

JOSÉ LYPSON PINTO SIMÕES IZIDRO

PROPRIEDADES DO SOLO, CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E TROCAS
GASOSAS DO MILHETO EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA E COBERTURA
MORTA NO SOLO EM AMBIENTE SEMIÁRIDO

Serra Talhada-PE

2019

**I
Z
I
D
R
O

J
L
P
S

A
S
P
E
C
T
O
S

A
G
R
O
N
Ô
.
.
.

2
0
1
9**

JOSÉ LYPSON PINTO SIMÕES IZIDRO

PROPRIEDADES DO SOLO, CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E TROCAS
GASOSAS DO MILHETO EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA E COBERTURA
MORTA NO SOLO EM AMBIENTE SEMIÁRIDO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Eduardo Soares de Souza
Co-orientador: Mauricio Luiz de Mello Vieira Leite

Serra Talhada-PE

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

JOSÉ LYPSON PINTO SIMÕES IZIDRO

PROPRIEDADES DO SOLO, CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E TROCAS
GASOSAS DO MILHETO EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA E COBERTURA
MORTA NO SOLO EM AMBIENTE SEMIÁRIDO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

APROVADO em ____/____/_____.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Eduardo Soares de Souza – UFRPE/UAST
Orientador

Prof. Dr. Alexandre Campelo de Oliveira – UFRPE/UAST
Examinador Interno

Dr. José Nildo Tabosa – IPA/PE
Examinador Externo

*A Deus, aos meus pais Venâncio Izidro de Oliveira e Luciene Pinto Simões Izidro,
minha irmã Rochelly Maria Pinto Simões Izidro e toda minha família por todo amor
incondicional e apoio ao longo dessa caminhada.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por conceder o dom da vida, saúde, paz, força, coragem e por nunca ter me desamparado nos momentos difíceis.

Aos meus pais Venâncio Izidro de Oliveira e Luciene Pinto Simões Izidro, pelo amor incondicional, incentivo e apoio diário. A formação familiar que recebi de vocês foi determinante nessa trajetória, sinto-me honrado por cada ensinamento. A minha irmã Rochelly Maria Pinto Simões Izidro, pelo carinho e por sempre estarem ao meu lado em todos os momentos, e também aos demais familiares pelo carinho fraterno, apreço e apoio ao longo desses anos.

A Maiara Alves de Carvalho Diniz, pelo amor, companheirismo, amizade e apoio ao longo desses anos, você foi meu anjo da guarda em diversas situações, levarei você no meu coração sempre. A dona Elza Alves de Sá Maranhão (*in memoriam*) e José Cornélio por terem sido minha segunda família ao longo desses anos.

Ao meu orientador Prof. Eduardo Soares de Souza, pela amizade, paciência e ensinamentos repassados ao longo desses dois anos, o seu compromisso e dedicação com a pesquisa, serviu de exemplo e permitiu que eu pudesse enxergar o quanto era preciso evoluir para enfrentar esse desafio. Ao meu coorientador Prof. Maurício Luiz de Mello Vieira Leite, pela amizade, paciência, conselhos e conhecimentos transmitidos ao longo desses anos. Sinto-me lisonjeado em ter sido seu aluno e vivenciado experiências profissionais ao vosso lado, és um ser humano fantástico. Vocês são exemplos de profissionais que tenho procurado seguir.

Ao Dr. Rodolfo Souza e Aline Sheyla, pelos ensinamentos, conselhos e amizade nesses dois anos. A contribuição de vocês dois foi significativa para realização desse trabalho. Aos membros da banca examinadora, por terem aceitado o convite e poder contribuir com este trabalho.

Aos membros do Grupo de Ecohidrologia no Semiárido (Erison, Mirna, Maria Jucicleá, Fernando Isaías, Sara, Romário, Gustavo), agradeço imensamente também aos membros do excelente Grupo de Estudos em Forragicultura (Alef, Dennys, Paulo, Raul, Fredson, Igor, Robson, Cecílio, Mateus, Marlene, Juliane, Eliane, Cláudio, Liliane, Cristilane, Mariana, Luana, Any, Gabriela, Jéssica, Vinícius e Bernardo), pela valiosa contribuição na condução do experimento e pelos momentos de descontração nas atividades de campo. Em especial, aos meus amigos Laamon Simões, José Raliuson, Neto Barroso, Denizard e Mirna Clarissa que contribuíram desde a implantação até a finalização do ensaio experimental.

Aos meus amigos de turma do mestrado (Laamon e Marcondes) por todo o apoio, momentos de descontração e amizade ao longo desses dois anos. Durante esse longo período adquiri uma nova família de amigos que levarei por toda a vida (José Raliuson, Renilson Pessoa, Neto Barroso, George Araújo, José Neto, Marcondes, Denizard, Gerbson, Dra. Kelem, Lucimar, Cinara, Mirna, Cléa, Marcela, Ana Maria, Janaina Renata, Pedro Hermínio, João Paulo, Nielson, Marlos e Iago) vivenciamos momentos inesquecíveis.

Aos demais amigos que fiz durante a graduação e mestrado (Maiara Diniz, Isabela Cristovam, Kawane Daelly, Anacláudia Lira, Steyce Barbosa, Lizandra Queiroz, Natália Lino, Paula Marins, Analidya Cabral, Rosimere, Ana Patrícia, Yanne Carvalho, Kellyta Gama, Magali Makeba, Gabriela Queiroz, Larissa Medeiros, Janaina Novaes, Dynairan Novaes, Dyanne Novaes, Daniela Novaes, Ricardo, Cibelly Oliveira, Diana Braz, Brígida Leal, Jéssica Alves, George Henrique, Isabella Menezes, Fátima Mirelly, Emanuella Araújo, Fleming Sena, Glayci Costa, Tiago Araújo, Tamela Larissa, Zuleide Souza, Arelli Souza, Elizangela Nunes, Janaina Renata, Yuri, Roberto Neto, Franquielle, Thais Ramalho, Baltazar, Andrielly, Bernardo, Ray Jesus, Erison, Fernando Isaías, Renato Veríssimo e Sara) por todo apoio, amizade e momentos vividos, vocês estarão sempre no meu coração, pois conviver com vocês foi incrível.

Ao proprietário da Fazenda Lagoinha, seu Zeca e toda sua família por colaborar com essa pesquisa fornecendo a área para o desenvolvimento do ensaio experimental e por todo acolhimento e amizade durante esse período de mestrado.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco e Unidade Acadêmica de Serra Talhada, por disponibilizar sua estrutura física e funcionários para auxiliar na pesquisa. Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PGPV/UFRPE), por disponibilizar toda sua estrutura física para auxiliar na condução do experimento. Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PGPV/UFRPE), pelos conhecimentos repassados durante as disciplinas e por sempre estarem disponíveis para solucionar eventuais dúvidas. Aos Professores do curso de Zootecnia, por todo o conhecimento fornecido durante o curso, sendo fundamental na Pós-graduação e na vida profissional. A Dona Luci e Marquinhos da manutenção em nome de todos os funcionários terceirizados, por sempre estarem disponíveis para auxiliar na pesquisa.

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), pela concessão da bolsa de mestrado e financiamento da pesquisa.

Ao Observatório Nacional da Dinâmica de Água e Carbono no Bioma Caatinga (ONDACBC), pelos equipamentos utilizados na pesquisa.

A todos que contribuíram diretamente e indiretamente nessa jornada do Mestrado, muito OBRIGADO!

Não importa o tamanho do desafio, a perseverança e fé em Deus fará você superar qualquer obstáculo!

RESUMO GERAL

As condições climáticas nas regiões semiáridas limitam a produtividade de plantas forrageiras, devido as distribuições irregulares das chuvas, as altas temperaturas do ar e evapotranspiração potencial, além do manejo inadequado. Assim, objetivou-se avaliar os efeitos de diferentes níveis de cobertura morta no solo e da adubação orgânica nas propriedades do solo, características agronômicas e trocas gasosas do milheto (*Pennisetum glaucum*). Adotou-se o delineamento em blocos casualizados, com parcelas subdivididas sendo a parcela principal formada por duas condições de adubação orgânica: sem e com (30 Mg ha⁻¹) de esterco bovino e as subparcelas formadas por cinco densidades de cobertura morta no solo (0, 1, 2, 3 e 4 Mg ha⁻¹), com quatro repetições. A cultivar de milheto utilizada foi a IPA BULK 1 BF e suas características agronômicas avaliadas foram: comprimento de colmo, diâmetro de colmo, número de perfilhos; área foliar e índice de área foliar; foi determinada fitomassa fracionada (colmo, folha, panícula) e total. As variáveis de trocas gasosas foram: fotossíntese, condutância estomática e eficiência do uso da água. No solo foram realizadas medidas de umidade do solo e resistência à penetração do solo. Os dados foram analisados através do software estatístico R, submetidos à teste de normalidade Shapiro-Wilk, a análise de variância (Teste F a 5%) e teste de Tukey (5%) para comparação de médias. Quando identificada interação significativa, realizou-se o desdobramento, sendo realizado análise de regressão. O maior (P<0,05) número de perfilhos foi observado sob associação do efeito da adubação orgânica e cobertura morta. A variação de água no solo foi positiva e maior com 11 mm no maior nível de cobertura morta. O milheto assimilou mais CO₂ na condição de 4 Mg ha⁻¹ de cobertura morta no solo. A associação da adubação orgânica e cobertura morta no solo aumenta a eficiência de produção do milheto, por reduzir a evaporação da água no solo para a atmosfera, fazendo com que a planta assimile mais CO₂ e converta em fitomassa com precipitação pluvial reduzida. O nível de cobertura morta de 4 Mg ha⁻¹ armazena mais água no solo potencializando as propriedades do solo, características agronômicas e trocas gasosas do milheto.

Palavras chave: assimilação líquida de CO₂, armazenamento de água no solo, eficiência no uso de água, índice de área foliar

GENERAL ABSTRACT

Climatic conditions in semi-arid regions limit the productivity of forage plants due to irregular rainfall distributions, high air temperatures and potential evapotranspiration, and inadequate management. The objective of this study was to evaluate the effects of different soil cover levels and organic fertilization on soil properties, agronomic characteristics and gaseous changes of millet (*Pennisetum glaucum*). A randomized complete block design was used, with subdivided plots being the main plot formed by two conditions of organic fertilization: without and with (30 Mg ha⁻¹) of bovine manure and the subplots formed by five densities of mulch in the soil (0, 1, 2, 3 and 4 Mg ha⁻¹), with four replicates. The millet cultivar used was IPA BULK 1 BF and its agronomic characteristics were: stem length, stalk diameter, number of tillers; leaf area and leaf area index; (stem, leaf, panicle) and total phytomass were determined. The variables of gas exchange were: photosynthesis, stomatal conductance and water use efficiency. Soil moisture and soil penetration resistance were measured. The data were analyzed using statistical software R, submitted to the Shapiro-Wilk normality test, analysis of variance (F-test at 5%) and Tukey's test (5%) for comparison of means. When significant interaction was identified, the unfolding was performed, and regression analysis was performed. The highest (P < 0.05) number of tillers was observed under association of the effect of organic fertilization and mulching. Soil water variation was positive and higher with 11 mm in the highest level of mulching. Millet assimilated more CO₂ in the condition of 4 Mg ha⁻¹ of mulch in the soil. The association of organic fertilizer and mulch in the soil increases the efficiency of millet production by reducing the evaporation of water in the soil to the atmosphere, causing the plant to assimilate more CO₂ and convert to phytomass with reduced rainfall. The level of mulch of 4 Mg ha⁻¹ stores more water in the soil, potentiating the soil properties, agronomic characteristics and gaseous exchanges of millet.

Keywords: leaf area index, liquid assimilation of CO₂, storage of water in the soil, water use efficiency

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1	Revisão de literatura.....	17
Figura 1	Produção mundial do milheto (a) e (b) Os dez maiores produtores de milheto.....	21
Figura 2	Ciclo fenológico do milheto. As barras verticais dividem as três fases de crescimento (FC 1 - vegetativo, FC 2 – formação de panícula e FC 3 – enchimento de grãos). Barras horizontais indicam os estádios de desenvolvimento dentro de cada fase de crescimento (FC 1: ED 0 - emergência, ED 1 – três folhas, ED 2 – cinco folhas; FC 2: ED 3 – iniciação da panícula, ED 4 – folha bandeira, ED 5 – emborrachamento, e ED 6 – 50% florescimento; FC 3: ED 7 – grão leitoso, ED 8 – grão pastoso/farináceo e ED 9 – formação de camada preta).....	23
Figura 3	Exigência hídrica do milheto quando comparado a outras espécies forrageiras.....	26
Capítulo 2	PROPRIEDADES DO SOLO, CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E TROCAS GASOSAS DO MILHETO EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA E COBERTURA MORTA NO SOLO.....	39
Figura 1	Localização da Fazenda Lagoinha no município de Serra Talhada-PE, com a área experimental onde foi realizada a pesquisa.....	43
Figura 2	Distribuição da precipitação pluvial, evapotranspiração de referência (ET_o), temperatura do ar máxima ($T_{máx}$), mínima ($T_{mín}$) e umidade do ar (U_{AR}) ao longo do período experimental. As linhas tracejadas coloridas indicam as possíveis fases de crescimento, verde claro (vegetativa), verde escuro (formação de panícula), azul e vermelha (reprodutiva).....	43
Figura 3	Variação do armazenamento de água do solo no cultivo do milheto aos 30 e 45 dias após o corte (DAC) em função da cobertura morta no solo.....	47
Figura 4	Armazenamento de água do solo (A) e resistência à penetração do solo (B) (RP) nas profundidades de 10 e 30 cm no cultivo do milheto aos 60 dias após o corte (DAC) sob adubação orgânica e cobertura morta no solo.....	48
Figura 5	Características estruturais do milheto aos 60 DAC (comprimento de colmo - CC, diâmetro de colmo - DC e comprimento de panícula - CP) em função dos diferentes níveis de cobertura morta no solo. NCM = Níveis de cobertura morta, ($P < 0,05$).....	50

Figura 6	Trocas gasosas no milho em função de diferentes níveis de cobertura morta no solo, taxa de assimilação líquida de CO ₂ (Pn) e condutância estomática (gs) e eficiência do uso da água (EUA) aos 45 (A, B e C) e 60 (D, E e F) dias após o corte DAC.....	54
Figura 7	Área foliar 30 (DAC) e Índice de área foliar no milho em função de diferentes níveis de cobertura morta no solo (NCM) aos 30 dias após o corte (DAC).....	56
Figura 8	Produção de massa seca de colmo (A), folha (B), panícula (C) e total (D) com e sem adubação orgânica, de milho em função de diferentes níveis de cobertura morta no solo. NCM = níveis de cobertura morta aos 60 dias após o corte. NCM = níveis de cobertura morta.....	58
Figura 9	Eficiência do uso da chuva (EUC) do milho quando cultivado com adubação orgânica e diferentes níveis de cobertura morta no solo. Letra maiúscula compara adubação orgânica e letra minúscula os níveis de cobertura morta a (P<0,05).....	61

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2	PROPRIEDADES DO SOLO, CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E TROCAS GASOSAS DO MILHETO EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA E COBERTURA MORTA NO SOLO.....	39
Tabela 1	Resistência do solo à penetração (MPa) inicial (20/12/2018) da área experimental na Fazenda Lagoinha em Serra Talhada-PE.....	45
Tabela 2	Número de perfilhos (NP) aos 60 DAC no milho em função da adubação orgânica e cobertura morta no solo.....	52

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – REVISÃO DE LITERATURA.....	17
1. INTRODUÇÃO.....	17
2. Perspectivas climáticas para regiões semiáridas.....	18
3. A cultura do milheto.....	20
4. Ecofisiologia do milheto (<i>Pennisetum glaucum</i>).....	22
5. Cobertura morta no solo.....	27
5. Adubação orgânica.....	28
6. Referências.....	31
CAPÍTULO 2 – PROPRIEDADES DO SOLO, CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E TROCAS GASOSAS NO MILHETO EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA E COBERTURA MORTA NO SOLO.....	39
1. RESUMO.....	39
2. INTRODUÇÃO.....	40
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
5. CONCLUSÃO.....	63
6. REFERÊNCIAS.....	64

CAPÍTULO 1 – REVISÃO DE LITERATURA

INTRODUÇÃO

As condições ambientais intensificadas pelo fenômeno do aquecimento global desencadeiam a formação dos fatores abióticos que limitam a produtividade das culturas em localidades que podem vir ser exploradas, com precipitação baixa. A necessidade em compreender como as plantas podem responder a condições atuais e futuras poderá facilitar a adoção de estratégias de convivência na tentativa de melhorar seu potencial produtivo, principalmente em ambiente semiárido. A seca tem constituído como a principal problemática por afetar de forma direta a segurança alimentar no mundo (KOGAN, 2019), sendo mais pronunciada e preocupante em regiões semiáridas (PAIVA et al., 2018). Quando submetidas a condições de limitação hídrica, as espécies forrageiras têm o crescimento e sobrevivência comprometidos, visto que a água participa de todos os processos vitais, como a fotossíntese (MOSHELION et al., 2015; ARAÚJO JÚNIOR et al., 2018). Por essa razão, é interessante avaliar os efeitos fisiológicos nas trocas gasosas provenientes das condições naturais enfrentadas nos ecossistemas de pastagens.

A fim de restaurar a manutenção e melhoria dos ecossistemas de pastagens, principalmente em condições climáticas intrínsecas. É necessário utilizar espécies forrageiras como o milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) Br) por ser tolerante ao estresse hídrico e salino, ter crescimento rápido e por ser destaque na produção de grãos e forragem para alimentação humana e animal (SANTOS et al., 2016; ULLAH et al., 2017). Dispõe de outras características agronômicas interessantes como boa capacidade de rebrota, alto perfilhamento e alta eficiência no uso da água (SANTOS et al., 2016; KUMAR et al., 2018), aspectos agronômicos que torna essa cultura propícia para o cultivo em regiões semiáridas onde a água é limitante. O cultivo de uma espécie forrageira adequada quando associada a práticas sustentáveis de conservação do solo como a adubação orgânica e cobertura morta no solo talvez possam proporcionar maior resiliência do sistema solo-planta para superar os efeitos edafoclimáticos.

Pacheco et al. (2014) verificaram a contribuição das características produtivas do milheto e capim sudão, quando submetidos ao pastejo contínuo de vacas para o abate, encontraram taxa de lotação de 1741,1 kg ha⁻¹ para o milheto e 1881,7 kg ha⁻¹ para o capim sudão, com ganho médio diário de 1,04 e 0,96 e ganho de peso vivo por área 4,18 e 4,55 kg ha⁻¹, respectivamente. Em ambiente semiárido, o milheto cultivar IPA Bulk 1 BF foi identificado como alternativa promissora para a produção de silagem, apesar de características diferentes na composição

química entre as cultivares não influenciaram o consumo voluntário e a digestibilidade aparente dos nutrientes nos cordeiros (SANTOS et al., 2016). Outra característica interessante está relacionada a sua eficiência na utilização de água $56 \pm 2,8$ kg MS/ha/mm água (SANTOS et al., 2016) quando comparado com $44,64 \pm 1,9$ kg de MS/ha/mm de água para o sorgo (SILVA et al., 2011) e $21 \pm 2,4$ kg de MS/ha/mm de água para cultivares brasileiras de milho (SANTOS et al., 2010). Recentemente, algumas pesquisas relataram também os benefícios da cobertura morta no rendimento de plantas forrageiras (IBRAHIM et al., 2015, 2018), como também a contribuição da adubação para viabilizar o cultivo de plantas em ambiente semiárido (VITAL et al., 2015; SÁ JÚNIOR et al., 2018; JIN et al., 2019).

Desse modo, são inúmeros os motivos para estudar as propriedades do solo, características agrônômicas e trocas gasosas do milheto e como essa cultura pode vir a responder tendo no seu cultivo a associação de práticas de manejo: adubação orgânica e cobertura morta no solo em ambiente semiárido. Uma vez que, é limitante o conjunto de informações sobre as trocas gasosas no milheto em condições naturais de cultivo.

Perspectivas climáticas para regiões semiáridas

O aumento na concentração de CO₂ atmosférico é uma das principais perspectivas que estão sendo previstas e relatadas pelas mudanças climáticas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2018), espera-se que seja duplicada até o final do século (XU et al., 2016), os valores na concentração aumentaram de forma significativa desde o período preindustrial de $280 \mu\text{mol mol}^{-1}$ em 1750 até $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ atualmente e com previsões futuras para $900 \mu\text{mol mol}^{-1}$ no final do século XXI (XU et al., 2016).

As ações antrópicas, especialmente a queima de combustíveis fósseis principalmente para a produção de adubos químicos, são os principais contribuintes para o aumento das emissões e conseqüentemente da concentração de carbono atmosférico nas últimas décadas, em função disso ocorrem modificações nos padrões climáticos de precipitação e temperatura, que pode desencadear a incerteza da produção alimentar (IPCC, 2018).

As emissões dos gases do efeito estufa, principalmente o dióxido de carbono (CO₂) intensificam o aquecimento global, sendo este último um forte colaborador para intensificação da seca nos subtropicais (HANSEN; SATO, 2016), promovendo variações climáticas extremas com ondas de calor que promove o aquecimento superficial e posteriormente evapotranspiração

real das culturas, com o calor sendo o principal responsável pela ampla ocorrência da seca, impondo-a com maior intensidade e de forma mais rápida (TRENBERTH et al., 2013).

Os fatores abióticos como a escassez hídrica contribui também para a degradação do solo (VARSHNEY et al., 2017) impactando diretamente a produção agrícola em muitas áreas, comprometendo a segurança alimentar em regiões semiáridas, ambientes vulneráveis, aumentando o nível de incerteza nos sistemas de produção (DARYANTHO et al., 2017).

A limitação hídrica como também a salinidade tem contribuído cada vez mais para a expansão e distribuição de terras secas e desertificadas na superfície terrestre do planeta, que é de aproximadamente 41% habitadas por mais de dois bilhões de pessoas, das quais 90% residem nos países em desenvolvimento (UN, 2011). E mais de um bilhão de pessoas nestas áreas dependem diretamente de terras em ambientes áridos e semiáridos para sua subsistência, principalmente, através da pecuária que representa 65% das atividades exploradas nestas regiões, a falta de solução em conviver com ambientes que flutuações climáticas adversas, pode acelerar o aumento do êxodo rural ao longo dos anos (MA, 2005; UN, 2011; ULLAH et al., 2017). Além disso, outra preocupação recorrente é o desordenado crescimento populacional, que até o ano de 2050 a previsão média é que a população atinja 9,1 bilhões de pessoas, aumentando cada vez mais a demanda por alimentos e exigindo que os sistemas de produção sejam mais eficientes (REZAEI et al., 2015).

A adoção de culturas adaptadas como o milheto, eficiente no uso de água e com metabolismo fotossintético (C₄) diferenciado permite que essa planta consiga captar mais CO₂ atmosférico e converter em matéria seca, sendo uma notável alternativa para tentar melhorar os índices produtivos e possibilitar maior segurança da agropecuária em regiões semiáridas (REZAEI et al., 2015; SANTOS et al., 2016).

O desenvolvimento e a produtividade de culturas importantes como o milho, trigo e arroz estão sendo afetadas pelas tensões ambientais no mundo. No sul da Ásia, a avicultura no em alguns países vem sendo prejudicada pelo insuficiente suprimento de grãos de milho na ampla demanda de ração exigida pela atividade avícola do país. Atualmente, estima-se que a produção de trigo e arroz pode sofrer redução de 15 e 17% entre os anos de 2040-2069, devido as recorrentes mudanças na temperatura (AHMAD et al., 2013). O aumento das temperaturas médias do ar tem causado preocupação no mundo (REZAEI et al., 2015) e certamente seus efeitos no decorrer dos anos causarão impactos negativos nos sistemas agrícolas em culturas, florestas e, principalmente, na pecuária (AHMAD et al., 2013; ULLAH et al., 2017).

Recentemente, foi verificado que ocorreram perdas consideráveis em produções de cereais no mundo, devido a catástrofes climáticas que foram notificadas durante 1964-2007, identificou-se que a seca promoveu uma redução de aproximadamente 10,1% de toda a produção, esse prejuízo está intimamente associado a redução na área colhida e nos rendimentos das culturas, em 5,1% e 4,1% respectivamente (LESK; ROWHANI; RAMANKUTTY, 2016). Leng et al. (2015) afirmaram que na China, a perda média de grãos devido às secas são de aproximadamente 39,2 bilhões de quilogramas por ano.

Assim, é relevante concentrar pesquisas em espécies forrageiras como o milheto e associar ao cultivo dessa planta possíveis práticas de manejo de conservação do solo que possam viabilizar o estabelecimento, manutenção e sustentabilidade da agropecuária em ambientes semiáridos no mundo.

A cultura do milheto

O milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. BR.), conhecido também por milheto pérola, ou painço, é uma planta pertencente à família Poaceae. O gênero no qual inserido é *Pennisetum* que agrupa mais de 140 espécies (BRUNKEN, 1977). E as espécies possuem nomes distintos como *Pennisetum glaucum* e *Pennisetum americanum*.

Essa cultura é originária do continente africano, seu cultivo existe desde 4 a 5 mil anos atrás. Através do processo de seleção natural quanto a antrópica, proporcionaram a evolução dessa planta ao ponto de tolerar alguns fatores abióticos: hídrico, baixa fertilidade do solo, baixo pH e altas temperaturas (TAYLOR, 2016; SINGH et al., 2017).

Atualmente, essa cultura é cultivada como alimento principal na Índia e nos países da África, principalmente em áreas onde a precipitação é inferior 250 mm (VADEZ et al., 2012). Sendo de forma quase exclusiva, cultura de subsistência nessas localidades. Em relação a totalidade da área cultivada do milheto no mundo estima-se ser superior a 31 milhões de hectares (ULLAH et al., 2017). sendo o quinto cereal mais importante no planeta superado apenas pelo trigo, arroz, milho, sorgo (GHATAK et al., 2016; TAYLOR, 2016).

Outro fator importante, é que essa planta não é transgênica (DUNWELL, 2014) e apresenta uma baixa incidência de contaminação por micotoxinas quando comparado com outras plantas que são suscetíveis, como trigo e milho (WARE et al., 2017; WILSON et al., 2006).

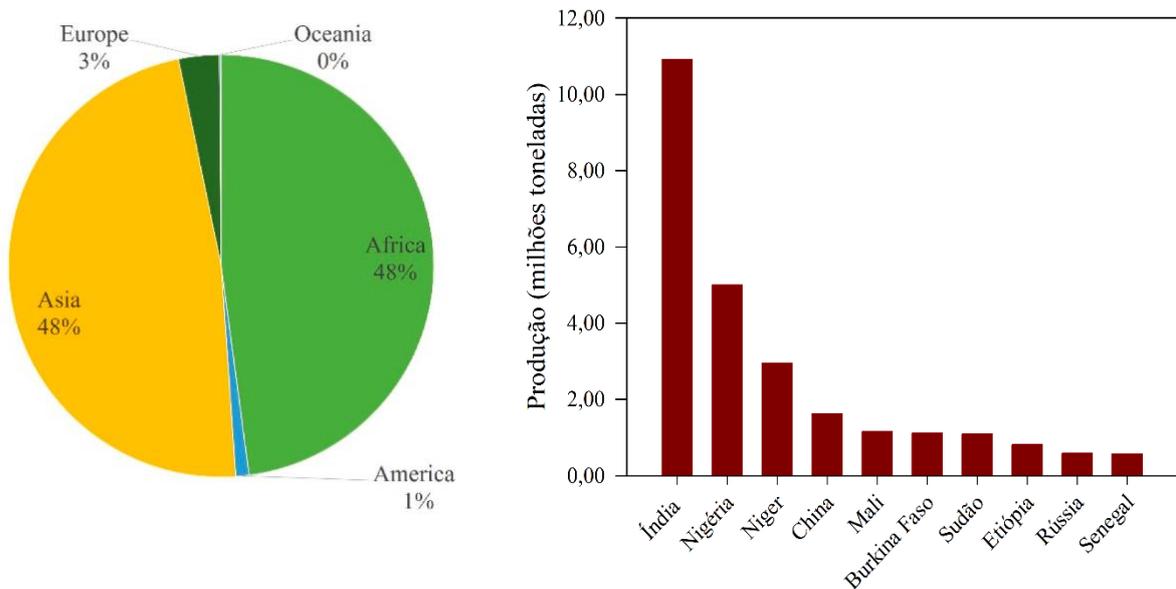


Figura 1. Produção mundial do milheto (a) e (b) Os dez maiores produtores de milheto, escala de produção. Adaptado de DAS et al. (2019).

A produção de 27,8 milhões de toneladas ha^{-1} (Fig. 1) em ambientes semiáridos da África e Ásia (FAO, 2017). Ainda, a China aparece nas primeiras posições no ranking de maiores produtores de milheto no mundo. Entretanto, o Brasil mesmo não compondo a lista de países produtores, aumentou sua área de cultivo nos últimos 30 anos para 5 milhões de ha^{-1} (FRANÇA; MIYAGI, 2012; DIAS-MARTINS et al., 2018), esse aumento considerável ocorreu em virtude do amplo uso expansivo desta cultura como cobertura morta do solo em sistemas de plantio direto, forragem para silagem e pastejo, além dos grãos serem extremamente importante para alimentação humana e na composição de ração animal (SANTOS et al., 2017). A Austrália é outro país que o milheto relevância como planta forrageira e, nas Américas, atualmente, tem importância econômica nos Estados Unidos e Brasil (CALEGARI et al., 2014; PACHECO, PETTER, 2011).

O milheto apresenta boa composição nutricional e baixo custo produtivo de grãos, com metade do preço do milho, estes fatores motivaram estudos na substituição do milho pelo milheto na alimentação animal (ALONSO et al., 2017; HARPER et al., 2018). De acordo com Rodrigues et al. (2001), a substituição do milho por milheto na ração animal pode apresentar vantagens, como maior teor de proteínas, menor incidência de micotoxinas e teor lipídico semelhante.

No Nordeste, o milheto tem sido cultivado para substituir o milho e o sorgo, pois tem se mostrado mais adaptado as condições edafoclimáticas do Semiárido brasileiro, além de poder com a dieta de ruminantes e outros animais (SANTOS et al., 2016). Porém, sua implantação ainda é tímida quando comparada a outras gramíneas. Isso ocorre na maioria dos casos porque os pecuaristas não conhecem o potencial dessa cultura e possíveis práticas de manejo que pode utilizar no seu cultivo.

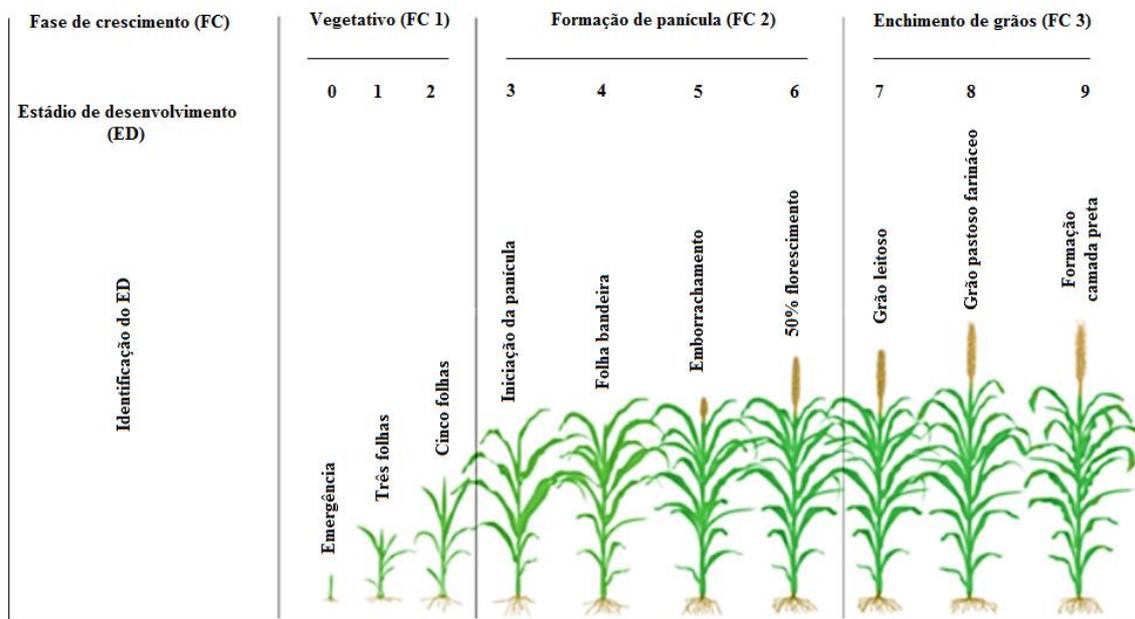
Ecofisiologia do milheto (*Pennisetum glaucum*)

A ecofisiologia estuda as respostas morfofisiológicas das plantas nos ambientes. A compreensão dos mecanismos adaptativos da planta ao estresse imposto pelos fatores bióticos e abióticos do ecossistema da pastagem (LEMAIRE, 2001), conseqüentemente, possibilita ao homem estabelecer práticas de manejo consistentes com o potencial produtivo das plantas forrageiras em cada situação específica. Silva e Nascimento Júnior (2007) relatou que antes de compreender a importância da ecofisiologia para as plantas forrageiras, as ações de manejos e os trabalhos apresentavam foco simplista e pragmático do processo produtivo baseado em pastagens.

A ecofisiologia do milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br) deve destacada porque é uma planta com ampla tolerância a alguns fatores abióticos importantes como déficit hídrico, térmico e salino que prejudicam diversas culturas com estas características peculiares. Desde a sua domesticação ao longo dos milhares de anos sofreu seleção genética, alguns traços dos progenitores selvagens também foram modificados. Como a remoção de taninos e do envoltório das sementes, além da redução no número de perfilhos basais (PONCET et al., 2000, 2002). Essas modificações indiretamente favoreceram o enchimento de grãos da panícula, devido a energia que formaria essas estruturas foi concentrado para semente, implicando no aumento do número e tamanho das sementes.

As modificações não ficaram restritas apenas essas características, mas também conseguiu desenvolver um mecanismo de escape à seca porque o milheto consegue antecipar o florescimento e, conseqüentemente, encurtar o período de enchimento de grãos, favorecendo aumentar o tempo para enchimento de grãos da panícula. Adicionalmente, o milheto também possui traços estruturais morfofisiológicos evolutivos de espécies C₄ que permitem não apenas acelerar o crescimento, mas também aumentar sua eficiência no uso de água e nutrientes no solo, reduzindo a perda destes para a atmosfera, seu hábito de crescimento permite aumentar a

eficiência do uso da luz (VADEZ et al., 2012). Observado em materiais de milho como IPA BULK 1 BF que possui ciclo de aproximadamente 60 dias.



Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2016).

Figura 2. Ciclo fenológico do milho. As barras verticais dividem as três fases de crescimento (FC 1 - vegetativo, FC 2 – formação de panícula e FC 3 – enchimento de grãos). Barras horizontais indicam os estágios de desenvolvimento dentro de cada fase de crescimento (FC 1: ED 0 - emergência, ED 1 – três folhas, ED 2 – cinco folhas; FC 2: ED 3 – iniciação da panícula, ED 4 – folha bandeira, ED 5 – emborrachamento, e ED 6 – 50% florescimento; FC 3: ED 7 – grão leitoso, ED 8 – grão pastoso/farináceo e ED 9 – formação de camada preta).

A primeira fase de crescimento (FC 1) é a vegetativa, ocorrendo também os estágios de desenvolvimento 0, 1 e 2. A duração dessa fase em variedades produtoras de biomassa verde como a BRS 1501 gira em torno de 36 dias, enquanto para os genótipos africanos selecionados para duração de grãos como HKP, Guerguera e Souna III, varia entre 40 e 51 dias. Já para outros genótipos milho produtores de biomassa verde como IPA BULK 1 BF, é em torno de 31 dias (COSTA; PRIESNITZ, 2014). Nessa primeira fase também ocorre o perfilhamento. Os genótipos selecionados para produção de forragem iniciam o perfilhamento basal aos 21 dias após a emergência (DAE), dois dias antes quando comparados aos genótipos selecionados para produzir grãos (GERALDO et al., 2000).

O estágio de desenvolvimento (ED 0) ocorre a emergência do coleóptilo na superfície do solo, através de condições naturais, pode acontecer entre dois a três DAE. No aspecto fisiológico, uma série de eventos é desencadeado na semente antes do surgimento do coleóptilo: de forma primária, a semente absorverá água para iniciar a protusão da radícula. Peske e Novembre (2010) constataram que o início da protusão da radícula acontece quando a semente consegue obter um teor de água superior a 33% por um período mínimo de dez horas de hidratação é requerido para completa protusão da radícula.

Após duas horas de início da protusão da radícula ocorre o desenvolvimento da plúmula e da bainha do coleóptilo, enquanto a radícula segue produzindo raízes finas capilares de forma rápida, o coleóptilo cresce lentamente até emergir no solo. A profundidade de semeio e as características físicas do solo podem afetar o tempo para ocorrência desse estágio de desenvolvimento.

O ED 1 é marcado pelo surgimento da terceira folha. Segundo Costa e Priesnitz (2014) esse estágio ocorre entre os seis DAE em cultivares como a IPA BULK 1 BF. No entanto, para outros genótipos como BRS 1501, HPK e Souna III ocorre aos sete DAE, e aos oito DAE em Guerguera (GERALDO et al., 2000). Já no ED 2 é caracterizado pelo surgimento da quinta folha, a partir dos 13 e 15 DAE (MAITI; BIDINGUER, 1981). Enquanto, na IPA BULK 1 acontece aos 17 DAE e no BRS 1055 e HPK aproximadamente aos 14 DAE (GERALDO et al., 2000).

A segunda fase de crescimento (FC 2) é a formação da panícula. Nesse período ocorre os estádios (ED 3, ED4, ED5 e ED 6). A duração dessa fase pode variar entre 28 e 31 dias. Ocorre também nessa o perfilhamento que persiste independentemente do genótipo, até os 45 DAE (GERALDO et al., 2000). Quando acontece falhas na formação de grãos através dos fotoassimilados no colmo principal e dos perfilhos basais por fatores bióticos ou abióticos como, quebra do colmo e estresses, o milho começa a investir na formação de perfilhos secundários, estas estruturas recém formadas possui ciclo de desenvolvimento mais curto quando comparadas aos perfilhos basais, produzindo apenas poucas folhas e panícula de tamanho reduzido, sendo fonte de carboidratos para enchimento de grão na fase três.

Durante o ED 3, o meristema apical do colmo é consumido fornecendo carboidratos para formação da panícula. O IPA BULK 1, inicia esse estágio aproximadamente aos 31 DAE (COSTA; PRIESNIT, 2014), já em genótipos como o BRS 1501 ocorre aos 36 DAE, é tardio em materiais africanos selecionados para produção de grãos, variando de 40 a 51 DAE (GERALDO et al., 2000). Nesse estágio de desenvolvimento, a panícula cresce e se desenvolve

dentro do colmo, seus internódios são alongados continuamente, com curtos internódios basais seguidos pelos mais longos internódios superiores e, por último o pedúnculo, ocorrendo também a determinação do número de espiguetas.

Trocas gasosas na produção de forragem

As trocas gasosas são respostas ecofisiológicas que podem ser avaliadas em espécies forrageiras para acompanhar sua dinâmica de crescimento, principalmente, em condições naturais. Isso ocorre, através dos parâmetros mensurados como fotossíntese líquida, condutância estomática, transpiração e eficiência instantânea no uso de água que pode ser obtido através da razão entre a fotossíntese líquida e transpiração.

A fotossíntese líquida é outra variável fisiológica extremamente importante que reflete na produção de biomassa, podendo ser prejudicada por fatores como: luz, temperatura, umidade, fertilidade do solo, e também através de ações antrópicas como manejo inadequado adotado (intensidade e frequência de cortes ou pastejo), assim, são importantes influenciadores da arquitetura do dossel de espécies forrageiras (LOPES et al., 2013).

O milheto teve eficiência de uso da água de $32,57 \text{ kg MS mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ cultivado com irrigação no Colorado, EUA (NIELSEN; VIGIL, 2017). Essa resposta é extremamente importante quando se busca culturas que consigam realizar suas funções com quantidades de água limitantes. Ainda, Ullah et al. (2017) também verificaram que o milheto apresenta alta eficiência no uso de água, seu baixo consumo de água, requer menos de 350 mm quando comparado a outras culturas. Enquanto o sorgo, trigo, milho, algodão, arroz e a cana-de-açúcar exigem mais água em 14, 28, 42, 71, 257 e 500% respectivamente, quando comparados com o milheto (Figura 2).

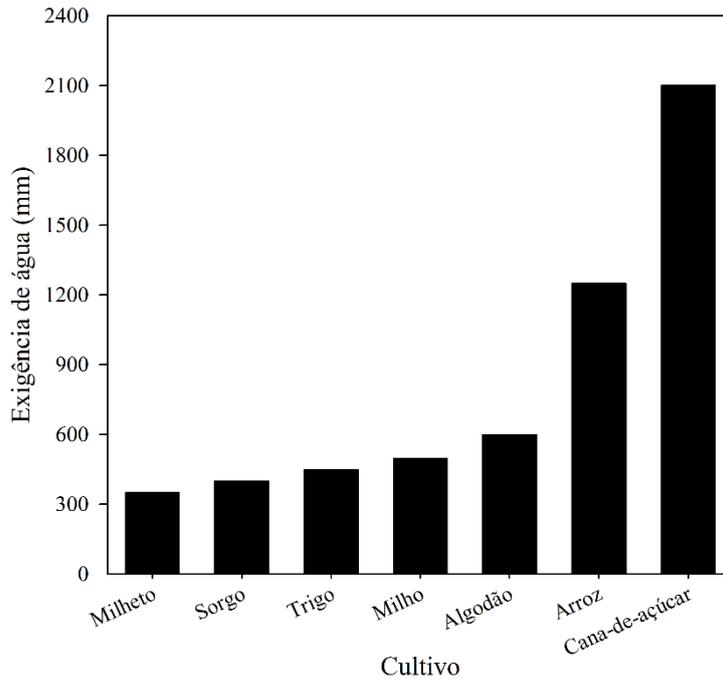


Figura 3. Exigência de água do milho em comparação com outras culturas Adaptado de ULLAH et al. (2017).

Em plantas de arroz aproximadamente 4000 litros de água são consumidos para produzir um quilo (ULLAH et al. 2017), o que é bastante inacessível. Por isso, culturas (C₄) como o milho apresenta eficiência na utilização de água, além de conseguir fixar o máximo de CO₂ possível com disponibilidade hídrica. Essa planta também mostra boa regulação do movimento estomático ao ponto de conseguir manter a eficiência da transpiração o mais alto possível (SQUIRE et al., 1979; VADEZ et al., 2014), no entanto o comportamento da abertura e fechamento dos estômatos em relação à disponibilidade hídrica deixa claro a sensibilidade dos estômatos ao déficit de pressão de vapor e outras variáveis climáticas antes do florescimento devido ao conteúdo de ácido abscísico (ABA) nas folhas (HENSON E MAHKLASHMI, 1985; VADEZ et al., 2014).

O milho quando cultivado em condições de campo, teve a eficiência no uso de água determinada sob diferentes regimes hídricos. E os valores de eficiência de uso de água para grãos e biomassa foram de 12,5 e 35,6 kg ha⁻¹, respectivamente, em irrigação múltipla, menor em relação aos grãos 12,9 kg ha⁻¹ mm⁻¹ e biomassa 39,4 kg ha⁻¹ mm⁻¹ quando a água foi aplicada no estágio de enchimento de grãos médios de milho (MAMAN et al., 2003). Nagaz et al. 2009 observaram que sob irrigação total houve alto rendimento e EUA, destacando o milho como uma cultura com grande potencial para ambientes com restrição hídrica.

Cobertura morta no solo

A produção agrícola e a utilização eficiente da terra são limitadas em regiões áridas e semiáridas pela escassez de recursos hídricos. Além disso, outra preocupação mundial abordada, tem sido em relação aos efeitos causados pela erosão do solo, devido ao impacto biofísico nas funções do solo, serviços ecossistêmicos e sustentabilidade da pastagem, mas também em função dos impactos socioeconômicos que resultam na degradação da terra (YU et al., 2018; KEESTRA et al., 2016). Uma vez que, a maior parte da chuva não é aproveitada em todo o seu potencial, pois, mesmo tendo infiltração e existindo reservatórios como barreiros e açudes no Nordeste, 36 bilhões de m³ de água da chuva se perdem através do escoamento superficial (CAVALCANTI; REZENDE, 2001). A perda de água, por causa do processo de enxurrada, além de causar problemas para as terras cultiváveis, com a perda de nutrientes no solo, limita a agricultura de sequeiro.

A cobertura morta é uma técnica amplamente utilizada na agricultura, recomendada principalmente para ambientes com precipitação reduzida, como em regiões semiáridas. Entre os possíveis benefícios, pode modificar as estruturas físico-químicas de solos agrícolas ao longo do tempo, cobrindo a superfície do solo, total ou parcialmente. Os benefícios da cobertura morta podem ser resumidos como colheita antecipada devido a redução da temperatura do solo, controle de ervas daninhas, aumento da eficiência de fertilizantes e água, melhoria da aeração do solo (NAWAZ et al., 2017) e melhores rendimentos e qualidade da cultura (SCARASCIA-MUGNOZZA et al., 2006; MORENO; MORENO, 2008).

A cobertura morta proporciona também outros efeitos benéficos, como incrementos na matéria orgânica no solo, na atividade de microrganismos no solo e nas taxas de infiltração devido aos caminhos de fluxos preferenciais gerados pelas raízes (FISCHER et al., 2014) e, formação de microclima, reduzindo assim a taxa de evapotranspiração, aumentando o rendimento das culturas por reduzir a lixiviação de nitrogênio proporcionando maior disponibilidade de nutrientes, conseqüentemente, melhorando a qualidade do solo (HARAGUCHI et al., 2004). Nesse sentido, An et al. (2015b) demonstraram que a adição de palhada de milho ao solo de baixa fertilidade promoveu a atividade e o crescimento de microrganismos do solo.

No entanto, não é amplamente aceito qualquer tipo de cobertura pelos produtores, pois eles preferem que o solo fique desnudo para facilitar o manejo da cultura (SANTOS et al., 2011). Todavia, é necessário identificar no sistema de plantio direto a densidade de cobertura

viável para implantação, a fim de demonstrar ao pecuarista sua viabilidade e os possíveis benefícios que ela pode oferecer ao sistema de produção.

Assim, um aspecto fundamental na escolha da cobertura morta para o seu estabelecimento no sistema de plantio direto (SPD), é se o material possui baixa ou alta relação carbono/nitrogênio (C/N), por exemplo, materiais que apresentam baixa relação C/N vão ter decomposição mais rápida dos restos culturais fornecendo vários nutrientes para o solo, através da mineralização da matéria orgânica (BUSO; KLIEMANN, 2003).

Em alguns países do mundo, como a China, a prática de utilização da cobertura morta proporciona uma maior economia de água, além de ser um método conveniente e eficaz no cultivo de batata em regiões onde os recursos de palha estão disponíveis localmente (TANG et al., 2015). No atual cenário, a cobertura morta se apresenta como uma alternativa fundamental para recuperação de muitas áreas no Semiárido brasileiro, visto que, esse manejo sustentável pode garantir a manutenção da capacidade produtiva das plantas forrageiras ao longo do tempo.

Adubação orgânica

O estabelecimento de um sistema de produção, além da utilização de práticas culturais adequadas, é também fundamental a escolha de cultivares adaptadas às diferentes condições de cultivo (ALMEIDA FILHO et al. 2014)

A prática de conservação do solo através da adubação com resíduos orgânicos constitui uma estratégia interessante para ser adotada nos sistemas de produção, pois sua contribuição no ecossistema é considerável. Assim, os principais adubos orgânicos utilizados na agropecuária, destaca-se o esterco de animais, por aumentar a capacidade de troca de cátions, reduzir o pH do solo, além dos benefícios físicos e biológicos ao solo (ROUSSOS et al., 2017). A aplicação de estrume como condicionador de solo, com estirpes microbianas adequadas, pode contribuir para aumentar as associações de plantas-microrganismos e aumentar a produção das culturas (VIMAL et al., 2017). No entanto, os mesmos autores destacam que são necessários estudos mais elaborados em condições de campo, porque a competição é bem maior, uma vez que os microrganismos presentes no estrume teriam vantagem, por na maioria das vezes, já serem adaptados a tais situações de competição e interação.

Apesar das vantagens na utilização do esterco de animais, a sua utilização precisa ser administrada de forma cuidadosa, devido ao risco de contaminação do solo, da planta e do homem, por meio de vermes, coliformes e excesso de nitrogênio (ABREU JÚNIOR et al.,

2005). Além disso, estudo com milho em condições de cultivo de sequeiro tem demonstrado, que a adubação com esterco pode elevar o risco do cultivo, uma vez que, a adubação promove um rápido crescimento da parte aérea, que quando submetida a deficiência hídrica entra rapidamente em senescência (AFFHOLDER, 1995). Uma maior emissão de perfilhos promovida por um manejo nutricional equilibrado, também promoverá um maior consumo de água (THARANYA et al., 2018). Quando a área foliar da planta aumenta há um incremento na evapotranspiração do cultivo, pois uma maior área foliar começa a transpirar (SANTOS et al., 2018).

No Nordeste do Brasil, em geral, os solos apresentam níveis de fertilidade intermediários com quantidades de potássio, cálcio e magnésio adequadas, no entanto apresentam deficiência em matéria orgânica, nitrogênio e fósforo (MENEZES; SALCEDO, 2007). A prática da fertilização utilizando esterco ou resíduos de culturas é a mais utilizada nesta região, só que de forma inadequada (SEVERINO et al., 2006), porém ainda há poucos artigos sobre estratégias de manejo com fertilizantes orgânicos.

Além disso, nos últimos anos estima-se que a aplicação de fertilizantes inorgânicos N e P foi o dobro da carga quando comparado com o que as culturas recuperaram do solo e esse desequilíbrio de nutrientes contribui cada vez mais para a poluição ambiental, isto está se tornando mais agravante em países com desenvolvimento acelerado (ZHANG et al., 2012). Além disso, a utilização contínua de adubos inorgânicos de forma descontrolada tem contribuído para a degradação do solo, por acelerar a redução do teor da matéria orgânica, salinização, erosão, e déficit de nutrientes na solução do solo ao longo dos anos (SILVA et al., 2007).

Assim, a busca por estratégias de manejo com caráter sustentável que visem a sanidade do meio ambiente torna-se constante. No entanto, as regiões semiáridas apresentam solos com deficiência de nutrientes, sendo necessário uma maior reposição para extração das culturas, pois as plantas necessitam de um balanceamento de nutrientes adequado para realização dos processos metabólicos. Uma vez que, a disponibilidade de nutrientes é um dos fatores mais importantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Desse modo, além do fornecimento de nutrientes, o incremento de matéria orgânica advindo da adubação com esterco proporciona outros benefícios como a melhoria das propriedades físicas do solo, através do aumento na população de microrganismos do solo, isto contribui para a melhoria ou manutenção estável da porosidade e, em consequência disso aumenta o fluxo difusivo de nutrientes e a absorção destes pelas plantas (DONATO et al.,

2014), além de garantir a sustentabilidade de agroecossistemas (GARCÍA-ORENES et al., 2013; MACCI et al., 2013). Juntamente com os fertilizantes orgânicos, a adição de N propicia as culturas uma maior produção de biomassa e sequestro de carbono (MARTINE et al., 2016).

SÁ JÚNIOR et al. (2018) verificaram que plantas de capim-corrente apresentaram acúmulo de fitomassa e taxa de acúmulo de fitomassa como resposta linear crescente relacionada ao incremento das doses de esterco suíno, sendo a maior produtividade de matéria seca verificada na altura de corte a 10 cm. Guareschi et al. (2013) verificaram que o aumento das doses de esterco bovino até 40 Mg ha⁻¹ propiciou uma altura de planta de 67,9 cm, já com 484 doses crescentes de cama de frango mediram 61,3 cm com aplicação de 25,76 Mg ha⁻¹, aos 60 dias após emergência na cultura do milho. Além disso, a absorção de nutrientes e produtividade na cultura do milho foram relatadas quando os maiores teores de nitrogênio na biomassa foram alcançados a partir dos 30 dias. Destacando a contribuição da adubação orgânica como fonte promissora na substituição total da adubação química (PRIMO et al., 2012; VALE et al., 2015).

Nicolau Sobrinho et al. (2008) avaliou em sua pesquisa com milheto, em sequeiro sob adubação orgânica (esterco bovino, caprino e adubação verde) e verificou que a cultura apresentou produtividade de massa seca maior com a aplicação de esterco bovino, de 10.750 kg ha⁻¹. No entanto, Vital et al. (2015) verificaram que as fontes orgânicas (adubação orgânica, esterco caprino, esterco bovino e composto) utilizadas influenciaram significativamente todos os parâmetros de crescimento comparados com a testemunha, todavia, o valor máximo para altura de plantas, número de panículas e biomassa verde e seca foram evidenciados nos tratamentos composto e esterco bovino, em sequeiro e irrigado.

Jin et al. (2019) contribuíram com a relevante afirmação que o adubo orgânico e resíduos de palhada como cobertura morta favorecem o aumento da ciclagem de nutrientes e transferência de carbono orgânico para o solo, destacando que estas práticas de manejo influenciam diretamente na qualidade do solo através do sequestro e utilização de fontes de carbono pela fração microbiana do solo.

A adubação orgânica nas pastagens de regiões semiáridas, constitui uma estratégia relevante para aumentar a produtividade de fitomassa de gramíneas adaptadas ao clima, fortalecendo a pecuária e reduzindo custos (SÁ JÚNIOR et al., 2018). Nesse sentido, o desafio é constante para manter índices produtivos sustentáveis em regiões semiáridas. Sendo imprescindível buscar uma produção que proporcione o equilíbrio do sistema solo-planta-atmosfera. Pois, os impactos provocados pelo clima nestas regiões, podem ser reduzidos através

da utilização de práticas de conservação do solo, como a cobertura morta, que confere proteção ao solo, é capaz de restaurar suas funções biológicas e, principalmente, reduzindo os efeitos da erosão (RODRIDO-CORMINO et al., 2017; ZHANG et al., 2016).

REFERÊNCIAS

ABREU JUNIOR, C. H. et al. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos Ciência do Solo**, v. 4, p.391-470, 2005.

AFFHOLDER, F. Effect of organic matter input on the water balance and yield of millet under tropical dryland condition. **Field Crops Research**, v. 41, n. 2, p. 109–121, 1995.

ARAÚJO JÚNIOR, G. N. et al. Estresse hídrico em plantas forrageiras: Uma revisão. **PUBVET**, v. 13, p. 148, 2018.

AHMAD, W. et al. Maize yield and soil properties as influenced by integrated use of organic, inorganic and bio-fertilizers in a low fertility soil. **Soil Environment**, v. 32, p. 132-139, 2013.

ALMEIDA FILHO, J. E. et al. Avaliação agrônômica de híbridos de sorgo granífero em diferentes regiões produtoras do Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 1, p. 82-95, 2014.

ALONSO, M.P. et al. Pearl millet grain for beef cattle in crop-livestock integration system: Intake and digestibility. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 3, p. 1461-1472, 2017.

AN, T. et al. Dynamics and distribution of ¹³C-labeled straw carbon by microorganisms as affected by soil fertility levels in the black soil region of Northeast China. **Biology Fertil Soils**, v. 51, p. 605-613, 2015b.

BUSO, W.HD.; KLIEMANN, J.H. Relações de carbono orgânico e de nitrogênio total e potencialmente mineralizável com o nitrogênio absorvido pelo milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 33, n. 2, p. 97-105, 2003.

BRUNKEN, A.V. A systematic study of Pennisetum Sect Pennisetum (graminea). **American Journal of Botany**, New York, v.64, n.2, p.161-176, 1977.

CALEGARI, A. et al. Conservation agriculture in Brazil. In Conservation Agriculture: Global Prospects and Challenges, (Eds R. A. Jat, K. L. Sahrawat and A. H. Kassam). Oxfordshire, UK: CAB International, p. 54–88, 2014.

CAVALCANTI, N.B.; RESENDE, G.M. Avaliação de barreiros e finalidade da água armazenada na região semiárida da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, p. 568-570, 2001.

COSTA, A. C. T.; PRIESNITZ, R. INFLUÊNCIA DO ARRANJO ESPACIAL DO MILHETO EM RELAÇÃO AOS ESTÁDIOS FENOLÓGICOS E UNIDADES TÉRMICAS. **GLOBAL SCIENCE AND TECHNOLOGY**, v. 7, n. 1, 2014.

DARYANTO, S.; WANG, L.; JACINTHE, P. A. Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: A review. **Agricultural Water Management**, v. 179, p. 18–33, 2017.

DAS, S. et al. Beyond Bird Feed: Proso Millet for Human Health and Environment. **Agriculture**, v. 9, n. 3, p. 64, 2019.

DIAS-MARTINS, A. M. et al. Potential use of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. BR.) in Brazil: Food security, processing, health benefits and nutritional products. **Food Research International**, v. 109, p. 175-186, 2018.

DONATO, P. E. R. et al. Morfometria e rendimento da palma forrageira ‘Gigante’ sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.9, n.1, p.151-158, 2014.

DUNWELL, J.M. Transgenic cereals: Current status and future prospects. **Journal of Cereal Science**, v. 59, n. 3, p. 419-434, 2014.

EMBRAPA (2016). **Sistema de produção:** milheto. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=8101&p_r_p_-996514994_topicoId=9020> Acesso em: 01 jul 2019.

FAO. (2017). FAOSTAT Data Base. Acessado em: <http://faostat.fao.org/beta/en/>. Verificado 01 Jul. 2018.

FRANÇA, A. F. S.; MIYAGI, E. S. Alternativas alimentares para animais no cerrado – milheto: apenas uma solução proteica? **Revista UFG**, v. 13, n. 13, p. 42–47, 2012.

FISCHER, C. et al. How do earthworms, soil texture and plant composition affect infiltration along an experimental plant diversity gradient in grassland? **PLoS One**, v. 9, n.6, e98987, 2014.

GARCÍA-ORENES, F. et al. Changes in soil microbial community structure influenced by agricultural management practices in a Mediterranean agro-ecosystem. **PLoS One**, v. 8, n. 11, e80522, 2013.

GHATAK, A. et al. Comprehensive tissue-specific proteome analysis of drought stress responses in *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. (Pearl millet). **Journal of Proteomics**, v. 143, p.122-135, 2016.

GUARESCHI, R. F., SILVA, A.; SILVA JUNIOR, H.R. da; PERIN, A., GAZOLLA, P. R. Adubação orgânica na produção de biomassa de milho em Latossolo de cerrado. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 06, n. 02, p.66 – 73, 2013.

GERALDO, José et al. Diferenças em crescimento e produção de grãos entre quatro cultivares de milho pérola. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 35, n. 7, p. 1367-1376, 2000.

GERALDO, José et al. Fenologia e produção de massa seca e de grãos em cultivares de milho-pérola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 9, p. 1263-1268, 2002.

HANSEN, J.; SATO, M. Regional climate change and national responsibilities. **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 3, p. 034009, 2016.

HARPER, M.T. et al. Inclusion of brown midrib dwarf pearl millet silage in the diet of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 6, p. 1-14, 2018.

HARAGUCHI, T. Efeito da cobertura morta de filme plástico na lixiviação de nitrogênio nitrato em um campo de terras altas convertido de arroz. **Paddy and Water Environment**, v. 2, p. 67-72, 2004.

HENSON, I. E.; MAHALAKSSHMI, V. Evidence for panicle control of stomatal behaviour in water-stressed plants of pearl millet. **Field Crops Research**, v. 11, p. 281-290, 1985.

IBRAHIM, A. et al. Nutrient release dynamics from decomposing organic materials and their mulching-effect on pearl millet yields in a low-input Sahelian cropping system. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 112, n. 1, p. 45-59, 2018.

IBRAHIM, A. et al. Integrated use of fertilizer micro-dosing and *Acacia tumida* mulching increases millet yield and water use efficiency in Sahelian semi-arid environment. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 103, p. 375-388, 2015.

JIN, X. et al. Green manures of Indian mustard and wild rocket enhance cucumber resistance to Fusarium wilt through modulating rhizosphere bacterial community composition. **Plant and Soil**, p. 1-18, 2019.

IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2018. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>> Acesso em: 01 jul. 2018.

KEESSTRA, S.D. et al. The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. **Soil**, v. 2, n. 2, p. 111-128, 2016.

KOGAN, F. Monitoring Drought from Space and Food Security. In: Remote Sensing for Food Security. **Springer International Publishing**, p. 75-113, 2019.

KUMAR, A. et al. Millets: a solution to agrarian and nutritional challenges. **Agriculture & food security**, v. 7, n. 1, p. 31, 2018.

LEMAIRE, G. **Ecophysiology of grasslands: dynamic aspects of forage plant populations in grazed swards**. In: International Grassland Congress. São Paulo: SBZ, p. 29-37, 2001.

LENG, G.; TANG, Q.; RAYBURG, S. Climate change impacts on meteorological, agricultural and hydrological droughts in China. **Global and Planetary Change**, v. 126, p. 23-34, 2015.

LESK, C.; ROWHANI, P.; RAMANKUTTY, N. Influence of extreme weather disasters on global crop production. **Nature**, v. 529, n. 7584, p. 84–87, 2016.

LOPES, Marcos Neves et al. Trocas gasosas e índices de crescimento em capim-braquiária manejado sob lâminas de irrigação e idades de crescimento. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 7, n. 1, p. 10-17, 2013.

MA. **Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends**, vol. 1. Island Press, Washington DC, 2005.

MACCI, C. et al. Biostimulation of soil microbial activity through organic fertilizer and almond tree association. **Land Degradation and Development**, v. 27, p. 335-345, 2013.

MAITI, R.K.; BIDINGER, F.R. **Growth and Development of Pearl Millet Plant**. Res. Bullet No. 6, International Crops research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru, AP, India, 1981.

MAMAN, Nouri et al. Pearl millet and grain sorghum yield response to water supply in Nebraska. **Agronomy Journal**, v. 95, n. 6, p. 1618-1624, 2003.

MARTINE, A.R.K. et al. Effects of nitrogen fertilization on diazotrophic activity of microorganisms associated with *Sphagnum magellanicum*. **Plant Soil**, v. 406, p. 83-100, 2016.

MENEZES, R.S.C.; SALCEDO, I.H. Mineralização de N após incorporação de adubos orgânicos em um Neossolo Regolítico cultivado com milho. **Agriambi**, v. 11, p. 361-367, 2007.

MOSHELION, M.; HALPERIN, O.; WALLACH, R.; OREN, R.; WAY, D. A. Role of aquaporins in determining transpiration and photosynthesis in water-stressed plants: Crop water-use efficiency, growth and yield. **Plant, Cell & Environment**, v. 38, n. 9, p. 1785- 1793, 2015.

MORENO, M.M.; MORENO, A. Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop. **Science Horticulturae**, v. 116, n. 3, p. 256-263, 2008.

NAGAZ, K.; MASMOUDI, M.; MECHILA, N. Yield and water use-efficiency of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) under deficit irrigation with saline water in arid conditions of Southern Tunisia. **Research Journal of Agronomy**, v. 3, n. 1, p. 9-17, 2009.

NAWAZ, A.; LAL, L.; SHRESTHA, R.K.; FAROOQ, M. Mulching affects soil properties and greenhouse gas emissions under long-term no-till and plough-till systems in alfisol of Central Ohio. **Land Degradation & Development**, v. 28, n. 2, p. 673-681, 2017.

NICOLAU SOBRINHO, W. et al. Fontes de adubação na cultura do milheto no semi-árido. **AGROPECUÁRIA CIENTÍFICA NO SEMIÁRIDO**, v. 4, n. 1, p. 48-54, 2008.

NIELSEN, D. C.; VIGIL, M. Water use and environmental parameters influence proso millet yield. **Field Crops Research**, v.212, p.34-44, 2017.

PACHECO, L. P.; PETTER, F. A. (2011). Benefits of cover crop systems in soybean plantation in Brazilian Cerrados. In: **Soybean – Applications and Technology**, 67–94 (Ed T.-B. Ng). Rijeka, Croatia: INTECH. Online at <http://intechopen.com/books/soybean-applications-and-technology/benefits-of-cover-crops-in-soybeanplantation-in-brazilian-cerrados>. Verificado em 01 Jun. 2019.

PACHECO, Rangel Fernandes et al. Características produtivas de pastagens de milho ou capim sudão submetidas ao pastejo contínuo de vacas para abate. **Ciência Animal Brasileira**, v. 15, n. 3, p. 266-276, 2014.

PAIVA, E. P. et al. Germination and tolerance of cowpea (*Vigna unguiculata*) cultivars to water stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 407–411, 2018.

PESKE, F. B.; NOVENBRE, A D. L. C. Physiological conditioning of pearl millet seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 4, p. 132-142, 2010.

PONCET, V. et al. Genetic control of domestication traits in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L., Poaceae). **Theoretical and Applied Genetics**, v. 100, n. 1, p. 147-159, 2000.

PONCET, V. et al. Comparative analysis of QTLs affecting domestication traits between two domesticated × wild pearl millet (*Pennisetum glaucum* L., Poaceae) crosses. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 104, n. 6-7, p. 965-975, 2002.

PRIMO, D.C.; MENEZES, R.S.C.; SILVA, T.O.; GARRIDO, M.S.; CABRAL, P.K.T. Contribuição da adubação orgânica na absorção de nutrientes e na produtividade de milho no semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 1, p. 81-88, 2012.

REZAEI, E.E. et al. Adaptation of crop production to climate change by crop substitution. **Mitigation and Adaption Strategies for Global Change**, v. 20, n. 7, p. 1155-1174, 2015.

RODRIGUES, P.B. Aminoácidos digestíveis verdadeiros do milho, do milho e subprodutos do milho, determinados com galos adultos cecectomizados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 6, p. 2046-2058, 2001.

RODRIGO-COMINO, J. et al. Understanding soil erosion processes in Mediterranean sloping vineyards (Montes de Málaga, Spain). **Geoderma**, v. 296, p. 47–59, 2017.

ROUSSOS, P. A. et al. Impact of organic fertilization on soil properties, plant physiology and yield in two newly planted olive (*Olea europaea* L.) cultivars under Mediterranean conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 220, p. 11–19, 2017.

SÁ JÚNIOR, E. H. et al. Características agronômicas de capim-corrente (*Urochloa mosambicensis*) adubado com esterco suíno e submetido a duas alturas de corte. **Ciência Agrícola**, v. 16, n. 1, p. 1-9, 2018.

SANTOS, C.A.B. et al. Efeito de coberturas mortas vegetais sobre o desempenho da cenoura em cultivo orgânico. **Horticultura Brasileira**, v.29, n.1, p.103-107, 2011.

SANTOS, D. P. et al. Performance of methods for estimation of table beet water requirement in Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 189–193, 2018.

SANTOS, M. G. et al. Photosynthetic parameters and leaf water potential of five common beans genotypes under mild water deficit. **Biologic Plantarum**, v. 53, n. 2, p. 229-236, 2009.

SANTOS, R. D., PEREIRA, L. G. R., NEVES, A. L. A., AZEVEDO, J. A. G., DE MORAES, S. A. & COSTA, C. T. F. Agronomic characteristics of maize varieties for silage production in the submédio São Francisco river valley. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 32, p. 367–373, 2010.

SANTOS, R. D. et al. Agronomic traits, ensilability and nutritive value of five pearl millet cultivars grown in a Brazilian semi-arid region. **The Journal of Agricultural Science**, v. 154, n. 1, p. 165-173, 2016.

SANTOS, R. et al. Divergence in agronomic traits and performance of pearl millet cultivars in Brazilian semiarid region. **Grassland Science**, v. 63, n. 2, p. 118-127, 2017.

SCARASCIA-MUGNOZZA, G. et al. Mechanical properties decay and morphological behaviour of biodegradable films for agricultural mulching in real scale experimente. **Polymer Degradation and Stability**, v. 91, n. 11, p. 2801-2808, 2006.

SEVERINO, L.S. et al. Produtividade e crescimento da mamoneira em resposta à adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 14, p. 879-882, 2006.

SILVA, R. G.; GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V.; SILVA, D. G.; ARNHOLD, E.; Produtividade de milho em diferentes sistemas produtivos. **Revista Verde (Mossoró – RN Brasil)**, v. 2, n. 2, p. 136–141, 2007.

SILVA, S. C. D.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. D. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 122-138, 2007.

SILVA, T. C. et al. Agronomic divergence of sorghum hybrids for silage yield in the semiarid region of Paraíba. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.9, p.1886-1893, 2011.

SINGH, P.; BOOTE, K. J.; KADIYALA, M. D. M.; NEDUMARAN, S.; BANTILAN, M. C. S.; An assessment of yield gains under climate change due to genetic modification of pearl millet. **Science of the Total Environment**, v. 601-602, p. 1226- 1237, 2017.

SQUIRE, G. R. The response of stomata of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. and H.) to atmospheric humidity. **Journal of experimental Botany**, v. 30, n. 5, p. 925-933, 1979.

TANG, H. Efeitos do inverno cobrindo a incorporação de resíduos de culturas na emissão de CH₄ e N₂O de arrozais de cultivo duplo no sul da China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, p. 12689-12698, 2015.

THARANYA, M. et al. Quantitative trait loci (QTLs) for water use and crop production traits co - locate with major QTL for tolerance to water deficit in a fine - mapping population of pearl

millet (*Pennisetum glaucum* L. R. Br.). **Theoretical and Applied Genetics**, v. 131, n. 7, p. 1509–1529, 2018.

TRENBERTH, K. E.; DAI, A.; VAN DER SCHRIER, G.; JONES, P. D.; BARICHIVICH, J.; BRIFFA, K. R.; SHEFFIELD, J. Global warming and changes in drought. **Nature Climate Change**, v. 4, n. 1, p. 17–22, 2013.

TAYLOR, J. R. N. **Millet**: Pearl. Reference Module in Food Science. 2016.

ULLAH, A. et al. Recognizing production options for pearl millet in Pakistan under changing climate scenarios. **Journal of integrative agriculture**, v. 16, n. 4, p. 762-773, 2017.

UN. **Global Drylands**: a UN System-wide Response. Prepared by the United Nations (UN) Environment Management Group (EMG). United Nations, 2011.

VADEZ, V. et al. Transpiration efficiency: new insights into an old story. **Journal Experimental of Botany**, v. 65, p. 6141–6153, 2014.

VADEZ, V. et al. Phenotyping pearl millet for adaptation to drought. **Frontiers in Physiology**, v. 3, p. 386, 2012.

VALE, K.S. et al. Influência da adubação química e orgânica no crescimento inicial e acúmulo de nutrientes em variedades de milho crioulo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 1, p. 88-95, 2015.

VARSHNEY, R.K. et al. Pearl millet genome sequence provides a resource to improve agronomic traits in arid environments. **Nature Biotechnology**, v. 35, p. 969-976, 2017.

VIMAL, S. R. et al. Soil-Plant-Microbe Interactions in Stressed Agriculture Management: A Review. **Pedosphere: An International Journal**, v. 27, n. 2, p. 177–192, 2017.

VITAL, A. F. M.; SANTOS, D.; DOS SANTOS, R V. Características agronômicas do milheto adubado com diferentes fontes orgânicas. **Agropecuária Técnica**, v. 36, n. 1, p. 303-309, 2015.

XU, Z.; JIANG, Y.; JIA, B.; ZHOU, G. Elevated-CO₂ Response of Stomata and Its Dependence on Environmental Factors. **Frontiers in plant science**, v. 7, n. May, p. 657, 2016.

YU, Y. et al. Benefits and limitations to straw-and plastic-film mulch on maize yield and water use efficiency: A meta-analysis across hydrothermal gradients. **European Journal of Agronomy**, v. 99, p. 138-147, 2018.

WARE, L.Y. Occurrence of mycotoxins in commercial infant formulas locally produced in Ouagadougou (Burkina Faso). **Food Control**, v. 73, p. 518-523, 2017.

WILSON, J. et al. Host-specific variation in infection by toxigenic fungi and contamination by mycotoxins in pearl millet and corn. **Mycopathologia**, v. 161, n. 2, p. 101-107, 2006.

ZHANG, B., HE, C., BURNHAM, M., ZHANG, L. Evaluating the coupling effects of climate aridity and vegetation restoration on soil erosion over the Loess Plateau in China. **Science of the Total Environment**, v. 539, p. 436–449, 2016.

ZHANG, F. et al. Integrated nutrient management for food security and environmental quality in China. **Advances in Agronomy**, v. 116, p. 1-40, 2012.

CAPÍTULO 2 – PROPRIEDADES DO SOLO, CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E TROCAS GASOSAS DO MILHETO EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA E COBERTURA MORTA NO SOLO

RESUMO:

As condições climáticas intensificam a escassez hídrica nas regiões semiáridas, limitando a produtividade de espécies forrageiras, conseqüentemente, reduzindo a produção de alimentos. Portanto, objetivou-se estudar as propriedades do solo, características agronômicas e trocas gasosas do milheto (*Pennisetum glaucum*) em função da adubação orgânica e diferentes níveis de cobertura morta no solo. A pesquisa foi conduzida em condições de campo sob delineamento de blocos casualizados com parcelas subdivididas. A ausência e presença da adubação orgânica (30 Mg ha⁻¹) constituíram as parcelas principais e os níveis de cobertura morta (0, 1, 2, 3 e 4 Mg ha⁻¹) as subparcelas, com quatro repetições. Foram avaliados as propriedades do solo: variação no armazenamento de água no solo e resistência à penetração do solo; características estruturais do milheto: comprimento de colmo, diâmetro do colmo, número de perfilhos e comprimento de panícula, como também da área foliar, índice de área foliar e trocas gasosas: fotossíntese, condutância estomática e eficiência do uso da água aos 45 e 60 dias após o corte. A massa seca total e dos constituintes morfológicos: colmo, folha e panícula foi quantificado no final do experimento. Para descrever o comportamento das características estruturais e trocas gasosas foi realizada análise de regressão. O maior (P<0,05) número de perfilhos foi observado sob associação do efeito da adubação orgânica e cobertura morta. A variação de água no solo foi positiva e maior com 11 mm no maior nível de cobertura morta. O milheto assimilou mais CO₂ na condição de 4 Mg ha⁻¹ de cobertura morta no solo. A associação da adubação orgânica e cobertura morta no solo aumenta a eficiência de produção do milheto, por reduzir a evaporação da água no solo para a atmosfera, fazendo com que a planta assimile mais CO₂ e converta em fitomassa com precipitação pluvial reduzida. O nível de cobertura morta de 4 Mg ha⁻¹ armazena mais água no solo potencializando as propriedades do solo, características agronômicas e trocas gasosas do milheto.

Palavras chave: assimilação líquida de CO₂, armazenamento de água no solo, eficiência no uso de água, índice de área foliar

SOIL PROPERTIES, AGRONOMIC CHARACTERISTICS AND GAS EXCHANGES IN THE FUNCTION OF ORGANIC FERTILIZATION AND DEAD COVERAGE IN SOIL

Abstract: Climatic conditions intensify water scarcity in semi-arid regions, limiting the productivity of forage species, consequently reducing food production. Therefore, the objective was to study the soil properties, agronomic characteristics and gaseous exchanges of millet (*Pennisetum glaucum*) as a function of organic fertilization and different levels of mulch in the soil. The research was conducted under field conditions under a randomized block design with subdivided plots. The absence and presence of organic fertilization (30 Mg ha⁻¹) constituted the main plots and the levels of mulch (0, 1, 2, 3 and 4 Mg ha⁻¹) the plots with four replications. Soil properties were evaluated: soil water storage variation and resistance to soil penetration; structural characteristics of pearl millet: stem length, stalk diameter, number of tillers and panicle length, as well as leaf area, leaf area index and gas exchange: photosynthesis, stomatal conductance and water use efficiency at 45 and 60 days after cutting. The total dry mass and the morphological constituents: stem, leaf and panicle were quantified at the end of the experiment. A regression analysis was performed to describe the behavior of structural characteristics and gas exchange. The highest ($P < 0.05$) number of tillers was observed under association of the effect of organic fertilization and mulching. Soil water variation was positive and higher with 11 mm in the highest level of mulching. Millet assimilated more CO₂ in the condition of 4 Mg ha⁻¹ of mulch in the soil. The association of organic fertilizer and mulch in the soil increases the efficiency of millet production by reducing the evaporation of water in the soil to the atmosphere, causing the plant to assimilate more CO₂ and convert to phytomass with reduced rainfall. The level of mulch of 4 Mg ha⁻¹ stores more water in the soil, potentiating the soil properties, agronomic characteristics and gaseous exchanges of millet.

Keywords: leaf area index, liquid assimilation of CO₂, storage of water in the soil, water use efficiency

1 INTRODUÇÃO

As espécies vegetais necessitam de condições edafoclimáticas adequadas, para que possam crescer e se desenvolver de forma satisfatória, entretanto, nem sempre é possível atender tais condições (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2019). Sendo indispensável o conhecimento

em plantas sobre suas respostas fisiológicas, como as trocas gasosas em ambientes semiáridos. Ainda, a escassez hídrica tem provocado um cenário de incerteza sobre a produção de alimentos, com a expansão de terras secas e desertificadas devido aos efeitos do aquecimento global que tem potencializado variações na precipitação e temperatura, desequilibrando as condições climáticas, principalmente em regiões tropicais, com isso fica a insegurança no mundo sobre a produção de alimentos ao longo dos anos (HEINZELLER et al., 2018; VARSHNEY et al., 2017; ULLAH et al., 2017).

Essa série de mudanças que já estão ocorrendo, tem exigido que os sistemas de produção se tornem cada vez mais eficientes, principalmente, em ambiente semiárido onde as características edafoclimáticas influenciam diretamente na produção de forragem e, conseqüentemente prejudicam os índices zootécnicos dos rebanhos aumentando a vulnerabilidade das famílias rurais (COOPER et al., 2008; KNOX et al., 2012; IPCC, 2014). Devido a essa pressão econômica para se produzir alimentos sem se preocupar com o ecossistema como um todo, as ações antrópicas tem colaborado com o aumento de áreas degradadas, especialmente pelo uso inadequado de insumos, como adubo orgânicos, pastejo excessivo e espécies de plantas inadequadas levam a degradações severas das áreas de pastagem no mundo (ANGASSA; OBA, 2010; SATTLER et al., 2018).

O milheto é uma cultura potencial que ao longo dos anos tem mostrado que pode ser cultivado para conviver com as variações climáticas que atualmente ocorrem no planeta (ULLAH et al., 2017; ASSIS et al., 2018). dentre as demais propriedades é uma valiosa fonte de grãos para alimentação humana e forragem para alimentação animal, sobretudo em ambientes com escassez de água (JAYME-OLIVEIRA et al., 2017). Além disso, possui adaptação a solos de baixa fertilidade, crescimento rápido, ciclo curto, boa produção de biomassa, resistência a altas temperaturas, elevado valor nutritivo, alta capacidade de rebrota e possibilidade de ser cultivado em consórcio (KOLLET et al., 2006; PINHO et al., 2013; SANTOS JUNIOR et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2017; SINGH et al., 2017; YADAV et al., 2019). Diante destas características pode ser considerada uma cultura com potencial para regiões semiáridas (SANTOS JUNIOR et al., 2015; SANTOS et al., 2016). No entanto, é preciso associar práticas de manejo que possam contribuir para melhorar o cultivo de espécies forrageiras.

Entre as alternativas que podem ser adotadas como práticas sustentáveis em sistemas de produção em regiões semiáridas, a utilização do esterco bovino como adubo orgânico apresenta ótimo potencial para a manutenção da atividade agrícola através da melhoria do estado

nutricional do solo em regiões semiáridas, como na China. Representa uma prática de manejo economicamente mais acessível, podendo contribuir com a melhoria as características físicas, químicas e biológicas, mantendo a fertilidade do solo ao longo dos anos (AHMAD et al., 2013; LIANG et al., 2012). A cobertura morta é outra alternativa que contribui com benefícios importantes para o sistema de produção, como maior captura de água da chuva armazenada no solo, através da redução da evaporação dessa água na superfície do solo e possibilitar maior rendimento das culturas (JIANG et al., 2018; IBRAHIM et al., 2018).

A concentração da maioria das pesquisas sobre estratégias de uso da água tem apresentado como principal foco plantas lenhosas ou culturas com metabolismo do ácido das crassuláceas. No entanto, faltando um enfoque maior principalmente sobre espécies forrageiras potenciais como o milho que pode contribuir muito para a melhoria dos sistemas agrícolas visando de forma sustentável a possível melhoria do sistema solo-planta.

Desse modo, objetivou-se com esta pesquisa avaliar as propriedades do solo, características agronômicas e as trocas gasosas em função da adubação orgânica e cobertura morta no solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e variáveis climáticas da área experimental

O experimento foi conduzido no período de março a maio de 2019, na Fazenda Lagoinha, localizada no município de Serra Talhada-PE (altitude: 496 m, latitude: 7° 55'48" S e longitude: 38° 17' 8" O), microrregião do Vale do Pajeú (Figura 1). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo BShw' semiárido, quente e seco, com as chuvas ocorrendo entre os meses de dezembro a maio, os maiores valores ocorrem em março e a média anual de aproximadamente 642 mm (ALVARES et al., 2013).

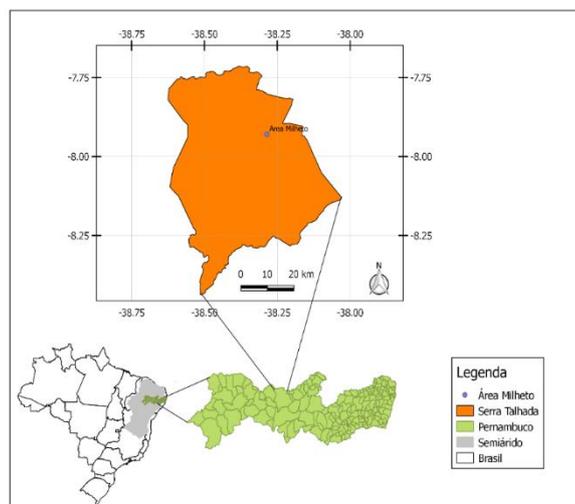


Figura 1. Localização da área experimental da pesquisa, Fazenda Lagoinha, no município de Serra Talhada-PE.

As variáveis meteorológicas (Figura 2) foram adquiridos através da base de dados da estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no município de Serra Talhada, no estado de Pernambuco. A evapotranspiração de referência foi calculada pelo método de Penman-Monteith parametrizado no boletim FAO-56 (ALLEN et al., 1998).

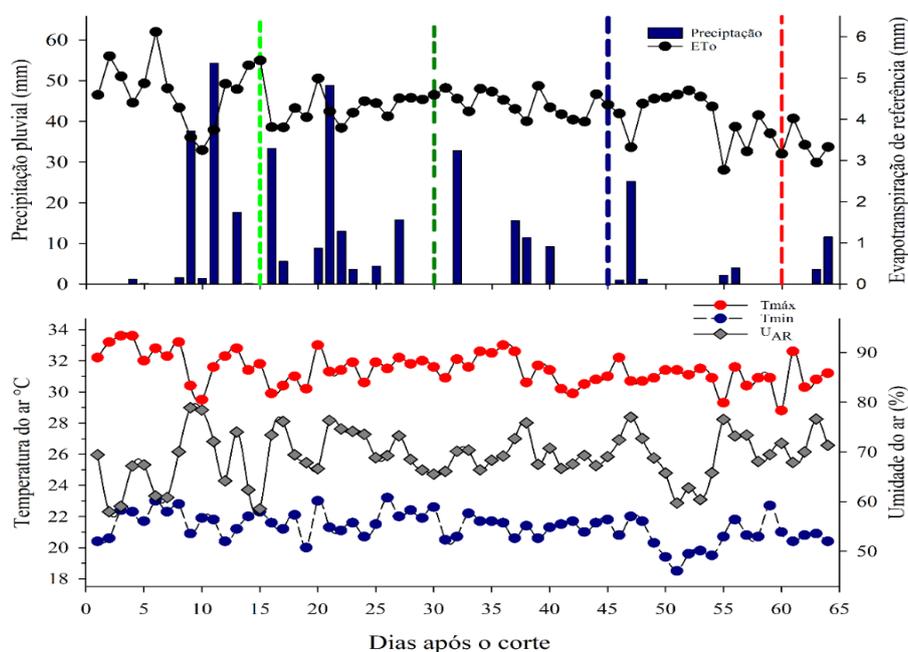


Figura 2. Distribuição da precipitação pluvial, evapotranspiração de referência (ET_0), temperatura do ar máxima ($T_{máx}$), mínima ($T_{mín}$) e umidade do ar (U_{AR}) ao longo do período

experimental. As linhas tracejadas coloridas indicam as fases de crescimento, verde claro (vegetativa), verde escuro (formação de panícula), azul e vermelha (reprodutiva).

2.2 Condições de cultivo

As condições experimentais foram em cultivo de sequeiro, realizou-se o corte de uniformização em 15/03/2019, tendo início o experimento, com precipitação acumulada de 365,6 mm no período de março-maio (Figura 2). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, sob parcelas subdivididas, com quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Foram impostas duas condições de adubação orgânica ausência e presença (30 Mg ha⁻¹) e cinco níveis de cobertura morta (sem, 1, 2, 3 e 4 Mg ha⁻¹) nas subparcelas, cuja dimensão era de 11,2 m² (2,8 m x 4,0 m), sendo a área útil 2,8 m², constituída por duas linhas de 2,0 m de comprimento e 1,4 m de largura. A cultivar de milho utilizada foi a IPA BULK 1 BF semeada a 2,0 cm de profundidade, sob uma densidade de 30 sementes por metro linear, em 04/01/19. Após sete dias foi realizado o desbaste, deixando apenas 15 plantas por metro linear, resultando numa população média de 214 mil plantas por hectare. Em 15/03/19 foi realizado o corte de uniformização no dia 15/03/2019, quando as medidas passaram a ser monitoradas.

A fonte de adubação orgânica foi esterco bovino curtido adquirido na própria propriedade, aplicado manualmente no centro nas linhas das parcelas no dia 01/03/19, de acordo com a recomendação do IPA (1998) que é de 3,4 kg m². Como trato culturais foram realizadas capinas para o controle de plantas espontâneas.

O material utilizado para a cobertura morta do solo foi o capim corrente (*Urochloa mosambicensis*), devido a maior predominância na localidade. A aplicação da cobertura morta foi realizada no dia 14/03/19 e ocorreu com pesagem no campo com peso específico para cada densidade de cobertura morta, posteriormente espalhadas nas linhas de cada subparcela os valores correspondentes aos níveis 1, 2, 3 e 4 Mg ha⁻¹, exceto para o tratamento sem cobertura.

2.3 Medidas no solo

Foram instalados tubos de acesso (15/12/2018 e 16/12/2018) para obter a umidade do solo, um tubo de acesso foi instalado por subparcela, a 50 cm de profundidade, totalizando 40 tubos na área experimental. O monitoramento da umidade foi realizado quinzenalmente nas

profundidades de 10, 20, 30 e 40 cm, o tubo de acesso quando é instalado perde 5 cm na parte superior e inferior, as medidas ocorreram aos 1, 15, 30, 45 dias após o corte de uniformização. O equipamento utilizado foi o Diviner 2000. O armazenamento de água no solo e sua variação no ciclo do milho, foi obtido através da diferença entre os armazenamentos (inicial, 15, 30 e 45) dias após o corte.

A resistência a penetração (RP) do solo foi determinada em dois momentos: inicial 20/12/2018 e ao final 20/05/2019 do período experimental através do penetrômetro de impactos modelo IAA/Planalsucar/Stolf (STOLF, 1991) para caracterizar a área antes e após aplicação dos tratamentos.

Tabela 1. Resistência do solo à penetração (MPa) inicial (20/12/2018) da área experimental na Fazenda Lagoinha em Serra Talhada-PE

Blocos	Resistência à Penetração (RP)			RP Médias
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	
1	1,32	3,39	4,77	3,17
2	1,05	3,31	5,96	3,44
3	1,17	2,95	2,76	2,29
4	1,03	2,44	4,32	2,59
CV (%)	38,64	70,86	93,52	71,90

2.4 Morfometria e biomassa

Foram avaliadas duas plantas de milho na área útil de cada subparcela. As características estruturais foram mensuradas em função dos estádios fenológicos da cultura, para os quais foram determinados o número de dias de avaliação após a realização do corte de uniformização (15/03/19), avaliando a rebrota a partir. As características estruturais avaliadas foram: altura de planta, comprimento de colmo, diâmetro de colmo, número de perfilhos, comprimento de panícula, comprimento de folha e largura de folha. A área foliar foi estimada através do comprimento e largura da lâmina foliar para serem inseridas no modelo de regressão potencial $\hat{Y}=0,879(CxL)^{0,971}$, esse modelo mostrou-se mais eficiente na explicação dessa variável independente de genótipo de milho (LEITE et al., 2019). O índice de área foliar (IAF) foi determinado utilizando-se o sensor portátil ceptômetro (AccuPAR LP-80, Decagon Devices, Pullman, USA), que se baseia no método não destrutivo de interceptação luminosa para estimativa do IAF, e sua aplicação foram realizadas três medidas da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) na área útil de cada subparcela a 0,10 m da superfície do solo.

Em 17/05/19 foi coletado o material para produção de massa verde total (PMV), nas plantas da área útil de todas as subparcelas, cortadas rente ao solo e pesadas em balança de precisão. Em seguida, foram separados os seguintes componentes morfológicos: folhas vivas (FV) constituídas de (lígula, bainha e lâmina foliar), folhas mortas (FM), colmo (C) e panícula (P). Após esse procedimento o material foi seco em estufa a 65 °C até atingir peso constante (DETMANN et al., 2012), para determinação da massa da folha (MSF), do colmo (MSC), da panícula (MSP) e massa seca total (MST).

A eficiência do uso da chuva (EUC) dada em $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$, foi estimada através da divisão da PMS pelo acumulado de chuva durante o ciclo (365,6 mm) (PERAZZO et al., 2013).

2.5 Trocas gasosas

As medições das trocas gasosas foram realizadas sob uma densidade de fluxo de fótons fotossintéticos $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As variáveis fotossintéticas foram mensuradas no estágio de florescimento aos 45 e 60 DAC, com auxílio de um analisador de gases infravermelho (IRGA, Li-6400). Sendo avaliada uma planta da segunda linha de cada subparcela, sempre na terceira folha completamente expandida contando a partir do ápice da planta, no intervalo de 08:00 às 11:00 h. Foram avaliados a taxa fotossintética (P_n), condutância estomática (g_s), eficiência instantânea do uso da água - EUA (P_n/E).

2.6 Análise estatística

Os dados coletados foram submetidos à teste de normalidade Shapiro-Wilk e ao teste de homocedasticidade. Atendidas as premissas desses testes, realizou-se a análise de variância (Teste F); teste de Tukey para a comparação de médias. Quando identificado interação significativa, realizou-se o desdobramento da interação. Quando identificado significância, realizou-se a análise de regressão para o tratamento quantitativo (níveis de cobertura morta no solo). O programa utilizado para o processamento das análises estatísticas foi o software estatístico R e a confecção dos gráficos foi no SigmaPlot 14.0 (TEAM CORE R, 2017).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A variação do armazenamento (ΔA) de água no solo para cinco condições de cobertura morta no cultivo do milho, são apresentados na Figura 3. Aos 15 dias após o corte não houve

efeito da cobertura morta para o armazenamento nesse período, com valor médio de 130,24 mm no solo. Não houve efeito significativo devido ao acumulado de chuva 153 mm que ocorreu até 14º dia de cultivo verificado na figura 2. No entanto, a partir dos 30 dias após o corte houve variação no armazenamento, indicando que o nível com ausência de cobertura morta perdeu água. A redução da chuva notada a partir do 25º dia e por não ter material cobrindo a superfície contribuíram para que ocorresse maior evaporação nessa condição, indisponibilizando água para a planta que já estava na fase de desenvolvimento para formação de panícula, necessitando de maior disponibilidade hídrica para enchimento dos grãos. Enquanto, os níveis de cobertura morta 1 e 2 Mg ha⁻¹ apresentaram armazenamento de 0,53 e 0,92 mm, respectivamente. As maiores densidades de cobertura 3 e 4 Mg ha⁻¹ conseguiram manter um armazenamento maior, mesmo com a redução da chuva, os níveis com cobertura proporcionaram mais água para as plantas nesse período, destacando o nível 4 Mg ha⁻¹ que conseguiu manter no perfil do solo 11 mm.

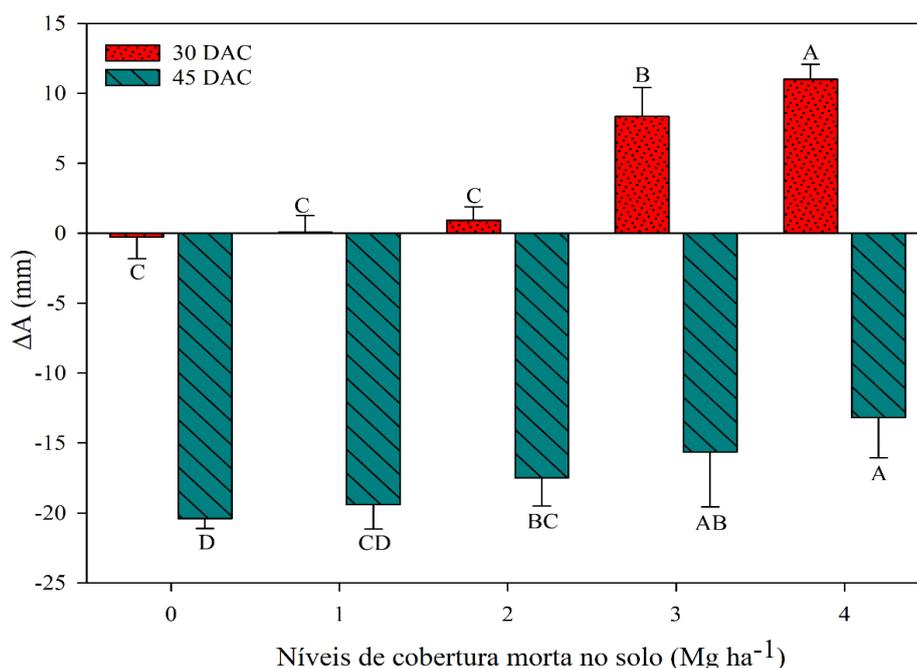


Figura 3. Variação do armazenamento de água do solo no cultivo do milho aos 30 e 45 dias após o corte (DAC) em função da cobertura morta no solo.

A partir dos 45 dias após o corte o armazenamento de água no solo foi negativo para todos os níveis de cobertura, nesse período ocorreu 10 dias sem chuva e acumulado de 350 mm, intervalo considerável para a planta apresentar respostas específicas como redução da área foliar

através do processo de senescência figura 7A, é preciso destacar que nesse mesmo período ocorreu uma menor condutância estomática, resposta fisiológica específica para manutenção da turgidez nos tecidos da planta observado na figura 6B.

A função de maior destaque da água é a manutenção da turgescência celular, responsável direta pela sustentação da morfologia de plantas herbáceas e a movimentação das folhas e flores, além de desencadear o rápido alongamento celular, observado também nos valores das características estruturais na Figura 5. No entanto, em caso de desidratação, ocorre a perda de turgor, que por sua vez provoca o fechamento estomático e consequente redução da fotossíntese (PIMENTEL, 2004). Outra importante função está relacionada com o movimento e absorção de nutrientes essenciais para as plantas, pelo processo conhecido como fluxo de massa (TAIZ & ZEIGER 2013). Quanto maior a limitação hídrica, maior será os danos causados nos processos fisiológicos, acelerando o processo de senescência, consequentemente, morte da planta.

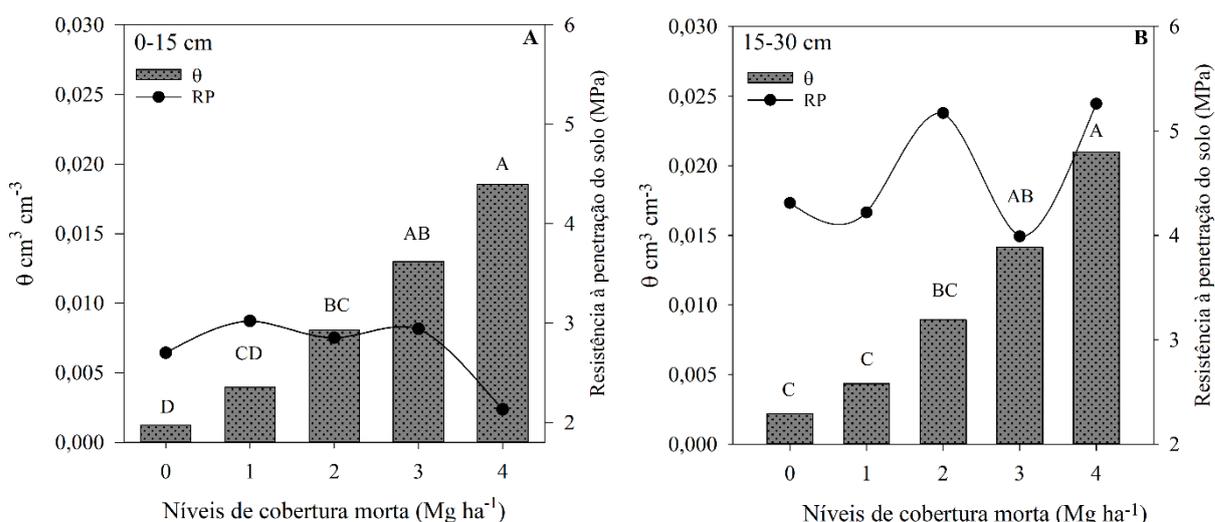


Figura 4. Umidade do solo (A) e resistência a penetração do solo (B) nas profundidades de 0-15 e 15-30 cm, respectivamente, no cultivo do milho aos 60 dias após o corte em função de cinco níveis de cobertura morta no solo.

A (Figura 4 A, B) representa o aumento da umidade no solo nas profundidades de 10 e 30 cm. Ocorreu uma considerável redução na resistência do solo comparando os dois extremos, o maior nível de cobertura obteve a menor resistência 1,86 MPa, enquanto sem a presença de cobertura obteve 2,67 MPa, em 10 cm. com que contém ausência de cobertura, sendo 2,67 MPa para 1,86 MPa para 4 Mg ha⁻¹. Esse resultado corrobora ainda mais para justificar os benefícios

da cobertura morta, principalmente, por ocasionar uma maior retenção de água no solo, assim, o sistema radicular contribui melhorando a aeração do solo através dos canais formados pelas raízes para absorção de água. Ainda é importante destacar que o milho apresenta um sistema radicular vigoroso podendo chegar a mais de 60 cm de profundidade e isso, pode ter contribuído para que ocorresse uma menor resistência em 4 Mg ha^{-1} , já que foi o nível que reteve mais água aos 60 dias após o corte. para mel diferem dos demais ($P < 0,05$), respectivamente. Entretanto, os níveis intermediários de cobertura 1 e 2 Mg ha^{-1} apresentaram valores de 5,37 e 4,80 MPa na profundidade de 30 cm, enquanto o nível com ausência de cobertura morta apresentou 5,21 MPa, ambos os níveis intermediários não diferem entre si ($P > 0,05$).

Essa variável é importante para compreender o nível de compactação do solo, principalmente em áreas de pastagens com presença de animais, pois o pisoteio animal contribuir para que ocorra a compactação do solo (SATTler et al., 2018). De acordo com Moreira et al. (2014) mudanças na resistência do solo a penetração pode ocasionar redução do desenvolvimento radicular. Isso ocorre porque as raízes ficam impedidas de penetrar nas camadas compactadas para absorver água e nutrientes. Embora, o milho tenha um sistema radicular vigoroso, a resistência a penetração com valores extremos pode dificultar o desenvolvimento dessa planta. Além de lidar com os problemas de limitação hídrica, principalmente, no estágio reprodutivo onde requer um maior acúmulo de água e nutrientes para produção de grãos, a resistência a penetração pode limitar o crescimento das plantas, observado nos menores níveis de cobertura morta.

As características estruturais comprimento de colmo, diâmetro de colmo e comprimento de panícula não obtiveram efeito da adubação orgânica de acordo com a análise estatística. Provavelmente, isso ocorreu porque o milho é uma gramínea de crescimento rápido e teve o ciclo até os 60 dias após o corte. Além disso, o desenvolvimento dessas características foi potencializado pela presença de água no solo (Figura 3A) evidenciado com a aplicação dos níveis de cobertura morta.

Outra provável explicação é o tempo de aplicação da adubação orgânica, pois sua aplicação foi na superfície do solo com o intuito de observar os efeitos ao longo ciclo. Quando a adubação é incorporada ao solo, o processo de mineralização é acelerado, já que o resíduo orgânico estará diretamente em contato com os microrganismos presentes nas camadas do solo. Vital et al. (2015) verificaram também que a adubação orgânica não influenciou nas características estruturais do milho. Outros autores como Sá Júnior et al. (2018) relataram ao avaliar que as doses de esterco utilizadas não influenciaram as características estruturais do

capim-corrente, aos 40 dias após a adubação. Esses autores embasam os resultados deste presente estudo, ao confirmarem que devido ao curto período para mineralização dos nutrientes no esterco.

As características estruturais comprimento do colmo, diâmetro de colmo e comprimento de panícula obtiveram comportamento crescente com os níveis de cobertura morta (Figura 5), esse comportamento está associado a maior retenção de água nas diferentes densidades de cobertura (Figura 3A). Os menores níveis de cobertura 0 e 1 Mg ha⁻¹ obtiveram 116,66 e 137,87 cm de CC, enquanto os níveis intermediários 2 e 3 Mg ha⁻¹ apresentaram 142,91 e 150,03 Mg ha⁻¹, no nível 4 Mg ha⁻¹ o CC foi inferior 140,03 cm quando comparado ao terceiro e quarto nível de cobertura morta.

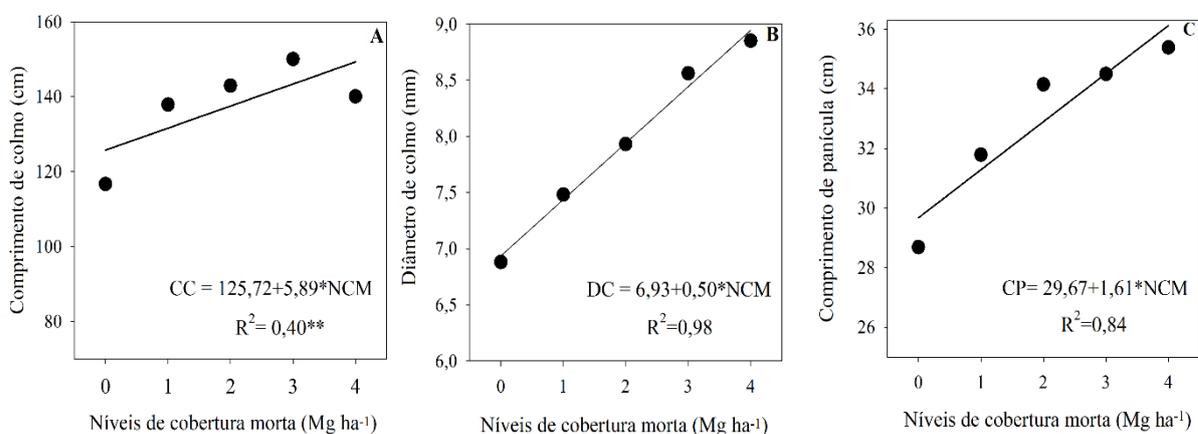


Figura 5. Características estruturais do milho aos 60 DAC (comprimento de colmo - CC, diâmetro de colmo - DC e comprimento de panícula - CP) em função dos diferentes níveis de cobertura morta no solo. NCM = Níveis de cobertura morta, (P<0,05).

O alongamento do colmo quando ocorre de forma acelerada é proporcionado pelo efeito da cobertura morta em conservar mais água no solo, favorecendo manutenção da turgescência dos tecidos celulares da planta, sendo uma das principais características que influencia de forma direta no alongamento e expansão das células (LI et al., 2013; ARAÚJO JÚNIOR et al., 2019). Entretanto, para a qualidade de forragem o percentual maior da fração colmo em relação ao componente foliar representa redução drástica do valor nutricional da planta, uma vez que, essa fração concentra alta proporção de material lignificado, conseqüentemente, sendo menos digestível para os animais ruminantes.

Em caso de menor disponibilidade de água verificado no nível com ausência de cobertura morta e observado nas Figura 2 e 3A, ocorreu estacionalidade da chuva durante os 10

primeiros dias após o corte, que segundo Carlesso et al. (1997) a partir da fase de desenvolvimento vegetativo, a limitação de água promove reduções no comprimento do entre nó, e este efeito induz plantas com menor comprimento de colmo.

As plantas sem cobertura apresentaram o menor diâmetro de colmo 6,86 mm. De acordo com Carlesso et al. (1997), quanto maior o diâmetro caulinar, maior a capacidade das plantas em armazenar fotoassimilados que contribuirão para maior produção de biomassa e enchimento de grãos. Araújo Júnior et al. (2019) relataram que a disponibilidade de água beneficia o processo de expansão e divisão celular devido à manutenção da turgidez celular, consequentemente, proporcionando influência direta no diâmetro do colmo das plantas.

O maior nível de cobertura 4 Mg ha⁻¹ apresentou diâmetro de 8,85 mm e esse valor justifica também a resposta na eficiência fotossintética observado também no índice de área foliar, produção de massa seca e trocas gasosas também para esse mesmo nível, o percentual do DC foi de 28,63% maior que no nível com ausência de cobertura, enquanto 1, 2 e 3 Mg ha⁻¹ obtiveram incrementos no diâmetro de 8,72%, 15,26% e 24,41% quando comparados com as plantas sem cobertura morta, respectivamente. Além disso, o diâmetro do colmo é um componente estrutural importante, principalmente, por estar diretamente relacionado com o índice de tombamento das plantas, quanto maior o diâmetro menor esse índice (COSTA et al., 2016). Além disso, outro fator de destaque que deve ser considerado é que o acamamento/tombamento de plantas reduz a qualidade da silagem/fორragem por aumentar a proporção de material morto (SANTOS et al., 2013).

O comprimento de panícula (Fig. 5C) foi observado para o nível de 4 Mg ha⁻¹ (35,38 cm) em relação a ausência de cobertura morta (28,68 cm), o que representa um incremento de 23,36% com a presença de cobertura, implicando nos efeitos benéficos por conseguir armazenar mais água no solo. A panícula é o componente morfológico que se desenvolve na fase vegetativa e possui um requerimento elevado de água para que ocorra o enchimento dos grãos, como também maior demanda de fotoassimilados, essa resposta é nítida na Fig. 2 que a precipitação reduz consideravelmente a partir dos 30 DAC, ocorrendo também o aumento da temperatura, esses fatores influenciaram diretamente as plantas com ausência de cobertura morta a planta, quando as plantas nessa condição precisaram fechar os estômatos para evitar a perda de água do solo para a atmosfera, consequentemente, ocorreu redução dos fotoassimilados que prejudicou o desenvolvimento da planta originando panículas menores. O maior nível de cobertura morta ainda teve um incremento considerável no comprimento da panícula em 11,32%, 3,63% e 2,58% quando comparado com 1, 2 e 3 Mg ha⁻¹.

Os resultados do presente artigo comprimento de panícula são superiores aos valores 19,48 cm para o espaçamento de 0,20 m e de 21,68 cm para o espaçamento de 0,80 m e, 17,8 cm verificados por Priesnitz et al. (2011) e Costa et al. (2015) respectivamente, quando avaliaram a produtividade de biomassa e de genótipos de milho em espaçamentos entre linhas e densidades de semeadura. Esses valores corroboram com a afirmação de Netto e Durães (2005), quando citam que o comprimento médio de panícula em milho é entre 15 e 45 cm. Costa et al. (2005) afirmaram que o comprimento médio da panícula possui correlação positiva com a produção de grãos. A panícula apresenta importância significativa por ser um componente rico em energia tendo uma alta concentração de amido e por essas características compões a dieta humana, ainda tem contribuição direta para produção de silagem, pois sua participação como carboidratos solúveis é a fonte de nutrientes digestíveis totais para as bactérias produtoras do ácido lático, microrganismos fundamentais no processo de ensilagem (SILVA et al., 2011). A panícula pode ser utilizada na cobertura do solo, alimentação animal na forma de silagem ou pastejo direto (PRIESNITZ et al., 2011).

Na Tabela 2 é apresentado o efeito da cobertura morta e da adubação orgânica no número de perfilhos, aos 60 DAC. Houve interação significativa entre a adubação orgânica e a cobertura morta para número de perfilhos. Considerando a ausência de adubação orgânica, as plantas obtiveram com o nível de 3 Mg ha⁻¹ de cobertura morta um valor médio de 4,27 perfilhos, sendo maior (p<0,05) do que as plantas sob 0, 1 e 2 Mg ha⁻¹, não diferindo daquelas com 3 Mg ha⁻¹. Nas plantas adubadas com esterco, verificou-se apenas influência do maior nível de cobertura no número de perfilhos. Observa-se que com o nível de 4 Mg ha⁻¹ de cobertura, a adubação orgânica proporcionou um aumento significativo (p<0,05) no número de perfilhos, com médias de 5,75 perfilhos, superiores em 119,46% aos valores constatados para esses níveis de cobertura na ausência de adubação.

Tabela 2. Número de perfilhos (NP) do milho em função da adubação orgânica e cobertura morta no solo aos 60 DAC

Adubação orgânica (Mg ha ⁻¹)	Níveis de cobertura morta (Mg ha ⁻¹)					p-valor
	0	1	2	3	4	
0	1,25 Ab	2,75 Ab	3,25 Ab	8,5 Aa	5,25 Bab	<0,001
30	3,25 Ab	5,75 Ab	5,00 Ab	6,0 Ab	11,5 Aa	<0,001
p-valor	0,1275	0,0262	0,1800	0,0600	<0,001	

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey (p<0,05). DAC – dias após o corte.

Os extremos ficaram entre os tratamentos que correspondem à ausência de cobertura e adubação, com a menor média correspondente a 1,25 perfilhos, e a maior no tratamento que com o maior nível de cobertura e com presença de adubação, com média de 11,5 perfilhos. Os resultados são superiores aos obtidos por Moreira et al. (2015) em pesquisa sobre as características agronômicas e produtividade de milho e milheto para silagem adubados com biofertilizante suíno sob irrigação, obtiveram médias de 1,54 a 3,7 perfilhos por planta de milheto. Geraldo et al. (2000) avaliaram diferenças em crescimento e produção de grãos entre quatro cultivares de milheto e descreveram médias semelhantes as constatadas nessa pesquisa, entre 4,6 a 6,1 perfilhos por planta.

Segundo Bellon et al. (2009) o perfilhamento é influenciado pela maior disponibilidade de nutrientes, que proporcionam uma maior rapidez na formação das gemas axilares e na iniciação dos perfilhos. Simili et al. (2010) reforçaram que a prática da adubação apresenta influência direta sobre o aparecimento dos perfilhos em plantas forrageiras, uma vez que, há uma maior disponibilidade de nutrientes proporcionado pela adubação. Nesse sentido, pode-se associar o acréscimo considerável no número de perfilhos nos níveis de 1, 2, 3 e 4 Mg ha⁻¹, a maior disponibilidade de nutrientes proporcionada com a adubação orgânica a base de esterco bovino. Além de serem fontes de nutrientes, esses compostos orgânicos apresentam características que melhoram as propriedades físicas do solo como a agregação, aeração e retenção de água (BANA et al., 2016).

O perfilhamento nas espécies forrageiras tem sido considerado a característica mais importante para o estabelecimento da produtividade dessas plantas. Zarrouh & Nelson (1980) relataram que a produção de matéria seca pode estar diretamente relacionada ao número e tamanho dos perfilhos.

A área foliar (Figura 6 A, B) e o índice de área foliar (Figura 6 C, D) em função ao longo do tempo e com diferentes níveis de cobertura morta no solo. A área foliar não diferiu ao durante os períodos 15, 30, 40 e 60 DAC quando foram realizadas as medições de comprimento e largura da lâmina foliar. O comportamento é crescente nos dois períodos iniciais, ao 15 DAC as plantas estão em crescimento e permaneceu com a expansão foliar até os 35 DAC após ter iniciado a fase reprodutiva com formação de panícula, ocorre o decréscimo tanto da área foliar como também do IAF, este último de forma mais acentuada. Isso ocorre porque as folhas começam a entrar no processo de senescência, pois as reservas são destinadas para o

enchimento dos grãos, é justamente nessa fase que a planta necessita de uma exigência hídrica maior.

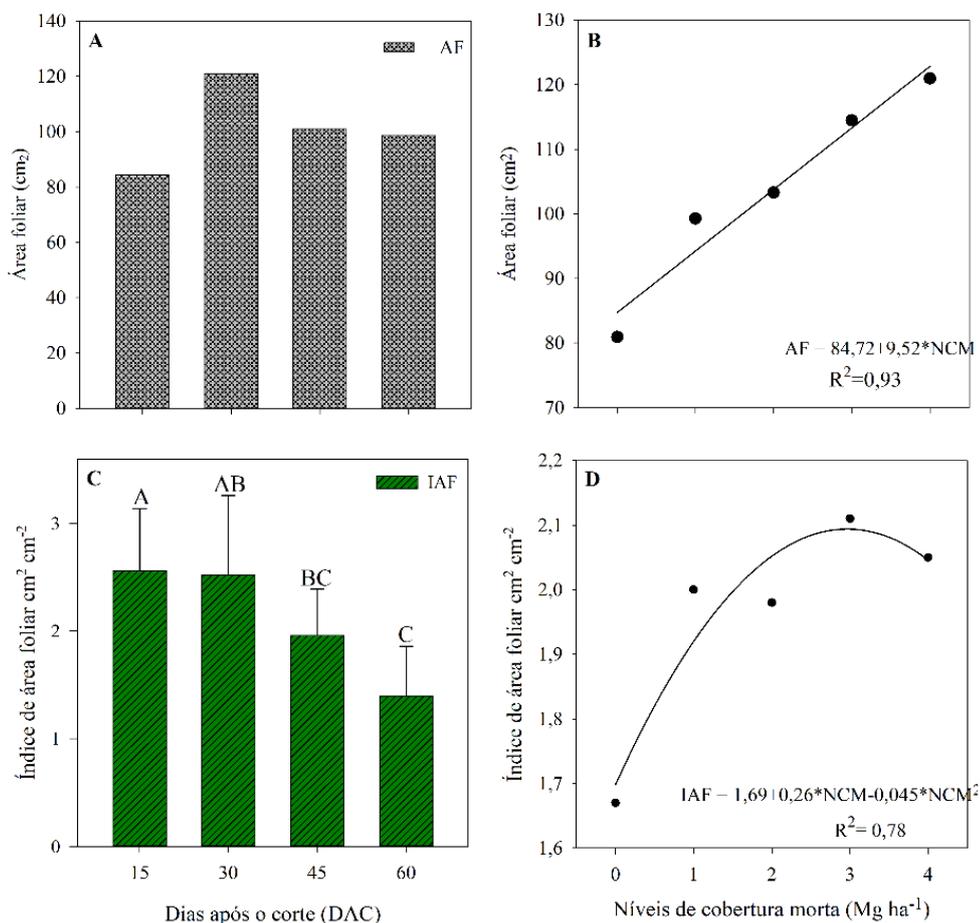


Figura 7. Área foliar 30 (DAC) e Índice de área foliar no milho em função de diferentes níveis de cobertura morta no solo (NCM) aos 30 dias após o corte (DAC).

A umidade do solo (Figura 4A) influenciou nos tratamentos com presença de cobertura morta ($P < 0,05$), a menor área foliar ocorreu nas plantas que se encontravam na condição de ausência de cobertura morta. O nível de 4 Mg ha^{-1} conseguiu reter mais umidade no solo e incrementou 33,1% em sua área foliar com $120,96 \text{ cm}^2$, obtendo a maior área foliar entre os tratamentos. Em relação, aos demais níveis 1, 2 e 3 Mg ha^{-1} o incremento foi de 18,4%, 21,6% e 29,3% respectivamente, quando comparados sem a presença de material morto no solo. A área foliar foi estimada por meio de modelo matemático potência e consistiu num método simples e não destrutivo, facilitando avaliar essa variável no milho. O modelo utilizado para obter a área foliar também apresenta uma menor soma de resíduos e alto coeficiente de

determinação (LEITE et al., 2019). Esses autores encontraram valores de área foliar que tiveram variação de 209,21 cm² a 3,02 cm², com valor médio de 95,31 cm², a justificativa para explicar essa possível variação na área foliar, foi devido as amostragens terem sido realizadas em todos os estágios de desenvolvimento morfológico do milheto. Permitindo assim que a equação pudesse ser aplicada a todas as etapas e idades do desenvolvimento do mileto. Os dados deste presente artigo para a área foliar foram superiores aos encontrados por Leite et al. (2019).

Pedroso et al. (2009) observaram ainda que o período de consórcio influenciou no comprimento da lâmina foliar do milheto, com variação de 22,73 a 30,1 cm. Essa afirmação é importante para facilitar as ações de manejo dessa cultura nas primeiras semanas, embora essa planta seja promissora, seu ciclo curto faz com que ela tenha uma demanda maior de água e nutrientes nos primeiros meses, porque se houver competição entre plantas, sua área foliar pode ser reduzida.

A redução da área foliar é um indicativo se a planta estava em condições de estresse ou não, uma vez que, a redução da tecido foliar é a resposta primária para minimizar a perda de água para atmosfera pela transpiração, conseqüentemente sua capacidade de interceptação luminosa reduz restringindo a capacidade fotossintética com o decréscimo do IAF, além de prejudicar o acúmulo de fitomassa da planta (Figura 8D) (FLUMIGNAN et al., 2008). Rostamza et al. 2011 afirmaram que embora a eficiência no uso da água permaneça praticamente inalterável sob baixa disponibilidade hídrica, a qualidade de forragem tende a diminuir, devido ao aumento da massa de material morto e depleção das características bromatológicas das plantas.

Constatou-se efeito nas avaliações do IAF ao longo do tempo, destacando os períodos iniciais de 15 e 30 dias após o corte quando as plantas estavam na parte vegetativa. Já no início da fase reprodutiva após os 30 DAC foi iniciado o processo de senescência da lâmina foliar, isso ocorreu por alguns fatores como redução da precipitação e aumento da temperatura (Figura 2A), além disso nessa fase as plantas destinam os fotoassimilados para a fase reprodutiva e a limitação hídrica contribui fortemente nas respostas fisiológicas como pode ser observado no nível com ausência de cobertura morta.

As trocas gasosas são apresentadas na Figura 7, os níveis cobertura morta apresentaram influência sobre a fotossíntese, representada pela taxa de assimilação líquida de CO₂ (P_n), a condutância estomática (g_s) e a eficiência do uso de água (EUA), aos 45 (Figura 5A, B, C) e 60 DAC (Figura 5D, E, F). Esses dados evidenciam, ainda mais, os benefícios da utilização de cobertura morta como forma de assegurar a produtividade de espécies forrageiras em condições

semiáridas, uma vez que, com a presença da cobertura constatou-se incrementos na fotossíntese de 79,6% e 68,8 aos 45 e 60 DAC, respectivamente, em comparação ao tratamento sem a presença de cobertura. A condutância estomática apresentou respostas semelhantes à fotossíntese, visto que com o aumento nos níveis de cobertura, houve acréscimos proporcionais da g_s em relação a fotossíntese, aos 45 e 60 DAC. Esse resultado está relacionado à menor disponibilidade de água no solo pela cobertura morta, pois em condições de limitação hídrica as plantas tendem a restringir abertura estomática (reduzir o g_s). Destaca-se que houve também acréscimos consideráveis na EUA em relação aos mesmos tratamentos, sendo o nível de 4 Mg ha⁻¹ de cobertura superior ao tratamento com ausência de cobertura no solo, em 96 e 61% aos dias 45 e 60 DAC, respectivamente. Dessa forma, sugere-se que a cobertura morta melhorou a capacidade de retenção de água do solo (Fig. 3A), reduzindo, assim, o estresse hídrico nos tecidos da planta o suficiente para regular a atividade fotossintética em níveis que não comprometeram a produtividade da cultura.

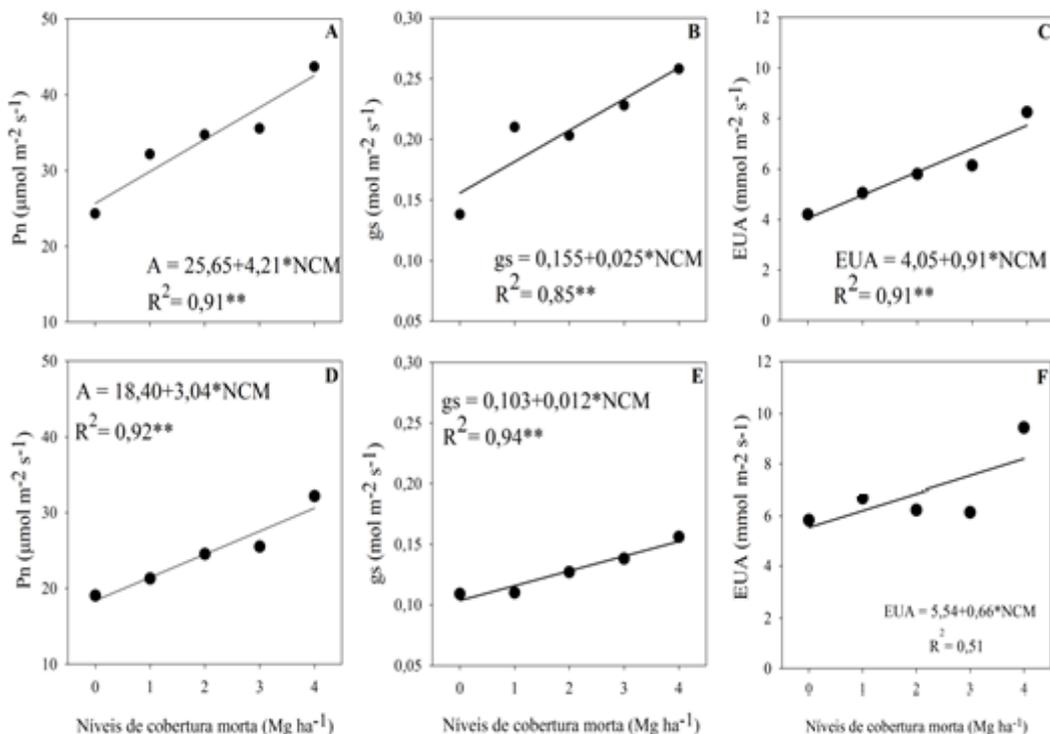


Figura 7. Trocas gasosas no milho em função de diferentes níveis de cobertura morta no solo, taxa de assimilação líquida de CO₂ (Pn) e condutância estomática (gs) e eficiência do uso da água (EUA) aos 45 (A, B e C) e 60 (D, E e F) dias após corte DAC.

De acordo com Chaves et al. (2016) sob limitação hídrica, as plantas tendem a reduzir a condutância estomática, com o intuito de diminuir a perda de água pelas folhas. Esse mecanismo representa uma estratégia para evitar a desidratação dos tecidos, no entanto, pode afetar diretamente o balanço de calor sensível sobre as folhas, limitar a absorção de CO₂ e conseqüentemente prejudicando a fotossíntese. Mashilo et al. (2017) em condições de deficiência hídrica, a redução na fotossíntese líquida está também relacionada com limitações na síntese de Rubisco causada por deficiência de ATP.

A redução do índice de área foliar na ausência de cobertura morta 0 Mg ha⁻¹ influenciou negativamente a fotossíntese e a eficiência do uso de água (Figura 7 C, D), o que compromete o processo fotossintético prejudicando a produção de forragem (OLIVEIRA et al., 2010). Assim, essa variável é um ótimo indicador de tolerância a seca, porque a redução da expansão foliar é uma das respostas iniciais da planta ao estresse hídrico e com isso o tecido foliar fecha os estômatos para reduzir a transpiração, mantendo por mais tempo um maior suprimento de água no solo (GONÇALVES et al., 2010; TAIZ, ZEIGER, 2013).

Segundo Barros et al. (2018) essas alterações dependem da intensidade do estresse hídrico. Nesse sentido, como verificado nas médias da P_n, g_s e EUA, a cobertura morta favoreceu a atividade fotossintética e, portanto, melhorou a EUA, tornando-se claro que a cobertura morta é uma imprescindível estratégia para assegurar a produção de espécies forrageiras, mesmo em condições de sequeiro, em regiões Semiáridas.

A fitomassa dos constituintes morfológicos colmo, folha e panícula Figura 8, apresenta os efeitos da adubação apenas para os constituintes colmo e folha (Figura 8A, B), com a panícula observa-se apenas efeitos dos níveis de cobertura (Figura 8C). Esses resultados estão relacionados com a dinâmica de acúmulo de fitomassa do milheto, Scheffer-Basso et al. (2004) afirmaram que o acréscimo de fitomassa do milheto se concentra principalmente na elevação da proporção de colmo, em seguida na proporção da lâmina foliar e por último na panícula.

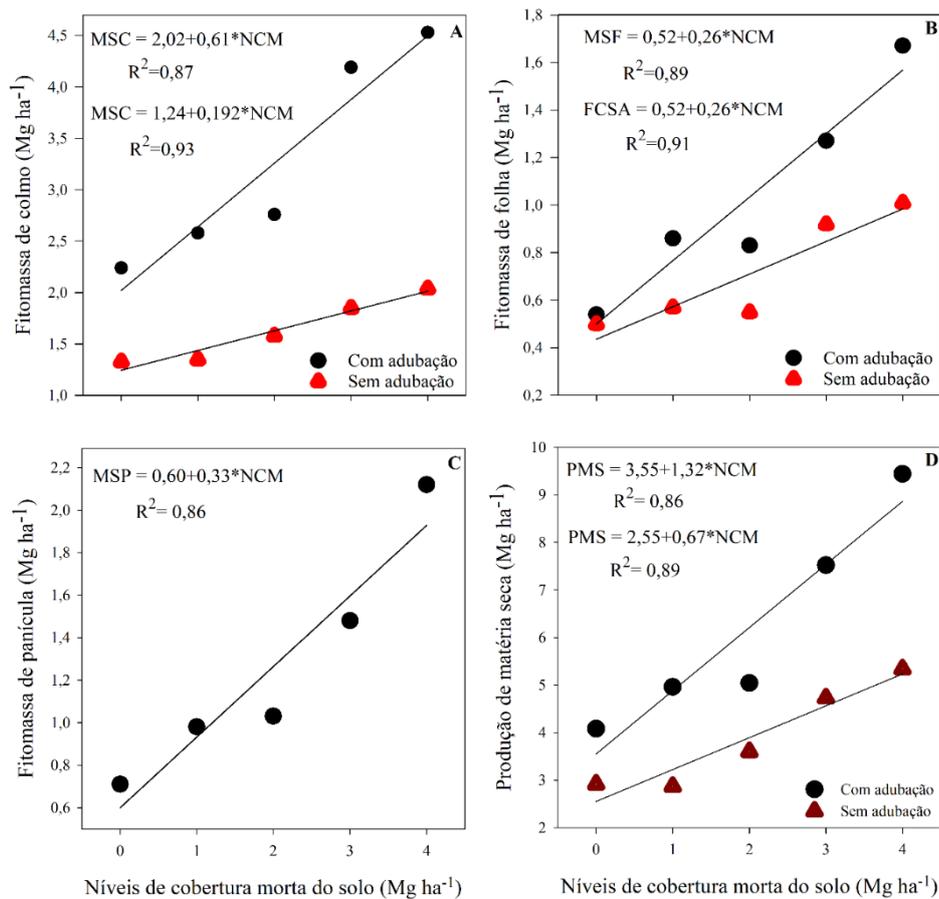


Figura 8. Produção de massa seca de colmo (A), folha (B), panícula (C) e total (D) com e sem adubação orgânica, de milho em função de diferentes níveis de cobertura morta no solo. NCM = níveis de cobertura morta aos 60 dias após o corte. NCM = níveis de cobertura morta

As plantas que receberam adubação apresentaram um valor médio de 3,25 Mg ha⁻¹ de massa seca de colmo, superior em 50% as que não receberam adubação, com média de 1,62 Mg ha⁻¹ de fitomassa de colmo. Vale destacar a influência da cobertura morta, principalmente com os níveis de 3 e 4 Mg ha⁻¹, no incremento de fitomassa do colmo do milho. Com o nível de 4 Mg ha⁻¹ de cobertura morta, nas plantas adubadas, obteve-se acréscimos de 50,5% na fitomassa do colmo em relação ao tratamento sem cobertura morta. Na ausência de adubação, com o mesmo nível de cobertura, o acréscimo na massa seca do colmo correspondeu a 67,6%. Isto posto que, o maior nível de cobertura com a adubação também apresentou superioridade em relação à ausência da cobertura na variável de número de perfilhos (Tabela 2), o que evidencia a relação desta na produção de massa seca do colmo.

Almeida et al. (2018) avaliando o crescimento vegetativo de cultivares de milho sob diferentes disponibilidades hídricas constataram médias para fitomassa do colmo, entre 5,45 e

13,31 g planta⁻¹, considerando a densidade de plantio da presente pesquisa, esses valores correspondem a 1,16 e 2,85 Mg ha⁻¹. Esses resultados corroboram aos verificados nesse estudo, onde os extremos estiveram entre os tratamentos sem adubação na ausência de cobertura com média de 1,33 Mg ha⁻¹ e tratamento com adubação e nível máximo de cobertura, com a média de 4,53 Mg ha⁻¹, o que corresponde a um incremento equivalente de 70,6% proporcionado pela adubação associada ao maior nível de cobertura.

Conforme observado na Figura 8D, a adubação e os níveis de cobertura influenciaram na produção de fitomassa de folha de milho, aos 60 DAC. Esses resultados destacam novamente as plantas que receberam adubação e, principalmente os maiores níveis de cobertura de 3 e 4 Mg ha⁻¹. A adubação promoveu incrementos na fitomassa das folhas do milho, sendo a média das plantas adubadas de 1,03 Mg ha⁻¹, o que corresponde a um acréscimo de 31%, em relação à média de 0,71 Mg ha⁻¹ nas plantas que não receberam adubação. Com relação aos incrementos proporcionados pela cobertura, verifica-se uma maior contribuição desta na fitomassa do milho, referente a acréscimos de 67,6% e 50,5% em comparação a ausência de cobertura, com as plantas adubadas e sem adubação, respectivamente. Esses resultados ratificam os benefícios da utilização da cobertura morta e da adubação orgânica com esterco bovino, visando um maior rendimento forrageiro da cultura do milho.

Outros estudos avaliando a produção de matéria seca dos componentes como Queiroz et al. (2012) avaliaram cultivares e épocas de semeadura de milho para produção de forragem, obtiveram uma média de PMS da lâmina foliar de 2,1 Mg ha⁻¹, valor superior as médias encontradas no presente estudo. Almeida et al. (2018) em estudo sobre o crescimento vegetativo de cultivares de milho sob diferentes disponibilidades hídricas constataram médias para fitomassa das folhas, entre 3,14 e 7,24 g planta⁻¹, considerando a densidade de plantio da presente pesquisa, esses valores correspondem a 0,67 e 1,55 Mg ha⁻¹.

A produtividade no maior nível de cobertura ressalta os benefícios proporcionados pelo resíduo orgânico presente no solo, através da redução na evaporação da água armazenada nas camadas do solo, assim, com maior disponibilidade de água para a planta conseguir realizar suas funções biológicas (FRASIER et al., 2016).

Não houve influência dos níveis da adubação orgânica na fitomassa da panícula, aos 60 DAC (Fig. 8C). No entanto, verifica-se diferenças significativas nos níveis de cobertura morta no solo. O nível com presença de cobertura morta de 4 Mg ha⁻¹ incrementou a produção de massa da panícula com média de 2,2 Mg ha⁻¹ foi significativamente superior em quase o triplo da produção encontrada no tratamento com ausência de cobertura morta 0,71 Mg ha⁻¹. Em

relação aos maiores níveis de cobertura morta, os níveis 1, 2 e 3 foram inferiores ao nível de 4 Mg ha⁻¹ com percentual de massa seca de panícula produzida 53,7%, 51,4% e 30,2%, respectivamente.

Nicolau Sobrinho et al. (2008) avaliando a influência da adubação orgânica e mineral na produção do milheto, constaram respectivamente médias de 2.884,37 kg ha⁻¹ e 3.710 kg ha⁻¹ para produtividade de massa de panícula fresca. Os valores apresentados nesse presente trabalho também são superiores aos encontrados por Vital et al. (2015), quando avaliaram as características agrônomicas do milheto adubado com diferentes fontes orgânicas, e notaram média de 1.472 kg para produção de massa fresca de panícula. É fundamental a participação desse componente na oferta, seja em pastejo direto ou silagem, aumentando o valor nutritivo da forragem para o animal.

A adubação promoveu incrementos consideráveis na PMS total do milheto, nas plantas adubadas a média de PMS foi de 6,20 Mg ha⁻¹, ao passo que sem adubação a média foi de 3,89 Mg ha⁻¹, evidenciando a superioridade ($p < 0,05$) do tratamento com adubação.

O maior nível de cobertura morta (4 Mg ha⁻¹), proporcionou as maiores médias de PMS (Fig. 7D), nas plantas com adubação, a PMS com 4 Mg ha⁻¹ correspondeu a 9,4 Mg ha⁻¹, o que equivale a incrementos de 57%, 47%, 46% e 20% na produtividade do milheto, em relação a ausência de cobertura, aos níveis de 0, 1, 2 e 3 Mg ha⁻¹, respectivamente. Na ausência de adubação, a maior média foi também com o nível de 4 Mg ha⁻¹, correspondente a 5,34 Mg ha⁻¹, com incrementos correspondentes a 45%, 46%, 32% e 11% em relação a ausência de cobertura, e aos níveis de 0, 1, 2 e 3 Mg ha⁻¹, respectivamente. A menor PMS de 2,87 Mg ha⁻¹ foi verificada nas plantas sem a adubação com o nível de 1 Mg ha⁻¹.

Os resultados para produção de matéria seca do presente artigo foram superiores aos verificados por Marcante et al. (2011) obtiveram média de massa seca total de 2,31 t ha⁻¹ para o genótipo BN-2. Silva et al. (2014) com a cultivar ADR 7010 constataram média de 1.176 kg ha⁻¹. Importante ressaltar que esses trabalhos foram conduzidos na região do Cerrado, em Latossolos e Argissolos, sob condições de sequeiro, quando comparados as condições em ambiente semiárido são contrastantes, principalmente, pelas condições de solos dos referidos trabalhos. O que pode reforçar ainda mais a importância da utilização da adubação orgânica e da cobertura morta em ambiente semiárido para potencializar o rendimento do milheto, mesmo que em condições edafoclimáticas intrínsecas.

Ainda, Campos et al. (2011) e Pittelkow et al. (2012) relataram incrementos de matéria seca entre 6.000 e 4.600 kg ha⁻¹, respectivamente, com a cultivar ADR 500 no período de

entressafra. No entanto, apesar dos valores observados nessa pesquisa estarem de acordo e até serem superiores a alguns trabalhos, Priesnitz et al. (2011), relataram que a cv IPA-BULK 1, cultivada num Latossolo Vermelho e colhida no estágio de maturação, apresentou uma biomassa seca de 17,6 t ha⁻¹, superior à da presente pesquisa. Além disso, Guimarães Jr. et al. (2009) constataram que em função das diferentes épocas de semeio e corte, o milho pode alcançar acúmulos de até 20.000 kg ha⁻¹ de matéria seca. A adubação orgânica com esterco bovino resulta em um ambiente propício ao crescimento do sistema radicular, favorecendo dessa forma uma maior produtividade das espécies forrageiras (BANA et al., 2016).

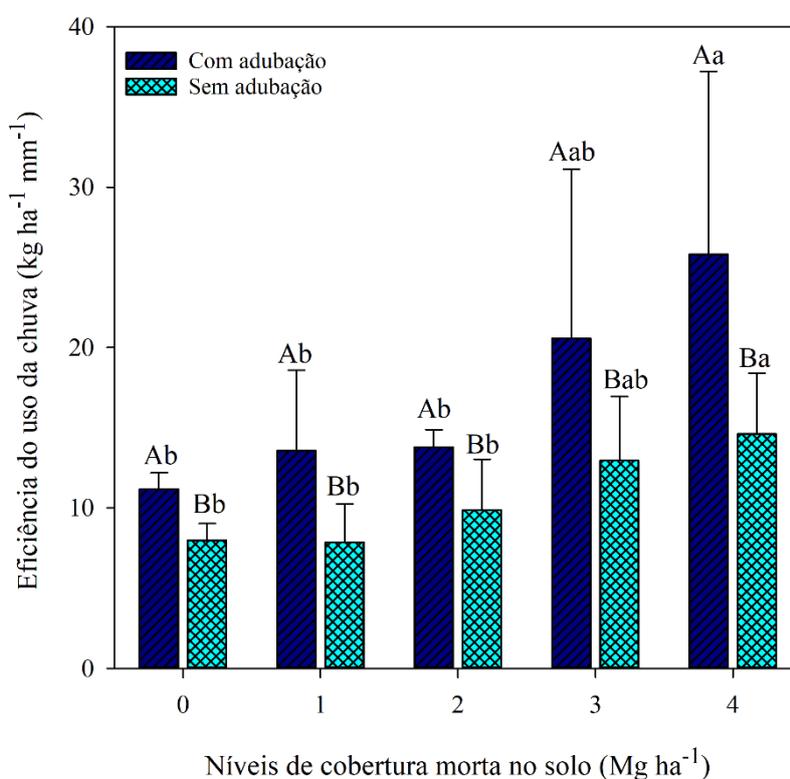


Figura 9. Eficiência do uso da chuva (EUC) do milho quando cultivado com adubação orgânica e diferentes níveis de cobertura morta no solo. Letra maiúscula compara adubação orgânica e letra minúscula os níveis de cobertura morta a ($P < 0,05$).

As plantas submetidas a adubação orgânica obtiveram ($P < 0,05$) valores para a EUC quando comparadas com ausência de adubação. Destacando o nível de 4 Mg ha⁻¹ ($P < 0,05$) com presença e ausência de adubação. Na presença e ausência de adubação orgânica e comparando também os níveis de 0, 1 e 2 Mg ha⁻¹ ambos não diferem entre si. Enquanto na densidade de 3 Mg ha⁻¹ não difere dos demais. Esse resultado ocorreu porque nessas condições a produção de

massa seca foi também influenciada pela adubação e cobertura morta, a cobertura morta atuou fornecendo mais água, considerando que durante todo o período experimental houve 28 dias sem precipitação, justificando ainda mais os benefícios da cobertura em garantir a eficiência dos processos fisiológicos do milho.

A EUC encontrada com esta pesquisa nos tratamentos que receberam adubação orgânica 25,81 kg ha⁻¹ mm⁻¹ e 14,59 kg ha⁻¹ mm⁻¹ com ausência de adubação, no entanto, ambos os valores foram verificados para o maior nível de cobertura morta. Sendo esses valores superiores as médias obtidas por Mandal et al. (2003) com resultados médios de 8,85 a 15,36 kg ha⁻¹ mm⁻¹ em plantas de sorgo, com precipitação variando de 247,4 a 351,4 mm. Outros autores como Silva et al. (2011) e Perazzo et al. (2013) encontraram valores superiores para EUC de 44,64 kg ha⁻¹ mm⁻¹ e 94,37 a 126,25 kg ha⁻¹ mm⁻¹, respectivamente.

A EUC é uma variável totalmente relevante quando se cultiva plantas em ambientes semiáridos, por ser capaz de refletir a capacidade da cultura em tolerar localidades que apresentam precipitação reduzida e distribuição irregular (PERAZZO et al. 2013).

5 CONCLUSÃO

A associação da adubação orgânica e cobertura morta no solo aumentam a eficiência de produção do milheto, por reduzir a evaporação da água no solo para a atmosfera, fazendo com que a planta assimile mais CO₂ e converta em fitomassa com precipitação pluvial reduzida.

A cobertura morta no solo deve ser utilizada como estratégia na mitigação dos efeitos do déficit hídrico em ambiente semiárido.

O nível de cobertura morta de 4 Mg ha⁻¹ armazena mais água no solo potencializando as propriedades do solo, características agronômicas e trocas gasosas: maior retenção de umidade e redução da resistência à penetração do solo; maior número de perfilhos, índice de área foliar e produção de fitomassa; maior eficiência do uso de água.

A adubação orgânica aumenta a produtividade do milheto, sendo fundamental para melhorar a resiliência da cultura.

REFERÊNCIAS

AHMAD, W. et al. Maize yield and soil properties as influenced by integrated use of organic, inorganic and bio-fertilizers in a low fertility soil. **Soil Environment**, v. 32, p. 132-139, 2013.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALMEIDA, M. C. R. et al. Crescimento vegetativo de cultivares de milho sob diferentes disponibilidades hídricas. **MAGISTRA**, v. 29, n. 2, p. 161-171, 2018.

ANGASSA, A.; OBA, G. Effects of grazing pressure, age of enclosures and seasonality on bush cover dynamics and vegetation composition in southern Ethiopia. **Journal of Arid Environments**, v. 74, n. 1, p. 111-120, 2010.

ARAÚJO JÚNIOR, G. N. et al. Estresse hídrico em plantas forrageiras: Uma revisão. **PUBVET**, v. 13, n.1, p. 1-10, 2019.

ASSIS, R. L.; DE FREITAS, R. S.; MASON, S. C. Pearl millet production practices in Brazil: A review. **Experimental Agriculture**, v. 54, n. 5, p. 699-718, 2018.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BARROS, V. et al. Plant Physiology and Biochemistry Arbuscular mycorrhizal fungi improve photosynthetic energy use efficiency and decrease foliar construction cost under recurrent water deficit in woody evergreen species. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 127, p. 469-477, 2018.

BANA, R. S. et al. Influence of organic nutrient sources and moisture management on productivity, biofortification and soil health in pearl millet (*Pennisetum glaucum*) + clusterbean (*Cyamopsis tetragonaloba*) intercropping system of semi-arid India. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 86, n. 11, p. 1,418-1,425, 2016.

BELLON, Patrícia Paula et al. Perfilhamento do milho sob doses crescentes de dejetos líquidos de suínos. **Synergismus scientifica UTFPR**, v. 4, n. 1, 2009.

CARLESSO, R. et al. Resposta do sorgo granífero a déficits hídricos aplicados durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n. 2, Apr/jun.1997.

CAMPOS, F.S.; SANTOS, E. M.; BENEDETTI, E. Rendimento forrageiro de genótipos de milho em função da adubação nitrogenada no semiárido paraibano. **Fazu em Revista**, Uberaba, v.1, n. 8, p. 177-181, 2011.

COOPER, P. J. M.; DIMES, J.; RAO, K. P. C.; SHAPIRO, B.; SHIFERA, W. B.; TROMLOW, S. Coping better with current climatic variability in the rain-fed farming systems of Sub Saharan Africa: na essential firststep in adapting to future climate change. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 126, pp. 24-35, 2008.

COSTA, R. F. et al. Agronomic characteristics of sorghum genotype and nutritional values of silage. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, n. 2, p. 127–133, 2016.

COSTA, A. C. T. et al. Desempenho do milho pérola na safrinha em espaçamentos e densidades de semeadura. **Agrarian**, v. 8, n. 27, p. 47-56, 2015.

COSTA, A. C. T. da; GERALDO, J.; PEREIRA, M.B.; PIMENTEL, C. Unidades térmicas e produtividade em genótipos de milho semeados em duas épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 40, n. 12, p. 1171-1177, dez. 2005.

CHAVES, M. M. et al. Plant Science Controlling stomatal aperture in semi-arid regions —The dilemma of saving water or being cool?. **Plant Science**, v. 251, p. 54–64, 2016.

DETMANN, E. et al. **Métodos para análise de alimentos**. Visconde do Rio Branco, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2012. 214 p.

FLUMIGNAN, D. L.; ADAMI, M.; FARIA, R. T. Área foliar de folhas íntegras e danificadas de cafeeiro determinada por dimensões foliares e imagem digital. **Coffee Science**, 3(1), 1-6, 2008.

FRASIER, I.; QUIROGA, A.; NOELLEMAYER, E. Effect of different cover crops on C and N cycling in *sorghum* NT systems. **Science of The Total Environment**, v. 562, p. 628-639, 2016.

GERALDO, José et al. Diferenças em crescimento e produção de grãos entre quatro cultivares de milho pérola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, p. 1367-1376, 2000.

GONÇALVES, E.R. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.4, p.378–386, 2010.

HEINZELLER, D. et al. **The WASCAL high-resolution regional climate simulation ensemble for West Africa: concept, dissemination and assessment**. *ESSD*, 10 (2018), pp. 815-835.

IBRAHIM, A. et al. Nutrient release dynamics from decomposing organic materials and their mulching-effect on pearl millet yields in a low-input Sahelian cropping system. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 112, n. 1, p. 45-59, 2018.

IPCC, **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA (2014)

JAYME-OLIVEIRA, A.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; RAMOS, M. L. G.; ZIVIANI, A. C.; JAKELAITIS, A. Amaranth, quinoa, and millet growth and development under different water regimes in the Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n.8, p.561-571, 2017.

JIANG, R. et al. Effects of the ridge mulched system on soil water and inorganic nitrogen distribution in the Loess Plateau of China. **Agricultural Water Management**, v. 203, p. 277-288, 2018.

KNOX, J. et al. Climate change impacts on crop productivity in Africa and South Asia. **Environmental Research Letters**, v. 7, n. 3, p. 034032, 2012. Disponível em:<<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/7/3/034032/meta>>

KOLLET, J. L.; DIOGO, J. M. S.; LEITE, G. G. Rendimento forrageiro e composição bromatológica de variedades de milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. BR.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1308-1315, 2006.

LEITE, M. L. M. V. et al. Leaf area estimate of *Pennisetum glaucum* by linear dimensions. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 41, e42808, 2019.

LI, D. et al. Effects of low nitrogen supply on relationships between photosynthesis and nitrogen status at diferente leaf position in wheat seedlings. **Plant Growth Regulation**, v. 70, n. 3, p. 257–263, 2013.

LIANG, Q. et al. Effects of 15 years of manure and inorganic fertilizer son soil organic carbono fractions in a wheat-maize system in the North China Plain. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 92, pp. 21-33, 2012.

MANDAL, D.K. et al. Water use effi ciency of sorghum (*Sorghum bicolor*) in catenary soils as infl uenced by varying rainfall. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, v.51, n.3, p.223-228, 2003.

MARCANTE, N. C.; CAMACHO, M. A.; JUNIOR, F. P. P. Teores de nutrientes no milheto como cobertura de solo. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 2, 2011.

MASHILO, J. et al. Drought tolerance of selected bottle gourd [*Lagenaria siceraria* (Molina) Standl.] landraces assessed by leaf gas exchange and photosynthetic efficiency. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 120, p. 75–87, 2017.

MOREIRA, E. D. S. et al. Características agronômicas e produtividade de milho e milheto para silagem adubados com biofertilizante suíno sob irrigação. **Boletim de Indústria Animal**, v. 72, n. 3, p. 185-192, 2015.

MOREIRA, W. H. et al. Quantificação do intervalo hídrico ótimo de um Latosso Vermelho utilizando duas estratégias metodológicas. **Revista Brasileira de Ciências Solo**, v. 38, n. 6, p.1772-1783, 2014.

NETTO, D. A. M.; DURÃES, F. O. M. **Milheto: tecnologias de produção a agronegócio**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2005. 215 p

NICOLAU SOBRINHO, W. et al. Fontes de adubação na cultura do milheto no semi-árido. **AGROPECUÁRIA CIENTÍFICA NO SEMIÁRIDO**, v. 4, n. 1, p. 48-54, 2008.

OLIVEIRA, L. B.; BARROS, R. L. N.; MAGALHÃES, W. B.; MEDICI, L. O.; PIMENTEL, C. Cowpea growth and yield in sole crop and intercropped with millet. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 1, p. 53 – 58, 2017.

OLIVEIRA, A. P. P. et al. Respostas do capim-Tifton 85 à aplicação de nitrogênio: cobertura do solo, índice de área foliar e interceptação da radiação solar. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 2010.

PEDROSO, C. E. S. et al. Características históricas sobre colarinho rotativo com diferentes períodos de descanso. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 5, p. 801-808, 2009.

PERAZZO, A. F. et al. Características agronômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido. **Ciência Rural**, v. 43, n. 10, p. 1771-1776, 2013.

PIMENTEL, C. **Funções da água**. In: A relação da planta com a água (ed. by Pimentel C), p. 48- 57. Edur, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil, 2004.

PINHO, R. M. A. et al. Avaliação de genótipos de milho para silagem no semiárido. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v.14, n.3, p.426-436, 2013.

PITTELKOW, F. K. et al. Produção de biomassa e acúmulo de nutrientes em plantas de cobertura sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 5, n. 17, p. 212- 222, 2012.

PRIESNITZ, R. et al. Espaçamento entre linhas na produtividade de biomassa e de grãos em genótipos de milho pérola. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 2, 2011.

QUEIROZ, D. S.; SANTANA, S. S.; MURÇA, T. B.; SILVA, E. A.; VIANA, M. C. M.; RUAS, J. R. M. Cultivares e épocas de semeadura de milho para produção de forragem. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 13, n. 2, p. 318-329 abr./jun., 2012.

ROSTAMZA, M. et al. Forage quality, water use and nitrogen utilization efficiencies of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) grown under different soil moisture and nitrogen levels. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 10, p. 1607–1614, 2011.

SÁ JÚNIOR, E. H. et al. Características agronômicas de capim-corrente (*Urochloa mosambicensis*) adubado com esterco suíno e submetido a duas alturas de corte. **Ciência Agrícola**, v. 16, n. 1, p. 1-9, 2018.

SANTOS JUNIOR, J. A.; SOUZA, C. F.; PEREZ-MARIN, M. CAVALCANTE, A. R.; MEDEIROS, S. S. Interação urina e efluente doméstico na produção do milho cultivado em solos do semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.5, p.456-463, 2015.

SANTOS, R. D. et al. Agronomic characteristics of forage sorghum cultivars for silage production in the lower middle San Francisco Valley. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 1, p. 13–19, 2013.

SANTOS, R. D. et al. Agronomic traits, ensilability and nutritive value of five pearl millet cultivars grown in a Brazilian semi-arid region. **The Journal of Agricultural Science**, v. 154, n. 1, p. 165-173, 2016.

SCHEFFER-BASSO, S.M.; AGRANIONIK, H.; FONTANELI, R.S. Acúmulo de biomassa e composição bromatológica de milhetos das cultivares comum e africano. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.10, n. 4, p. 483-486, 2004.

SILVA, A. G., FRANÇA, A. F. D. S., MIYAGI, E. S., DAMBROS, C. E., & LOPES, F. B. Eficiência da fertilização fosfatada e nitrogenada em cultivares de milheto. **Ciência Animal Brasileira**, v.15, n. 2, p. 119-127, 2014.

SILVA, J. R. I. **Respostas fotossintéticas e rendimento do milheto sob adubação orgânica e irrigação com água residuária**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, 80 p., 2019.

SILVA, T.C. et al. Agronomic divergence of sorghum hybrids for silage yield in the semiarid region of Paraíba. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.9, p.1886-1893, 2011.

SIMILI, F.F.; GOMIDE, C.A.M.; MOREIRA, A.L.; REIS, R.A.; LIMA, M.L.P.; PAZ, C.C.P. Resposta do híbrido de sorgo-sudão à adubação nitrogenada e potássica: características estruturais e produtivas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, n.1, p.87-94, 2010.

SINGH, P.; BOOTE, K. J.; KADIYALA, M. D. M.; NEDUMARAN, S.; BANTILAN, M. C. S.; An assessment of yield gains under climate change due to genetic modification of pearl millet. **Science of the Total Environment**, v. 601-602, p. 1226- 1237, 2017.

SATTLER, D; SELIGER, R; NEHREN, U; TORRES, F. N; SILVA, A. S; RAEDIG, C; HEINRICH, J. Pasture Degradation in South East Brazil: Status, Drivers and Options for Sustainable Land Use Under Climate Change. In: **Climate Change Adaptation in Latin America**. Springer, Cham, 2018. p. 3-17. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-56946-8_1>

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência de solo. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 15, n. 3, p. 229-235, 1991.

TAIZ L.; ZEIGER E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, p.954, 2013.

TEAM CORE R. **A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2017.

ULLAH, A.; AHMAD, A.; KHALIQ, T.; AKHTAR, J. Reconhecendo opções de produção de milheto no Paquistão sob cenários climáticos em mudança. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 16 n. 4, p. 762-773, 2017.

VARSHNEY, R.K. et al. Pearl millet genome sequence provides a resource to improve agronomic traits in arid environments. **Nature Biotechnology**, v. 35, p. 969-976, 2017.

VITAL, A. F. M.; SANTOS, D.; DOS SANTOS, R V. Características agronômicas do milheto adubado com diferentes fontes orgânicas. **Agropecuária Técnica**, v. 36, n. 1, p. 303-309, 2015.

YADAV, M.; RENGASAMY, R. S.; GUPTA, D. Characterization of Pearl Millet (*Pennisetum glaucum*) waste. **Carbohydrate polymers**, v. 212, p. 160-168, 2019.

ZARROUGH, K.M., NELSON, C.J. Regrowth of genotypes of tall fescue differing in yield per tiller. **Crop Science**, v. 20, n. 4, p. 540-544, 1980.