 0-0,3m, em todos os sistemas de cultivos, encontravam-se com valores semelhantes em torno de 56 mm, exceto o da BRS que apresentou valores mais altos com média de 62 mm, já que apresentou desenvolvimento da parte aérea muito lento, que se agravou com aplicação do herbicida nicossulfuron. Com a estagnação do crescimento do tecido foliar da

braquiária promoveu diminuição das perdas de água por evapotranspiração (SANTANA et al., 2010) durante todo o período que antecedeu o início do monitoramento (Figura 17A).

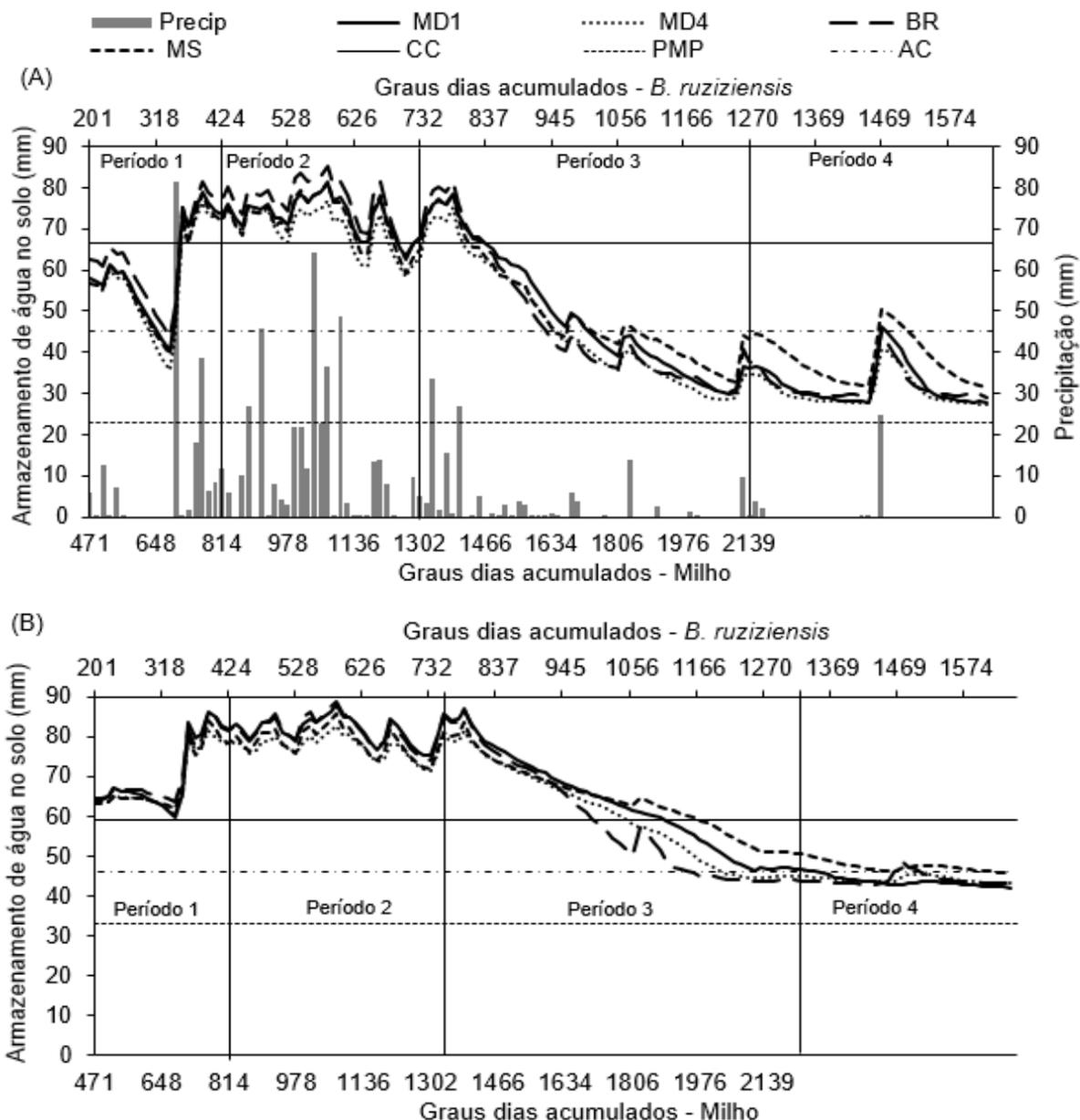


Figura 17 – Variação do armazenamento de água no solo em função do acúmulo de graus-dia de cada cultura avaliada nos sistemas de cultivo em cada profundidade de monitoramento, 0-0,3m (A) e 0,3-0,6m (B). MS: Milho solteiro; MD1: Consórcio milho – braquiária na densidade de sementeira de 2kg ha⁻¹; MD4: Consórcio milho – braquiária na densidade de sementeira de 8kg ha⁻¹; BR: Braquiária solteira. CC: Capacidade de campo; PMP: Ponto de murcha permanente; AC: Armazenamento crítico. Brejo, MA. Safra 2017/2018.

O armazenamento de água no solo, em todos os sistemas de cultivos, que já aproximava-se do armazenamento crítico para as culturas, diminuiu mais ainda nos

dias subsequentes, devido a sequência de um período de estiagem a partir de quando as plantas de milho acumulavam 594 GD até 648 GD (de 37 até 45 DAS), período em que o ARM encontrou-se abaixo do armazenamento crítico (AC), caracterizando um período de déficit hídrico no período vegetativo da cultura do milho, confirmado pelo balanço hídrico decendial (Figura 9).

Neste caso, a planta desenvolve mecanismos fisiológicos que lhe permite reduzir a perda de água, como por exemplo, encerrando os estomas ou alterando o ângulo foliar e desse modo reduzindo a incidência dos raios solares. Com o fechamento dos estômatos a planta deixa de transpirar, mas também deixa de haver entrada de dióxido carbono nas células, fazendo com que não se realize a fotossíntese e portanto, a produção de biomassa (matéria seca) será afetada (GALVÃO et al., 2015).

Após esse período de deficiência hídrica, observou-se registros de precipitação de mais de 80 mm, que propiciou a elevação da umidade do solo até a capacidade de campo, período esse que se estendeu até acúmulo de 1418 e 800 GD pela cultura do milho e da braquiária, respectivamente. Neste período, o ARM manteve-se sempre acima do AC, imprescindível para a fase de pendoamento e enchimento de grãos do milho, de maior exigência hídrica, notadamente, em consórcio com a braquiária (SANS et al., 2007).

Durante a fase de maturação fisiológica do milho, houve redução dos registros de precipitação, que provocou secamento do solo. Neste caso, o ARM no milho em cultivo solteiro elevou-se próximo da colheita, estendendo-se até o final do período de monitoramento. A redução na extração de água do solo deveu-se, provavelmente, pela diminuição da evapotranspiração do milho no final do ciclo (ALLEN, 1998; LYRA et al., 2010). A braquiária em consórcio com o milho, que até a colheita do milho apresentava crescimento reduzido devido a inibição pelo sombreamento imposto pelas plantas de milho, elevou seu desenvolvimento a partir desta fase, intensificando a extração de água no solo pelo aumento do volume de raízes (SEREIA et al., 2012).

No final do período de monitoramento e antes da colheita do milho, ocorreu maior extração de água nos tratamentos com braquiária, de forma que os tratamentos em consórcio apresentaram valores de ARM próximos aos da braquiária solteira (29 mm). Vale ressaltar que durante esse período, na camada superior, o ARM esteve sempre abaixo do AC, devido coincidir com o encerramento do período chuvoso.

Na profundidade 0,3-0,6m (Figura 17B), o ARM apresentou variações menos expressivas devido ao menor volume efetivo de raízes nessa profundidade (SILVA et al., 2014b), bem como a menor percolação de água advinda da camada de 0-0,3m. Até a colheita do milho, o ARM esteve acima do AC, e após a diminuição das chuvas ocorreu secamento mais rápido do solo no cultivo solteiro da braquiária (BRS), seguida dos tratamentos MD4, MD1 e, de maneira menos expressiva, no milho solteiro (MS). Ao final do ciclo, o ARM tende a se igualar em todos os sistemas de cultivo devido a diminuição dos eventos de precipitação e forte extração ainda na camada superficial. Nesta ocasião, configura-se um período de déficit hídrico, já que o ARM, encontra-se abaixo do AC.

Houve interação significativa entre os sistemas de cultivos (Trat-a) e as profundidades de medição (Trat-b) nos períodos de avaliação 2 a 4 (Tabela 7). Dessa forma, serão analisados os efeitos isolados dos tratamentos no período I e nos demais períodos serão analisados a interação entre sistemas de cultivos e as profundidades.

Tabela 7 - Quadrados médios (QM) e coeficientes de variação (CV) da análise de variância para o armazenamento diário de água (AS), nas duas profundidades do solo, em respostas aos diferentes sistemas de cultivo avaliados, em quatro períodos de monitoramento. Brejo, MA. 2018

FV	GL	QM			
		ARM(1)	ARM(2)	ARM(3)	ARM(4)
Blocos	3	571,05***	4,814*	719,32***	25,16***
Trat (a)	3	42,06**	40,857***	73,31**	60,51***
Res-a	9	3,12	0,708	7,83	1,14
Trat (b)	1	781,85***	295,160***	578,41***	601,33***
Int Ta x Tb	3	1,8	3,508*	234,5***	99,09***
Res-b	12	13,57	0,892	9,17	1,62
CV%-a		2,72	1,08	4,58	3,05
CV%-b		5,67	1,21	4,95	3,63

*, ** e *** indicam significância em nível de probabilidade de erro de $0,05 < p \leq 0,01$; $0,001 < p < 0,01$ e $p < 0,001$, respectivamente; Trat-a = cultivos de diferentes densidades de braquiária com milho, milho solteiro e braquiária solteira; Trat-b = profundidades de monitoramento das medidas de ARM. CV%-a e CV%-b Coeficiente de variação para Trat-a, Trab-b, respectivamente.

4.5.1.1. Armazenamento de água no solo – Período 1

Houve diferença significativa ($p < 0,01$) no armazenamento de água no solo nas profundidades e sistemas de cultivo avaliados. Quanto a profundidade de extração de água, o ARM médio de água no solo na camada de 0-0,3m foi igual a 60 mm, enquanto na camada de 0,3-0,6m permaneceu em 70 mm (Figura 18), indicando ter havido

maior extração de água na camada superficial, devido provavelmente, a maior concentração de raízes, notadamente do milho, nesta camada (0-0,30m).

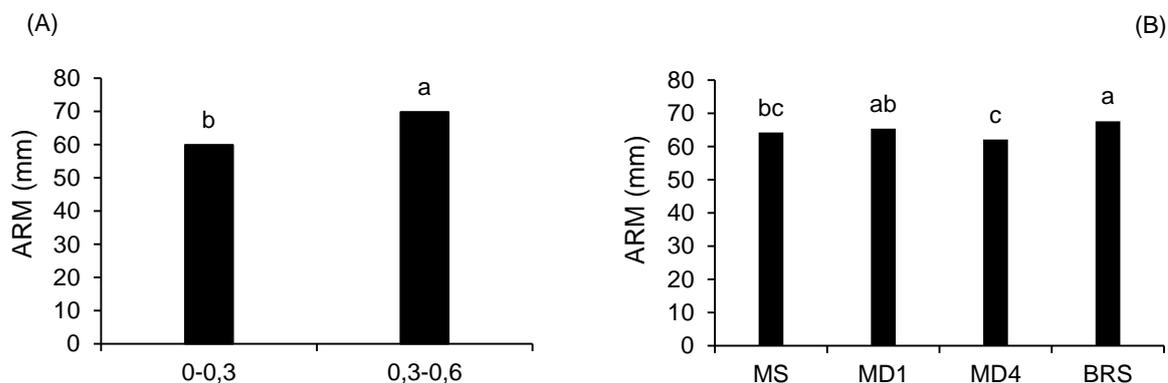


Figura 18 – Armazenamento de água no solo (ARM) em função das profundidades (A) – 0-0,3m e 0,3-0,6m – e dos sistemas de cultivos(B) avaliados no período 1 de monitoramento. MS: Milho solteiro; MD1: Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 2kg ha⁻¹; Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 8kg ha⁻¹; BR: Braquiária solteira. Brejo, MA. 2018.

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Espinoza (1980), visando avaliar os efeitos da densidade de semeadura do milho sobre as características da extração de água no solo, observou que nos primeiros estágios da cultura, a extração de água foi fundamentalmente superficial, correspondendo até 80% na camada até 20cm.

Outro fator que contribuiu para a maior extração de água na camada superficial foi a perda de água do solo por evaporação para a atmosfera, devido logicamente, a maior exposição dessa camada ao processo evapotranspirativo. No caso do presente estudo, as condições climáticas de elevada radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar (Figuras 6, 7 e 8) promoveram elevação da evapotranspiração (Figura 7), contribuindo assim para o secamento da camada superficial.

As perdas por evaporação também podem ter maior influência nessa fase, prioritariamente na camada superficial, devido a menor área foliar no início do estabelecimento da cultura. Dalmago et al. (2010) encontraram correlação negativa entre evaporação da água do solo e índice de área foliar ao avaliar a umidade volumétrica do solo com e sem cultivo do milho. Notadamente, isso pode ser relacionado ao sombreamento causado pelo dossel, que reduz a energia incidente na superfície do solo (Tahiri et al., 2006; Kunz et al., 2007).

Na camada de 0,3-0,6m, houve manutenção de elevado conteúdo de água no solo, promovido pela baixa extração de água das raízes, associada as características

granulométricas do solo, que apresenta maior conteúdo de argila (Tabela 2), e maior retenção de água mesmo em altas tensões (Figura 3).

Além da granulometria, outro aspecto que merece atenção diz respeito a presença de horizonte coeso nos solos da região do Leste Maranhense (RIBEIRO et al., 2016; RESENDE et al., 2014), que restringe a movimentação de água e ar, facilitando o surgimento de uma zona saturada, contribuindo para maiores valores de armazenamento de água na camada subsuperficial (LIBARDI; MELO FILHO, 2001).

Quanto aos sistemas de cultivo, observa-se que houve diferença significativa ($p < 0,01$) no ARM médio de água no solo entre a braquiária solteira (BRS) (67,6 mm), e o consórcio milho – braquiária com a densidade de semeadura de 8 kg ha^{-1} (62,1 mm) (Figura 18), indicando ter havido maior extração de água no consórcio milho – braquiária, notadamente, na camada 0-0,3 m. Esse comportamento pode ser atribuído ao desenvolvimento inicial da parte aérea da braquiária (Figura 16) apresentar-se muito lento, notadamente devido a aplicação do herbicida nicossulfuron, minimizando as perdas de água por evapotranspiração. Por outro lado, no consórcio do milho – braquiária, com maior densidade de semeadura da braquiária (MD4) houve maior extração de água pelo efeito acumulativo de consumo de água pelas duas culturas, principalmente o milho, já que não houve diferença significativa ($p < 0,01$) no ARM médio de água entre os tratamentos MD1 e MD4 em relação ao milho solteiro (MS).

4.5.1.2. Armazenamento de água no solo – Período 2

A BRS continua com os maiores valores (78mm), pois permanece em crescimento lento (Figura 19). No entanto, para os tratamentos com a presença do milho, o MS (73mm) se igualou tanto ao MD1 (74mm) quanto ao MD4 (72mm), embora estes dois últimos tenham sido diferentes entre si. Neste período, o milho encontrava-se em sua fase de florescimento (pendoamento) seguido pelo enchimento de grãos, o que ocasiona a intensificação da demanda hídrica para a cultura, aumentando a extração de água no solo, tanto nos sistemas em consórcio quanto no milho solteiro, considerado período crítico para a definição do rendimento potencial de grãos do cultivo do milho (SANS et al., 2001). No MD4 ocorreu uma maior extração de água que no MD1 devido a maior competição interespecífica que intensificava a extração de água no solo já protagonizada pelo milho.

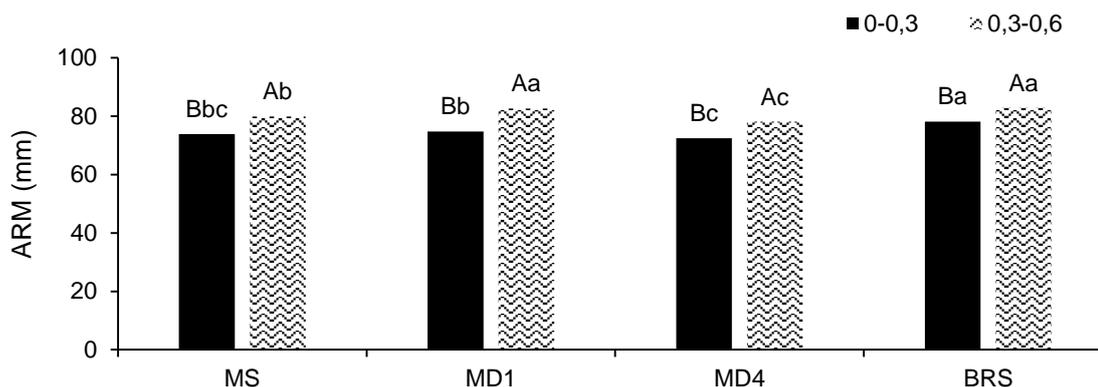


Figura 19 – Armazenamento de água no solo (ARM) em função das profundidades (A) – 0-0,3m e 0,3-0,6m – e dos sistemas de cultivos (B) avaliados no período 2 de monitoramento. MS: Milho solteiro; MD1: Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 2kg ha^{-1} ; Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 8kg ha^{-1} ; BR: Braquiária solteira. Brejo, MA. 2018.

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si quanto à profundidade de monitoramento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si quanto aos sistemas de cultivo avaliados pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

No mesmo período, na camada subsuperficial (0,3-0,6m), os sistemas de cultivo apresentam sequência de valores de ARM semelhantes, com exceção do MD1 que não apresentou diferença com a BRS, com os valores mais elevados de ARM (82mm). A menor quantidade de raízes nesses dois sistemas de manejo, faz com que a extração ocorra de maneira mais efetiva na primeira camada, propiciando menor variação de umidade na camada subsuperficial, provocando um consumo menos intenso da camada de 0,3-0,6m.

Bergamaschi et al. (2006), avaliando o impacto do déficit hídrico, no rendimento de grãos de milho, especificamente no florescimento, observaram que durante os dez dias, entre dois dias antes e sete dias depois do pendoamento, a relação entre o rendimento de grãos e o déficit hídrico possui um maior grau de associação. Constataram ainda que, para esse curto período, a razão ET_r/ET_m (água consumida pela cultura, em relação à sua necessidade, no período) explica quase 80% das variações do rendimento de milho.

Nessa etapa fenológica, o milho é extremamente sensível ao déficit hídrico, em decorrência dos processos fisiológicos ligados à formação do zigoto e início do enchimento de grãos (ZINSELMEIER et al., 1995), além da elevada transpiração, decorrente da máxima área foliar e da elevada carga energética proveniente da radiação solar (BERGAMASCHI et al., 2006).

No presente trabalho, não ocorreu déficit hídrico no decorrer de todo esse período, apresentando o ARM sempre acima do AC em decorrência máxima distribuição de chuvas, o que contribuiu para suprir a demanda hídrica nesta fase crítica ao rendimento de grãos nos tratamentos com a presença do milho.

4.5.1.3. Armazenamento de água no solo – Período 3

O tratamento MD1 (60mm) apresentou maior armazenamento de água no solo, não apresentando diferenças com MS e MD4 (Figura 20). Nessa fase, o milho já encontrava-se em maturação fisiológica, quando todos os grãos da espiga atingem seu máximo peso seco ou máximo acúmulo de matéria seca (RITCHIE et al., 1997).

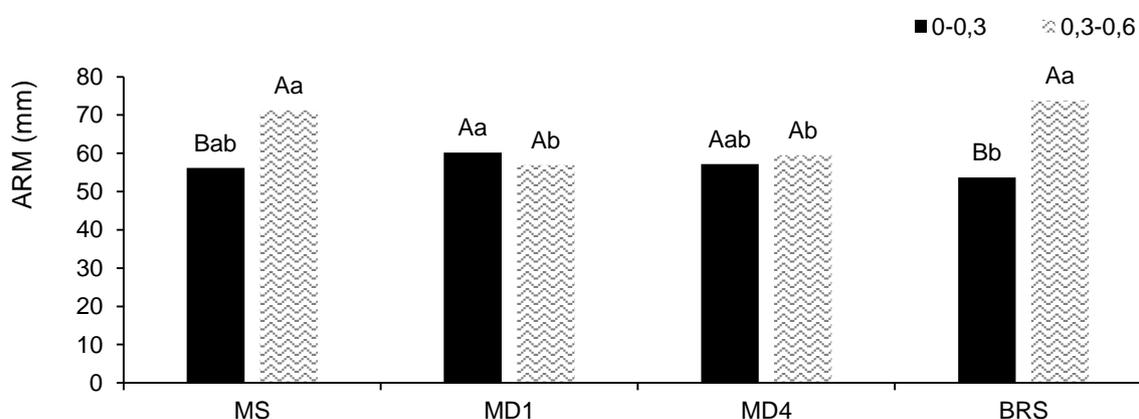


Figura 20 – Armazenamento de água no solo (ARM) em função das profundidades (A) – 0-0,3m e 0,3-0,6m – e dos sistemas de cultivos(B) avaliados no período 3 de monitoramento. MS: Milho solteiro; MD1: Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 2kg ha⁻¹; Consórcio milho – braquiária na densidade de semeadura de 8kg ha⁻¹; BR: Braquiária solteira. Brejo, MA. 2018.

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si quanto à profundidade de monitoramento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si quanto aos sistemas de cultivo avaliados pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A fase de maturidade fisiológica é caracterizada pelo surgimento da camada preta na inserção entre o grão e o sabugo, um conjunto de células mortas que impedem a entrada de nutrientes para dentro dos grãos e marca a fase de perda de água (MAGALHÃES; DURÃES, 2006). Ainda acarreta redução da área foliar, o que proporciona a diminuição do sombreamento sobre a braquiária no consórcio. Já a BRS, apresentou ARM de apenas 53mm, tendo em vista que não teve seu desenvolvimento influenciado pelo sombreamento, o que justifica o aumento significativo em sua taxa de crescimento, inclusive apresentando plantas com o dobro da altura no período anterior (Figura 16), acarretando em menores valores de ARM

nesta fase. Por ser apenas o início desse aumento de crescimento, a extração de água pelas raízes da BRS não foi ainda suficiente para diferenciar-se do ARM do MS e MD4, que já vinham com menores valores de ARM nos períodos anteriores.

Já na profundidade 0,3-0,6m, os dois sistemas de cultivos em solteiro se diferenciaram dos dois sistemas consorciados. Isso nos permite concluir que no consórcio milho e braquiária intensifica a competição por água, principalmente em um período com baixo volume de chuvas, estimulando o crescimento das raízes das culturas a explorar profundidade maiores do solo, em busca de água mais facilmente disponível para absorção através das raízes. Neste sentido, alguns autores constataram que a competição estimula diversas espécies a desenvolver seu sistema radicular mais profundo e vigoroso (BERENDSE,1982; GUEDES et al., 1979; JONES JÚNIOR, WALKER, 1993; CASTRO, GARCIA, 1996).

Sereia et al. (2012), avaliando o crescimento de *B. ruziziensis* em consórcio com o milho, observaram que apenas no final do ciclo do milho, quando se encontrava em estágio R6 (após estágio de grãos farináceos-duro), ocorreu uma retomada do crescimento das braquiárias e atribuiu esse comportamento ao maior estímulo luminoso recebido pelas forrageiras, devido a senescência das folhas do milho que se pronuncia nesta fase do desenvolvimento, e a absorção de água está intimamente ligada a esse processo que intensifica as atividades fisiológicas nas plantas da forrageira.

4.5.1.4. Armazenamento de água no solo – Período 4

Na camada superficial, os tratamentos com braquiária (BRS, MD1 e MD4) não apresentaram diferenças quanto ao ARM, com médias de 31, 32 e 29mm, respectivamente. Nesta ocasião, o período de monitoramento da umidade do solo possibilitou constatar que as diferentes densidades de plantio de *B. ruziziensis* no consórcio adotadas conseguem acompanhar o consumo hídrico da BRS, em condições de déficit hídrico (Figura 21), havendo possibilidade dessas diferenças serem mais pronunciadas, caso a água estivesse mais prontamente disponível para o consumo da forrageira nesta camada.

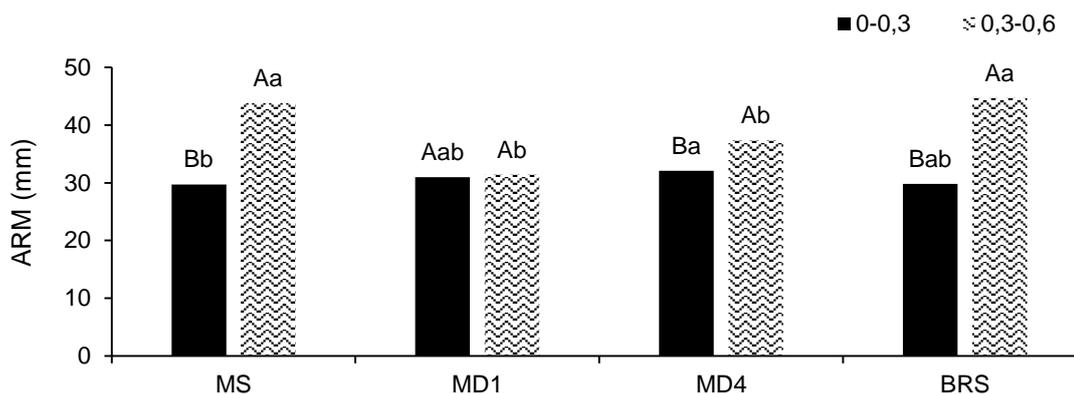


Figura 21 – Variação do armazenamento de água no solo em cada profundidade – 0-0,3m e 0,3-0,6m – em função dos sistemas de cultivos avaliados no Período 4 de monitoramento da umidade do solo. MS: Milho solteiro; MD1: Milho+ Densidade de semeadura da braquiária (2kg ha⁻¹); MD4: Milho+ Densidade de semeadura da braquiária (8kg ha⁻¹); BRS: Braquiária solteira). Brejo, MA. 2018.

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si quanto à profundidade de monitoramento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si quanto aos sistemas de cultivo avaliados pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Neste sentido, alguns autores que utilizaram o método do balanço hídrico no solo constataram que o consumo hídrico da forrageira aumenta conforme ocorrem maiores eventos de precipitação, e conseqüentemente apresenta maiores variações do ARM em cultivo com *B. decumbens* (SILVA et al., 2014; MACHADO et al., 2015) e *B. brizantha* (GONDIM, 2015).

No caso do MS, houve diferença apenas em relação ao MD4 (29 mm), já que após a colheita do milho a área ficou exposta a perdas de água por evaporação, devido à pouca cobertura de solo. No MD4, a maior quantidade de plantas devido a maior densidade de semeadura da forrageira (8kg ha⁻¹), proporcionaram sombreamento de toda a superfície do solo. Conforme apresentado na Figura 13, a produção de massa verde neste tratamento foi acima de 17.000 kg ha⁻¹, proporcionando boa cobertura de dossel, que dificulta a perda de água para a atmosfera. Além disso, neste período as plantas de *B. ruziziensis* encontravam-se em déficit hídrico (Figura 9), o que provoca o desenvolvimento de mecanismos fisiológicos pelas plantas para reduzir as perdas de água do tecido vegetal, como o fechamento dos estômatos (GALVÃO, 2015). Com o fechamento dos estômatos a planta deixa de transpirar, o que também pode ter contribuído para maiores valores de ARM mesmo com o uso da maior densidade de semeadura da forrageira (Figura 21).

Na camada 0,3-0,6m, a BRS não apresentou diferenças de ARM em relação ao MS. Devido ao pleno desenvolvimento das raízes das plantas da forrageira em

cultivo solteiro desde a emergência, a extração na primeira camada é preferencial, e menos intenso nesta profundidade. Silva et al. (2014), observaram que no último período de monitoramento, ocorreu aumento da concentração de raízes de *B. decumbens* em cultivo solteiro na camada de 0-0,3, sendo encontrados nos períodos anteriores, a profundidade efetiva de raízes apenas na camada 0-0,2m.

Nos dois sistemas de cultivos consorciados, observa-se os menores valores de ARM na camada de 0,3-0,6m, o que pode ser atribuído a competição interespecífica exercida nas fases anteriores pelas plantas de milho, que provocaram desenvolvimento maior das raízes da forrageira em camadas mais profundas em busca de água e nutrientes, explorando volume de solo além do explorado pelas raízes de milho. A diminuição da umidade do solo promove alterações na distribuição e atividade do sistema radicular, oscilando assim a disponibilidade de água para as plantas de acordo com as habilidades dessas em expandir ou aprofundar o sistema radicular, para explorar um volume maior de solo (Shao et al., 2008).

Neste contexto, Cunha et al. (2007), estudando o comportamento do sistema radicular do capim-tanzânia sob diferentes níveis de irrigação e turno de rega, constataram que a maior profundidade efetiva do sistema radicular foi encontrada no tratamento em que o capim foi submetido a uma menor lâmina e menor turno de rega.

Silva et al. (2000) observaram que o aumento da densidade de plantas de *B. brizantha* cv. Marandu em consórcio com plantas de eucalipto e a redução de níveis de água no solo avaliados, proporcionou absorção de menores teores de nutrientes pelas raízes de eucalipto em decorrência da competitividade por água e nutrientes.

5. CONCLUSÕES

Com a finalidade de produção de grãos de milho, a densidade de semeadura da braquiária ideal para o bom rendimento do consórcio foi de 1,7 e 3,0 kg ha⁻¹, com o uso dos híbridos 30F 53VYHR e Status Viptera 3, respectivamente.

Com finalidade de produção de forragem para pastagem animal, a densidade de semeadura da braquiária ideal para o bom rendimento do consórcio foi de 8,0 e 6,2 kg ha⁻¹, com o uso dos híbridos 30F 53VYHR e Status Viptera 3, respectivamente.

No consórcio milho – braquiária, as melhores eficiências do uso da terra são observadas com as densidades de semeadura da braquiária entre 2 e 4 kg ha⁻¹.

O cultivo do milho em consórcio com a *B. ruzizensis* promove maior extração de água do solo, notadamente, na camada de 0-0,3m, na fase de maior exigência hídrica do milho.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, Richard G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **Fao**, Rome, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; SMITH, M.; RAES, D.; WRIGTH, J.L. FAO-56 dual crop coefficient procedure for predicting evaporation from soil and application extensions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. ASCE, v. 131, p. 2-13, 2005.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S. Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. **Irrigation Science**. Vol. 1, n. 28. p. 17-34, 2009.
- ALEXANDRINO, E. **Crescimento e características químicas e morfológicas da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a cortes e doses de nitrogênio**. 2000. Dissertação (Mestrado)—Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.
- ALVES, V. B., PADILHA, N. D. S., GARCIA, R. A., & CECCON, G. Milho safrinha consorciado com *Urochloa ruziziensis* e produtividade da soja em sucessão. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 3, p. 280-292, 2013.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E.A.; MASCHIO, R.; SILVA, E. M. **Determinação da curva de retenção de água no solo em laboratório**. Embrapa Meio-Norte, 2007a.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; SILVA, C. O. **Zoneamento de risco climático para a cultura da soja no Estado do Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, (Documentos, 167). 2007b.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SILVA, F. A. de M.; RIBEIRO, J. L.; LIMA, M. G. de; AMARAL, J. A. B. do. **Zoneamento de risco climático para a cultura do algodão herbáceo no estado do Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte. (Documentos/Embrapa Meio-Norte). 45p. 2006.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; SILVA, C. O. **Zoneamento de risco climático para a cultura do milho no Estado do Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte. 25p. (Documentos, 170). 2008.
- ANDRADE JUNIOR, A. S. de; SILVA, J. L. da; FERREIRA, J. O. P.; IRENE FILHO, J. Índice de satisfação da necessidade de água do consórcio milho-braquiária. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, p. 199-208, 2017.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SILVA, J. L.; BASTOS, E. A.; MACIEL, G. A.; RIBEIRO, V. Q. Coeficientes de cultura da braquiária em cultivo solteiro e consorciado com milho. In: CONGRESO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERIA AGRÍCOLA, 9; CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 39. 2010, Vitória. **A engenharia agrícola e o desenvolvimento das propriedades familiares**. Vitória: SBEA, 2010.

ANJOS, J. C. R. dos; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; BASTOS, E. A.; NOLETO, D. H.; MELO, F. B.; DE BRITO, R. R. Armazenamento de água em Plintossolo Argilúvico cultivado com cana-de-açúcar sob níveis de palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 6, p. 462-471, 2017.

ÁVILA, V. S de. **Balço hídrico do solo e partição da evapotranspiração de soja, milho e feijão submetidos à irrigação deficitária no sul do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, RS. 2016.

BACK, A. J. Variação da evapotranspiração de referência calculada em diferentes intervalos de tempo. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.139-145. 2007.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; SILVA, V. P. DA; MORAES, A. D., MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 0-0, 2011.

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

BARRETO, H.B.F.; PEREIRA, G.M.; BARRETO, F.P.; FREIRE, F.G.C.; MAIA, P.M.E. Relação intensidade-duração-frequência para precipitação extrema em Mossoró – RN. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v.7, n.3, p.103–109, 2014.

BARROS, J.S.; MEDEIROS, J.C.; SOUSA, D.C.; RODRIGUES, P.C.F.; OLIVEIRA FILHO, E.G.; DALLA ROSA, J. **Produção de biomassa de plantas de cobertura do solo no cerrado piauiense**. In: XIX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XV Encontro Latino Americano de Pós Graduação e V Encontro de Iniciação à Docência, 2015, São José dos Campos. XIX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XV Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e V Encontro de Iniciação à Docência, 2015.

BATISTA, K.; DUARTE, A. P., CECCON, G., DE MARIA, I. C., & CANTARELLA, H. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em forrageiras consorciadas com milho safrinha em função da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1154-1160, 2012.

BELTRÃO, N. E. de M. **Comparação entre indicadores agroecônômicos de avaliação de agroecossistemas consorciados e solteiros envolvendo algodão “upland” e feijão “caupi”**. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA. 21 p. (Boletim de Pesquisa, 15), 1984.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J.I.; MÜLLER, A.G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A.O.; RADIN, B.; BIANCHI, C.A.M.; PEREIRA, P.G. Water deficit and yield in maize crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.243-249, 2006.

BERENDSE, F. Competition between plants populations with different rooting depths. III. Fields experiments. **Oecologia**, Berlim, v. 53, n. 1, p. 50-55, 1982.

BIZARI, D. R.; SOUZA, C. F.; GRECCO, K. Bulbo molhado estimado pela técnica da TDR na irrigação por gotejamento subsuperficial. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 2, p. 477-485, 2016.

BRAMBILLA, J. A.; LANGE, A.; BUCHELT, A. C.; MASSAROTO, J. A. Produtividade de milho safrinha no sistema de integração lavoura-pecuária, na região de sorriso, mato Grosso. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 8, n. 3, p. 263-274, 2009.

BRAZ, A. J. B. P.; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M. da. Produção de fitomassa de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho distroférico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35 n.1, p. 55-64, 2005.

BRITO, A. dos S.; LIBARDI, P. L.; GHIBERTO, P. J. Componentes do balanço de água no solo com cana-de-açúcar, com e sem adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 295-303, 2009.

CALDERÓN, V.J.V. **Interpretação dos resultados de ensaios TDR para a determinação do teor de umidade dos solos**. 2010. Ano de Obtenção: 2010. 117p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010

CARVALHO, F. P.; SANTOS, J. B.; CURY, J. P.; VALADÃO SILVA, D.; BRAGA, R. R. BYRRO, E. C. M. Alocação de matéria seca e capacidade competitiva de cultivares de milho com plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 29, n. 2, p. 373-382, 2011.

CARVALHO, L. O. de. **Cultura da mamoneira**. Campinas: CATI. 3 p. (Comunicado Técnico, 73). 1988.

CASSOL, L.C. **Relação solo-planta-animal num sistema de interação lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. 157f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

CASTOLDI, G.; PIVETTA, L.A.; STEINER, F.; COSTA M.M.S.C.; COSTA L.A.M. Production systems and their influence on the culture of out-of-season corn in no-tillage system. **Science Agraria Paranaensis**, v. 10, n. 1, p. 47- 57. 2011.

CASTRO, C. R. T. de; GARCIA, R. Competição entre plantas com ênfase no recurso luz. **Ciência Rural**, v. 26, n. 1, 1996.

CECCON, G.; SILVA, J. F.; LUIZ NETO NETO, A. Consórcio milho-braquiária com densidades populacionais da forrageira no Centro-Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.17, n.1, p. 157-167, 2018.

CECCON, G.; SILVA, J. F. DA; NETO, A. L. N.; MAKINO, P. A.; SANTOS, A. DOS. Produtividade de milho safrinha em espaçamento reduzido consorciado com

populações de plantas de *Brachiaria ruziziensis*. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 13, n. 3, p. 326-335, 2014.

CECCON, G. Dicas para implantação do consórcio milho-braquiária. **Revista Plantio Direto**. Passo Fundo, v. 124, n.1, p. 20-21, 2011a.

CECCON, G. Milho safrinha com solo protegido e retorno econômico em Mato Grosso do Sul. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, ano 16, n. 97, p. 17-20; jan./fev. 2007.

CECCON, G. Produção de palha para o Sistema Plantio Direto. In: SIMPÓSIO DE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 1, 2011, Jataí. **Anais...** Jataí, GO: Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, p. 8-18, 2011b.

CECCON, G.; LUIZ NETO NETO, A.; FONSECA, I. C.; MATOSO, A. O.; SEREIA, R. C. Híbridos de milho em consórcio com populações de *Brachiaria ruziziensis* na safra 2009/2010, em Dourados, MS. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28. **Anais...** Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010.

CECATO, U.; YANAKA, F.Y.; BRITO FILHO, M.R.T.; SANTOS, G.T.S.; CANTO, M.W.; ONORATO, W.M. & PERNELLI, M. Influência da adubação nitrogenada e fosfatada na produção, na rebrota e no perfilhamento do capim-marandú (*Brachiaria brizantha*[Hochst] stapf. Cv. Marandu) **Acta Science**, Maringá, v. 22, n. 3, p. 817-822, 2000.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M. de; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, JOSÉ O. R.; CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol.16, n.1, p. 37-43, 2012.

COBUCCI, T. Manejo integrado de plantas daninhas em sistema de plantio direto. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Manejo integrado fitossanidade: cultivo protegido, pivô central e plantio direto**. Viçosa, MG: UFV, 2001. p. 583-624, 2001.

COBUCCI, T.; DI STEFANO, J. G.; KLUTHCOUSKI, J. **Manejo de plantas daninhas na cultura do feijoeiro em plantio direto**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 56 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular técnica, 35)

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 6 Safra 2018/19 -Terceiro levantamento, Brasília, p. 1-127, dezembro 2018.

CONCENÇO, G., FERREIRA, E. A., SILVA, A. A., FERREIRA, F. A., VIANA, R. G., D'ANTONINO, L.; FIALHO, C. M. T. Uso da água em biótipos de azevém (*Lolium multiflorum*) em condição de competição. **Planta Daninha**, v.25, p.449-455, 2007.

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

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; GAMEIRO, R. de A.; PARIZ, C. M.; BUZETTI, S.; LOPES, K. S. M. Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.8, p.1038-1047, 2012.

CRUSCIOL, C.A.C.; MATEUS, G.P.; NASCENTE, A.S.; MARTINS, P.O.; BORGHI, E.; PARIZ, C.M. An innovative crop-forage intercrop system: early cycle soybean cultivars and palisadegrass. **Agronomy Journal**, Madison, v. 104, p. 1085-1095, 2012.

CRUZ, A.C.R.; LIBARDI, P.L.; CARVALHO, L.A.; ROCHA, G.C. Balanço de água em volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citrus. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.1, p.1-10, 2005.

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

CUNHA, F.F.; SOARES, A.A.; SEDIYAMA, G.C.; MANTOVANI, E.C.; PEREIRA, O.G.; ABREU, F.V.S. & SOUZA, D.O. Avaliação do sistema radicular do capim tanzânia submetido a diferentes níveis de irrigação e turnos de rega. **Engenharia Agrícola**, v.15, p.200-211, 2007.

DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; KRUGER, C. A. M. B.; BERGONCI, J. I.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Evaporação da água na superfície do solo em sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Vol. 45, n. 8,(ago. 2010), p. 780-790, 2010.

DANTAS, G.D.F.; FARIA, R. T. DE; SANTOS, G.O.; DALRI, A. B.; PALARETTI, L.F. Produtividade e qualidade da brachiaria irrigada no outono/inverno. **Engenharia Agrícola**, v. 36, p. 469-481, 2016.

DUVICK, D.N. What is yield? In: EDMEADES, G.O.; BANZIGER, M.; MICKELSON, H.R.; PENA-VALDIVIA, C.B. (Ed.). **Developing drought and low N-tolerant maize**. El Batan: CIMMYT. p.332-335, 1997

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de laboratórios: solo, água, nutrição, animal e alimentos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste. p. 202-205, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. 2º ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 230p. 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistemas de produção. **Tecnologias de produção da soja – Região Central do Brasil 2014**. 1ª ed. Londrina: Embrapa Soja, 2013.

ESPINOZA, W. Extração de água pelo milho em latossolo da região dos cerrados. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, vol.15, n.1, p.69-78, 1980.

FARIA, B. M. **Características de crescimento e composição química de *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria ruziziensis* sob sombreamento e adubação nitrogenada.** 2011. 47p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Instituto de Zootecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

FANCELLI, A. L. **Fisiologia, nutrição e adubação do milho para alto rendimento.** Piracicaba, São Paulo. Departamento de Produção Vegetal. São Paulo: ESALQ/USP, 9 p, 2003.

FERREIRA, E.B.; CAVALCANTI, P.P.; NOGUEIRA, D.A. **ExpDes: Experimental Designs package.** R package version 1.1.2. 2013.

FERREIRA, V M.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SILVA, C. R. da; MASCHIO, R. Consumo relativo de água pelo milho e pelo feijão-caupi, em sistema de cultivos solteiro e consorciado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 16, n.1, p. 96-106, 2008.

FERREIRA, V. M.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. DE; CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q.; MORAIS C.; Eddie L. da. Performance produtiva do consórcio milho - feijão caupi e disponibilidade hídrica do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 2, pp. 177-186, 2010.

FERNANDES, D. M. **Manejos de *Brachiaria ruziziensis* e *Avena Sativa* em sistema de integração lavoura pecuária na cultura da soja em sucessão.** 2015. 66 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2015.

FIETZ, C. R.; CECCON, G.; COMUNELLO, E.; SOUZA, F. R. de. **Demanda hídrica do consórcio milho e braquiária em Mato Grosso do Sul.** In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 10, 2009, Rio verde. Anais... Rio Verde: FESURV. p. 298- 303. 2009.

FIGUEIREDO, V.B.; MEDEIROS, J.F.; ZOCOLER, J.L.; ESPINOLA SOBRINHO, J. Evapotranspiração da cultura da melancia irrigada com água de diferentes salinidades. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.2, p. 231-240, 2009.

FLOSS, E. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo que está por trás do que se vê.** 4 ed. Passo Fundo: UPF, 733p, 2008.

FONSECA, D. M.; MARTUSCELLO, J. A. **Plantas Forrageiras.** 1. Ed. Viçosa: UFV. 537p. 2010.

FRANCHINI, J. C., DEBIASI, H., SACOMAN, A., NEPOMUCENO, A. L., & FARIAS, J. R. B. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca.** Londrina: Embrapa Soja, 2009.

FREITAS, F.C.L.; FERREIRA, L.R.; FERREIRA, F.A.; SANTOS, M.V.; AGNES, E.L.; CARDOSO, A.A.; JAKELAITIS, A. Formação de pastagem via consórcio de *Brachiaria brizantha* com o milho para silagem no sistema de plantio direto. **Planta Daninha**, v.23, p.49-58, 2005.

FREITAS, F. C. L.; SANTOS, M. V.; MACHADO, A. F. L.; FERREIRA, L. R.; FREITAS, M. A. M.; SILVA, M. G. O. Comportamento de cultivares de milho no consórcio com *Brachiaria brizantha* na presença e ausência de foramsulfuron + iodossulfuron-methyl para o manejo da forrageira. **Planta daninha**, v.26, n. 2, p.215-221, 2008.

FREITAS, M. A. M. de. **Impacto do consórcio milho-braquiária no crescimento, características nutricionais e fisiológicas do milho e na atividade da microbiota do solo**. 49f. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Curso de Pós-graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, MG. 2013.

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

GALVÃO, J. C. C.; BORÉM, A.; PIMENTEL, M. A. **Milho: do plantio a colheita**. UFV, p. 46-47, 2015.

GIMENES, M. J.; DO AMARAL DAL, M. H. F.; PRADO, E. P.; CHRISTOVAM, R. de S; COSTA, S. Í.de A; SOUZA, E. D. Interferência de *Brachiaria Ruziziensis* sobre plantas daninhas em sistema de consórcio com milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 3, 2011.

GIMENES, M. J.; VICTORIA FILHO, R.; PRADO, E.P.; DAL POGETT, M. H. F. do A.; CHRISTOVAM, R. S. Interferência de espécies forrageiras em consórcio com a cultura do milho. **Revista da FZVA**. Uruguaiana, v.15, n.2, p.61-76. 2008.

GONÇALVES, A. C. A., TRINTINALHA, M. A., TORMENA, C. A., & FOLEGATTI, M. V. Influence of soil bulk density in a dystroferic red ultisol moisture estimated by time domain reflectometry. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1551-1560, 2011.

GONDIM, P S. de S.; LIMA, J. R. de S.; ANTONINO, A. C. D.; HAMMECKER, C.; SILVA R. A. B. da; GOMES, C. A. Environmental control on water vapour and energy exchanges over grasslands in semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Vol. 19, n. 1, p.3-8, 2015.

GRAFF, T.; ZEHE, E.; SCHLAEGER, S.; MORGNER, M.; BAUER, A.; BECKER, R.; CREUTZFELDT, B.; BRONSTERT, A. A quality assessment of spatial TDR soil moisture measurements in homogenous and heterogeneous media with laboratory experiments. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.7, p.269-311, 2010.

GUEDES, R. D., SCOTT, H.D., OLIVER, L.R. Growth and water use by common cocklebur (*Xanthium strumarium*) and soybeans (*Glycine max*) under fields conditions. **Weed Science**, Champaign, v. 27, n.2, p. 206-212, 1979.

GUIMARÃES, C. M., COSTA, C. A. G., CARNEIRO, L. F., & DA ASSUNÇÃO, H. F. Response of the TDR sensor to moisture under different types of management of a typical Latosol in the Cerrado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, n. 1, p. 1-7, 2019.

GURSKI, B. C.; SOUZA, J. L. M. de; EVANGELISTA, A. W. P.; JERSZURKI, D; ARMINDO, R.A. Modelos para estimativa diária da profundidade efetiva do sistema radicular da cana-de-açúcar, feijoeiro e milho. **Irriga**, v. Edição Esp, n. Irrigação, p. 155-167, 2016.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York, Academic Press, 771p. 1998.

HODGSON, J. **Grazing management – since into practice**. Essex: Logman Scientific & Technical, 1990. 203p.

HOLANDA, F. DE. Dinâmica da economia maranhense nos últimos 25 anos. São Luis. In: **Cadernos IMESC**, v.4, 2008.

JAKELAITIS, A.; DUARTE, T. A. D.; ALEXANDRINO, E.; SIMÕES, L. P.; SOUZA, K. V.; LUDTKES, J. Cultivares de milho e de gramíneas forrageiras sob monocultivo e consorciação. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 380-387, 2010.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A.; PEREIRA, J.L.; SILVA, A. F.; FERREIRA, L.R.; VIVAN. R. Efeitos da densidade e épocas de emergência de *B. brizantha* em competição com as plantas de milho. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 28, n.3, p. 373-378, 2006.

JONES JÚNIOR, R. E; WALKE, R. H. Effect of interspecific interference, light intensity and soil moisture on soybean (*Glycine max*), common cocklebur (*Xanthium strumarium*) sicklepod (*Cassia obtusifolia*) water uptake. **Weed Science**, Champaign, v. 41, n.4, p. 534-540, 1993.

KAPPES, C.; ANDRADE, J. A. da C.; ARF, O.; OLIVEIRA, A. C. de; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P. Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 2, p. 334-343, 2011.

KAISER, D.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; MINELLA, J.P.G. Dielectric constant obtained from TDR and volumetric moisture of soils in southern Brazil. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.34, n.3, p.649-658, 2010.

KIM, K.; SIM, J.;KIM, T. -H. Evaluations of the effects of soil properties and electrical conductivity on the water content reflectometer calibration for landfill cover soils. **Soil and Water Research**, v. 12, n. 1, p. 10-17, 2017.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. **Uso da integração lavoura-pecuária na recuperação de pastagens degradadas**. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Ed.). Integração lavoura-pecuária. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p.185-223. 2003.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. Manejo Sustentável dos Solos dos Cerrados. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração Lavoura-Pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p. 59-104. 2003.

KLUTHCOUSKI, J.; YOKOYAMA, L.P. **Opções de integração lavoura-pecuária**. In: KLUTHCOUSKI, J. et al. Integração Lavoura-Pecuária. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. Cap.4, p.131-141. 2003.

KRAMBERGER, B; GSEIMAN, A; JANZEKOVIC, M; KALIGARIC, M.; BRACKO, B. Effects of cover crop on soil mineral nitrogen and on the yield and nitrogen content of maize. **European Journal of Agronomy**, Bologna, v. 31, n 2, p. 103-109, 2009.

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

LACERDA, R.; GUERRA, H.; JÚNIOR, G. Influência do déficit hídrico e da matéria orgânica do solo no crescimento e desenvolvimento da mamoneira BRS 188 – Paraguaçu. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.4, n.4, p.440- 448, 2009.

LARA, M. A. S. **Respostas morfofisiológicas de cinco cultivares de Brachiaria spp. às variações estacionais da temperatura do ar e do fotoperíodo**. 91p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura, Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

LARCHER, W. Environmental influences on growth and development. In: Larcher, W. **Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups**. Springer, 4th ed. pp.297-328, 2003.

LEITE, B. B. **Avaliação da velocidade de plantio e densidade de Plantas na qualidade da sementeira de milho para Silagem**. 2015. 29 f. Tese (Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

LEMOS, J.J.S.; BOTELHO, D.C. Efeito da Precipitação de Chuvas na Evolução da Produção de Alimentos no Ceará: Desdobramento por Períodos Históricos Recentes. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL - SOBER, 48, Campo Grande, MS, 2010. **Anais...** Brasília, 2010.

LEONEL, F.P.; PEREIRA, J.C.; COSTA, M.G.; MARCO JÚNIOR, P.; LARA, L.A.; QUEIROZ, A.C. Comportamento produtivo e características nutricionais do capim braquiária cultivado em consórcio com o milho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, n.1, p.177-189, 2009.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 456p, 2011.

LIBARDI, P. L.; MELO FILHO, J. F. Influência dos horizontes coesos na dinâmica da água no solo. In: WORKSHOP SOBRE COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 2001, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiro. p. 195-208, 2001.

LIEBMAN, M. Sistemas de policultivos. In: ALTIERI, M. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. 3.ed. São Paulo, Rio de Janeiro: Expressão Popular, AS-PTA. p. 221-40. 2012.

LYRA, G. B., SOUZA, J. L. D., TEODORO, I., LYRA, G. B., & JÚNIOR, R. F. A. Conteúdo de água no solo em cultivo de milho sem e com cobertura morta na entrelinha na região de Arapiraca-AL. **Irriga**, v. 15, n. 2, 2010.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 1, p. 133-146, 2009.

MACHADO, C. B.; MACHADO, C. B.; LIMA, J.; ANTONINO, A. C. D.; ALVES, E. M.; SOUZA, E.; RIBEIRO, A. A.; FIRMINO, F. H. T. Fluxos de água no consórcio milho-pastagem na microbacia hidrográfica do Rio Mundaú, Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 3, p. 731-740, 2015.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas: Embrapa milho e Sorgo (Documentos), 2006.

MARCHÃO, R. L.; BRASIL, E. M.; XIMENES, P. A. Interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e rendimento de grãos do milho adensado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, n. 2, p. 170-181, 2006.

MELO, P. T. B. S., SCHUCH, L. O. B., ASSIS, F. D., & CONCENÇO, G. Comportamento de populações de arroz irrigado em função das proporções de plantas originadas de sementes de alta e baixa qualidade fisiológica. **Revista Brasileira de Agrociências**, vol. 12, n. 1, p.37-43, 2006.

MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F.; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p. 275-279, 2003.

NICOLOSO, R.; AMADO, T. J. C.; SCHINEIDER S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO V.C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento de rendimentos da soja. **Revista Brasileira de Ciências do solo**. v. 32, p. 1723-1724, 2008.

PARIZ, C.M.; ANDREOTTI, M.; AZENHA, M. V.; BERGAMASCHINE, A. F.; MELLO, L. M. M. de; LIMA, R. C. Produtividade de grãos de milho e massa seca de braquiárias em consórcio no sistema de integração lavoura pecuária. **Ciência Rural**, v. 41, n.5, p. 875882, 2011.

PASSOS, M. V. L.; RAPOSO, A. B.; MENDES, T. J. Evapotranspiração de referência por diferentes métodos para o município de Chapadinha-MA. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science/Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 10, n.º 1, 2017.

PASSOS, M. L. V.; ZAMBRZYCKI, C. G.; PEREIRA, R. Balanço hídrico e classificação climática para uma determinada região de Chapadinha - MA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, nº.4, Fortaleza, p. 758 - 766, 2016.

PEREIRA, J. R.; CAMPOS, A. T. **Controle da Braquiária como invasora**. Juiz de Fora: Embrapa – Gado de Leite, 2000.

PENTEADO, S. R. **Adubação Verde e produção de biomassa – melhorias e recuperação dos solos**. Campinas, SP: Livros Via Orgânica, p. 164, 2007.

PITELLI, R. A. Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. **Informe Agropecuário**, v. 11, n. 129, p. 16-27, 1985.

PORTES, T.A.; CARVALHO, S. I. C. de; OLIVEIRA, I. P. de; KLUTHCOUSKI, J. Análise do crescimento de uma cultivar de braquiária em cultivo solteiro e consorciado com cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.7, p.1349- 1358, 2000.

POSSE, R. P., BERNARDO, S., DE SOUSA, E. F., & GOTTARDO, R. D. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do mamoeiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 681-690, 2008.

PREVEDELLO, C. L.; MAGGIOTTO, S.L.; LOYOLA, J.M.T.; DIAS, N. L.; BEPLER NETO, G. Balanço de água por aquisição automática de dados em cultura de trigo (*triticum aestivum* L.). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Vol. 31, p. 1-8. 2007.

PRIESTLEY, C.H.B.; TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Review**, v.100, n.2, p.81-92, 1972.

QUARESMA, J. P de S.; JAKELAITIS, A; ALEXANDRINO, E.; OLIVEIRA, A. A. de; PITTELKOW, F. K.; ARAÚJO, R. Produção de milho e braquiário consorciado sob adubação nitrogenada e fosfatada. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, vol. 5, núm. 4, pp. 613-620, 2010.

RAJCAN, I.; SWANTON, C. Understanding maize-weed competition: recourse competition, light quality and the whole plant. **Field Crops. Res.**, Amsterdam, v. 71, p. 139-0150, 2001.

REDER, A.; RIANNA, G.; PAGANO, L. Calibration of TDRs and heat dissipation probes in pyroclastic soils. **Procedia Earth and Planetary Science**, v. 9, p. 171-179, 2014.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 181 p. 1987.

REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; GUBIANI, P. I.; KAISER, D. R.; MINELLA, J. P. G.; REINERT, D. J. Hidrologia do solo, disponibilidade de água às plantas e zoneamento agroclimático. **Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG: SBCS**, v. 7, p. 1-54, 2011.

REIS, W. F. dos. **Tratamento de sementes, densidade e método de semeadura de brachiaria brizantha no consórcio milho e braquiária**. Programa de Pós Graduação em Fitotecnia (Dissertação). Universidade federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2010.

RESENDE, J. M. D. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; DANTAS, J. S.; SIQUEIRA, D. S.; TEIXEIRA, D. D. B. Spatial variability of the properties of cohesive soils from eastern Maranhão, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 4, p. 1077-1090, 2014.

RIBEIRO, L. DA S.; OLIVEIRA, I. R. DE; DANTAS, J. S.; SILVA, C. V. DA; SILVA, G. B.; AZEVEDO, J. R. DE. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo coeso sob sistemas de manejo convencional e de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1699-1702, 2016.

RIBEIRO, M. S.; SILVA, E. L. da; MOURA, D. C. M. de; DANTAS, A. A. A. Coeficiente de cultura (Kc) e crescimento vegetativo de acaíá cerrado associados a graus-dia e desenvolvimento. **Irriga, Botucatu**, v. 14, n. 2, p. 220-232, 2009.

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

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O.; & HERMAN, J. C. **How a Corn Plant Develops**: Special Report No 48. Ames: Iowa State University of Science and Technology Cooperative Extension Service, 1997.

ROCHA, L. M. P. da. **Ensaio Nacional de cultivares de milho Sul Precoce 2016**. Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 2016.

ROCHA, A. E. Q. da; LYRA, G. B.; DE SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; MEDEIROS, R. P.; TEODORO, I. Conteúdo de água no solo por reflectometria no domínio do tempo e balanço de água no solo em cultivo de milho. **Irriga**, v. 19, n. 2, p. 267, 2014.

ROMANO, Marcelo Ribeiro. **Desempenho fisiológico da cultura de milho com plantas de arquitetura contrastante: parâmetros para modelos de crescimento**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2005.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. M.; BROCH, D. L.; BOENI, B.; CONCEIÇÃO, P. C. **Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 58 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 29)

SANS, L. M. A.; ASSAD, D.; GUIMARÃES, D. P.; AVELAR, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do milho na região centro-oeste do Brasil e para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 527-539, 2001

SANS, L. M. A.; GUIMARÃES, D. P.; SANS, C. M. M. Coeficientes culturais de consórcio milho-feijão e milho-braquiária. In: Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais

de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 25, 2007, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007.

SANTANA, O. A.; CUNIAT, G.; IMAÑA-ENCINAS, J. Contribuição da vegetação rasteira na evapotranspiração total em diferentes ecossistemas do bioma cerrado, Distrito Federal. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 2, p. 269-281, 2010.

SANTIAGO, F. D. S.; BLACKBURN, R. M.; DIAS, I.; JALFIM, F.; PINHEIRO, M. **Índices de eficiência do uso da terra em consórcios agroecológicos no Semiárido Nordestino**. In: VI CONGRESSO SOBRE USO E MANEJO DO SOLO, Recife (Pernambuco, Brasil), 2014.

SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B.T.; ROSSETTI, J. C. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.4, n.3, p. 142-149, 2010.

SANTOS, D. B.; CECÍLIO, R. A.; COELHO, E. F.; SILVA, A. J. P.; BATISTA, R. O. Calibração de TDR: desempenho de alguns métodos e equações de calibração. **Revista Agrarian**, v. 5, n. 16, p. 131-139, 2012.

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

SHAO, H.B.; CHU, L.; JALEEL, C.A. & ZHAO, C. Waterdeficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes rendus biologies**, v. 331, n. 3, p. 215-225, 2008.

SILVA, A. A.; JAKELAITIS, A.; FERREIRA, L. R. **Manejo de plantas daninhas no sistema integrado agricultura-pecuária**. In: ZAMBOLIM, L.; FERREIRA, A. A.; AGNES, E. L. Manejo integrado: integração agricultura-pecuária. Viçosa: Ed. da UFV, p. 117-169, 2004.

SILVA, A. A. da; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R. **Herbicidas: classificação e mecanismo de ação**. In: Tópicos em manejo de plantas daninhas. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, v. 2, p. 58-117, 2007.

SILVA, A.J.P.; COELHO, E.F.; MIRANDA, J.H.; WORKMAN, S.R. Estimating water application efficiency for drip irrigation emitter patterns on banana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.7, p.730-737, 2009.

SILVA, D. A.; SOUZA, L. C. F.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C. Aporte de fitomassa pelas sucessões de culturas e sua influência em atributos físicos do solo no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p. 147-156, 2011.

SILVA, D. V. **Efeitos da densidade populacional da braquiária sobre as características fisiológicas e produtivas do milho e da forrageira em consórcio**. Tese – doutorado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2014.

SILVA, F.A.M.; EVANGELISTA, B. A.; MALAQUIAS, J. V.; GUERRA, A. F.; ROCHA, O. C. **Parâmetros hídricos, área foliar e coeficiente cultural do consórcio milho-braquiária irrigado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 25p. (Embrapa Cerrados. Boletim Pesquisa e Desenvolvimento, 316), 2014a.

SILVA, J. L. da. **Coeficientes de cultura do milho e *Brachiaria ruziziensis* em cultivo solteiro e consorciado**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas. Linha de pesquisa em Recursos Ambientais, Uso e Manejo do Solo e da Água) – Universidade Federal do Piauí, PI. 31p. 2011.

SILVA, R. A. B. da; LIMA, J. R. DE S.; ANTONINO, A. C. D.; GONDIM, P. S. DE S.; SOUZA, E. S. DE; BARROS JÚNIOR, G. Balanço hídrico em neossolo regolítico cultivado com braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.38, n.1, p. 147-157, 2014b.

SILVA, T. G. da; MOURA, M. S. de; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. D. S.; JÚNIOR, W. G. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 64-71, 2012.

SILVA, W. da; SILVA, A. D.; SEDIYAMA, T. O. C. I. O.; FREITAS, R. D. Absorção de nutrientes por mudas de duas espécies de eucalipto em resposta a diferentes teores de água no solo e competição com plantas de *Brachiaria brizantha*. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 24, n. 1, p. 147-159, 2000.

SILVA JUNIOR, J. F., HERNANDEZ, F. B. T., SILVA, I. P. F., REIS, L. S., & TEIXEIRA, A. D. C. Stablishment of critical months to irrigated agriculture from a water balance study. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 12, n. 2, p. 122-131, 2018.

SILVEIRA, M. C. T. da, NASCIMENTO, D. do; RODRIGUES, C. S.; PENA, K. da S.; SOUZA, S. J. de; BARBERO, L. M.; LIMÃO, V.A; EUCLIDES, V.P.B.; SILVA, S. C. da. Forage sward structure of Mulato grass (*'Brachiaria hybrid' ssp.*) subjected to rotational stocking strategies. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 6, p. 864, 2016.

SKORA NETO, F. Uso de caracteres fenológicos do milho como indicadores do início da interferência causada por plantas daninhas. **Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 1, p. 8187, 2003.

SOUSA, D.C.; RODRIGUES, P.C.F.; DALLA ROSA, J.; OLIVEIRA, D.B.; MEDEIROS, J.C. **Atributos físicos do solo da região Centro-Oeste do Brasil**. In: V Congresso Nordeste de Engenharia Florestal e VI Semana Acadêmica de Engenharia Florestal, 2016, Bom Jesus. V Congresso Nordeste de Engenharia Florestal e VI Semana Acadêmica de Engenharia Florestal, 2016a.

SOUSA, DMG de; LOBATO, Edson. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.

SOUSA, M.N.G.; RODRIGUES, P.C.F.; OLIVEIRA FILHO, E.G.; MEDEIROS, J.C.; DALLA ROSA, J. **Atributos físicos do solo com baixo conteúdo de argila na região do MATOPIBA**. In: V Congresso Nordestino de Engenharia Florestal e VI Semana Acadêmica de Engenharia Florestal, 2016, Bom Jesus. V Congresso Nordestino de Engenharia Florestal e VI Semana Acadêmica de Engenharia Florestal, 2016b.

SOUZA, A. de; LIMA, M. de, CARVALHO, D de. 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**, vol.7, n.1, p.142-149, 2012.

SOUZA, C.F.; SILVA, C.R.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; COELHO, E.F. Monitoramento do teor de água no solo em tempo real com as técnicas de TDR e FDR. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, vol. 1, n. 1, p.26-42, 2016a.

SOUZA, D. P. de. **Consumo de água, relações hídricas e biométricas em dois sistemas de cultivo irrigado de Urochloa brizantha (Syn. Brachiaria brizantha) cv. Marandu**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2017.

SOUZA, J. M. de; REIS, E. F. dos; BONOMO, R.; PEREIRA, L. R. Calibração de sonda TDR em um latossolo vermelho amarelo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 6, 2016b.

SOUZA, L. S. B. DE; MOURA, M. S. B. DE; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. DA. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura do milho e feijão-caupi em sistemas exclusivo e consorciado. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 4, p. 151-160, Dec. 2015.

SRIVASTAVA, R. K.; PANDA, R. K.; CHAKRABORTY, A.; HALDER, D. Comparison of actual evapotranspiration of irrigated maize in a sub-humid region using four different canopy resistance based approaches. **Agricultural Water Management**, v. 202, p. 156-165, 2018.

TAHIRI, A.Z.; ANYOJI, H.; YASUDA, H. Fixed and variable light extinction coefficients for estimating plant transpiration and soil evaporation under irrigated maize. **Agricultural Water Management**, v.84, p.186-192, 2006.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The Water Balance. **Laboratory of Climatology**, Centerton, NJ, USA, 1955.

TIMM, L.C.; OLIVEIRA, J.C.M.; TOMINAGA, T.T.; CÁSSARO, F.A.M.; REICHARDT, K. & BACCHI, O.O.S. Water balance of a sugarcane crop: Quantitative and qualitative aspects of its measurement. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.6. p.57-62, 2002.

TOPP, G. C. et al. Determination of electrical conductivity using a time domain reflectometry: soil and water experiments in coaxial lines. **Water Resources Research**, v. 24, n. 7, p. 945-952, 1988.

TRENBATH, B. R. **Plant interactions in mixed crop communities**. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY. Multiple cropping. Madison, p.129- 169, 1979.

TRINDADE, J. K. D.; SILVA, S. C. D.; SOUZA JÚNIOR, S. J. D.; GIACOMINI, A. A.; ZEFERINO, C. V.; GUARDA, V. D. A.; CARVALHO, P. C. D. F. Composição morfológica da forragem consumida por bovinos de corte durante o rebaixamento do capim-marandu submetido a estratégias de pastejo rotativo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**: 1977. Brasília. Vol. 42, n. 6 (jun. 2007), p. 883-890, 2007.

TSUMANUMA, G. M. **Desempenho do milho consorciado com diferentes espécies de braquiárias, em Piracicaba, SP**. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Área de concentração Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 83 f. 2004.

WARD, P.R.; FLOWER, K.C.; CORDINGLEY, N.; WEEKS, C. & MICIN S.F. Soil water balance with cover crops and conservation agriculture in a Mediterranean climate. **Field Crop Research**, v.132, p. 33-39, 2012.

WILLEY, R. W. Intercropping - its importance and research needs. Part 1. Competition and yield advantages. **Field Crop Abstracts**, v. 32, n. 1, p. 1-10, 1979.

VALADÃO, W.A.; SILVA, A. da; SANTOS, T. E. B. dos; CARRIJO, U.E.; BRANDÃO, T.P. **Determinação dos teores matéria orgânica e umidade solo no sistema ILPF cultivado com diferentes espécies de gramíneas forrageiras na estação seca**. In: Fertbio “Rumo a novos desafios”, Goiânia, 2016.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils 1. **Soil science society of America journal**, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

VIDAL, R. A. **Interação negativa entre plantas: Inicialismo, alelopatia e competição**. 1. ed. Porto Alegre-RS: UFRG. 132 p. 2010.

VIEIRA JÚNIOR, P. A.; DOURADO NETO, D.; OLIVEIRA, R. F.; PERES, L. E. P.; MARTIN, T. N.; MANFRON, P. A.; BONNECARRÈRE, R. A. G. Relações entre o potencial e a temperatura da folha de plantas de milho e sorgo submetidas a estresse hídrico. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 4, p. 555-561, 2007.

VILELA, H. Série Gramíneas Tropicais – Gênero *Brachiaria* (*Brachiaria ruziziensis* – Capim). **Portal Agronomia**. 2012.

ZINSELMEIER, C.; WESTGATE, M.E.; JONES, R.J. Kernel set at low water potential does not vary with source sink/ratio in maize. **Crop Science**, v.35, p.158-164, 1995.