

MARCONDES DE SÁ SOUZA

DESEMPENHO AGRONÔMICO DO CONSÓRCIO PALMA-MILHETO COM
COBERTURA MORTA EM AMBIENTE SEMIÁRIDO

Serra Talhada – PE

2019

S
O
U
Z
A

M
S

D
E
S
E
M
P
E
N
H
O

A
G
R
O
N
Ô
M
I
C
O

2
0
1
9

MARCONDES DE SÁ SOUZA

DESEMPENHO AGRONÔMICO DO CONSÓRCIO PALMA-MILHETO COM
COBERTURA MORTA 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: Prof. D. Sc. Thieres George Freire da Silva

Coorientadores: Prof. Dr. Maurício Luiz de Mello Vieira Leite e Dr. José Nildo Tabosa

Serra Talhada – PE

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

MARCONDES DE SÁ SOUZA

DESEMPENHO AGRONÔMICO DO CONSÓRCIO PALMA-MILHETO COM
COBERTURA MORTA 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. D. Sc. Thieres George Freire da Silva – UAST/UFRPE
Orientador

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

Prof. D. Sc. Luciana Sandra Bastos de Souza – UAST/UFRPE
Examinadora Externa

Dr. Sérvulo Mercier Siqueira e Silva – IPA
Examinador Externo

Aos meus pais, Manoel Ubaldo e Mariana;

Aos meus avós, José Manoel e Terezinha (*in memoriam*), Ubaldo de Souza (*in memoriam*) e
Maria (*in memoriam*);

À minha amada noiva, Débora Taísa.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus Pai e ao meu Senhor e Salvador Jesus Cristo, pelo seu amor, bondade, graça, misericórdia e fidelidade. Por não me deixar desistir dessa jornada. Por sempre acalmar meu coração em meio à tormenta e por me ajudar a lidar com a ansiedade. Pela sabedoria concedida quando não sabia o quê nem como fazer. Por me dar a oportunidade de amadurecer em meio aos desafios e dificuldades encontrados, afinal, não existe vencedor se não lutar as suas guerras. Louvado seja Deus!

Aos meus pais, Manoel e Mariana, pela educação que me deram, a qual não se alcança em nenhuma instituição acadêmica, e também jamais poderá ser substituída por quaisquer títulos e diplomas conquistados. Por sempre acreditarem em mim, mesmo quando eu não acreditava. Por todo o amor e carinho que só se encontra no aconchego familiar (a base da sociedade). Vocês são meu maior patrimônio.

Ao meu avô materno, José Manoel, por toda a presteza e disponibilidade em ajudar no que é preciso.

Às minhas irmãs, Michele e Micaely, pelo amor e companheirismo. Por saber que sempre posso contar com vocês.

À minha querida noiva, Débora Taísa. Você foi quem mais acompanhou de perto essa jornada. Você viu meus sorrisos e lágrimas; contemplou minhas tristezas e alegrias. E eu louvo a Deus pela sua vida e, principalmente, por ter colocado você no meu caminho. Eu quero continuar compartilhando com você os meus melhores momentos. Quero poder olhar pra trás e ver que aonde cheguei, e o que construí, foi ao seu lado. Pessoas são mais importantes do que coisas. Nada disso faria sentido sem você. Eu lhe amo muito!

Ao meu sobrinho, Davi Gabriel, por ter aparecido como um presente de Deus para alegrar ainda mais os nossos dias. Nome de rei e de anjo. Não poderia definir melhor sua personalidade.

Ao meu orientador, Prof. Thieres, pela amizade e profissionalismo nos momentos certos. Pela conversa que tivemos no início do mestrado, pois ela foi imprescindível para todo o resto do curso. Obrigado por me inspirar e me encorajar, com palavras e atitudes, a ser uma pessoa, bem como um profissional melhor.

Aos meus coorientadores, Prof. Maurício Leite e Dr. Tabosa, por todo o apoio profissional prestado durante o mestrado.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, especialmente, à Unidade Acadêmica de Serra Talhada, por ter sido minha casa durante sete anos (cinco anos de graduação em Agronomia e dois anos de mestrado), e por toda infraestrutura disponibilizada para realização do experimento.

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, na pessoa do Prof. Sérgio (coordenador), o qual comporta os melhores profissionais da casa, pela oportunidade de cursar esse mestrado. Aproveitando o ensejo, agradeço também a todos os professores do Programa, em especial, aos seguintes: Vicente, Maurício, Adriano, Kelem, Rodolfo, André, Guilherme e Alexandre.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa. E também à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (Facepe) pelo apoio financeiro à nossa pesquisa.

À Embrapa Semiárido em Petrolina – PE, pelas análises químico-bromatológicas e pelas análises físico-químicas de solo.

Ao Grupo de Agrometeorologia no Semiárido (GAS), por todo o apoio na instalação e manutenção do experimento, e pela destreza na coleta dos dados em campo e em laboratório. Sem vocês nada disso seria possível. Aos graduandos: Gabriel, Renan, Luiz Fernando, Jandis, Kaique, Leonardo, Orlando, João Pedro (Pêu), Glícia, Rayles, Madalena, Abigail e Arelli. Aos mestrandos: Marcelo, Hygor, Cléber e Mery. Aos doutorandos: Alexandre, George, Carlos André, Gebson e Zé Neto. Aos pós-doutorandos: Allan, Thalyta e Gabi. Enfim, o melhor grupo de pesquisa da Uast. Vocês são demais!

Ao grande amigo, Alexandre Jardim. Posso sim considerá-lo como um dos meus orientadores. Você foi essencial na realização desse trabalho. Obrigado pela paciência para ensinar muitas coisas e por sempre se mostrar disponível para ajudar. Com certeza você é uma inspiração para todos nós. Quando crescer, quero ser que nem você!

A todos os estudantes e egressos do PGPV, pela amizade e momentos de descontração, representados aqui por Cinara, Neto, Raliuson, Cidinha, Thialla, Marcela, Nielson, João Paulo, Denizard, Luana, Franquille, Cléa, Mirna, Renilson, Ana Maria,

Janaína, Yuri, Jordão, Baltazar, Danielle, Yara, Karlla, Andrea, Naiara e Elisângela. Especialmente aos amigos de turma, Laamon e Lypson.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Sérvulo, Prof^a. Luciana e Prof. Alexandre, por terem aceitado o convite e pelas relevantes contribuições para melhoria do nosso trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, deram a sua parcela de contribuição para a realização desse trabalho.

Grato!

Que Deus maravilhoso nós temos! Como é profunda a riqueza da sabedoria e do conhecimento de Deus! Como é impossível a nós compreendermos suas decisões e seus caminhos!

“Quem dentre nós conheceu a mente do Senhor? Quem é que sabe o suficiente para ser seu conselheiro?”

“E quem já deu alguma coisa a Deus para que Ele pudesse recompensá-lo?”
Todas as coisas vêm única e exclusivamente dEle, por Ele e para Ele. A Ele seja a glória para todo o sempre. Amém.

(Romanos 11. 33-36)

RESUMO GERAL

A escassez hídrica, as mudanças climáticas e a baixa disponibilidade de forragem da Caatinga, são alguns dos principais problemas enfrentados pelos produtores rurais do Semiárido brasileiro. Diante disso, a utilização de plantas forrageiras adaptadas (e.g. palma forrageira e milheto), a consorciação entre culturas, a irrigação e o uso de cobertura morta podem ser consideradas como práticas de resiliência agrícola. No entanto, ainda são incipientes as pesquisas que relatam sobre o consórcio da palma forrageira com o milheto, utilizando cobertura morta neste tipo de ambiente. Por isso, os objetivos desta pesquisa são: (a) trazer uma revisão sobre algumas práticas de resiliência agrícola que visam incrementar a produção de forragem no Semiárido brasileiro, tais como, plantas adaptadas, irrigação, consórcio e cobertura morta; (b) verificar o rendimento, qualidade, competição e benefício econômico do consórcio palma-milheto com cobertura morta; e (c) analisar o crescimento, morfologia, fenologia e momento de corte da palma forrageira sob consórcio com o milheto, utilizando cobertura morta. O experimento foi realizado no município de Serra Talhada – PE, entre janeiro de 2017 a junho de 2018, o qual foi irrigado por gotejamento com base em 120% da evapotranspiração da cultura (ET_c) da palma forrageira. O delineamento foi em blocos casualizados, com quatro repetições e seis tratamentos [palma exclusiva (P), milheto exclusivo (M) e consórcio palma-milheto (P/M), com e sem cobertura morta]. O consórcio reduziu o rendimento do milheto, todavia, o somatório dos rendimentos de forragem (palma + milheto) foi satisfatório. A cobertura morta não influenciou nos rendimentos da palma forrageira, no entanto, contribuiu para o incremento de matéria fresca e seca do milheto exclusivo. A composição químico-bromatológica da palma forrageira manteve-se em níveis adequados para ruminantes, independentemente das práticas de cultivo. Os índices de eficiência biológica (UET, RAET, CET e IPS) comprovaram que o consórcio palma-milheto é sustentável e viável para ambientes semiáridos. O consórcio trouxe um retorno econômico de 8404,00 R\$ ha⁻¹, conforme demonstrou o IVM. Os parâmetros de habilidade competitiva (A, RC e PGAR) demonstraram que a palma forrageira exerceu forte dominância sobre a cultura do milheto. As características biométricas da palma não sofreram alterações relevantes quando submetida ao consórcio e à cobertura morta. No entanto, quando cultivada de forma exclusiva, utilizando cobertura morta, obteve os melhores resultados de TCA, TCR e TAL. A consorciação promoveu uma redução de 45% na Fase 2 e, conseqüentemente, uma antecipação da Fase 3, porém, sem causar reduções no seu rendimento. Os cladódios

secundários mostraram-se mais significativos no acúmulo de matéria seca. O momento de corte da palma forrageira se deu entre 2.300 e 2.400 °Cdia, sem influência considerável dos sistemas.

Palavras-chave: *Opuntia stricta*, *Pennisetum glaucum*, resiliência agrícola.

GENERAL ABSTRACT

Water scarcity, climate change and the low availability of Caatinga fodder are some of the main problems faced by rural producers in the Brazilian semi-arid region. Thus, the use of adapted forage plants (e.g., forage cactus and millet), intercropping, irrigation, and mulching can be considered as agricultural resilience practices. However, there is still incipient research that reports on the intercropping of forage cactus with millet, using mulch in this type of environment. Therefore, the objectives of this research are: (a) to provide a review of some agricultural resilience practices aimed at increasing forage production in the Brazilian semi-arid region, such as adapted plants, irrigation, intercropping and mulching; (b) to verify the yield, quality, competition and economic benefit of the cactus-millet intercropping with mulch; and (c) to analyze the growth, morphology, phenology and cutting time of forage cactus under a intercropping with millet using mulch. The experiment was carried out in the municipality of Serra Talhada - PE, between January 2017 and June 2018, which was irrigated by drip irrigation based on 120% of crop evapotranspiration (ET_c) of forage cactus. The experimental design was a randomized complete block design, with four replications and six treatments (exclusive cactus (P), exclusive millet (M) and cactus-millet intercropping (P/M), with and without mulch). The intercropping reduced the yield of millet, however, the sum of forage yields (cactus + millet) was satisfactory. The mulch did not influence the yield of the forage cactus, however, it contributed to the increase of fresh and dry matter of the exclusive millet. The chemical-bromatological composition of forage cactus has remained at levels suitable for ruminants, regardless of cultivation practices. The biological efficiency indexes (UET, RAET, CET and IPS) proved that the cactus-millet intercropping is sustainable and feasible for semi-arid environments. The intercropping brought an economic return of 8404.00 R\$ ha⁻¹, as demonstrated by the IVM. The parameters of competitive ability (A, RC and PGAR) showed that the forage cactus exerted a strong dominance on the millet culture. The biometric characteristics of the cactus did not change significantly when submitted to the intercropping and mulching. However, when cultivated exclusively using mulch, it obtained the best results for TCA, TCR and TAL. The intercropping promoted a reduction of 45% in Phase 2 and, consequently, an anticipation of Phase 3, however, without causing reductions in its income. The secondary cladodes were more significant in the accumulation of dry matter. The cutting time of the forage palm occurred between 2,300 and 2,400 °C day, without considerable influence of the systems.

Keywords: *Opuntia stricta*, *Pennisetum glaucum*, agricultural resilience.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1. Requerimento hídrico do milho em relação com outras culturas.....31

Figura 2. Cultura do milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. BR. Cultivar BRS1502).....32

Figura 3. Princípios e benefícios da cobertura do solo.....39

CAPÍTULO 2

Fig. 1. Evapotranspiração de referência (ET_0), precipitação pluvial (P) e irrigação (I) no período de julho de 2016 a junho de 2018 em Serra Talhada, PE, Brasil. A linha tracejada vertical corresponde ao início dos tratamentos.....58

Fig. 2. Rendimento do milho em sistema exclusivo (M) e consorciado (M/P), sem e com cobertura morta. Cada período refere-se a um ciclo da cultura, sendo que, os primeiros três ciclos correspondem a uma semeadura e duas rebrotas, igualmente para os três últimos ciclos. Letras iguais no ciclo não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade. Desvio padrão aparece acima das barras.....60

CAPÍTULO 3

Fig. 1. Evapotranspiração de referência (ET_0), precipitação pluvial (P) e irrigação (I) no período de julho de 2016 a junho de 2018 em Serra Talhada, PE, Brasil. A linha tracejada vertical corresponde ao início dos tratamentos.....75

Fig. 2. Índices morfofisiológicos da palma forrageira cultivada de forma exclusiva (P) e em consórcio com milho (P/M), sem e com cobertura morta, em função dos graus dias acumulados. A linha tracejada vertical corresponde ao início dos tratamentos.....82

Fig. 3. Fases fenológicas e momento de corte da palma exclusiva sem cobertura (A), palma exclusiva com cobertura (B), palma consorciada sem cobertura (C) e, palma consorciada com cobertura (D), em função dos graus dias acumulados (GDA, °Cdia).....84

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Propriedades físicas e químicas de Cambissolo Háplico em Serra Talhada, PE, Brasil.....52

Tabela 2. Rendimento (Mg ha^{-1}) de matéria fresca de palma (MFp), milho (MFm) e total (MFt), rendimento de matéria seca de palma (MSp), milho (MSm) e total (MSt), e conteúdo de matéria seca (Mg Mg^{-1}) de palma (CMSp), milho (CMSm) e total (CMSt) em cultivo de palma forrageira exclusiva (P), milho exclusivo (M) e consórcio palma-milho (P/M), com e sem cobertura morta.....59

Tabela 3. Matéria seca definitiva (MSd, %), fibra em detergente neutro (FDN, %), fibra em detergente ácido (FDA, %), proteína bruta (PB, %), matéria mineral (MM, %), extrato etéreo (EE, %), carboidratos totais (CHO, %) e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS, %) de palma forrageira em sistema exclusivo (P) e consorciado com milho (P/M), sem e com cobertura morta.....61

Tabela 4. Uso eficiente da terra (UET), razão de área equivalente no tempo (RAET), coeficiente equivalente de terra (CET), índice de produtividade do sistema (IPS) e índice de vantagem monetária (IVM) do consórcio palma-milho (P/M) sem e com cobertura morta.....62

Tabela 5. Coeficiente de adensamento relativo (CAR), agressividade (A), perda ou ganho atual de rendimento (PGAR) e razão de competitividade (RC) do consórcio palma-milho (P/M) sem e com cobertura morta.....62

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Propriedades físico-químicas do solo da área experimental na camada de 0-0,20 m de profundidade.....76

Tabela 2. Variáveis biométricas e de biomassa da palma forrageira em sistemas exclusivo (P) e consorciado (P/M) com o milho, sem (s) e com (c) cobertura morta.....	80
--	----

SUMÁRIO

Capítulo 1 – Práticas para melhoria da resiliência agrícola da produção de forragem em ambiente semiárido: uma revisão	23
1. Introdução	25
2. Disponibilidade de forragem no Semiárido brasileiro (SAB)	26
3. Resiliência agrícola	28
4. Espécies adaptadas ao SAB: palma forrageira e milheto	29
5. Irrigação em plantas forrageiras	33
5.1. <i>Irrigação com água salina</i>	34
6. Consórcios	35
7. Cobertura morta	38
8. Considerações finais	41
Referências	41
Capítulo 2 – Rendimento e qualidade de forragem, competição e benefício econômico do consórcio palma-milheto com cobertura morta	48
1. Introdução	50
2. Material e métodos	51
2.1. <i>Local do experimento</i>	51
2.2. <i>Manejo das culturas e delineamento experimental</i>	52
2.3. <i>Rendimento de forragem</i>	54
2.4. <i>Qualidade de forragem da palma</i>	54
2.5. <i>Eficiência biológica, habilidade competitiva e benefício econômico</i>	55
2.5.1. <i>Índices de eficiência biológica</i>	55
2.5.2. <i>Índices de habilidade competitiva</i>	56
2.5.3. <i>Benefício econômico</i>	57
2.6. <i>Análise estatística</i>	57
3. Resultados	57
3.1. <i>Variáveis ambientais</i>	57
3.2. <i>Rendimento de forragem</i>	58
3.3. <i>Composição químico-bromatológica da palma forrageira</i>	60
3.4. <i>Índices de concorrência e benefício econômico</i>	61
4. Discussão	63
4.1. <i>Rendimento de forragem</i>	63

4.2. <i>Qualidade de forragem da palma</i>	64
4.3. <i>Índices de concorrência e benefício econômico</i>	66
5. Conclusão	67
Referências	68
Capítulo 3 – Crescimento, fenologia e momento de corte da palma forrageira sob práticas de melhoria da resiliência agrícola	73
1. Introdução	75
2. Material e métodos	76
2.1. <i>Caracterização do local</i>	76
2.2. <i>Implantação e delineamento experimental</i>	77
2.3. <i>Variáveis biométricas</i>	78
2.4. <i>Índices morfofisiológicos</i>	79
2.5. <i>Fenofases e momento de corte da palma forrageira</i>	80
2.6. <i>Análise estatística</i>	80
3. Resultados	81
3.1. <i>Variáveis biométricas e de biomassa da palma forrageira</i>	81
3.2. <i>Índices morfofisiológicos</i>	82
3.3. <i>Fases fenológicas e momento de corte</i>	84
4. Discussão	86
4.1. <i>Variáveis biométricas e de biomassa</i>	86
4.2. <i>Índices morfofisiológicos</i>	87
4.3. <i>Fases fenológicas e momento de corte</i>	88
5. Conclusão	90
Referências	90

APRESENTAÇÃO

Na região semiárida brasileira, localizada predominantemente no Nordeste, uma das atividades econômicas mais difundidas é a agropecuária, cuja produção animal está baseada no fornecimento de plantas forrageiras nativas e cultivadas. Todavia, esta atividade vem sendo bastante afetada por eventos extremos de seca e calor nos últimos anos, acarretando em grandes prejuízos econômicos e sociais. Os eventos extremos de seca na região Nordeste do Brasil tendem a aumentar, tanto em frequência como em intensidade, devido principalmente, às mudanças climáticas ocorrentes em todo o planeta, bem como às ações antrópicas.

Frente a este cenário e as características intrínsecas do Semiárido brasileiro, como a irregularidade na distribuição das chuvas, tanto no espaço quanto no tempo, a sua vegetação natural (caatinga) torna-se insuficiente para o suprimento alimentar dos rebanhos durante os longos períodos de estiagem. Por isso, é imprescindível a adoção de culturas forrageiras que apresentem boa adaptabilidade às condições adversas, e que garantam a segurança alimentar dos animais no período crítico.

A palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) apresenta-se como uma ótima alternativa para a alimentação animal em ambientes áridos e semiáridos, devido às suas características morfofisiológicas de alta adaptabilidade. É uma planta que possui o metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), com alta capacidade de armazenamento de água e alta eficiência na utilização desta, além de ser rica em energia e minerais. O milheto (*Pennisetum glaucum*), por sua vez, também surge como uma boa alternativa para incrementar a produção de forragem, tendo em vista ser uma espécie de metabolismo C4, medianamente tolerante a salinidade, bem como ao estresse hídrico e às altas temperaturas, características comuns em regiões áridas e semiáridas. Também possui boa produção de biomassa e valor nutritivo. Apesar da palma forrageira apresentar diversas qualidades, é uma cultura pobre em fibra, característica essa presente na cultura do milheto. Diante desse fato, a prática do consórcio entre estas culturas apresenta grande potencial de exploração.

A utilização de eventos de irrigação, com uso mínimo e regular de água em cultivos de palma, tem demonstrado ser uma prática bastante promissora, pois esta espécie, apesar de apresentar alta tolerância ao déficit hídrico, tem mostrado boas respostas à aplicação de água. Porém, a escassez deste recurso tem sido o principal problema em regiões semiáridas, agregando-se a isso concentrações crescentes de sais nos mananciais superficiais e subterrâneos.

Muitos trabalhos têm evidenciado que a utilização de cobertura morta em sistemas produtivos tem reduzido a necessidade de aplicação de água via irrigação, em virtude da redução da evapotranspiração das culturas, redução da temperatura e da amplitude térmica do solo, proporcionando o aumento no rendimento das culturas agrícolas. No entanto, ainda são escassos na literatura os trabalhos que relacionam a utilização e os benefícios da cobertura morta e do consórcio em cultivos de palma forrageira irrigada.

Capítulo 1 – Práticas para melhoria da resiliência agrícola da produção de forragem em ambiente semiárido: uma revisão

RESUMO

A escassez hídrica, as mudanças climáticas e a baixa disponibilidade de forragem da Caatinga, são alguns dos principais problemas enfrentados pelos produtores rurais do Semiárido brasileiro. Diante disso, diversas pesquisas têm evidenciado que a utilização de plantas forrageiras adaptadas a esse tipo de ambiente é imprescindível para melhoria da produção de alimentos para ruminantes. Dentre essas, destaca-se a palma forrageira, a qual é rica em água, energia e minerais e altamente tolerante ao déficit hídrico. O milheto, por sua vez, apresenta melhores características nutricionais e é um vegetal mais fibroso, podendo ser associado à palma na dieta dos rebanhos. Esta associação pode ser feita através do consórcio, prática esta que permite o cultivo simultâneo de duas espécies ou mais na mesma área, visando a utilização mais eficiente dos recursos naturais disponíveis. Como o principal problema do Semiárido brasileiro é a falta de água para irrigação adequada, o uso de cobertura morta também pode ser considerado uma prática de resiliência agrícola que contribui diretamente na conservação da umidade do solo, na diminuição da amplitude térmica do solo, podendo proporcionar melhores rendimentos as culturas agrícolas. No caso de cobertura morta proveniente de resíduos vegetais, à medida que esta se decompõe, também contribui para melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do meio edáfico.

Palavras chave: cobertura morta, consórcio, milheto, palma forrageira.

34
35 ABSTRACT
36

37 Water scarcity, climate change and the low availability of Caatinga fodder are some of the
38 main problems faced by rural producers in the Brazilian semi-arid region. Therefore, several
39 studies have shown that the use of forage plants adapted to this type of environment is
40 essential to improve the production of food for ruminants. Among these, the forage cactus
41 stands out, which is rich in water, energy and minerals and highly tolerant to the water deficit.
42 Millet, on the other hand, presents better nutritional characteristics and is a more fibrous
43 vegetable, being able to be associated with the cactus in the diet of the herds. This association
44 can be done through the intercropping, a practice that allows the simultaneous cultivation of
45 two or more species in the same area, aiming at the most efficient use of available natural
46 resources. As the main problem of the Brazilian semi-arid is the lack of water for adequate
47 irrigation, the use of mulch can also be considered an agricultural resilience practice that
48 directly contributes to the conservation of soil moisture, the reduction of soil thermal
49 amplitude, and can provide crops. In the case of mulching from vegetable waste, as it
50 decomposes, it also contributes to the improvement of the chemical, physical and biological
51 properties of the edaphic environment.

52
53 *Key words:* mulching, intercropping, millet, forage cactus.
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66

1. Introdução

Na região semiárida brasileira, localizada predominantemente no Nordeste, uma das atividades econômicas mais difundidas é a agropecuária, cuja produção animal está baseada no fornecimento de plantas forrageiras nativas e cultivadas (FERREIRA et al., 2009). Todavia, esta atividade vem sendo bastante afetada por eventos extremos de seca e calor nos últimos anos, acarretando em grandes prejuízos econômicos e sociais. Só no período de 2012/2013, cerca de 1.300 municípios e 10 milhões de pessoas em todo o Brasil foram atingidos pela seca; em termos econômicos, houve um prejuízo de aproximadamente US\$ 1,5 bilhão devido à mortalidade dos rebanhos bovinos (CUNHA et al., 2015). Estima-se que os eventos extremos de seca na região Nordeste do Brasil tendem a aumentar, tanto em frequência como em intensidade, devido principalmente, às mudanças climáticas ocorrentes em todo o planeta, bem como às ações antrópicas (GUTIÉRREZ et al., 2014).

Frente a este cenário e as características intrínsecas do Semiárido brasileiro, como a irregularidade na distribuição das chuvas, tanto no espaço quanto no tempo, a sua vegetação natural (caatinga) torna-se insuficiente para o suprimento alimentar dos rebanhos durante os longos períodos de estiagem (FERREIRA et al., 2009). Por isso, é imprescindível a adoção de culturas forrageiras que apresentem boa adaptabilidade às condições adversas, e que garantam a segurança alimentar dos animais no período crítico.

A palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) apresenta-se como uma ótima alternativa para a alimentação animal em ambientes áridos e semiáridos, devido às suas características morfofisiológicas de alta adaptabilidade. É uma planta que possui o metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), com alta capacidade de armazenamento de água e alta eficiência na utilização desta, além de ser rica em energia e minerais (SCALISI et al., 2016). O milheto (*Pennisetum glaucum*), por sua vez, também surge como uma boa alternativa para incrementar a produção de forragem, tendo em vista ser uma espécie de metabolismo C4, medianamente tolerante a salinidade, bem como ao estresse hídrico e às altas temperaturas (NELSON et al., 2018), características comuns em regiões áridas e semiáridas. Também possui boa produção de biomassa e valor nutritivo (SANTOS et al., 2017b). Apesar da palma forrageira apresentar diversas qualidades, é uma cultura pobre em fibra (BEN SALEM; SMITH, 2008), característica essa presente na cultura do milheto. Diante desse fato, a prática do consórcio entre estas culturas apresenta grande potencial de exploração.

A utilização de eventos de irrigação, com uso mínimo e regular de água em cultivos de palma, tem demonstrado ser uma prática bastante promissora, pois esta espécie, apesar de apresentar alta tolerância ao déficit hídrico, tem mostrado boas respostas à aplicação de água (QUEIROZ et al., 2015). Porém, a escassez deste recurso tem sido o principal problema em regiões semiáridas, agregando-se a isso concentrações crescentes de sais nos mananciais superficiais e subterrâneos.

Muitos trabalhos têm evidenciado que a utilização de cobertura morta em sistemas produtivos tem reduzido a necessidade de aplicação de água via irrigação, em virtude da redução da evapotranspiração das culturas, redução da temperatura e da amplitude térmica do solo, proporcionando o aumento no rendimento das culturas agrícolas (MURGA-ORRILLO et al., 2016; YIN et al., 2017). No entanto, ainda são escassos na literatura os trabalhos que relacionam a utilização e os benefícios da cobertura morta e do consórcio em cultivos de palma forrageira irrigada (CARVALHO et al., 2017).

2. Disponibilidade de forragem no Semiárido brasileiro (SAB)

A região semiárida brasileira ocupa uma área superior a 1,03 milhão de km², onde vivem mais de 25 milhões de pessoas, abrangendo atualmente 1.262 municípios, principalmente no Nordeste do país (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2017; SUDENE, 2017).

Esta região é caracterizada por apresentar altas temperaturas do ar, baixa umidade relativa do ar, elevada insolação e principalmente, distribuição espaço-temporal irregular das precipitações pluviométricas, onde se tem um período chuvoso mais curto do que o período seco, concentrado nos meses de verão, em geral, com regime pluviométrico entre 250 e 600 mm, podendo chegar até 800 mm anuais a depender do local (FERREIRA et al., 2009). Além disso, o Semiárido brasileiro vem enfrentando nos últimos anos grandes flutuações de chuvas associadas à alta evapotranspiração potencial, ou demanda atmosférica (SILVA et al., 2017). Esses fatores em conjunto com as mudanças climáticas recorrentes em todo o planeta são responsáveis pelo avanço de eventos extremos de seca e calor.

A seca ocorrida nos últimos anos (2011 a 2016) foi considerada a mais severa das últimas décadas no Nordeste brasileiro, além do mais, a previsão é de que nessa região, os eventos extremos de seca tenderão a aumentar tanto em frequência quanto em intensidade (GUTIÉRREZ et al., 2014). Segundo Cirilo (2008) estima-se que haverá redução de 10 a 20%

da precipitação pluvial, e aumento de 2 a 4 °C na temperatura do ar, tendendo a aridização da região e substituição por vegetações típicas de regiões áridas.

A seca que se intensificou em 2012 no Nordeste brasileiro estava diretamente relacionada ao aquecimento anormal do norte do oceano Atlântico tropical, o qual foi responsável pelo deslocamento ao norte da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), fazendo com que houvesse menos chuvas nessa região. No entanto, o evento de La Nina, ocorrido em 2013, não foi suficiente para equiponderar a seca dos anos anteriores; além disso, em 2015 a seca aumentou por causa do El Niño (MARENGO et al., 2017). Em estudo feito por Alvalá et al. (2017), foi constatado que, no período de 2015 a 2016, cerca de 50% da área de 923 municípios foi atingida pela seca, principalmente nos estados da Bahia e Ceará; ainda, subiu para 53 milhões de hectares a área total impactada pela seca no Nordeste.

Esses eventos extremos de seca têm causado graves prejuízos sociais e econômicos, pois a escassez de água tem aumentado a vulnerabilidade da população mais pobre às mudanças climáticas, as quais podem causar sérias consequências ao bem-estar a curto e longo prazo, uma vez que a escassez hídrica tem reduzido tanto a produção agrícola como o consumo de nutrientes, apresentando reflexos diretos na saúde humana (ROCHA; SOARES, 2015). Outras consequências acarretadas pela seca são a fome, a desnutrição, a miséria e o êxodo rural, pois a segurança alimentar e os meios de subsistência de muitos agricultores encontram-se expostos às intempéries climáticas (CUNHA et al., 2015).

Diante desta séria realidade, a atividade pecuária do Semiárido brasileiro tem sido fortemente afetada, sendo caracterizada pelo baixo desempenho produtivo, em função, principalmente, da grande estacionalidade da produção forrageira, uma vez que a mesma concentra-se no período chuvoso em condições de sequeiro (DUBEUX JÚNIOR et al., 2010; SILVA et al., 2014). A alimentação dos rebanhos quer sejam bovinos, caprinos ou ovinos, está baseada principalmente no uso de plantas forrageiras cultivadas, como também no uso de forrageiras disponíveis na Caatinga, a qual possui inúmeras espécies forrageiras em seus estratos herbáceo, arbustivo e arbóreo. Ainda, 70% das espécies vegetais conhecidas da Caatinga tem participação direta na composição alimentar dos rebanhos; as dicotiledôneas herbáceas e as gramíneas representam mais de 80% da alimentação de ruminantes na época chuvosa, entretanto, essas plantas tornam-se insuficientes para atender a demanda alimentar desses animais na época seca (FERREIRA et al., 2009).

Na Caatinga, sua massa de forragem pode variar bastante, principalmente devido ao tipo de vegetação predominante, chuvas e método de pastejo. Além disso, em termos

qualitativos, várias espécies vegetais da Caatinga podem até possuir elevado teor de proteína bruta, entretanto sua digestibilidade é baixíssima, uma vez que o N pode estar ligado fortemente às fibras (SANTOS et al., 2010). Estudando o potencial nutritivo de seis plantas forrageiras encontradas na Caatinga, Santos et al. (2017a) verificaram que as espécies *Bauhinia cheilantha*, *Mimosa caesapiniifolia*, *Leucaena leucocephala* e *Gliricidia sepium* mostraram elevado teor de proteína ligada à FDN, sendo que as duas primeiras tiveram seus altos teores de proteínas ligados à FDA, o que representa indisponibilidade da proteína bruta presente na forragem. Em outro estudo, Nunes et al. (2016) estudando fatores antinutricionais em 30 espécies forrageiras encontradas no Semiárido brasileiro, verificaram que 90% das plantas apresentaram baixos teores de tanino e lignina, mostrando-se aptas para utilização na dieta de ruminantes.

A queda na produção de ruminantes durante o período de estiagem em regiões tropicais e subtropicais se deve, além dos problemas de ordem quantitativa, à disponibilização de forragem de baixa qualidade, a qual possui alta lignificação, baixo teor de nitrogênio e baixa digestibilidade, resultando também no aumento das emissões de metano por parte dos ruminantes (SANTOS et al., 2017a). Outros fatores que estão diretamente relacionados à vulnerabilidade da pecuária em regiões semiáridas é o fato de que os pequenos produtores rurais têm seus sistemas produtivos sob condições dependentes da natureza, além de possuírem baixos recursos tecnológicos, utilizando-se de cultivares com baixa produtividade, as quais não apresentam tolerância a pragas e doenças, bem como ao déficit hídrico; e muitos dos produtores de baixa renda ainda enfrentam restrições ao crédito (MARTINS et al., 2018).

3. Resiliência agrícola

O conceito original de resiliência vem da física, o qual foi primeiramente utilizado pela engenharia, e se refere à habilidade de determinado material sofrer tensão e retornar ao seu estado normal, suspendendo o “estado de risco” (SENTELHAS; MONTEIRO, 2009).

No contexto agropecuário, indica a capacidade dos sistemas agrícolas resistirem a adversidades inesperadas e severas na forma de extremos climáticos (seca prolongada), pragas e doenças, flutuações de mercado e custos de insumos externos, uma vez que esta resiliência dependerá da intensidade da produção (MAVI; TUPPER, 2004).

Sob a ótica agrometeorológica, a resiliência agrícola está diretamente relacionada à adoção de estratégias que visam atenuar os efeitos adversos do clima sobre as culturas,

podendo-se citar secas, geadas, temperaturas elevadas, ventos fortes, etc. O conhecimento sobre os efeitos do tempo e do clima sobre as espécies agrícolas é imprescindível para a definição das melhores técnicas de ação (SENTELHAS; MONTEIRO, 2009).

Diante disso, dentre as várias estratégias mais utilizadas, pode-se citar as seguintes: diversificação de culturas; escolha de espécies, cultivares ou variedades adaptadas; densidade populacional adequada; correção de deficiências nutricionais, bem como manejo integrado de pragas e doenças; utilização da irrigação (redução do estresse hídrico e favorecimento da estabilização da produção agrícola) e; uso de cobertura no solo (SENTELHAS; MONTEIRO, 2009).

4. Espécies adaptadas ao SAB: palma forrageira e milheto

A baixa disponibilidade hídrica em ambientes áridos e semiáridos, e principalmente nas estações secas, comprometendo a oferta de forragem, tem sido a principal barreira para o aumento da produtividade animal (GUSHA et al., 2015). Frente a isso, faz-se necessária a utilização de espécies forrageiras adaptadas a essas condições a fim de garantir a segurança alimentar dos rebanhos. Dentre essas espécies merece destaque a palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*), que devido ao seu valor energético, elevado coeficiente de digestibilidade e grande adaptabilidade às condições climáticas, tornou-se a base alimentar dos rebanhos no Semiárido brasileiro (VILELA et al., 2010). Em longos períodos de estiagem, além de fornecer nutrientes, é utilizada como fonte de água para os animais (COSTA et al., 2012; FALCÃO et al., 2013).

Esta planta originária do México pertence à família Cactaceae que, por sua vez, foi introduzida no Brasil no século XIX, a qual apresenta uma grande adaptabilidade às condições ecológicas de regiões semiáridas (FALCÃO et al., 2013). Também é encontrada na bacia do Mediterrâneo e nas regiões semiáridas da América do Norte, América do Sul e do continente africano (CONSOLI; INGLESE; INGLESE, 2013).

A palma forrageira é uma planta que apresenta alta eficiência do uso da água devido ao seu metabolismo fotossintético CAM (metabolismo ácido das crassuláceas), chegando a produzir de quatro a cinco vezes mais matéria seca para cada milímetro de precipitação, quando comparada a outras espécies (GUSHA et al., 2015), conferindo-lhe também uma elevada capacidade de armazenamento de água (SCALISI et al., 2016).

O mecanismo CAM permite às plantas abrirem seus estômatos nas noites frias, fechando-os no período diurno. Esse comportamento é responsável pela minimização da perda de água por transpiração e pela captura de CO₂ atmosférico no período noturno. À noite, a fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPCase) no citosol catalisa a formação de oxalacetato a partir de fosfoenolpiruvato e CO₂ atmosférico, o qual é reduzido a malato e estocado nos vacúolos (ácido málico). Ao amanhecer, quando os estômatos se fecham evitando a perda de água e a entrada de CO₂, o malato é transportado para os cloroplastos e descarboxilado pela enzima NADP-málica, e o CO₂ liberado é fixado pelo ciclo de Calvin-Benson, enquanto que o ácido C₃, resultante da descarboxilação, é convertido em trioses fosfato e, posteriormente, em amido ou sacarose (SCALISI et al., 2016; BUCHANAN; WOLOSUK, 2017).

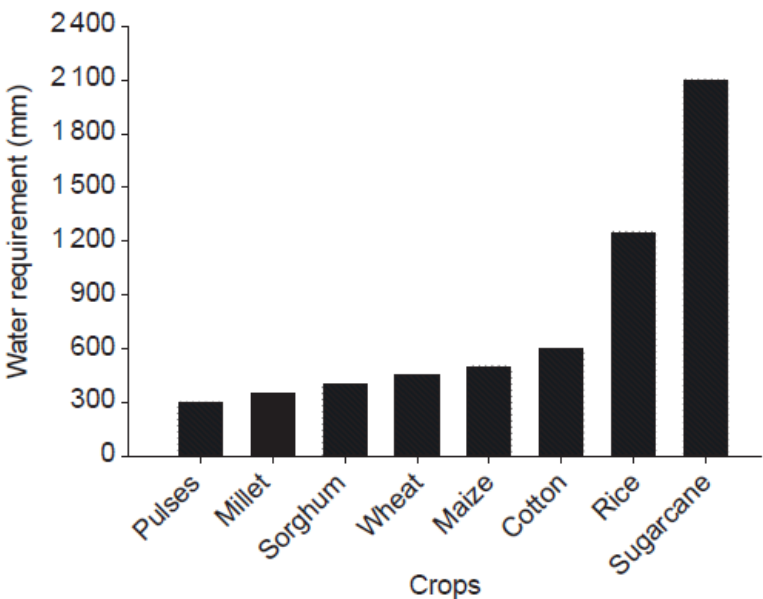
Quanto a sua composição, a palma forrageira contém baixo teor de matéria seca, de proteína bruta e de carboidratos fibrosos [fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA)]. No entanto, apresenta alto teor de matéria mineral, bem como de carboidratos não fibrosos, destacando-se como um alimento energético (BEN SALEM; SMITH, 2008). Apesar de ter uma alta aceitabilidade e alto teor de energia digerível, a palma, algumas vezes, não é prontamente aceita pelos ruminantes por conta da presença de espinhos, além disso, seu fornecimento exclusivo pode provocar diarreia, em função de seu baixo teor de fibra (GUSHA et al., 2015), diminuição do teor de gordura no leite, baixa ingestão de massa seca e, conseqüente perda de peso (BEN SALEM; SMITH, 2008). No entanto, muitos trabalhos têm evidenciado que a adição de palma forrageira na dieta de ruminantes, em substituição a silagem e ao feno de gramíneas (e.g. milho, capim-tifton), tem aumentado o consumo de minerais, matéria seca e carboidratos e os coeficientes de digestibilidade de FDN e matéria seca, como também tem reduzido o consumo voluntário de água, em função de seu baixo teor de fibras, alta aceitabilidade e alta taxa de passagem (COSTA et al., 2012; MORAES et al., 2019; SIQUEIRA et al., 2017).

O milheto (*Pennisetum glaucum*) é uma gramínea anual (ciclo entre 75 e 120 dias, a depender da cultivar e das condições ambientais) amplamente cultivada em regiões áridas e semiáridas da Índia, América Latina e zona saheliana (África). É uma espécie com metabolismo do tipo C₄, apresentando-se como uma planta altamente tolerante a estresses abióticos, adaptando-se bem a condições desfavoráveis do ambiente como, déficit hídrico, calor, alta salinidade e fertilidade do solo reduzida (SINGH et al., 2015), no entanto responde satisfatoriamente a uma nutrição balanceada, mesmo em épocas mais quentes e secas, através

de uma maior eficiência no uso da água (UPPAL et al., 2015). Além disso, possui um valor nutricional elevado com cerca de 12% de proteína no grão, além de ferro, zinco e outros nutrientes (GHATAK et al., 2016; MARMOUZI et al., 2018). O alto valor nutricional do milho destaca-se em relação a outras culturas importantes como sorgo, arroz, trigo e milho, no que diz respeito ao teor de proteína bruta (11,8%), gordura (4,8%), cinzas (2,2%), energia (363 kcal), cálcio e ferro, sendo também superior ao sorgo no teor de fibra bruta (2,3%) (ULLAH et al., 2017).

Uma das maiores vantagens de se cultivar o milho no Semiárido brasileiro está no fato de ser uma cultura com baixa exigência hídrica, sendo necessário, em média, 350 mm de água por ciclo (Figura 1), enquanto que o sorgo, trigo, milho, algodão, arroz e cana-de-açúcar necessitam de 14, 28, 42, 71, 257 e 500% a mais de água em comparação ao milho, respectivamente (ULLAH et al., 2017).

Figura 1. Requerimento hídrico do milho em relação com outras culturas (ULLAH et al., 2017).



Em relação às suas características morfológicas, o milho apresenta uma altura que varia, a depender da cultivar, de 1,5 a 3 m (Figura 2); os colmos são lisos e têm de 1 a 2 cm de diâmetro, chegando a apresentar ramificações secundárias e terciárias a partir de gemas laterais; suas panículas são semelhantes em forma e tamanho, podendo ser cilíndrica, cônica ou espiralada, com diâmetro que varia entre 2 e 3 cm, e 15 a 60 cm de comprimento, podendo

283 produzir de 500 a 2000 sementes por panícula. Além disso, as sementes, com cores brancas
284 ou amarelas, podendo variar de marrom a roxo (a depender da variedade), possuem de 3 a 4
285 mm de comprimento, sendo que, 8 g é o peso aproximado de 1000 sementes das espécies de
286 milheto. As lâminas foliares são longas e pontiagudas (DIAS-MARTINS et al., 2018;
287 YADAV; RENGASAMY; GUPTA, 2019).

Figura 2. Cultura do milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. BR. Cultivar BRS1502) (DIAS-MARTINS et al., 2018).



289
290 No Brasil, a cultura do milheto foi introduzida em 1929, mas somente a partir da
291 década de 1960 foi que programas de pesquisa passaram a trabalhar no melhoramento
292 genético da espécie *P. glaucum*, com o objetivo de utilizarem a cultura com diversas
293 finalidades: planta de cobertura do solo em sistemas de plantio direto, principalmente no
294 Cerrado, uso dos grãos para fabricação de ração e, utilização como forragem, seja na forma de
295 pastagem, silagem ou feno (DIAS-MARTINS et al., 2018). Dentre as cultivares mais comuns
296 destacam-se: BRS 1501, a qual foi desenvolvida em 1999 pela Embrapa Milho e Sorgo,
297 apresentando bom potencial para produção de grãos e; IPA Bulk 1, desenvolvida pelo
298 Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) em 1977, adaptada para produção de forragem no
299 semiárido pernambucano (DANTAS; NEGRÃO, 2010).

5. Irrigação em plantas forrageiras

Em regiões de clima quente e seco, como no caso do Semiárido do Brasil, a prática da irrigação pode ser considerada como a principal ou única forma de garantir a produção agropecuária com segurança, pois durante a maior parte do ano os níveis de precipitação pluvial são inferiores à demanda atmosférica, ocasionando déficit hídrico para os vegetais (HOLANDA et al., 2016). Em função desse estresse hídrico, as plantas forrageiras ficam submetidas à estacionalidade da sua produção, sendo a irrigação uma estratégia para tentar suprimir tal problema, uma vez que, as respostas de produção das forrageiras à aplicação de água via irrigação, estão mais relacionadas às condições climáticas do que às características fisiológicas dessas plantas (VITOR et al., 2009).

Tendo em vista a importância da irrigação nas plantas forrageiras, trabalhos como o de Jahanzad et al. (2013) revelaram como a produtividade e qualidade das forragens é afetada pelos diferentes regimes hídricos. Esses autores, ao avaliarem a produção e a qualidade do sorgo forrageiro submetido a três regimes de irrigação (ótimo, moderado e baixo), reportaram que o aumento do estresse hídrico reduziu significativamente a produção de matéria seca e o rendimento total de proteína, uma vez que o baixo conteúdo de água no solo dificulta a absorção de nutrientes essenciais por parte das plantas. Resultados semelhantes foram encontrados por Vitor et al. (2009), onde a irrigação, tanto no período seco quanto nos veranicos do período chuvoso, influenciou positivamente na produção de matéria seca do capim-elefante, entretanto, parâmetros de qualidade da forragem não foram afetados pelas distintas lâminas de água, mas sim pelos tratamentos de adubação nitrogenada.

Muito embora a cultura da palma forrageira possua uma baixa exigência hídrica em função de seu metabolismo CAM, estudos hodiernos envolvendo o manejo da irrigação, bem como parâmetros agrometeorológicos para esta forrageira, vêm sendo desenvolvidos no Semiárido brasileiro (SILVA et al., 2017). Queiroz et al. (2015) verificaram que diferentes lâminas de irrigação não incrementaram a produção de matéria verde e matéria seca da palma, não obstante, essas variáveis apresentaram valores superiores aos reportados em condições de sequeiro, 131,16 e 8,18 t ha⁻¹, respectivamente.

Apesar do seu metabolismo CAM, o consumo de água acumulado da palma forrageira está diretamente relacionado às condições do ambiente (meteorológicas) nas diferentes épocas do ano e às características morfológicas da planta e dos cladódios de suas distintas espécies (BARBOSA et al., 2017). Scalisi et al. (2016) concluíram que o déficit hídrico reduz tanto a

espessura dos cladódios, como também, a condutância estomática e a dinâmica de crescimento dos mesmos. Sob condições de seca, os cladódios se mostram menos espessos devido ao menor conteúdo de água no solo. Já as alterações de espessura dos cladódios submetidos à irrigação mostram-se mais relacionadas com a temperatura do ar (SCALISI et al., 2016).

Devido principalmente à instabilidade climática da região, a agricultura de sequeiro torna-se uma atividade de alto risco econômico. No entanto, faz-se necessário levar em consideração que somente 2 a 3% do Semiárido brasileiro apresenta potencialidade para irrigação, levando-se em conta a baixa disponibilidade e qualidade da água, bem como limitações referentes ao meio edáfico (DUBEUX JÚNIOR et al., 2010). Por esta razão, algumas práticas devem ser observadas para que o manejo da irrigação seja bem sucedido, seguindo princípios sustentáveis, como por exemplo, método de irrigação, escolha da espécie ou cultivar, rotação de culturas, sistemas consorciados, dentre outras (LACERDA et al., 2016).

5.1. Irrigação com água salina

O processo de salinização é decorrente de dois processos, o natural e o induzido. O primeiro ocorre em função da intemperização das rochas; já o último ocorre pela ação antrópica, através do manejo irracional da irrigação, uso indiscriminado de adubos químicos e deficiência de drenagem nas regiões semiáridas (MEDEIROS et al., 2016). Este processo de salinização induzida é ainda mais evidente e agravado em locais com alto déficit de precipitação e elevada demanda atmosférica, somando-se a isso o uso intenso da irrigação nos projetos de agricultura irrigada.

As águas utilizadas na irrigação podem ser classificadas quanto à sua salinidade, bem como pela sua sodicidade, sendo que, a condutividade elétrica (CE) é o parâmetro mais utilizado universalmente para medir a concentração de sais solúveis na água, sendo esta, classificada como C1 ($< 0,25 \text{ dS m}^{-1}$, baixa salinidade), C2 ($0,25 - 0,75 \text{ dS m}^{-1}$, média salinidade), C3 ($0,75 - 2,25 \text{ dS m}^{-1}$, alta salinidade) e C4 ($> 2,25 \text{ dS m}^{-1}$, muito alta salinidade). Quanto ao risco de sodicidade, o parâmetro mais usado é a razão de adsorção de sódio (RAS), o qual se correlaciona muito bem à porcentagem de sódio trocável do solo (PST) (RICHARDS, 1954).

O excesso de sais e de sódio causam efeitos distintos no solo. Enquanto que a alta concentração de sais como cálcio, magnésio, dentre outros, causam a floculação das argilas e, consequentemente, o aumento da permeabilidade do solo, o excesso de íons sódio provoca a dispersão das argilas, acarretando em sérias consequências como, obstrução dos microporos do solo e, aumento de sua resistência à penetração por parte das raízes das plantas (RIBEIRO et al., 2016).

O excesso de sais presentes na zona radicular das culturas, ocasionado principalmente pelo manejo inadequado da irrigação, pode provocar grandes prejuízos aos vegetais. Há pelo menos três efeitos prejudiciais às plantas. 1) Efeito osmótico, onde a planta não consegue absorver água do solo; 2) Toxidez de íons específicos, onde o acúmulo excessivo de íons nos tecidos causam danos ao citoplasma, refletindo no rendimento; 3) Desequilíbrio nutricional das plantas, onde a absorção de íons potencialmente tóxicos reduzem a absorção de outros nutrientes, afetando funções fisiológicas da planta (DIAS et al., 2016).

Freire (2012) avaliando o efeito da salinidade e da frequência de aplicação de água sobre o desenvolvimento da palma forrageira Miúda (*Nopalea cochenillifera*), observou que a água com maior nível de salinidade ($3,6 \text{ dS m}^{-1}$) aplicada com maior frequência (sete dias) provocou maior percentual de danos, bem como menor rendimento, mostrando a baixa tolerância da palma Miúda à salinidade. Em um segundo experimento, este autor verificou que, dos vinte genótipos avaliados, os clones Orelha de Elefante Mexicana e Africana (*Opuntia* sp.) apresentaram as maiores produtividades, sendo irrigados com água salina ($3,6 \text{ dS m}^{-1}$) a cada 14 dias.

6. Consórcios

A consorciação consiste na produção simultânea de duas ou mais culturas agrícolas em uma mesma área. É uma prática agrícola de extrema importância que visa melhorar a taxa de utilização de terra, principalmente em locais onde há limitação de área agricultável (DU et al., 2018). Embora a pesquisa relacionada a esta prática muitas vezes se restrinja a sistemas consorciados de gramíneas com leguminosas, existem diversos benefícios advindos do consórcio para o ecossistema como, diminuição da demanda de produtos químicos para o controle de pragas, doenças e plantas invasoras, (MARTIN-GUAY et al., 2018), bem como estabilização da produção agrícola, uma vez que os sistemas consorciados são considerados

mais resilientes que os sistemas de cultivo exclusivo quando submetidos a perturbações ambientais e estresses bióticos e abióticos (RASEDUZZAMAN; JENSEN, 2017).

Porém, deve-se levar em consideração que a competição entre plantas pelos recursos naturais, tais como, água, luz e nutrientes, em um sistema consorciado, é inevitável, e isso acaba ocasionando rendimentos distintos entre monocultivos e consórcios (SADEGHPOUR et al., 2013). Nelson et al. (2018) verificaram que o consórcio com o feijão-caupi diminuiu significativamente o rendimento do milheto em uma região semiárida da Índia, todavia, o milheto mostrou-se tolerante às temperaturas elevadas da região e à restrição hídrica nos tratamentos com irrigação deficitária.

Apesar da competição, gerada pela prática da consorciação, causar reduções no rendimento das culturas componentes, todavia, quando se leva em consideração a soma das mesmas, os rendimentos tendem a ser superiores quando comparados com suas monoculturas. À exemplo disso, Temesgen, Fukai e Rodriguez (2015) perceberam que o consórcio não afetou o rendimento do milho quando comparado ao seu sistema exclusivo, e o feijão teve seu rendimento significativamente reduzido quando consorciado com o milho, todavia o rendimento total do consórcio milho-feijão foi superior ao rendimento do feijão solteiro. Já no estudo de Masvaya et al. (2017), o rendimento total (milho + feijão-caupi) foi superior no consórcio do que nos cultivos exclusivos das duas culturas, mostrando que o consórcio trouxe benefícios a produção de biomassa devido a maior cobertura do solo, diminuindo sua evaporação e aumentando a eficiência no uso da água.

Dentre os principais recursos naturais utilizados pelos vegetais, destaca-se a radiação solar, a qual é responsável pelo fornecimento de luz para os processos fotossintéticos das plantas (BUCHANAN; WOLOSUK, 2017). No tocante a este recurso tão importante, as culturas agrícolas que compõem um sistema consorciado, competem entre si, buscando um melhor aproveitamento e utilização da luz solar.

Diante disso, objetivando avaliar a eficiência no uso dos recursos em monocultivos e consórcios de milho com leguminosas (feijão-caupi, soja e amendoim), Kermah et al. (2017) observaram que o cultivo solteiro de leguminosas interceptou mais radiação do que os consórcios, entretanto, estes interceptaram maior radiação do que o cultivo exclusivo do milho; todavia, os mesmos autores observaram que a conversão da radiação interceptada em rendimento de grãos foi mais eficiente nos consórcios do que nos cultivos exclusivos. Wang et al. (2015), utilizando as culturas de trigo e milho, observaram que nos cultivos exclusivos as taxas de interceptação da radiação foram maiores que as dos consórcios, no entanto, a

intercepção total foi menor devido aos ciclos mais curtos. Esses autores ainda constataram que os valores de eficiência do uso da radiação (EUR) foram maiores para o milho em relação ao trigo em todos os tratamentos, evidenciando assim, as diferenças entre plantas C3 e C4. Embora os valores de EUR tenham sido maiores para o milho exclusivo em relação ao milho consorciado (13,2 e 9,9%), de todo modo, os rendimentos de grãos de ambas as culturas foram superiores nos sistemas intercalados (WANG et al., 2015).

Em locais onde a disponibilidade hídrica é um fator limitante da produção agrícola, é necessário entender como as culturas respondem ao consórcio no que diz respeito ao uso da água. Estudos recentes concernentes à consorciação da cultura da palma com outras espécies forrageiras estão avançando no Semiárido brasileiro. Nessa perspectiva, Lima et al. (2018) observaram que, enquanto o monocultivo de palma obteve uma eficiência no uso da água (EUA) de 8,4 kg de matéria seca (MS) ha⁻¹ mm⁻¹, o consórcio palma-sorgo obteve valor de 18,9 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹. Os valores de EUA do consórcio se mostraram superiores ao monocultivo com lâminas de irrigação a partir de 1096 mm. Em termos de rendimento, Diniz et al. (2017) constataram que o aumento das lâminas de irrigação incrementou a produção de forragem no consórcio palma-sorgo, em função dos benefícios à cultura do sorgo forrageiro.

Não obstante, uma das principais formas de avaliar se um sistema consorciado é mais viável que uma monocultura, faz-se necessário lançar mão de índices competitivos, os quais mostram como os componentes de um consórcio utilizam os recursos disponíveis no agroecossistema. Dentre os principais índices competitivos pode-se citar: uso eficiente da terra (UET), coeficiente de adensamento relativo (CAR), razão de competitividade (RC), agressividade (A) e índice de produtividade do sistema (IPS) (SADEGHPOUR et al., 2013; YILMAZ et al., 2015; DINIZ et al., 2017).

Diniz et al. (2017) concluíram que o consórcio palma-sorgo obteve maior eficiência biológica e habilidade competitiva do que os sistemas exclusivos de ambas as culturas. Os mesmos autores observaram que o UET do consórcio obteve valor de 1,51, indicando que o sistema exclusivo precisaria de 51% a mais de terra para ter rendimento semelhante. Todavia, a palma mostrou-se dominante sobre a cultura do sorgo. Comportamento semelhante foi observado por Sadeghpour et al. (2013), onde o consórcio de cevada forrageira com a leguminosa *Medicago scutellata* apresentou UET no valor de 1,07, sendo a cevada dominante sobre a cultura secundária.

7. Cobertura morta

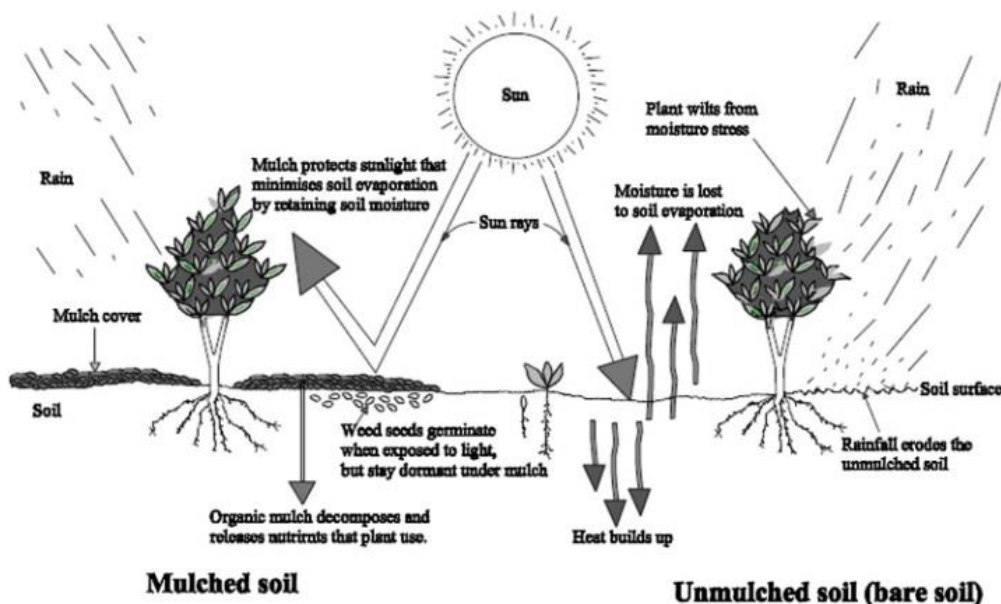
Cobertura morta consiste na prática agrícola de inserir resíduos vegetais, ou de quaisquer outros materiais, sobre o solo com objetivos específicos de conservação de solo e água, trazendo melhores rendimentos às culturas agrícolas (EL-MAGEED et al., 2018; EL-MAGEED; SEMIDA; EL-WAHED, 2016); por sua vez, os resíduos vegetais contribuem para o incremento do teor de matéria orgânica do solo (MOS), melhorando sua qualidade física e seu nível de fertilidade (JORDÁN; ZAVALA; MUÑOZ-ROJAS, 2011). No entanto, para que a cobertura orgânica, inserida numa área, possa fornecer nutrientes, é necessário levar em consideração sua relação carbono:nitrogênio (C:N), a qual é responsável por determinar a velocidade de decomposição da mesma, bem como interferir na mineralização ou imobilização do N por parte dos microrganismos do solo.

Troeh e Thompson (2007) explicaram que quando a atividade microbiana atua sobre a decomposição da MOS, ocorre a liberação de formas inorgânicas de elementos, processo este conhecido como mineralização. Porém, quando íons inorgânicos são convertidos em formas orgânicas, denomina-se imobilização (TROEH; THOMPSON, 2007). Esses autores ainda afirmaram que boa parte da imobilização do N ocorre devido ao fato dos microrganismos do solo necessitarem de N para sintetizarem proteínas, chegando-se a conclusão que a introdução de materiais decomponíveis no solo com baixas concentrações deste nutriente, acarretará em maior imobilização do mesmo.

De acordo com Silva et al. (2009), plantas que apresentam altos teores de N em sua biomassa, como as leguminosas, disponibilizam resíduos com baixa relação C:N, o que significa mais rápida decomposição e conseqüentemente, maior taxa de mineralização de N para os vegetais. No entanto, segundo Carneiro et al. (2013), outros fatores, além da relação C:N, devem ser considerados na determinação das taxas de mineralização de N, como teor de N, de lignina, de polifenóis e as formas de N presentes nos resíduos. Resultados obtidos por Maluf et al. (2015) mostraram que a decomposição dos restos vegetais foi significativamente influenciada pelas concentrações de N, e as taxas de liberação dos macronutrientes, pelos teores dos mesmos nos resíduos, sendo o K o nutriente liberado mais rapidamente pelo fato de não ser constituinte de estruturas vegetais. Porém, quando se deseja utilizar resíduos vegetais como cobertura morta em ambientes áridos e semiáridos, o ideal é que esta possua alta relação C:N, a fim de se prolongar sua permanência no campo.

A cobertura da superfície do solo tem sido uma alternativa amplamente estudada em áreas onde as taxas de evaporação são elevadas e as precipitações são baixas e irregulares, principalmente em regiões semiáridas da China para economia de água (DING et al., 2018; LI et al., 2018; WANG et al., 2018). Essa técnica promove vários benefícios ao ambiente edáfico (Figura 3), dentre os quais, destacam-se, a conservação da umidade do solo, menores flutuações da temperatura do solo, melhoria da atividade microbiana e das propriedades físico-químicas do solo (uma vez que a cobertura orgânica serve também como fonte de nutrientes através de sua decomposição) e, supressão da germinação de plantas invasoras, a depender do tipo de cobertura do solo (KADER et al., 2017).

Figura 3. Princípios e benefícios da cobertura do solo (KADER et al., 2017).



A qualidade física do solo é um atributo fortemente influenciado pela cobertura morta, uma vez que, a utilização desta impede o impacto direto das gotas de chuva, diminuindo as perdas de solo por erosão hídrica e o escoamento superficial. Consequentemente, há um aumento na capacidade de infiltração e no armazenamento de água no solo, pois a matéria orgânica adicionada (cobertura orgânica) atua na melhoria da estrutura do solo (PROSDOCIMI; TAROLLI; CERDÀ, 2016).

É importante destacar que as condições meteorológicas, bem como o conteúdo de água disponível no solo (estágio de evaporação) e o tipo de cobertura morta, são fatores determinantes para a eficiência de utilização desta na redução da evaporação do solo. Zribi et al. (2015), testando diferentes tipos de cobertura orgânica e inorgânica no controle da

evaporação do solo, observaram diminuição da sua taxa de evaporação em função do conteúdo cada vez menor de água em sua superfície, revelando a provável ineficácia da cobertura morta em sistemas irrigados de baixa frequência. Porém, os mesmos autores ressaltaram que na fase inicial do ciclo de secagem, todos os materiais de cobertura reduziram a evaporação do solo em comparação ao solo descoberto.

A resposta de crescimento das culturas à cobertura morta depende de amplas interações entre a cobertura e outros fatores como, método de irrigação, frequência de irrigação, potencial evaporativo e textura do solo (WANG et al., 2018), afetando diretamente o manejo da irrigação. Em um experimento conduzido por três anos consecutivos (2013 – 2016), visando avaliar os efeitos da cobertura morta, com três lâminas de irrigação por gotejamento, na evapotranspiração da cultura do trigo, no rendimento de grãos e na eficiência do uso da água, Wang et al. (2018) verificaram que a cobertura morta de palha reduziu de 9 a 11% a quantidade total de água aplicada via irrigação (65 a 85% da capacidade de campo) em relação aos tratamentos sem cobertura. A cobertura morta também diminuiu o total acumulado de evaporação do solo (19 a 34 mm), como também sua média diária (25 a 41%). Ainda, observaram que a cobertura morta, além de ter reduzido significativamente a evapotranspiração da cultura, aumentou o rendimento do trigo, constatando alta eficiência do uso da água. Resultados obtidos por Li et al. (2018) também mostraram que os sete tratamentos de cobertura morta, utilizados na cultura do milho de verão, reduziram a evaporação da água do solo nos estágios iniciais de crescimento, ocasionando economia de água e impulsionando o crescimento do milho nas fases subsequentes, melhorando seus rendimentos e a eficiência do uso da água.

Por outro lado, Ding et al. (2018), estudando o efeito da cobertura do solo sobre a evapotranspiração das culturas do milho (período chuvoso) e do trigo (período seco) em um sistema de rotação no Planalto Loess da China, verificaram que, no período seco a evapotranspiração tendeu a ser maior nos tratamentos com cobertura; já no período chuvoso, a evapotranspiração tendeu a ser maior no tratamento sem cobertura. Isso porque a cobertura do solo reduziu a evaporação do solo, porém promoveu a transpiração produtiva das plantas. Esses mesmos autores ressaltaram que, apesar da cobertura não haver causado diferença significativa na evapotranspiração em relação ao tratamento sem cobertura, os tratamentos com cobertura obtiveram melhores resultados no rendimento de grãos. Quanto à utilização de cobertura morta na cultura da palma forrageira, os trabalhos ainda são incipientes.

Carvalho et al. (2017) observaram que a adoção de cobertura morta na cultura da palma forrageira não influenciou a umidade do solo, quando comparado ao sistema de plantio exclusivo da cactácea, todavia, houve redução da taxa de evaporação do solo, diminuindo assim, a variabilidade da umidade do solo (15,7%). A variabilidade temporal da umidade do solo foi mais afetada pelas condições de precipitação pluvial, e os atributos físicos do solo se diferenciaram pela variação de sua profundidade (CARVALHO et al., 2017).

8. Considerações finais

Nesta revisão foram abordadas as principais características do Semiárido brasileiro e como estas, em conjunto com as mudanças climáticas, vêm afetando drasticamente a atividade agropecuária, tendo em vista os riscos que esses fatores têm causado na redução da segurança alimentar dos rebanhos. No entanto, várias pesquisas têm demonstrado que a utilização de culturas forrageiras com alta adaptabilidade a ambientes áridos e semiáridos, como a palma forrageira e o milheto, pode ser considerada uma ótima alternativa de resiliência a seca.

Em conjunto com essas plantas, algumas práticas agrícolas podem ser empregadas, visando a melhoria do ambiente de crescimento vegetal, como por exemplo, a consorciação de culturas e o uso de cobertura morta sobre o solo. A primeira permite a exploração dos recursos naturais disponíveis (espaço, água, radiação, nutrientes etc.) de forma mais eficiente. Através de modelos matemáticos dispostos na literatura torna-se possível inferir sobre a viabilidade do consórcio, bem como sobre o nível de dominância das culturas componentes. A segunda ajuda, principalmente, na conservação da umidade do solo, proporcionando um ambiente edáfico mais favorável para o crescimento e desenvolvimento vegetal. Portanto, tais práticas e culturas apresentam um elevado potencial como ferramentas para o enfrentamento dos principais problemas do Semiárido. Diante disso, faz-se necessário fazer menção da parceria entre instituições e grupos de pesquisa no Nordeste brasileiro, a qual é um elemento chave no desenvolvimento e aplicabilidade de tais práticas.

Referências

ALVALÁ, R. C. S.; CUNHA, A. P.; BRITO, S. S.; SELUCHI, M. E.; MARENGO, J. A.; MORAES, O. L.; CARVALHO, M. A. Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 91, p. 1–15, 2017.

- 582 BARBOSA, M. L.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S.; ARAÚJO JUNIOR, G.
583 N.; JARDIM, A. M. R. F. Meteorological variables and morphological characteristics
584 influencing the evapotranspiration of forage cactus. **Ceres**, v. 64, n. 5, p. 465–475, 2017.
- 585 BEN SALEM, H.; SMITH, T. Feeding strategies to increase small ruminant production in dry
586 environments. **Small Ruminant Research**, v. 77, p. 174–194, 2008.
- 587 BUCHANAN, B. B.; WOLOSIIUK, R. A. Fotossíntese: reações de carboxilação. In: TAIZ,
588 L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. (Org.). **Fisiologia e desenvolvimento**
589 **vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. p.203-244.
- 590 CARNEIRO, W. J. O.; SILVA, C. A.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Mineralização de
591 nitrogênio em latossolos adubados com resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do**
592 **Solo**, v.37, n.3, p.715–725, 2013.
- 593 CARVALHO, A. A.; SILVA, T. G. F.; SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; ARAUJO, G.
594 G. L.; TOLÊDO, M. P. S. Soil moisture in forage cactus plantations with improvement
595 practices for their resilience. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.
596 21, n. 7, p.481-487, 2017.
- 597 CIRILO, J. A. Public water resources policy for the semi-arid region. **Estudos Avançados**, v.
598 22, n. 63, p. 61–82, 2008.
- 599 CONSOLI, S.; INGLESE, G.; INGLESE, P. Determination of evapotranspiration and annual
600 biomass productivity of a cactus pear [*Opuntia ficus-indica* L.(Mill.)] orchard in a semi-arid
601 environment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 139, p. 680–690, 2013.
- 602 COSTA, R. G.; TREVIÑO, I. H.; MEDEIROS, G. R.; MEDEIROS, A. N.; PINTO, T. F.;
603 OLIVEIRA, R. L. Effects of replacing corn with cactus pear (*Opuntia ficus indica* Mill) on
604 the performance of Santa Inês lambs. **Small Ruminant Research**, v. 102, n. 1, p. 13–17,
605 2012.
- 606 CUNHA, A. P. M.; ALVALÁ, R. C.; NOBRE, C. A.; CARVALHO, M. A. Monitoring
607 vegetative drought dynamics in the Brazilian semiarid region. **Agricultural and Forest**
608 **Meteorology**, v. 214–215, p. 494–505, 2015.
- 609 DANTAS, C. C. O.; NEGRÃO, F. M. Características agronômicas do Milheto (*Pennisetum*
610 *glaucum*). **Pubvet**, v. 4, p. 956-961, 2010.
- 611 DIAS-MARTINS, A. M.; PESSANHA, K. L.; PACHECO, S.; RODRIGUES, J. A. S.;
612 CARVALHO, C. W. P. Potential use of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) in
613 Brazil: Food security, processing, health benefits and nutritional products. **Food Research**
614 **International**, v. 109, p. 175–186, 2018.
- 615 DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; SOUSA NETO, O. N.;
616 QUEIROZ, I. S. R. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In:
617 GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (Ed.). **Manejo da**
618 **salinidade na agricultura**: estudos básicos e aplicados. 2.ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. p.
619 151–162.
- 620 DING, D.; ZHAO, Y.; FENG, H.; HILL, R. L.; CHU, X.; ZHANG, T.; HE, J. Soil water
621 utilization with plastic mulching for a winter wheat-summer maize rotation system on the
622 Loess Plateau of China. **Agricultural Water Management**, v. 201, p. 246–257, 2018.

623 DINIZ, W. J. S.; SILVA, T. G. F.; FERREIRA, J. M. S.; SANTOS, D. C.; MOURA, M. S.
624 B.; ARAÚJO, G. G. L.; ZOLNIER, S. Forage cactus-sorghum intercropping at different
625 irrigation water depths in the Brazilian Semiarid Region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**,
626 v. 52, n. 9, p. 724–733, 2017.

627 DU, J.; HAN, T.; GAI, J.; YONG, T.; SUN, X.; WANG, X.; YANG, F.; LIU, J.; SHU, K.;
628 LIU, W.; YANG, W. Maize-soybean strip intercropping: Achieved a balance between high
629 productivity and sustainability. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 17, n. 4, p. 747–754,
630 2018.

631 DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; ARAÚJO FILHO, J. T. D.; SANTOS, M. V.; LIRA, M. D. A.;
632 SANTOS, D. C. D.; PESSOA, R. A. Adubação mineral no crescimento e composição mineral
633 da palma forrageira – Clone IPA-201. **Revista Brasileira De Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p.
634 129–135, 2010.

635 EL-MAGEED, T. A. A.; EL-SAMNOUDI, I. M.; IBRAHIM, A. E. A. M.; EL TAWWAB, A.
636 R. A. Compost and mulching modulates morphological , physiological responses and water
637 use e ffi ciency in sorghum (bicolor L . Moench) under low moisture regime. **Agricultural**
638 **Water Management**, v. 208, p. 431–439, 2018.

639 EL-MAGEED, T. A. A.; SEMIDA, W. M.; EL-WAHED, M. H. A. Effect of mulching on
640 plant water status , soil salinity and yield of squash under summer-fall deficit irrigation in salt
641 affected soil. **Agricultural Water Management**, v. 173, p. 1–12, 2016.

642 FALCÃO, H. M.; OLIVEIRA, M. T.; MERGULHÃO, A. C.; SILVA, M. V.; SANTOS, M.
643 G. Ecophysiological performance of three *Opuntia ficus-indica* cultivars exposed to carmine
644 cochineal under field conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 150, p. 419–424, 2013.

645 FERREIRA, M. A.; SILVA, F. M.; BISPO, S. V.; AZEVEDO, M. Estratégias na
646 suplementação de vacas leiteiras no semi-árido do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**,
647 v. 38, p. 322–329, 2009.

648 FREIRE, J. L. **Avaliação de clones de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) sob irrigação**
649 **e salinidade**. 2012. 85 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de
650 Pernambuco, Recife.

651 GHATAK, A.; CHATURVEDI, P.; NAGLER, M.; ROUSTAN, V.; LYON, D.;
652 BACHMANN, G.; POSTL, W.; SCHRÖFL, A.; DESAI, N.; VARSHNEY, R. K.;
653 WECKWERTH, W. Comprehensive tissue-specific proteome analysis of drought stress
654 responses in *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. (Pearl millet). **Journal of Proteomics**, v. 143, p.
655 122-135, 2016.

656 GUSHA, J.; HALIMANI, T. E.; KATSANDE, S.; ZVINOROVA, P. I. The effect of *Opuntia*
657 *ficus indica* and forage legumes based diets on goat productivity in smallholder sector in
658 Zimbabwe. **Small Ruminant Research**, v. 125, p. 21–25, 2015.

659 GUTIÉRREZ, A. P. A.; ENGLE, N. L.; NYS, E.; MOLEJÓN, C.; MARTINS, E. S. Drought
660 preparedness in Brazil. **Weather and Climate Extremes**, v. 3, p. 95–106, 2014.

661 HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. R. A.; FERREIRA NETO, M.; HOLANDA, A. C.; SÁ, F. V.
662 S. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.;
663 GOMES FILHO, E. (Ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e**
664 **aplicados**. 2.ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 35–50.

- 665 JAHANZAD, E.; JORAT, M.; MOGHADAM, H.; SADEGHPOUR, A.; CHAICHI, M. R.;
 666 DASHTAKI, M. Response of a new and a commonly grown forage sorghum cultivar to
 667 limited irrigation and planting density. **Agricultural Water Management**, v. 117, p. 62–69,
 668 2013.
- 669 JORDÁN, A.; ZAVALA, L. M.; MUÑOZ-ROJAS, M. Mulching, effects on soil physical
 670 properties. In: GLIŃSKI, J., HORABIK, J., LIPIEC, J. (Eds.). **Encyclopedia of agrophysics**.
 671 Springer, Dordrecht, 2011. p. 492-496.
- 672 KADER, M. A.; SENGE, M.; MOJID, M. A.; ITO, K. Recent advances in mulching materials
 673 and methods for modifying soil environment. **Soil and Tillage Research**, v. 168, p. 155–166,
 674 2017.
- 675 KERMAH, M.; FRANKE, A. C.; ADJEI-NSIAH, S.; AHIABOR, B. D.; ABAIDOO, R. C.;
 676 GILLER, K. E. Maize-grain legume intercropping for enhanced resource use efficiency and
 677 crop productivity in the Guinea savanna of northern Ghana. **Field Crops Research**, v. 213, p.
 678 38–50, 2017.
- 679 LACERDA, C. F.; COSTA, R. N. T.; BEZERRA, M. A.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, G. G.;
 680 GHEYI, H. R. Estratégias de manejo para uso de água salina na agricultura. In: GHEYI, H.
 681 R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (Ed.). **Manejo da salinidade na**
 682 **agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2.ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 337–352.
- 683 LI, S.; LI, Y.; LIN, H.; FENG, H.; DYCK, M. Effects of different mulching technologies on
 684 evapotranspiration and summer maize growth. **Agricultural Water Management**, v. 201, p.
 685 309–318, 2018.
- 686 LIMA, L. R.; SILVA, T. G. F.; JARDIM, A. M. R. F.; SOUZA, C. A. A.; QUEIROZ, M. G.;
 687 TABOSA, J. N. Growth , water use and efficiency of forage cactus sorghum intercropping
 688 under different water depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.
 689 22, n. 2, p. 113–118, 2018.
- 690 MALUF, H. J. G. M.; SOARES, E. M. B.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; SILVA, L. O. G.
 691 Decomposição de resíduos de culturas e mineralização de nutrientes em solo com diferentes
 692 texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.6, p.1681-1689, 2015.
- 693 MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; ALVALA, R.; CUNHA, A. P.; BRITO, S.; MORAES, O.
 694 L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region.
 695 **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, p. 1–13, 2017.
- 696 MARMOUZI, I.; ALI, K.; HARHAR, H.; GHARBY, S.; SAYAH, K.; EL MADANI, N.;
 697 CHERRAH, Y.; FAOUZI, M. E. A. Functional composition, antibacterial and antioxidative
 698 properties of oil and phenolics from Moroccan *Pennisetum glaucum* seeds. **Journal of the**
 699 **Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 17, p. 229–234, 2018.
- 700 MARTIN-GUAY, M. O.; PAQUETTE, A.; DUPRAS, J.; RIVEST, D. The new Green
 701 Revolution: Sustainable intensification of agriculture by intercropping. **Science of the Total**
 702 **Environment**, v. 615, p. 767–772, 2018.
- 703 MARTINS, M. A.; TOMASELLA, J.; RODRIGUEZ, D. A.; ALVALÁ, R. C.; GIAROLLA,
 704 A.; GAROFOLO, L. L.; PINTO, G. L. Improving drought management in the Brazilian
 705 semiarid through crop forecasting. **Agricultural Systems**, v. 160, p. 21–30, 2018.

706 MASVAYA, E. N.; NYAMANGARA, J.; DESCHEEMAER, K.; GILLER, K. E. Is
707 maize-cowpea intercropping a viable option for smallholder farms in the risky environments
708 of semi-arid southern Africa? **Field Crops Research**, v. 209, p. 73–87, 2017.

709 MAVI, H. S.; TUPPER, G. J. **Agrometeorology**: principles and application of climate studies
710 in agriculture. New York, NY: Food Products Press, 2004. 364 p.

711 MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R.; COSTA, A. R. F. C.; TOMAZ, H. V. Q. Manejo do solo-
712 água-plantas em áreas afetadas por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.;
713 GOMES FILHO, E. (Ed.). **Manejo da salinidade na agricultura**: estudos básicos e
714 aplicados. 2.ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 319–335.

715 MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2017. Disponível em:
716 <http://www.integracao.gov.br/semiarido-brasileiro>. Acessado em 5 de março de 2018.

717 MORAES, G. S. O.; GUIM, A.; TABOSA, J. N.; CHAGAS, J. C. C.; ALMEIDA, M. P.;
718 FERREIRA, M. A. Cactus [*Opuntia stricta* (Haw.) Haw] cladodes and corn silage: How do
719 we maximize the performance of lactating dairy cows reared in semiarid regions? **Livestock**
720 **Science**, v. 221, p. 133–138, 2019.

721 MURGA-ORRILLO, H.; ARAÚJO, W. F.; ABANTO-RODRIGUEZ, C.; SAKAZAKI, R. T.;
722 BARDALES-LOZANO, R. M.; POLO-VARGAS, A. R. Influência da cobertura morta na
723 evapotranspiração, coeficiente de cultivo e eficiência de uso de água do milho cultivado em
724 cerrado. **Irriga**, v. 21, n. 2, p. 352–364, 2016.

725 NELSON, W. C. D.; HOFFMANN, M. P.; VADEZ, V.; ROETTER, R. P.; WHITBREAD, A.
726 M. Testing pearl millet and cowpea intercropping systems under high temperatures. **Field**
727 **Crops Research**, v. 217, p. 150–166, 2018.

728 NUNES, A. T.; CABRAL, D. L. V.; AMORIM, E. L. C.; SANTOS, M. V. F.;
729 ALBUQUERQUE, U. P. Plants used to feed ruminants in semi-arid Brazil: A study of
730 nutritional composition guided by local ecological knowledge. **Journal of Arid**
731 **Environments**, v. 135, p. 96–103, 2016.

732 PROSDOCIMI, M.; TAROLLI, P.; CERDÀ, A. Mulching practices for reducing soil water
733 erosion: A review. **Earth-Science Reviews**, v. 161, p. 191–203, 2016.

734 QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S.; LIMA, L. R.; ALVES,
735 J. O. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes
736 lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10,
737 p. 931–938, 2015.

738 RASEDUZZAMAN, M.; JENSEN, E. S. Does intercropping enhance yield stability in arable
739 crop production? A meta-analysis. **European Journal of Agronomy**, v. 91, p. 25–33, 2017.

740 RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e classificação dos
741 solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO,
742 E. (Ed.). **Manejo da salinidade na agricultura**: estudos básicos e aplicados. 2.ed. Fortaleza:
743 INCTSal, 2016. p. 9–16.

744 RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington:
745 United States Department of Agriculture, 1954. 160 p. (Agriculture Handbook, 60).

- ROCHA, R.; SOARES, R. R. Water scarcity and birth outcomes in the Brazilian semiarid. **Journal of Development Economics**, v. 112, p. 72–91, 2015.
- SADEGHPOUR, A.; JAHANZAD, E.; ESMAEILI, A.; HOSSEINI, M. B.; HASHEMI, M. Forage yield, quality and economic benefit of intercropped barley and annual medic in semi-arid conditions: Additive series. **Field Crops Research**, v. 148, p. 43–48, 2013.
- SANTOS, K. C.; MAGALHÃES, A. L. R.; SILVA, D. K. A.; ARAÚJO, G. G. L.; FAGUNDES, G. M.; YBARRA, N. G.; ABDALLA, A. L. Nutritional potential of forage species found in Brazilian Semiarid region. **Livestock Science**, v. 195, p. 118–124, 2017a.
- SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; GUIM, A.; MELLO, A. C. L.; CUNHA, M. V. Potential of Caatinga forage plants in ruminant feeding. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 204–215, 2010.
- SANTOS, R.; NEVES, A. L.; PEREIRA, L. G.; VERNEQUE, R.; COSTA, C. T.; TABOSA, J.; SCHERER, C.; GONÇALVES, L. Divergence in agronomic traits and performance of pearl millet cultivars in Brazilian semiarid region. **Grassland Science**, v. 63, n. 2, p. 118–127, 2017b.
- SCALISI, A.; MORANDI, B.; INGLESE, P.; BIANCO, R. L. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. **Environmental and Experimental Botany**, v. 122, p. 158–167, 2016.
- SENTELHAS, P. C.; MONTEIRO, J. E. B. A. Agrometeorologia dos cultivos. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. 1.ed. Brasília: Inmet, 2009. p.3-12.
- SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; VIEGAS, P. A. A.; MUNIZ, E. N.; RANGEL, J. H. A.; MOREIRA, A. L.; BACKES, A. A. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. **Ciência Rural**, v. 44, n. 11, p. 2064–2071, 2014.
- SILVA, P. C. G.; FOLONI, J. S. S.; FABRIS, L. B.; TIRIRTAN, C. S. Fitomassa e relação C/N em consórcios de sorgo e milho com espécies de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.11, p.1504-1512, 2009.
- SILVA, T. G. F.; ARAÚJO, G. G. L.; MOURA, M. S. B.; SOUZA, L. S. B. Agrometeorological research on forage cactus and its advances in Brazil. **Amazonian Journal of Plant Research**, v. 1, n. 2, p. 45–68, 2017.
- SINGH, J.; REDDY, P. S.; REDDY, C. S.; REDDY, M. K. Molecular cloning and characterization of salt inducible dehydrin gene from the C4 plant *Pennisetum glaucum*. **Plant Gene**, v. 4, p. 55–63, 2015.
- SIQUEIRA, M. C. B.; FERREIRA, M. A.; MONNERAT, J. P. I. S.; SILVA, J. L.; COSTA, C. T. F.; CONCEIÇÃO, M. G.; ANDRADE, R. P. X.; BARROS, L. J. A.; MELO, T. T. B. Optimizing the use of spineless cactus in the diets of cattle: Total and partial digestibility, fiber dynamics and ruminal parameters. **Animal Feed Science and Technology**, v. 226, p. 56–64, 2017.
- SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE – SUDENE, 2017. Disponível em: <http://sudene.gov.br>. Acessado em 19 de Janeiro de 2018.

786 TEMESGEN, A.; FUKAI, S.; RODRIGUEZ, D. As the level of crop productivity increases :
 787 Is there a role for intercropping in smallholder agriculture. **Field Crops Research**, v. 180, p.
 788 155–166, 2015.

789 TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e fertilidade do solo**. 6.ed. São Paulo, SP:
 790 ANDREI, 2007. 718p.

791 ULLAH, A.; AHMAD, A.; KHALIQ, T.; AKHTAR, J. Recognizing production options for
 792 pearl millet in Pakistan under changing climate scenarios. **Journal of Integrative**
 793 **Agriculture**, v. 16, n. 4, p. 762–773, 2017.

794 UPPAL, R. K.; WANI, S. P.; GARG, K. K.; ALAGARSWAMY, G. Balanced nutrition
 795 increases yield of pearl millet under drought. **Field Crops Research**, v. 177, p. 86–97, 2015.

796 VILELA, M. S.; FERREIRA, M. A.; AZEVEDO, M.; MODESTO, E. C.; FARIAS, I.;
 797 GUIMARÃES, A. V.; BISPO, S. V. Effect of processing and feeding strategy of the
 798 spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* Mill.) for lactating cows: Ingestive behavior. **Applied**
 799 **Animal Behaviour Science**, v. 125, p. 1–8, 2010.

800 VITOR, C. M. T.; FONSECA, D. D.; CÓSER, A. C.; MARTINS, C. E.; NASCIMENTO
 801 JÚNIOR, D.; RIBEIRO JÚNIOR, J. I. Produção de matéria seca e valor nutritivo de pastagem
 802 de capim-elefante sob irrigação e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.
 803 38, n. 3, p. 435–442, 2009.

804 WANG, J.; ZHANG, Y.; GONG, S.; XU, D.; JUAN, S.; ZHAO, Y. Evapotranspiration, crop
 805 coefficient and yield for drip-irrigated winter wheat with straw mulching in North China
 806 Plain. **Field Crops Research**, v. 217, p. 218–228, 2018.

807 WANG, Z.; ZHAO, X.; WU, P.; HE, J.; CHEN, X.; GAO, Y.; CAO, X. Radiation
 808 interception and utilization by wheat/maize strip intercropping systems. **Agricultural and**
 809 **Forest Meteorology**, v. 204, p. 58–66, 2015.

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

812 YILMAZ, S.; ÖZEL, A.; ATAĞ, M.; ERAYMAN, M. Effects of seeding rates on
 813 competition indices of barley and vetch intercropping systems in the eastern mediterranean.
 814 **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 39, n. 1, p. 135–143, 2015.

815 YIN, W.; CHEN, G.; FENG, F.; GUO, Y.; HU, F.; CHEN, G.; ZHAO, C.; YU, A.; CHAI, Q.
 816 Straw retention combined with plastic mulching improves compensation of intercropped
 817 maize in arid environment. **Field Crops Research**, v. 204, p. 42–51, 2017.

818 ZRIBI, W.; ARAGÜÉS, R.; MEDINA, E.; FACI, J. M. Efficiency of inorganic and organic
 819 mulching materials for soil evaporation control. **Soil and Tillage Research**, v. 148, p. 40–45,
 820 2015.

821

822

Capítulo 2 – Rendimento e qualidade de forragem, competição e benefício econômico do consórcio palma-milheto com cobertura morta

RESUMO

Frente aos desafios que vêm sobrepujando a produção de forragem e a estabilidade econômica de produtores rurais em regiões semiáridas, propusemos a utilização do consórcio e da cobertura morta em cultivos de palma forrageira e milho, como práticas de resiliência na produção de forragem no Semiárido brasileiro. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições e seis tratamentos [palma exclusiva (P), milho exclusivo (M) e consórcio palma-milho (P/M), com e sem cobertura]. Os rendimentos da palma não foram alterados pelos tratamentos, todavia, o rendimento de matéria fresca (MFm) e seca (MSm) de M com cobertura, obteve os melhores resultados (69,7 e 23,4 Mg ha⁻¹, respectivamente). Este mesmo comportamento foi observado no 2º e 3º ciclos da gramínea. O rendimento de matéria seca total de forragem (MSt) foi maior nos tratamentos P/M com e sem cobertura (32,8 e 31,4 Mg ha⁻¹, respectivamente). A palma consorciada, com cobertura, obteve menor FDN (26,1%). Nos demais tratamentos, a cactácea teve uma média de 43,3% de FDN (p>0,05). Na monocultura e no consórcio, a palma teve valores de 5,5 e 2,9% de FDA, respectivamente. As demais variáveis bromatológicas não se diferenciaram (p>0,05), com médias de 7,6, 5,7, 16,4, 1,2, 76,6 e 79,8% para MSd, PB, MM, EE, CHO e DIVMS, respectivamente. A cobertura morta não causou diferença entre os índices de competição, no entanto, os índices UET, RAET, CET e IPS tiveram médias de 1,42, 1,20, 0,46 e 34,3, respectivamente. O IVM foi de 8404,00 R\$ ha⁻¹. Os índices de habilidade competitiva mostraram que a palma foi dominante sobre o milho no consórcio, com médias de -0,13, 3,91, -3,91, 516,03, 7,45 e 0,15 para CAR, Aa, Ab, PGAR, RCa e RCb, respectivamente.

Palavras chave: *Opuntia stricta*, *Pennisetum glaucum*, resiliência, uso eficiente da terra, vantagem econômica.

ABSTRACT

In view of the challenges that have been surpassing forage production and the economic stability of rural producers in semi-arid regions, we have proposed the use of intercropping and mulching in forage cactus and millet crops, as resilience practices in forage production in the Brazilian semi-arid region. The experimental design was a randomized complete block, with four replications and six treatments [exclusive cactus (P), exclusive millet (M) and cactus-millet intercropping (P/M), with and without mulching]. The yields of the cactus were not altered by the treatments, however, the yield of fresh matter (MFm) and dry matter (Mm) of M with mulching, obtained the best results (69.7 and 23.4 Mg ha⁻¹, respectively). This same behavior was observed in the 2nd and 3rd cycles of the millet. Total forage dry matter yield (MSt) was higher in the P/M treatments with and without mulching (32.8 and 31.4 Mg ha⁻¹, respectively). The intercropped cactus, with mulching, obtained lower NDF (26.1%). In the other treatments, the cactus had an average of 43.3% of NDF (p> 0.05). In monoculture and intercropping, cactus had values of 5.5 and 2.9% of ADF, respectively. The other bromatological variables did not differ (p> 0.05), with mean values of 7.6, 5.7, 16.4, 1.2, 76.6 and 79.8% for MSd, PB, MM, EE, CHO and DIVMS, respectively. The mulch did not cause any difference between the competition indices, however, the UET, RAET, CET and IPS indices had averages of 1.42, 1.20, 0.46 and 34.3, respectively. The IVM was 8404.00 R\$ ha⁻¹. Competitive ability indexes showed that the cactus was dominant on the millet in the intercropping, with averages of -0.13, 3.91, -3.91, 516.03, 7.45 and 0.15 for CAR, Aa, Ab, PGAR, RCa and RCb, respectively.

Keywords: *Opuntia stricta*, *Pennisetum glaucum*, resilience, efficient land use, economic advantage.

1. Introdução

Por causa da escassez hídrica que assola as zonas áridas e semiáridas do mundo, inclusive no Brasil, e da demanda por alimentos decorrente do aumento da população global, os produtores rurais residentes nessas regiões são os mais vulneráveis às perdas econômicas. Mesmo a agricultura familiar sendo de vital importância socioeconômica para o Brasil, a associação de uma região climaticamente adversa com uma atividade econômica dependente da natureza, acaba culminando em grande fragilidade econômica (Marengo et al., 2017; Moraes et al., 2019).

Por esta razão, a utilização de culturas forrageiras adaptadas às condições climáticas dessas regiões são sugeridas como ótimas alternativas para o setor pecuário. Dentre essas espécies, destaca-se a palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) pelo elevado teor de água presente em seus cladódios, servindo como fonte hídrica para os animais nas épocas mais críticas do ano. Também se destaca por ser uma forrageira energética e com baixos teores de fibras, apesar de seu baixo valor protéico (Andrade-Montemayor et al., 2011; Ben Salem and Smith, 2008; Moraes et al., 2019; Scalisi et al., 2016; Siqueira et al., 2017). O milheto (*Pennisetum glaucum*) também vem se destacando no canário brasileiro em virtude de seu baixo requerimento hídrico e de nutrientes no solo, e também por ser uma cultura moderadamente tolerante à salinidade e temperaturas elevadas (Dias-Martins et al., 2018; Ullah et al., 2017).

Com culturas de importância tão singular, a prática da consorciação pode ser sugerida como uma técnica de resiliência agrícola, que visa otimizar o uso da terra e demais recursos naturais disponíveis, isso porque, em meio a uma situação ambiental crítica em que uma das culturas é prejudicada, a outra pode se sobressair (Raseduzzaman and Jensen, 2017). Na literatura encontramos diversos trabalhos que relatam o aumento do rendimento forrageiro em várias culturas (Masvaya et al., 2017; Sadeghpour et al., 2013; Temesgen et al., 2015), como também envolvendo a palma forrageira (Diniz et al., 2017; Lima et al., 2018).

Embora a consorciação entre culturas promova um aumento satisfatório no rendimento forrageiro, deve-se levar em consideração que a competição interespecífica por recursos naturais (e.g. terra, água, luz e nutrientes) é inevitável, fazendo com que uma ou ambas as culturas sofram uma quebra de produtividade (Nelson et al., 2018; Sadeghpour et al., 2013). Por isso, a utilização de índices de competição que possam ajudar a compreender a viabilidade do consórcio, bem como identificar a cultura dominante, é de extrema

importância. Dentre os índices mais utilizados na pesquisa sobre consórcios, podemos citar o uso eficiente da terra (UET), índice de produtividade do sistema (IPS), coeficiente de adensamento relativo (CAR), agressividade (A), perda ou ganho atual de rendimento (PGAR) e razão de competitividade (RC) (Diniz et al., 2017; Sadeghpour et al., 2013; Yilmaz et al., 2014). Além disso, um outro indicador vem sendo bastante utilizado para verificar a viabilidade econômica do consórcio em comparação aos sistemas de cultivo exclusivo, denominado índice de vantagem monetária (IVM), o qual é muito relevante para mostrar se o produtor terá, de fato, um aumento em sua renda líquida através do consórcio (Ghosh, 2004).

A cobertura morta também é outra prática de resiliência agrícola, a qual visa conservar a umidade do solo, trazendo vários benefícios ao meio edáfico, melhorando o rendimento das culturas, principalmente em regiões com pouca disponibilidade hídrica e com altas taxas de evapotranspiração (Ding et al., 2018; El-mageed et al., 2018, 2016; Li et al., 2018; Wang et al., 2018). No entanto, ainda são emergentes as pesquisas que combinam a utilização de cobertura morta e do consórcio em cultivos de palma forrageira.

Por esta razão, objetivamos (i) quantificar o rendimento das culturas sob consórcio e cobertura morta, (ii) verificar a qualidade da palma forrageira, bem como (iii) avaliar o desempenho econômico do consórcio palma-milheto e (iv) indicar a eficiência biológica e habilidade competitiva do sistema consorciado, a fim de determinarmos o sistema de cultivo com melhor desempenho.

2. Material e métodos

2.1. Local do experimento

O experimento foi conduzido no “Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e Outras Plantas Forrageiras”. Localizado nas dependências da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE – UAST), no município de Serra Talhada – PE, Brasil (Latitude 7°56’20” Sul; Longitude 38°17’31” Oeste e Altitude 499 m). O clima da região é do tipo BSwh’ segundo a classificação de Köppen, sendo caracterizada como uma região semiárida com inverno seco (Alvares et al., 2013), a qual apresenta uma média anual de precipitação pluviométrica de 642 mm, temperatura média anual em torno de 24,8 °C, umidade relativa do ar de aproximadamente 63%, e demanda atmosférica anual de 1.800 mm (Pereira et al., 2015; Silva

et al., 2015). O solo da área foi classificado como um Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico (EMBRAPA, 2013), o qual foi preparado através de aração, gradagem e sulcagem. As propriedades físicas e químicas do solo estão dispostas na Tabela 1.

Tabela 1

Propriedades físicas e químicas de Cambissolo Háplico em Serra Talhada, PE, Brasil.

Propriedades físicas										
Prof.	ρd	Ø	Areia		Silte		Argila			
cm	kg dm ⁻³	%			g kg ⁻¹					
0-20	1,45	42,27	828,6		148,3		23,2			
20-40	1,34	46,76	795,4		160,1		44,6			
Propriedades químicas										
Prof.	C.E.	pH	C	P	K	Na	Ca	Mg	CTC	V
cm	mS cm ⁻¹		g kg ⁻¹	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³			%
0-20	0,33	6,0	4,6	168,96	13,8	1,09	3,5	1,90	20,9	97,2
20-40	0,24	6,3	3,0	154,10	11,8	1,47	2,9	1,75	18,3	98,7

Prof.: profundidade. ρd: densidade do solo. Ø: porosidade total. C.E.: condutividade elétrica do extrato de saturação. CTC: capacidade de troca de cátions. V: saturação de bases.

2.2. Manejo das culturas e delineamento experimental

A palma forrageira utilizada pertence à espécie *Opuntia stricta* (Haw.) Haw., clone Orelha de Elefante Mexicana, a qual foi plantada em julho de 2016, com um espaçamento de 1,6 x 0,2 m (31.250 plantas ha⁻¹). Por sua vez, o milheto (*Pennisetum glaucum* [L.] R. Br.) foi introduzido no experimento no dia 12/02/2017 (cultivar BRS 1501), sendo realizado o desbaste de 15 a 20 dias após a semeadura (DAS), resultando em um espaçamento de 20 plantas por metro linear (125.000 plantas ha⁻¹). Nas parcelas consorciadas, o milheto foi colocado a 0,4 m das fileiras de palma. Cada parcela era composta por quatro fileiras de 4 m de comprimento. A cobertura morta utilizada (17,6 t ha⁻¹, em base seca), à base de capim-corrente (*Urochloa mosambicensis*), foi inserida na área seis meses após a implantação da palma (janeiro de 2017). Vale ressaltar que não foi feita reposição de palhada ao longo do experimento.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições, sendo que os tratamentos corresponderam aos sistemas de cultivo: palma exclusiva, milheto exclusivo e consórcio palma-milheto, com e sem cobertura morta. No

presente estudo, a palma forrageira foi considerada como a cultura principal. Este ensaio experimental foi executado com um ciclo de palma com duração de dois anos a partir do plantio, o qual se iniciou em julho de 2016 e foi colhido em 22 de junho de 2018. Nesse intervalo foram conduzidos três ciclos de milho, utilizando-se a cultivar BRS 1501 (semeio: 12/02/2017), e mais três ciclos utilizando-se a cultivar IPA Bulk-1-BF (semeio: 15/09/2017), sendo uma semeadura e duas rebrotas, totalizando seis ciclos de milho.

O experimento foi irrigado por gotejamento, três vezes por semana, em dias intercalados, cujo sistema operava com uma vazão de 1,25 L h⁻¹ a uma pressão de 100 kPa, com coeficiente de uniformização de 93%. Os gotejos eram espaçados em 0,4 m. O manejo da irrigação foi feito com base em 120% da evapotranspiração da cultura (ET_C), utilizando o coeficiente de cultura (K_c) no valor de 0,52 para a palma forrageira (Queiroz et al., 2016). A ET_C foi calculada pelo produto da evapotranspiração de referência (ET₀) e o K_c. Por sua vez, a ET₀ foi estimada pelo método de Penman Monteith, como demonstrado na Equação 1 (Allen et al., 1998).

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{t + 273} \right) u_2 (e_s - e)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (1)$$

em que, ET₀ = evapotranspiração de referência (mm d⁻¹); Δ = declividade da curva da pressão de saturação do vapor d'água no ar (kPa °C⁻¹); R_n = saldo de radiação à superfície de cultivo (MJ m⁻² d⁻¹); G = densidade do fluxo de calor no solo (MJ m⁻² d⁻¹); t = temperatura do ar média diária (°C); u₂ = velocidade do vento a 2 m de altura (m s⁻¹); e_s = pressão de saturação do vapor d'água (kPa); e = pressão parcial do vapor d'água (kPa); γ = constante psicrométrica (kPa °C⁻¹).

Para isto, foram utilizados dados meteorológicos diários provenientes de uma estação meteorológica automática pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a qual se encontrava dentro da área experimental. Os dados de precipitação pluviométrica também foram coletados pela referida estação. A água utilizada na irrigação era proveniente de um poço artesiano localizado na área experimental da instituição, a qual possuía uma condutividade elétrica de 1,62 dS m⁻¹, sendo classificada como uma água C3 (Richards, 1954), isto é, de alta salinidade; pH = 6,84; Na⁺ = 168,66 mg L⁻¹ e K⁺ = 28,17 mg L⁻¹.

Capinas manuais foram feitas na área experimental, para controle de plantas invasoras, quando julgado necessário. A adubação foi feita com base na formulação 14-00-18 + 16S, onde foram aplicados 525 kg ha⁻¹ (73,5 kg N ha⁻¹, 94,5 kg K₂O ha⁻¹ e 84,0 kg S ha⁻¹), sendo

uma de fundação e uma de cobertura. Na camada superficial (0,20 m) o solo apresentou as seguintes características químicas: $CE_{es} = 0,33 \text{ mS cm}^{-1}$; $pH = 6,0$; $C.O. = 4,6 \text{ g kg}^{-1}$; $P = 168,96 \text{ mg dm}^{-3}$; $K^+ = 13,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $Na^+ = 1,09 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $Ca^{2+} = 3,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $Mg^{2+} = 1,90 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $CTC = 20,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; e $V = 97,2\%$.

2.3. *Rendimento de forragem*

Ao final de cada ciclo do milheto, considerando-se as duas fileiras centrais de cada parcela, foi contabilizado o número de plantas em dois metros lineares. Em seguida, sete plantas por parcela foram colhidas e pesadas em balança eletrônica a fim de se extrapolar a produtividade da cultura. Posteriormente, três plantas representativas de cada parcela foram selecionadas e cortadas a 0,10 m do solo. Após serem fracionadas, as mesmas foram acondicionadas em sacos de papel identificados, pesadas em balança semi-analítica (0,001 g) para obtenção da massa fresca e levadas a estufa de circulação forçada a 55 °C até atingir peso constante (massa seca).

A colheita da palma foi realizada em 22 de junho de 2018. Na ocasião, foi quantificado o número de plantas por parcela (considerando-se as duas fileiras centrais e desprezando-se uma planta em cada extremidade), a fim de se obter a densidade final de plantas. Posteriormente, foram selecionados três cladódios do terço médio de uma planta representativa da parcela. Esses cladódios foram pesados separadamente em balança eletrônica, fracionados e acondicionados em sacos de papel devidamente identificados. Enfim, foram colocados em estufa de ventilação forçada a 55 °C para determinação da massa seca. Em seguida, todas as plantas da parcela útil foram colhidas e pesadas em balança eletrônica, deixando-se em campo os cladódios basais e primários.

2.4. *Qualidade de forragem da palma*

A partir de subamostras de palma forrageira, previamente secas em estufa a 55 °C (pré-secagem), foi analisada a composição químico-bromatológica da forragem. Essas amostras foram enviadas e analisadas no Laboratório de Nutrição Animal da Embrapa Semiárido, no município de Petrolina-PE. A matéria seca definitiva (MSd) foi obtida pela secagem total das amostras em estufa a 105 °C. A fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foram determinadas segundo propôs Van Soest et al. (1991). O

nitrogênio total (N) foi determinado pelo método de Kjeldahl a fim de se obter o teor de proteína bruta (PB), multiplicando-se o teor de N por 6,25 (AOAC, 1990). Ainda foram determinados a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), matéria mineral (MM) e extrato etéreo (EE) (AOAC, 1990). Os carboidratos totais (CHO) foram estimados de acordo com Sniffen et al. (1992) através da relação $CHO = 100 - (PB + EE + MM)$.

2.5. Eficiência biológica, habilidade competitiva e benefício econômico

2.5.1. Índices de eficiência biológica

Os índices de eficiência biológica do consórcio palma-milheto, os quais são: uso eficiente da terra (UET), razão de área equivalente no tempo (RAET), coeficiente equivalente de terra (CET) e índice de produtividade do sistema (IPS), foram calculados de acordo com os procedimentos demonstrados nas Equações 2, 3, 4 e 5, respectivamente (Diniz et al., 2017; Sadeghpour et al., 2013; Yilmaz et al., 2014).

$$UET = \frac{Y_{ab}}{Y_{aa}} + \frac{Y_{ba}}{Y_{bb}} \quad (2)$$

em que, Y_{ab} e Y_{ba} = rendimentos da palma forrageira (a) e do milho (b) nos sistemas consorciados, respectivamente; Y_{aa} e Y_{bb} = rendimentos da palma forrageira e do milho nos sistemas exclusivos, respectivamente. Quando $UET > 1$, existe vantagem produtiva do consórcio sobre o sistema exclusivo, enquanto que se $UET = 1$, não existe vantagem produtiva, e se $UET < 1$, existe desvantagem em consorciar (Yilmaz et al., 2014).

$$RAET = \frac{(UET_a t_a) + (UET_b t_b)}{T_{ab}} \quad (3)$$

em que, UET_a e UET_b = uso eficiente da terra parcial das culturas da palma e do milho, respectivamente; t_a e t_b = duração do ciclo da palma e do milho em dias, respectivamente; T_{ab} = tempo total do sistema consorciado em dias. Se $RAET > 1$, há vantagem produtiva do consórcio, se $RAET = 1$, não há vantagem, e se $RAET < 1$, ocorre desvantagem do sistema intercalado em relação ao monocultivo (Diniz et al., 2017).

$$CET = UET_a UET_b \quad (4)$$

onde, se $CET > 0,25$ existe vantagem produtiva do consórcio, pois o coeficiente produtivo mínimo é de 25% (Diniz et al., 2017).

$$IPS = \left(\frac{Y_{aa}}{Y_{bb}} \right) Y_{ba} + Y_{ab} \quad (5)$$

sendo que, o IPS será utilizado para padronizar a cultura secundária (milheto) com a cultura primária ou principal (palma forrageira) (Sadeghpour et al., 2013).

2.5.2. Índices de habilidade competitiva

Por sua vez, os índices de habilidade competitiva do sistema consorciado palma-milheto, os quais são: coeficiente de adensamento relativo (CAR), agressividade (A), perda ou ganho atual de rendimento (PGAR) e razão de competitividade (RC), foram calculados conforme demonstram as Equações 6, 7, 8 e 9, respectivamente (Diniz et al., 2017; Sadeghpour et al., 2013).

$$CAR_{ab} = \frac{Y_{ab} X_{ba}}{Y_{aa} - Y_{ab}} X_{ab} \quad (6)$$

em que, X_{ab} = proporção de plantio da palma forrageira (20%, 31.250 plantas ha^{-1}) em consórcio com o milheto (80%, 125.000 plantas ha^{-1}); X_{ba} = proporção de plantio do milheto consorciado com a palma. Se o produto dos dois coeficientes, isto é, $CAR = (CAR_{ab} CAR_{ba}) > 1$, há vantagem no rendimento do sistema consorciado quando comparado ao exclusivo, se $CAR = 1$, não existe vantagem produtiva, e se $CAR < 1$, há desvantagem no consórcio. Quando $CAR_{ab} > CAR_{ba}$, indica que a palma forrageira apresenta alta competitividade sobre o milheto (Sadeghpour et al., 2013).

$$A_{ab} = \frac{Y_{ab}}{Y_{aa} X_{ab}} - \frac{Y_{ba}}{Y_{bb} X_{ba}} \quad (7)$$

onde, quando $A_{ab} = 0$, ambas as culturas são igualmente competitivas, enquanto que, quando $A_{ab} > 0$, a palma é dominante sobre o milheto, e se $A_{ab} < 0$, o milheto é dominante sobre a palma (Sadeghpour et al., 2013). O mesmo raciocínio é utilizado para a cultura secundária (A_{ba}).

$$PGAR = \left(UET_a \left[\frac{100}{X_{ab}} \right] - 1 \right) + \left(UET_b \left[\frac{100}{X_{ba}} \right] - 1 \right) \quad (8)$$

em que, se PGAR for positivo ($PGAR > 0$), sugere vantagem do sistema consorciado sobre o sistema exclusivo, enquanto que, se PGAR for negativo ($PGAR < 0$), sugere desvantagem do consórcio (Diniz et al., 2017).

$$RC_a = \frac{UET_a}{UET_b} \frac{X_{ba}}{X_{ab}} \quad (9)$$

em que, se $RC_a < 1$, há um benefício positivo para a consorciação e as espécies podem ser cultivadas juntas, enquanto que, se $RC_a > 1$, há uma maior competitividade da cultura quando comparado ao solteiro, não indicando seu cultivo em consórcio (Sadeghpour et al., 2013). Esta mesma interpretação é aplicada para o milho (RC_b).

2.5.3. Benefício econômico

A análise econômica foi feita com base no índice de vantagem monetária (IVM), expresso em R\$ ha⁻¹. Para o cálculo do IVM foi utilizado o UET conforme demonstrado na Equação 10 (Ghosh, 2004).

$$IVM = RL \frac{UET - 1}{UET} \quad (10)$$

em que, RL = receita líquida do consórcio (R\$ ha⁻¹). Quanto maior o IVM, mais lucrativo é o sistema consorciado.

2.6. Análise estatística

Todos os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e de homocedasticidade (O'Neill e Mathews). Uma vez atendendo essas premissas, procedeu-se com a análise de variância (ANOVA) pelo teste de F ($p < 0,05$). Sendo o teste de hipótese significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Todas essas análises foram feitas utilizando o software RStudio.

3. Resultados

3.1. Variáveis ambientais

A Fig. 1 mostra o comportamento da evapotranspiração de referência (ET_0) e da precipitação pluvial, bem como a entrada de água via irrigação ao longo do período experimental. Vale ressaltar que a irrigação se iniciou apenas em janeiro de 2017. Ao longo de todo o ciclo da palma (07/2016 – 06/2018), o total acumulado de chuva foi de 1069,2 mm (em dois anos), e a ET_0 foi de 3620,69 mm. Do início dos tratamentos ao final do experimento (01/2017 – 06/2018) o acumulado de chuva foi de 982,6 mm, e a demanda atmosférica acumulada foi de 2417,49 mm. O total de água aplicada via irrigação foi de 1008,73 mm.

Durante o ensaio experimental houve dois períodos chuvosos predominantes, a saber, de fevereiro a abril de 2017 e 2018, ocorrendo alguns eventos de chuva muito irregulares de maio a julho de 2017. O período com maior demanda atmosférica foi de setembro a dezembro de 2017.

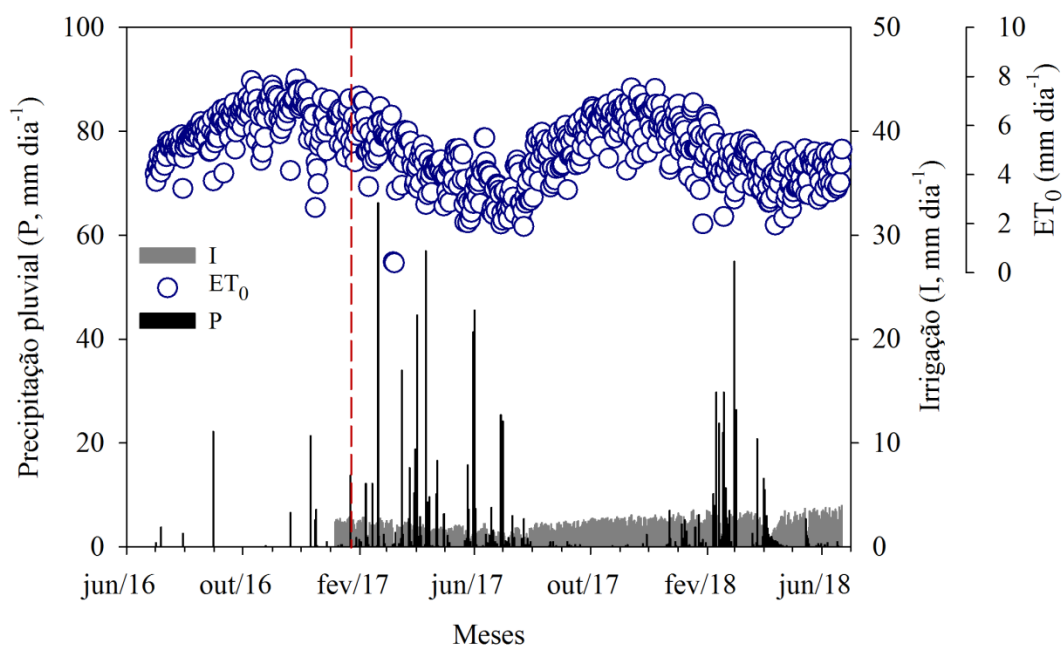


Fig. 1. Evapotranspiração de referência (ET_0), precipitação pluvial (P) e irrigação (I) no período de julho de 2016 a junho de 2018 em Serra Talhada, PE, Brasil. A linha tracejada vertical corresponde ao início dos tratamentos.

3.2. *Rendimento de forragem*

A cultura da palma forrageira não foi afetada pelos distintos tratamentos no que diz respeito ao rendimento de matéria fresca e seca, bem como ao conteúdo de matéria seca, apresentando valores médios de 270 Mg ha⁻¹, 23 Mg ha⁻¹ e 0,09 Mg Mg⁻¹, respectivamente (Tabela 2). Por outro lado, o milheto teve seus parâmetros de produção reduzidos em função do consórcio (Tabela 2, Fig. 2), mostrando-se menos competitivo em relação à palma. Foi

verificado que a cobertura morta aumentou o rendimento de matéria fresca (MFm) e seca (MSm) do milho solteiro quando comparado ao milho exclusivo sem cobertura morta (Tabela 2). Isso também foi observado para rendimento de matéria seca do milho no 2º e 3º ciclos (Fig. 2).

Tabela 2

Rendimento (Mg ha^{-1}) de matéria fresca de palma (MFp), milho (MFm) e total (MFt), rendimento de matéria seca de palma (MSp), milho (MSm) e total (MSt), e conteúdo de matéria seca (Mg Mg^{-1}) de palma (CMSp), milho (CMSm) e total (CMSt) em cultivo de palma forrageira exclusiva (P), milho exclusivo (M) e consórcio palma-milho (P/M), com e sem cobertura morta.

Cobertura	Cultivo	MFp	MFm	MFt	MSp	MSm	MSt	CMSp	CMSm	CMSt
Sem	P	286,1	-	286,1a	22,5	-	22,5b	0,08	-	0,08c
	M	-	49,1b	49,1b	-	17,2b	17,2b	-	0,35a	0,35a
	P/M	261,7	28,3c	290,1a	21,6	9,8c	31,4a	0,09	0,30b	0,19b
Com	P	273,3	-	273,3a	25,1	-	25,1b	0,09	-	0,09c
	M	-	69,7a	69,7b	-	23,4a	23,4b	-	0,36a	0,36a
	P/M	259,4	30,9c	290,3a	22,5	10,2c	32,8a	0,09	0,29b	0,19b
CV (%)		16,2	8,4	30,2	20,5	9,6	22,1	7,2	6,3	7,3

CV: coeficiente de variação. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

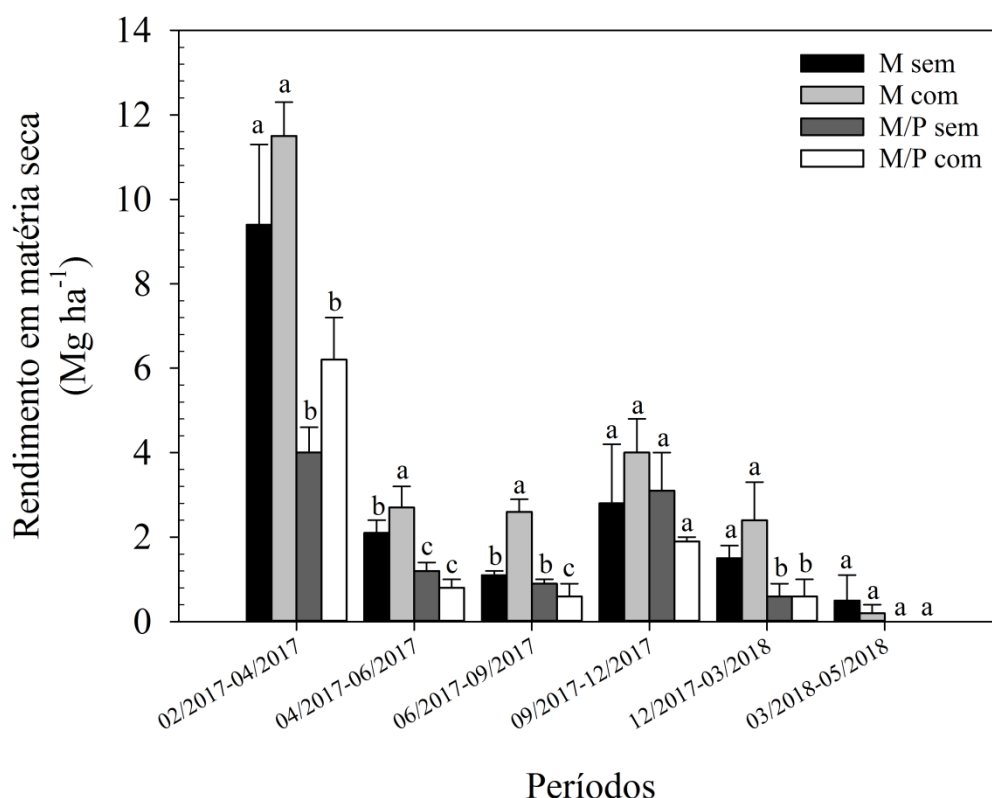


Fig. 2. Rendimento do milheto em sistema exclusivo (M) e consorciado (M/P), sem e com cobertura morta. Cada período refere-se a um ciclo da cultura, sendo que, os primeiros três ciclos correspondem a uma semeadura e duas rebrotas, igualmente para os três últimos ciclos. Letras iguais no ciclo não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade. Desvio padrão aparece acima das barras.

Em relação ao rendimento de matéria fresca total de forragem (MFt), pôde-se observar que os tratamentos PE e P/M, com e sem cobertura morta, tiveram os maiores valores, com uma média de 285 Mg ha⁻¹ (Tabela 2). Com isso, fica evidente que a palma forrageira foi a componente chave no aumento desta variável em função de seu alto teor de água. O baixo conteúdo de matéria seca (CMS) da cactácea em comparação ao milheto, expresso na Tabela 2, prova essa afirmação. No que diz respeito ao rendimento de matéria seca total de forragem (MSt), os tratamentos P/M, com e sem cobertura, obtiveram os maiores valores (32,8 e 31,4 Mg ha⁻¹, respectivamente), sendo que os demais apresentaram os menores, não diferindo estatisticamente entre si (Tabela 2).

3.3. Composição químico-bromatológica da palma forrageira

Os sistemas de cultivo não afetaram a maioria das variáveis bromatológicas, exceto fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) (Tabela 3). O tratamento

P/M com cobertura obteve o menor valor de FDN (26,1%), sendo que, os demais detiveram os maiores valores, porém, sem haver diferença significativa entre estes, com valor médio de 43,3% (Tabela 3). Pôde-se observar que os consórcios diminuíram os teores de FDA, independentemente da cobertura morta, apresentando valores médios de 5,5 e 2,9% para monocultura e consórcio, respectivamente (Tabela 3). Embora tenham sido encontradas diferenças significativas para os teores de FDN e FDA em função das práticas de cultivo, todavia, a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) não foi afetada pelos tratamentos (Tabela 3). Tendo em vista que os sistemas de cultivo não afetaram os teores de MSd, PB, MM, EE, CHO e DIVMS, estes apresentaram valores médios de 7,6%, 5,7%, 16,4%, 1,2%, 76,6% e 79,8%, respectivamente.

Tabela 3

Matéria seca definitiva (MSd, %), fibra em detergente neutro (FDN, %), fibra em detergente ácido (FDA, %), proteína bruta (PB, %), matéria mineral (MM, %), extrato etéreo (EE, %), carboidratos totais (CHO, %) e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS, %) de palma forrageira em sistema exclusivo (P) e consorciado com milheto (P/M), sem e com cobertura morta.

Trat.	MSd	FDN	FDA	PB	MM	EE	CHO	DIVMS
P sem	7,0a	47,2 ^a	5,8a	6,1a	18,1a	1,2a	74,6a	78,1a
P com	8,2a	42,3 ^a	5,3a	5,0a	17,4a	1,2a	76,4a	75,4a
P/M sem	7,5a	40,4 ^a	3,2b	5,3a	14,4a	1,1a	79,2a	84,7a
P/M com	7,9a	26,1b	2,6b	6,6a	15,7a	1,4a	76,3a	81,0a
L.S.	ns	*	***	Ns	ns	ns	ns	ns

Trat.: tratamento. L.S.: nível de significância. ns: não significativo ($p > 0,05$). * $p < 0,05$. *** $p < 0,001$. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si ($p > 0,05$).

3.4. Índices de concorrência e benefício econômico

A cobertura morta não proporcionou nenhuma diferença no tocante aos índices de eficiência biológica (UET, RAET, CET e IPS), habilidade competitiva (CAR, A, PGAR e RC) e ao IVM (Tabela 4, Tabela 5). No entanto, foi possível observar que o consórcio P/M apresentou bons resultados em relação à eficiência biológica (Tabela 4). Apesar de UETa e UETb terem mostrado valores menores que a unidade (1,00), indicando que ambas as culturas tiveram uma desvantagem produtiva no sistema consorciado, os valores de UET (UETa + UETb) foram maiores que a unidade (em média, 1,42), evidenciando que o consórcio foi mais eficiente que as monoculturas na utilização da terra como recurso. A RAET também obteve

resultados superiores à unidade, e o CET foi maior que 25%. O IPS apresentou valor médio de 34,3, o qual é expresso em Mg ha⁻¹ em matéria seca. Valores positivos foram encontrados para o IVM (em média, 8404,00 R\$ ha⁻¹), indicando uma vantagem econômica do consórcio sobre os sistemas de cultivo exclusivo de palma e de milho (Tabela 4).

Tabela 4

Uso eficiente da terra (UET), razão de área equivalente no tempo (RAET), coeficiente equivalente de terra (CET), índice de produtividade do sistema (IPS) e índice de vantagem monetária (IVM) do consórcio palma-milho (P/M) sem e com cobertura morta.

Trat.	UETa	UETb	UET	RAET	CET	IPS	IVM
P/M sem	0,90	0,58	1,48	1,24	0,53	35,2	8967,50
P/M com	0,92	0,44	1,36	1,17	0,40	33,4	7840,31
L.S.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Trat: tratamento. UETa: UET parcial da palma. UETb: UET parcial do milho. UET: UET total. LS: nível de significância. ns: não significativo pelo teste de F.

Em relação à habilidade de competição do consórcio P/M, os índices mostraram que a palma forrageira exerceu dominância sobre o milho (Tabela 5). Valores de CAR parciais da palma foram negativos, enquanto que valores de CAR parciais do milho foram menores que a unidade (<1). Resultados positivos para agressividade da palma (Aa), negativos para agressividade do milho (Ab), bem como valores maiores que 1,0 para RCa, e menores para RCb, evidenciam claramente a dominância da palma sobre o milho em sistema intercalado. Os índices de PGAR puderam fornecer informações mais claras que os demais, uma vez que os valores de PGARa foram positivos e superiores aos de PGARb. Em geral, o valor total de PGAR foi positivo, indicando vantagem do consórcio sobre os sistemas exclusivos, em termos de produtividade.

Tabela 5

Coeficiente de adensamento relativo (CAR), agressividade (A), perda ou ganho atual de rendimento (PGAR) e razão de competitividade (RC) do consórcio palma-milho (P/M) sem e com cobertura morta.

Trat.	CARa	CARb	CAR	Aa	Ab	PGARa	PGARb	PGAR	RCa	RCb
P/M sem	-0,42	0,28	-0,12	3,77	-3,77	448,40	71,63	520,02	6,43	0,18
P/M com	-1,19	0,13	-0,15	4,05	-4,05	458,36	53,69	512,04	8,47	0,13

L.S. ns ns ns ns ns ns ns ns ns ns

Trat: tratamento. CARa: CAR parcial da palma. CARb: CAR parcial do milheto. CAR: CAR total. Aa: A da palma. Ab: A do milheto. PGARa: PGAR parcial da palma. PGARb: PGAR parcial do milheto. PGAR: PGAR total. RCa: RC da palma. RCb: RC do milheto. LS: nível de significância. ns: não significativo pelo teste de F.

4. Discussão

4.1. Rendimento de forragem

Nossos resultados evidenciam que a competição com a cultura concorrente (milheto) pelos recursos naturais, gerada pelo consórcio, não causou reduções nos parâmetros produtivos da cultura principal. Outro ponto interessante é que a cobertura morta também não afetou tais variáveis na referida cultura. Isso está diretamente relacionado às características morfofisiológicas de alta adaptabilidade da cactácea a ambientes áridos e semiáridos, uma vez que esta planta possui o metabolismo fotossintético do tipo CAM, resultando em alta eficiência do uso da água; consequentemente, sob condições ótimas de umidade do solo, a palma forrageira armazena em suas estruturas suculentas (cladódios) uma grande quantidade de água, especificamente nas células do tecido parenquimático, chegando a ser constituída por, aproximadamente, 90% de água (Tabela 2), servindo como excelente fonte hídrica para a dessedentação animal em locais quentes e secos (Ben Salem and Smith, 2008; Scalisi et al., 2016). Vale lembrar que todo o experimento do presente estudo foi irrigado pelo método de gotejamento.

Em relação à redução no rendimento do milheto por conta do consórcio, isso ficou bastante aparente em campo, principalmente quando efetuou-se novo semeio em meados de setembro de 2017 (Fig. 2), onde foi observado alta demanda atmosférica e ausência de chuvas até o mês de novembro do mesmo ano (Fig. 1). Além disso, nesse mesmo período, a cultura da palma forrageira já estava com 442 dias após o plantio (DAP). Outro agravante é que as fileiras de palma e de milheto foram plantadas em sentido norte-sul, fazendo com que as plântulas de milheto consorciado, em fase de pré-estabelecimento, recebessem radiação apenas na segunda metade do período diurno, em função do sombreamento causado pela palma. Todos esses fatores (i.e., competição, época de semeio, idade da palma e sombreamento) dificultaram a estabilidade e vigor do milheto nas parcelas consorciadas, prejudicando o desempenho da gramínea em campo. Isso pode ser verificado claramente nos períodos 1, 2, 3 e 5 (Fig. 2), e no somatório de rendimento do milheto (Tabela 2). Em termos

de tendência, comparando-se a primeira e a segunda semeadura, as magnitudes de rendimento foram bastante discrepantes em função da época de semeio (Fig. 2).

Nelson et al. (2018) explicaram que os baixos rendimentos de milheto consorciado com feijão-caupi, encontrados em sua pesquisa, ocorreram porque o milheto sofreu redução em sua capacidade de desenvolver raízes mais profundas, uma vez que o feijão-caupi já estava bem estabelecido quando o milheto foi semeado e, as duas culturas compartilhavam a mesma zona radicular. Os mesmos autores ainda reportaram que a redução no rendimento do milheto em resposta ao consórcio também foi relacionada à luz, visto que grande parte de suas folhas foram sombreadas pelo feijão-caupi (Nelson et al., 2018). Havilah (2017) destacou que apesar de suportar condições de baixa fertilidade do solo e seca, o milheto é mais sensível ao fracasso no estabelecimento e tende a ter menores rendimentos quando comparado com outras gramíneas forrageiras anuais. Isso explica o fato do milheto, no presente estudo, ter demonstrado baixos rendimentos quando semeado em setembro de 2017 (Fig. 2), uma vez que o estabelecimento da cultura foi comprometido em função dos fatores anteriormente citados.

Incremento no rendimento de outras culturas, utilizando cobertura morta, também foi relatado em outros trabalhos (El-mageed et al., 2018, 2016), os quais explicaram que a cobertura morta, ao se decompor, adiciona nutrientes no solo e ajuda no sequestro de carbono, além de melhorar as propriedades físicas do solo, facilitando o crescimento radicular e absorção de nutrientes. El-mageed et al. (2018) também detalharam que a adição de cobertura morta aumentou a concentração de clorofila a, clorofila b e carotenoides totais em folhas de sorgo forrageiro sob déficit hídrico, o que está diretamente associado à ascensão do rendimento, devido à melhoria no aparato fotossintético.

O aumento no rendimento de matéria seca total de forragem através do consórcio mostra que a consorciação é uma prática promissora que ajuda a incrementar o rendimento total de forragem, principalmente em regiões semiáridas. Também foi relatado na literatura o aumento no rendimento de matéria seca total em outras culturas (Masvaya et al., 2017; Sadeghpour et al., 2013; Temesgen et al., 2015). No Semiárido brasileiro, estudos recentes têm demonstrado que a consorciação palma-sorgo também tem contribuído no aumento da produção de matéria seca de forragem, principalmente devido à otimização no uso dos recursos naturais disponíveis (Diniz et al., 2017; Lima et al., 2018).

4.2. Qualidade de forragem da palma

A palma forrageira é utilizada como fonte hídrica para os animais em regiões quentes e secas, como no Semiárido brasileiro e em diversos lugares do mundo (e.g. Chile, Marrocos, México, África do Sul, Tunísia etc.), devido ao seu elevado teor de água (Ben Salem and Smith, 2008), como pôde ser notado seu baixo teor de MSd no presente estudo.

Apesar dos sistemas de cultivo terem afetado apenas os teores de FDN e FDA, esse efeito pode ser considerado desprezível, pois independentemente dos tratamentos, os parâmetros nutricionais da cactácea mantiveram-se em níveis aceitáveis para ruminantes, principalmente em termos de CHO e DIVMS (Tabela 3). A maior parte dos tratamentos apresentaram valores de FDN superiores aos encontrados na literatura, embora os valores de FDA se mostraram muito inferiores, provavelmente devido aos baixos teores de lignina (Andrade-Montemayor et al., 2011; Ben Salem and Smith, 2008; Moraes et al., 2019), não interferindo na digestibilidade da forragem.

A palma forrageira, por natureza, possui baixos teores de fibras e proteína bruta, no entanto, é considerada um alimento energético pelos seus elevados teores de carboidratos (64 – 71%) (Ben Salem and Smith, 2008). Apesar de ser considerada uma forragem de baixo valor protéico, Gregory and Felker (1992), estudando oito clones de *Opuntia*, relataram que há uma grande variabilidade no teor de PB entre as espécies, principalmente devido à idade dos cladódios. Eles encontraram valores de PB na faixa de 5,95 a 11,43%.

Sem dúvidas, a palma forrageira tem ganhado destaque no campo e na pesquisa, devido a sua grande aceitabilidade pelos animais. Costa et al. (2012) constataram que o aumento dos níveis de palma forrageira (*Opuntia ficus indica*) na dieta de ovinos Santa Inês, em substituição ao milho, elevou o consumo de palma e de minerais, devido ao seu baixo teor de fibras, alta palatabilidade, alta taxa de passagem e elevado teor de minerais. Também foi observado um aumento linear nos coeficientes de digestibilidade da matéria seca e de FDN, bem como uma redução acentuada no consumo voluntário de água com o aumento dos níveis de palma na dieta (Costa et al., 2012), fazendo com que esta cultura seja uma componente chave a ser considerada na alimentação de ruminantes em regiões semiáridas. Outros trabalhos também têm mostrado que a substituição de silagem de milho e feno de Tifton por palma forrageira, tem aumentado o consumo de matéria seca devido ao menor consumo de FDN, como também tem aumentado os níveis de CHO nas dietas (Moraes et al., 2019; Siqueira et al., 2017).

Ben Salem and Smith (2008) sugeriram a adição de uma forragem mais fibrosa com a palma, a fim de que o processo de ruminação opere normalmente, evitando distúrbios no

sistema digestivo. Por esta razão, o presente estudo propõe a associação do milheto (*Pennisetum glaucum*) com a palma através do consórcio, pois além de otimizar o uso dos recursos naturais disponíveis, o milheto é uma cultura que possui qualidades nutricionais que podem ajudar no incremento fibroso e protéico. Conforme verificado por Kollet et al. (2006), estudando três variedades de milheto (Africano, Americano e BN-2), a forragem apresentou valores médios de PB, FDN e FDA entre 15 – 17%, 56 – 60% e 30 – 34%, respectivamente. Por sua vez, Marmouzi et al. (2018) constataram que as sementes de milheto obtiveram médias de 10,84%, 17,08% e 3,81% para proteínas, FDN e FDA, respectivamente. Dias-Martins et al. (2018) também relataram que sementes de milheto possuem em torno de 72,2% de carboidratos, 11,8% de proteína, 7,8% de fibra alimentar e 6,4% de lipídios. Vale ressaltar que esses teores podem sofrer alterações a depender da variedade, fatores climáticos, fertilidade do solo e idade de corte (Dias-Martins et al., 2018; Kollet et al., 2006).

4.3. Índices de concorrência e benefício econômico

O valor médio de UET de 1,42 indica que as monoculturas necessitariam de mais 42% de terra (0,42 ha) para produzir o equivalente ao consórcio (Sadeghpour et al., 2013; Yilmaz et al., 2014). Estudos sobre o uso eficiente da terra envolvendo a palma forrageira com outras plantas ainda são escassos. Silva et al. (2013), estudando diferentes consórcios com palma forrageira, encontraram valores de UET de 2,58, 2,99 e 2,83 para as configurações palma-algodão-gergelim, palma-algodão-amendoim e palma-algodão, respectivamente. Diniz et al. (2017) encontraram valor de UET de 1,51 para o consórcio palma-sorgo no Semiárido brasileiro. No entanto, os mesmos autores ressaltaram que o cálculo do UET não leva em consideração o tempo em que as culturas levaram em campo até a colheita, e isso pode superestimar a vantagem do consórcio, fazendo-se necessário o cálculo da RAET. Isso justifica o fato da RAET ser menor que o UET no presente estudo, porém, ainda foi superior à unidade (1,20). Diniz et al. (2017) também constataram valor de RAET de 1,30 e CET de 0,58 (>0,25). O IPS é utilizado para equiparar o rendimento da cultura secundária ao da cultura principal. Neste caso, o IPS encontrado (34,3 Mg ha⁻¹) foi superior ao rendimento da palma quando cultivada exclusivamente (23,8 Mg ha⁻¹), demonstrando uma estabilidade do consórcio P/M na produção de forragem (Diniz et al., 2017).

O IVM mostrou que o consórcio P/M trouxe um benefício econômico em comparação com as monoculturas, atestando que quanto maior o UET maior será o IVM (Ghosh, 2004;

Sadeghpour et al., 2013). Considerando que ambas as culturas foram destinadas para venda como forragem, assim como no presente estudo, Lima et al. (2018) constataram lucratividade do consórcio palma-sorgo, irrigado por gotejamento, somente a partir do segundo ano de implantação do sistema de irrigação.

Valores negativos de CAR parciais da palma (CARa) e de CAR total indicam que, em algumas repetições para o cálculo deste índice, o rendimento da palma em consórcio foi superior ao seu rendimento em sistema exclusivo, podendo-se até sugerir que a competição interespecífica mostrou-se inferior à intraespecífica em palma forrageira (Ikeorgu, 1990). Os índices de A e RC encontrados explicam que a palma forrageira exerceu forte dominância sobre o milheto em consórcio. A palma também mostrou-se dominante sobre a cultura do sorgo forrageiro no consórcio estudado por Diniz et al. (2017). Os valores positivos e superiores de PGARa em comparação com PGARb evidenciam que o milheto é mais suscetível a perda de rendimento do que a palma forrageira quando intercalados (Machiani et al., 2018; Yilmaz et al., 2014).

5. Conclusão

Apesar do consórcio ter reduzido o rendimento do milheto, o somatório dos rendimentos de forragem (palma + milheto) foi satisfatório. A cobertura morta não influenciou nos rendimentos da palma forrageira, no entanto, contribuiu para o incremento de matéria fresca e seca do milheto exclusivo. A composição químico-bromatológica da palma forrageira manteve-se em níveis adequados para ruminantes, independentemente das práticas de cultivo. Os índices de eficiência biológica (UET, RAET, CET e IPS) comprovaram que o consórcio palma-milheto é sustentável e viável para ambientes semiáridos, fazendo melhor uso dos recursos naturais disponíveis. Muito embora o milheto tenha sofrido quebra de rendimento quando consorciado com a palma, o consórcio em si trouxe um retorno econômico de 8404,00 R\$ ha⁻¹, conforme demonstrou o IVM. Os parâmetros de habilidade competitiva (A, RC e PGAR) demonstraram que, apesar do consórcio ter se mostrado eficiente, a palma forrageira exerceu forte dominância sobre a cultura do milheto.

Portanto, recomendamos o consórcio da palma forrageira com a cultura do milheto, com a finalidade de incrementar o rendimento de forragem e a renda líquida para produtores de regiões semiáridas, utilizando cobertura morta para auxiliar sobretudo a cultura secundária.

Sugerimos o desenvolvimento de pesquisas voltadas para o consórcio da palma forrageira com leguminosas herbáceas para melhoria da qualidade de forragem da cactácea.

Referências

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, 56, Rome 300pp. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.12.001>
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift 22, 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Andrade-Montemayor, H.M., Cordova-Torres, A. V, García-Gasca, T., Kawas, J.R., 2011. Alternative foods for small ruminants in semiarid zones, the case of Mesquite (*Prosopis laevigata* spp.) and Nopal (*Opuntia* spp.). Small Ruminant Research 98, 83–92. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.03.023>
- AOAC, 1990. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013135>
- Ben Salem, H., Smith, T., 2008. Feeding strategies to increase small ruminant production in dry environments. Small Ruminant Research 77, 174–194. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.03.008>
- Costa, R.G., Treviño, I.H., Medeiros, G.R., Medeiros, A.N., Pinto, T.F., Oliveira, R.L., 2012. Effects of replacing corn with cactus pear (*Opuntia ficus indica* Mill) on the performance of Santa Inês lambs. Small Ruminant Research 102, 13–17. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.09.012>
- Dias-Martins, A.M., Pessanha, K.L.F., Pacheco, S., Rodrigues, J.A.S., Carvalho, C.W.P., 2018. Potential use of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) in Brazil: Food security, processing, health benefits and nutritional products. Food Research International 109, 175–186. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.023>
- Ding, D., Zhao, Y., Feng, H., Hill, R.L., Chu, X., Zhang, T., He, J., 2018. Soil water utilization with plastic mulching for a winter wheat-summer maize rotation system on the Loess Plateau of China. Agricultural Water Management 201, 246–257. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.12.029>
- Diniz, W.J.S., Silva, T.G.F., Ferreira, J.M.S., Santos, D.C., Moura, M.S.B., Araújo, G.G.L., Zolnier, S., 2017. Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water depths in the Brazilian Semiarid Region. Pesquisa Agropecuária Brasileira 52, 724–733. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000900004>
- El-mageed, T.A.A., Samnoudi, I.M.E., Ibrahim, A.E.M., Abd, A.R., Tawwab, E., 2018. Compost and mulching modulates morphological , physiological responses and water use efficiency in sorghum (*bicolor* L . Moench) under low moisture regime. Agricultural Water Management 208, 431–439.

598 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.042>

599 El-mageed, T.A.A., Semida, W.M., El-wahed, M.H.A., 2016. Effect of mulching on plant
600 water status , soil salinity and yield of squash under summer-fall deficit irrigation in salt
601 affected soil. *Agricultural Water Management* 173, 1–12.
602 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.025>

603 EMBRAPA, 2013. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Ministério da Agricultura,
604 Pecuária e Abastecimento, 3 ed, 353pp. <https://doi.org/10.1080/00015126709433140>

605 Ghosh, P.K., 2004. Growth , yield , competition and economics of groundnut / cereal fodder
606 intercropping systems in the semi-arid tropics of India. *Field Crops Research* 88, 227–
607 237. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.01.015>

608 Gregory, R.A., Felker, P., 1992. Crude protein and phosphorus contents of eight contrasting
609 *Opuntia* forage clones. *Journal of Arid Environments* 22, 323–331.
610 [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(18\)30574-3](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(18)30574-3)

611 Havilah, E.J., 2017. Forages and pastures: annual forage and pasture crops - species and
612 varieties, in: *Reference Module in Food Science*. pp. 552–562.
613 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00193-X>

614 Ikeorgu, J.E.G., 1990. Glasshouse performance of three leafy vegetables grown in mixtures in
615 Nigeria. *Scientia Horticulturae* 43, 181–188.

616 Kollet, J.L., Diogo, J.M.S., Leite, G.G., 2006. Rendimento forrageiro e composição
617 bromatológica de variedades de milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. BR.). *Revista*
618 *Brasileira de Zootecnia* 35, 1308–1315.

619 Li, S., Li, Y., Lin, H., Feng, H., Dyck, M., 2018. Effects of different mulching technologies
620 on evapotranspiration and summer maize growth. *Agricultural Water Management* 201,
621 309–318. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.10.025>

622 Lima, L.R., Silva, T.G.F., Pereira, P.C., Morais, J.E.F., Assis, M.C.S., 2018. Productive-
623 economic benefit of forage cactus-sorghum intercropping systems irrigated with saline
624 water. *Caatinga* 2125, 191–201.

625 Machiani, M.A., Javanmard, A., Morshedloo, M.R., Maggi, F., 2018. Evaluation of
626 competition , essential oil quality and quantity of peppermint intercropped with soybean.
627 *Industrial Crops & Products* 111, 743–754. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.11.052>

628 Marengo, J.A., Alves, L.M., Alvala, R.C.S., Cunha, A.P., Brito, S., Moraes, O.L.L., 2017.
629 Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil
630 region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 23, 1–13.

631 Marmouzi, I., Ali, K., Harhar, H., Gharby, S., Sayah, K., Madani, N. El, Cherrah, Y., Faouzi,
632 M.E.A., 2018. Functional composition, antibacterial and antioxidative properties of oil
633 and phenolics from Moroccan *Pennisetum glaucum* seeds. *Journal of the Saudi Society*
634 *of Agricultural Sciences* 17, 229–234. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.04.007>

635 Masvaya, E.N., Nyamangara, J., Descheemaeker, K., Giller, K.E., 2017. Is maize-cowpea
636 intercropping a viable option for smallholder farms in the risky environments of semi-
637 arid southern Africa ? *Field Crops Research* 209, 73–87.

- 638 <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.04.016>
- 639 Moraes, G.S.O., Guim, A., Tabosa, J.N., Chagas, J.C.C., Almeida, M.P., Ferreira, M.A.,
640 2019. Cactus [*Opuntia stricta* (Haw.) Haw] cladodes and corn silage: How do we
641 maximize the performance of lactating dairy cows reared in semiarid regions? *Livestock*
642 *Science* 221, 133–138. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.01.026>
- 643 Nelson, W.C.D., Hoffmann, M.P., Vadez, V., Roetter, R.P., Whitbread, A.M., 2018. Testing
644 pearl millet and cowpea intercropping systems under high temperatures. *Field Crops*
645 *Research* 217, 150–166. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.12.014>
- 646 Pereira, P.C., Silva, T.G.F., Zolnier, S., Morais, J.E.F., Santos, D.C., 2015. Morfogênese da
647 palma forrageira irrigada por gotejamento. *Caatinga* 28, 184–195.
- 648 Queiroz, M.G., Silva, T.G.F., Zolnier, S., Silva, S.M.S., Souza, C.A.A., Carvalho, H.F.S.,
649 2016. Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente
650 semiárido. *Irriga. Especial*, 141–154. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n01>
- 651 Raseduzzaman, M., Jensen, E.S., 2017. Does intercropping enhance yield stability in arable
652 crop production? A meta-analysis. *European Journal of Agronomy* 91, 25–33.
653 <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.09.009>
- 654 Richards, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils. *Agricultural*
655 *Handbook*, 60, US Department of Agriculture.
656 <https://doi.org/10.2136/sssaj1954.03615995001800030032x>
- 657 Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Esmaeili, A., Hosseini, M.B., Hashemi, M., 2013. Forage yield,
658 quality and economic benefit of intercropped barley and annual medic in semi-arid
659 conditions: Additive series. *Field Crops Research* 148, 43–48.
660 <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.03.021>
- 661 Scalisi, A., Morandi, B., Inglese, P., Lo Bianco, R., 2016. Cladode growth dynamics in
662 *Opuntia ficus-indica* under drought. *Environmental and Experimental Botany* 122, 158–
663 167. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.10.003>
- 664 Silva, G.S., Oliveira, R.A., Queiroz, N.L., Silva, M.N.B., Sousa, M.F., Silva, S.A., 2013.
665 Desempenho agrônomo de algodão orgânico e oleaginosas consorciados com palma
666 forrageira. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17, 975–981.
667 <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000900010>
- 668 Silva, T.G.F., Araújo Primo, J.T., Moura, M.S.B., Silva, S.M.S., Morais, J.E.F., Pereira, P.C.,
669 Souza, C.A.A., 2015. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus
670 clones under rainfed conditions. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 50, 515–525.
671 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000700001>
- 672 Siqueira, M.C.B., Ferreira, M.A., Monnerat, J.P.I.S., Silva, J.L., Costa, C.T.F., Conceição,
673 M.G., Andrade, R.P.X., Barros, L.J.A., Melo, T.T.B., 2017. Optimizing the use of
674 spineless cactus in the diets of cattle: Total and partial digestibility, fiber dynamics and
675 ruminal parameters. *Animal Feed Science and Technology* 226, 56–64.
676 <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.12.006>
- 677 Sniffen, C.J., O'Connor, J.D., Van Soest, P.J., Fox, D.G., Russell, J.B., 1992. A net
678 carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein

availability. *Journal of Animal Science* 70, 3562–3577.

Temesgen, A., Fukai, S., Rodriguez, D., 2015. As the level of crop productivity increases : Is there a role for intercropping in smallholder agriculture. *Field Crops Research* 180, 155–166. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.06.003>

Ullah, A., Ahmad, A., Khaliq, T., Akhtar, J., 2017. Recognizing production options for pearl millet in Pakistan under changing climate scenarios. *Journal of Integrative Agriculture* 16, 762–773. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61450-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61450-8)

Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74, 3583–3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)

Wang, J., Zhang, Y., Gong, S., Xu, D., Juan, S., Zhao, Y., 2018. Evapotranspiration, crop coefficient and yield for drip-irrigated winter wheat with straw mulching in North China Plain. *Field Crops Research* 217, 218–228. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.05.010>

Yilmaz, Ş., Özel, A., Atak, M., Erayman, M., 2014. Effects of seeding rates on competition indices of barley and vetch intercropping systems in the eastern mediterranean. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 39, 135–143. <https://doi.org/10.3906/tar-1406-155>

709

710

Capítulo 3 – Crescimento, fenologia e momento de corte da palma forrageira sob práticas de melhoria da resiliência agrícola

RESUMO

Devido à necessidade de se entender as características morfométricas e morfofisiológicas que estão relacionadas à produção de palma forrageira, objetivou-se com esse estudo analisar o crescimento da palma forrageira, caracterizar sua morfologia, bem como sua fenologia e detectar o momento de corte da cultura em consórcio com o milheto, utilizando cobertura morta. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos corresponderam aos seguintes sistemas de cultivo: palma exclusiva e consorciada com milheto, com e sem cobertura morta. As características biométricas pouco sofreram alterações com os sistemas adotados. Todavia, o sistema palma exclusiva com cobertura se destacou em relação aos demais quanto à TCA, TCR e TAL (índices morfofisiológicos). A Fase 2 foi reduzida em função do consórcio, havendo uma antecipação da Fase 3, todavia não houve redução no rendimento da cultura. O momento de corte se deu entre 2.300 e 2.400 °Cdia. No entanto, a disponibilidade de água, via irrigação, pareceu atuar melhor na antecipação do corte da palma forrageira do que os sistemas adotados.

Palavras chave: cobertura morta, consórcio, graus dias acumulados, *Opuntia stricta*, taxas de crescimento.

ABSTRACT

Due to the need to understand the morphometric and morphophysiological characteristics that are related to forage cactus production, this study aimed to analyze forage cactus growth, to characterize its morphology, as well as its phenology and to detect the moment of crop cutting in intercropping with millet using mulch. The experimental design was a randomized block design with four treatments and four replications. The treatments corresponded to the following cultivation systems: exclusive cactus and intercropped with millet, with and without mulch. The biometric characteristics were little changed with the adopted systems. However, the exclusive cactus system with coverage stood out in relation to the others regarding TCA, TCR and TAL (morphophysiological indexes). Phase 2 was reduced due to the intercropping, with an anticipation of Phase 3, however, there was no reduction in crop yield. The cutting time occurred between 2,300 and 2,400 °Cdia. However, the availability of water, through irrigation, seemed to act better in anticipation of forage cactus cutting than the systems adopted.

Keywords: mulching, intercropping, degrees accumulated days, *Opuntia stricta*, growth rates.

1. Introdução

A palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) tem sido uma ótima alternativa para alimentação de ruminantes em regiões áridas e semiáridas de todo o mundo. Por possuir o metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), esta planta, assim como outras cactáceas, abre seus estômatos apenas durante a noite, onde também captura o CO₂ atmosférico, reduzindo a perda de água através da transpiração (Liguori et al., 2013). Por conta disso, a palma consegue armazenar quantidades consideráveis de água em seus cladódios, e isso é o que tem mais contribuído para sua expansão no Nordeste brasileiro. Dentre as espécies mais utilizadas no Semiárido brasileiro, a que vem mais se destacando é a *Opuntia stricta* (Haw.) Haw., clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM), por ser uma planta rústica, tolerante à seca e resistente à Cochonilha do Carmim (*Dactylopius opuntiae*) (Silva et al., 2015a).

Apesar de apresentar características tão relevantes, algumas práticas, como a consorciação e a cobertura morta, vêm sendo aplicadas e estudadas com a cultura da palma forrageira (Amorim et al., 2017; Carvalho et al., 2017; Diniz et al., 2017; Lima et al., 2018), tendo em vista os mais diversos benefícios que tais técnicas podem trazer ao agroecossistema. A cobertura morta atua principalmente na conservação da umidade do solo e redução de sua temperatura, além de melhorar as propriedades físico-químicas do solo (Kader et al., 2017). Por sua vez, o consórcio permite o cultivo simultâneo de duas espécies ou mais em uma mesma área, incrementando a produção vegetal por meio da otimização do uso dos recursos disponíveis (Sadeghpour et al., 2013). No entanto, são escassos os estudos que avaliam os parâmetros de crescimento e morfofisiológicos, bem como a fenologia e o momento de corte da palma sob essas práticas (Amorim et al., 2017; Queiroz et al., 2015).

O conhecimento do comportamento fenológico das culturas é extremamente importante para a programação das práticas de manejo de uma plantação, como irrigação, adubação, controle de pragas e plantas daninhas e a colheita, ressaltando que cada estágio de desenvolvimento de uma cultura está diretamente relacionado às alterações do ambiente (Sakar et al., 2019), podendo resultar em antecipação ou retardamento da colheita (Amorim et al., 2017).

Por isso, o objetivo deste estudo foi analisar o crescimento da palma forrageira, caracterizar sua morfologia, bem como sua fenologia e detectar o momento de corte da cultura em consórcio com o milho, utilizando cobertura morta.

2. Material e métodos

2.1. Caracterização do local

O ensaio experimental foi conduzido no “Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e Outras Plantas Forrageiras”, o qual está localizado na Unidade Acadêmica de Serra Talhada da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE – UAST), município de Serra Talhada – PE, Brasil, com as seguintes coordenadas: Latitude 7°56’20” Sul; Longitude 38°17’31” Oeste e Altitude 499 m.

Segundo a classificação de Köppen, a região possui clima semiárido, com chuvas concentradas nos meses de verão (BSwh’) (Alvares et al., 2013). A média de precipitação pluvial é de 642 mm ano⁻¹. A temperatura média anual, a umidade relativa do ar e a evapotranspiração de referência da região são de 24,8 °C, 63% e 1800 mm, respectivamente (Pereira et al., 2015; Silva et al., 2015b). A Fig. 1 ilustra a evapotranspiração de referência (ET₀), os eventos de chuva e de irrigação durante o período experimental. O solo da área onde foi instalado o experimento foi classificado como Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico (EMBRAPA, 2013), o qual passou por aração, gradagem e sulcagem antes do plantio. Algumas características físicas e químicas do solo são mostradas na Tabela 1.

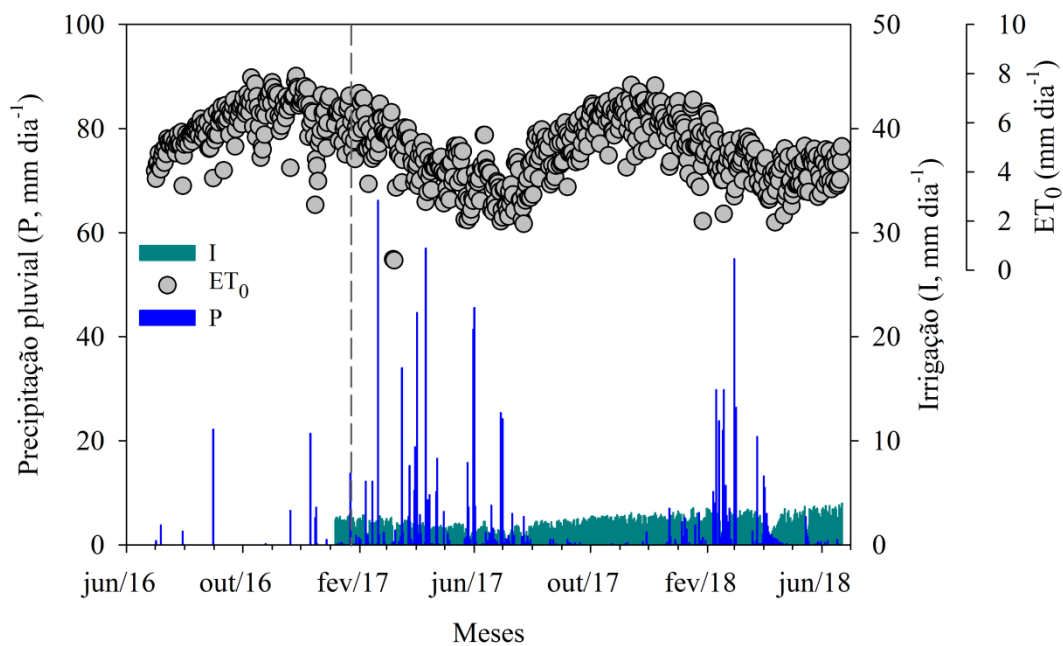


Fig. 1. Evapotranspiração de referência (ET₀), precipitação pluvial (P) e irrigação (I) no período de julho de 2016 a junho de 2018 em Serra Talhada, PE, Brasil. A linha tracejada vertical corresponde ao início dos tratamentos.

Tabela 1

Propriedades físico-químicas do solo da área experimental na camada de 0-0,20 m de profundidade.

Propriedades físicas									
ρd	Ø	Areia		Silte		Argila			
kg dm ⁻³	%			g kg ⁻¹					
1,45	42,27	828,6		148,3		23,2			
Propriedades químicas									
C.E.	pH	C	P	K	Na	Ca	Mg	CTC	V
mS cm ⁻¹		g kg ⁻¹	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³			%
0,33	6,0	4,6	168,96	13,8	1,09	3,5	1,90	20,9	97,2

Prof.: profundidade. ρd: densidade do solo. Ø: porosidade total. C.E.: condutividade elétrica do extrato de saturação. CTC: capacidade de troca de cátions. V: saturação de bases.

2.2. Implantação e delineamento experimental

Após o preparo do solo, foi feito o plantio da palma forrageira em 01 de julho de 2016, utilizando o clone Orelha de Elefante Mexicana [*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.], com um espaçamento de 1,6 x 0,2 m, resultando em uma densidade populacional de 31.250 plantas ha⁻¹. Cada parcela era constituída por quatro fileiras de palma forrageira, plantadas em sentido norte-sul, com 4 m de comprimento.

A cobertura morta foi inserida nas parcelas correspondentes em janeiro de 2017, a qual era proveniente de capim-corrente (*Urochloa mosambicensis*) e cuja quantidade estimada foi de 17,6 Mg ha⁻¹ de matéria seca, sendo colocada de forma homogênea nas parcelas.

Nas parcelas onde a palma foi submetida à consorciação, o milheto [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.], como cultura concorrente, foi semeado em 12 de fevereiro de 2017, utilizando a cultivar BRS 1501, oriunda da Embrapa, sendo conduzidos três ciclos (uma semeadura e duas rebrotas). Posteriormente, realizou-se novo semeio em 15 de setembro de 2017 com a cultivar IPA Bulk-1-BF, onde também foram conduzidos três ciclos. O semeio foi realizado em sulcos a 0,4 m de distância das fileiras de palma, sendo efetuado desbaste 15 a 20 dias após a semeadura (DAS), a fim de se estabelecer uma densidade de 125.000 plantas ha⁻¹ (20 plantas por metro linear).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), com quatro tratamentos e quatro repetições, onde os tratamentos corresponderam aos sistemas de cultivo: palma exclusiva sem cobertura, palma exclusiva com cobertura, palma consorciada sem

cobertura e, palma consorciada com cobertura. Portanto, foi conduzido um ciclo de palma forrageira, com duração total de dois anos a partir do plantio, sendo que a colheita foi executada em 22 de junho de 2018.

O experimento era irrigado três vezes por semana em dias alternados (segunda, quarta e sexta-feira) pelo método do gotejamento, cuja vazão era de $1,25 \text{ L h}^{-1}$ a uma pressão de 100 kPa, e coeficiente de uniformização no valor de 93%. Os gotejos eram espaçados entre si a 0,4 m. A aplicação de água via irrigação foi feita com base em 120% da evapotranspiração da cultura (ET_C) da palma forrageira, tendo em vista que nas parcelas consorciadas, a irrigação deveria suprir tanto a cactácea, quanto a gramínea (milheto). O coeficiente de cultura (K_c) utilizado para a palma forrageira foi de 0,52 conforme Queiroz et al. (2016). A ET_C foi calculada pela relação $ET_C = ET_0 \times K_c$. Por sua vez, a ET_0 foi estimada pelo método de Penman Monteith, parametrizado conforme o Boletim 56 da FAO (Allen et al., 1998), onde foram utilizados os dados de radiação solar, temperatura média do ar, umidade relativa média do ar, velocidade do vento e pressão atmosférica, provenientes da estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a qual encontrava-se próxima ao local do experimento. Os dados de chuva também foram registrados pela mesma estação.

A água utilizada na irrigação tinha condutividade elétrica de $1,62 \text{ dS m}^{-1}$ e provinha de um poço artesiano presente na área experimental. Em função de sua condutividade elétrica, a água foi classificada como de alta salinidade (C3) pela classificação de Richards (1954).

2.3. Variáveis biométricas

Na cultura da palma forrageira foram efetuadas avaliações biométricas e de biomassa em intervalo de 90 dias, a fim de se quantificar aspectos estruturais, bem como os índices morfofisiológicos, delimitar as fases fenológicas e determinar o momento de corte da cultura. Os dados biométricos foram coletados em duas plantas por parcela, medindo-se a altura (da superfície do solo à extremidade superior do cladódio mais alto) e largura da planta (maior distância horizontal entre cladódios). Sendo também quantificado o número total de cladódios, como também o número de cladódios por ordem. Uma ramificação representativa da planta foi escolhida para medição do comprimento, largura e perímetro dos cladódios com auxílio de uma fita métrica, e espessura dos cladódios (terço médio) através de um paquímetro. A área do cladódio (AC), para o clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM), foi

calculada pela Equação 1 conforme modelo proposto por Silva et al. (2014). O índice de área do cladódio (IAC) foi calculado conforme a Equação 2 (Pinheiro et al., 2014).

$$AC = 0,7086 \frac{(1 - \exp(-0,000045765 \text{ CC LC}))}{0,000045765} \quad (1)$$

$$IAC = \frac{\left(\sum_{n=1}^i AC\right)}{\frac{10000}{E1 \times E2}} \quad (2)$$

em que, AC = área do cladódio (cm²); CC = comprimento do cladódio (cm); LC = largura do cladódio (cm); IAC = índice de área do cladódio (m² m⁻²) a partir do somatório da área dos cladódios de cada planta; 10000 = fator de conversão de cm² para m²; E1xE2 = espaçamento entre fileiras e plantas (1,6 x 0,2 m).

Em intervalo de 90 dias, foi escolhida uma planta por parcela para determinação da biomassa fresca e seca ao longo do tempo. A planta era colhida, deixando-se apenas o cladódio basal, e pesada numa balança eletrônica. Em seguida, eram selecionados dois cladódios do terço médio da planta, os quais eram também pesados individualmente em balança eletrônica (massa fresca) e posteriormente fragmentados e acondicionados em sacos de papel devidamente identificados, e conduzidos à estufa de ventilação forçada a 55 °C, onde permaneciam até obter peso constante (massa seca).

2.4. Índices morfofisiológicos

Através dos dados de biomassa seca (MS) e de IAC da palma forrageira foram calculados os índices morfofisiológicos. Para isso, foram ajustados modelos matemáticos, do tipo sigmoidal com três parâmetros (a, b e x0) conforme Equação 3, utilizando como variável independente os graus dias acumulados (GDA). Esses modelos foram derivados (Equação 4) permitindo-se calcular os índices morfofisiológicos (Silva et al., 2009). Os índices calculados foram: taxa de crescimento absoluto (TCA, Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹), taxa de crescimento relativo (TCR, Mg Mg⁻¹ °Cdia⁻¹), taxa de assimilação líquida (TAL, Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹), área do cladódio específica (ACE, ha Mg⁻¹), e taxa do índice de área do cladódio (TIAC, ha ha⁻¹ °Cdia⁻¹). A TCA e a TIAC foram obtidas pela derivação do modelo sigmoidal para acúmulo de massa seca e IAC, respectivamente. Já os índices TCR, TAL e ACE foram obtidos a partir das relações TCR=TCA/MS, TAL=TCA/IAC, e ACE=IAC/MS. Como a palma forrageira possui

cladódios e não folhas, a área fotossintética específica (AFE) foi denominada ACE (AFE = ACE).

$$y = \frac{a}{1 + e^{\left(-\frac{x-x_0}{b}\right)}} \quad (3)$$

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{a \cdot e^{\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}}{\left[1 + e^{\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}\right]^2 \cdot b} \quad (4)$$

onde, a = valor máximo estimado para a variável resposta; b = número de graus dias necessários para o início do crescimento; x₀ = ponto de inflexão da curva; x = graus dias acumulados.

2.5. Fenofases e momento de corte da palma forrageira

Para se estabelecer as fases fenológicas (fenofases) da palma forrageira, foram avaliadas, ao longo dos graus dias acumulados, as taxas de emissão de cladódios por ordem, ou seja, cladódios primários, secundários e terciários (1^a, 2^a e 3^a ordens, respectivamente). Os limites das fenofases foram estabelecidos com base na interseção entre as taxas de emissão de cladódios. Tendo em vista que a cultura foi produzida para forragem, foi avaliada apenas a fase vegetativa. Já o momento de corte foi determinado quando a palma forrageira atingiu 25% da taxa máxima do acúmulo de massa seca.

2.6. Análise estatística

Todos os dados de análise biométrica e de biomassa, ao longo do tempo, foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variâncias (ONeill e Mathews). Posteriormente, foi feita a análise de variância (ANOVA) utilizando o teste de F. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para os índices morfofisiológicos, fenofases e taxa de massa seca para o momento de corte, foram ajustados modelos de regressão sigmoidal, utilizando como critérios a significância do modelo (p < 0,05), bem como um coeficiente de determinação (R²) superior a 0,85. Todas as análises foram feitas utilizando o software RStudio.

3. Resultados

3.1. Variáveis biométricas e de biomassa da palma forrageira

As médias de rendimento de matéria fresca (MF), rendimento de matéria seca (MS), conteúdo de matéria seca (CMS), altura de planta (AP), largura de planta (LP), número total de cladódios (NTC), comprimento de cladódio (CC), largura de cladódio (LC), espessura de cladódio (EC), perímetro de cladódio (PC), área do cladódio (AC) e índice de área do cladódio (IAC) da palma forrageira estão dispostas na Tabela 2.

Tabela 2

Variáveis biométricas e de biomassa da palma forrageira em sistemas exclusivo (P) e consorciado (P/M) com o milheto, sem (s) e com (c) cobertura morta.

Amostragem 1 (201 DAP)												
Trat	MF	MS	CMS	AP	LP	NTC	CC	LC	EC	PC	AC	IAC
P s	-	-	-	37,6	28,4	4,5	9,2	9,8	5,0	24,5	125,8	0,33
P c	-	-	-	33,9	27,4	4,8	8,7	9,5	5,8	23,4	114,1	0,30
P/M s	-	-	-	32,9	26,1	5,0	9,7	9,8	5,6	26,2	108,1	0,28
P/M c	-	-	-	36,6	29,1	6,0	8,8	9,3	5,4	23,7	106,0	0,33
Amostragem 2 (284 DAP)												
Trat	MF	MS	CMS	AP	LP	NTC	CC	LC	EC	PC	AC	IAC
P s	111,4	7,9	0,07	63,9	60,0	11,0	17,4	17,4	12,4	48,7	279,7	1,36
P c	97,3	6,5	0,07	59,0	58,3	10,3	17,0	15,9	11,6	45,9	253,8	1,23
P/M s	98,1	7,0	0,07	56,1	53,8	11,8	14,8	14,0	9,9	40,2	194,5	1,01
P/M c	102,4	7,2	0,07	57,6	60,3	13,0	18,1	16,9	11,1	50,0	267,9	1,54
Amostragem 3 (378 DAP)												
Trat	MF	MS	CMS	AP	LP	NTC	CC	LC	EC	PC	AC	IAC
P s	164,8	13,6	0,09	67,4	65,1	11,3	18,1	18,1	16,1	50,1	302,5	1,48
P c	177,7	12,6	0,07	63,8	56,2	10,3	17,0	16,4	17,7	47,1	261,7	1,28
P/M s	163,7	12,0	0,09	61,8	54,0	11,5	15,7	14,5	13,9	42,1	212,1	1,09
P/M c	118,3	11,2	0,10	61,4	61,8	13,0	17,4	17,2	14,8	47,5	276,7	1,58
Amostragem 4 (467 DAP)												
Trat	MF	MS	CMS	AP	LP	NTC	CC	LC	EC	PC	AC	IAC
P s	192,8	17,0	0,09b	66,8	63,0	11,3	18,2	18,4	17,5	52,3a	305,8	1,47
P c	212,6	23,2	0,11a	62,8	56,2	10,3	17,5	16,7	17,0	48,3a	272,9	1,33
P/M s	182,5	15,8	0,09b	59,1	55,2	11,8	14,9	14,4	15,4	40,9b	214,6	1,14
P/M c	172,1	16,0	0,09b	60,2	59,3	11,8	17,9	16,7	17,0	48,8a	277,5	1,47
Amostragem 5 (600 DAP)												
Trat	MF	MS	CMS	AP	LP	NTC	CC	LC	EC	PC	AC	IAC
P s	338,6	24,9	0,08	72,8	74,6	13,3	21,7	21,7	21,8	59,5	355,6	1,66
P c	302,2	26,6	0,09	71,3	67,1	12,5	22,4	20,1	22,0	59,6	339,0	1,58
P/M s	274,4	23,0	0,08	65,5	61,5	13,0	19,0	18,0	20,2	51,1	272,2	1,28
P/M c	232,8	19,0	0,08	67,2	75,1	14,0	20,3	19,6	21,3	56,4	316,5	1,69
Amostragem 6 (682 DAP)												
Trat	MF	MS	CMS	AP	LP	NTC	CC	LC	EC	PC	AC	IAC
P s	247,7b	23,4b	0,10	70,1	77,4	14,3	21,5	21,6	24,1	60,8	353,6	1,79
P c	344,8a	31,0a	0,09	73,5	66,3	12,5	22,2	20,5	23,6	57,7	340,0	1,59
P/M s	227,2b	17,5b	0,08	66,6	59,4	13,0	19,4	17,9	22,6	50,9	279,5	1,33
P/M c	275,2b	24,7b	0,09	70,6	70,6	14,0	20,7	19,6	21,3	54,8	326,9	1,75
Amostragem 7 (719 DAP)												
Trat	MF	MS	CMS	AP	LP	NTC	CC	LC	EC	PC	AC	IAC

P s	286,1	22,5	0,08	71,8	78,7	14,0	22,1	21,8	26,5	60,9	366,9	1,84
P c	273,3	25,1	0,09	73,5	68,7	12,5	22,0	21,1	25,8	60,8	347,7	1,63
P/M s	261,7	21,6	0,09	66,0	59,9	13,0	19,3	18,3	24,4	51,8	282,7	1,33
P/M c	259,4	22,5	0,09	67,5	73,6	13,8	20,6	20,1	24,8	57,1	326,6	1,74

Trat: tratamento. DAP: dias após o plantio. MF: rendimento de matéria fresca (Mg ha^{-1}). MS: rendimento de matéria seca (Mg ha^{-1}). CMS: conteúdo de matéria seca (Mg Mg^{-1}). AP: altura de planta (cm). LP: largura de planta (cm). NTC: número total de cladódios (unidade). CC: comprimento de cladódio (cm). LC: largura de cladódio (cm). EC: espessura de cladódio (mm). PC: perímetro de cladódio (cm). AC: área do cladódio (cm^2). IAC: índice de área do cladódio ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$). Letras diferentes entre os tratamentos na mesma data diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Foi possível observar que o consórcio e a cobertura morta não afetaram significativamente a maior parte das variáveis analisadas na maioria das amostragens (Tabela 2). No entanto, na amostragem 4, aos 467 dias após o plantio (DAP), observou-se que o CMS para a palma exclusiva com cobertura (Pc) obteve o maior valor ($0,11 \text{ Mg Mg}^{-1}$), enquanto que os demais tratamentos não se diferenciaram estatisticamente, apresentando valores inferiores. Em relação às variáveis biométricas, a única que sofreu influência dos tratamentos foi o perímetro de cladódio (PC), apenas na amostragem 4, onde o tratamento P/Ms obteve o menor valor (40,9 cm), enquanto que os demais, com valores superiores, não se diferenciaram estatisticamente.

Na amostragem 6, aos 682 DAP, apenas as variáveis MF e MS foram influenciadas pelos sistemas de cultivo (Tabela 2), onde o tratamento Pc apresentou os maiores valores ($344,8$ e $31,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente). Na ocasião da colheita (amostragem 7 – 719 DAP), não foram observadas diferenças significativas entre os sistemas para nenhuma variável biométrica ou de biomassa.

3.2. Índices morfofisiológicos

Uma vez ajustados os modelos sigmoidais para acúmulo de massa seca e IAC, foi determinada a taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL), área do cladódio específica (ACE) e taxa do índice de área do cladódio (TIAC), conforme ilustrado nas Figuras 2A, 2B, 2C, 2D e 2E, respectivamente.

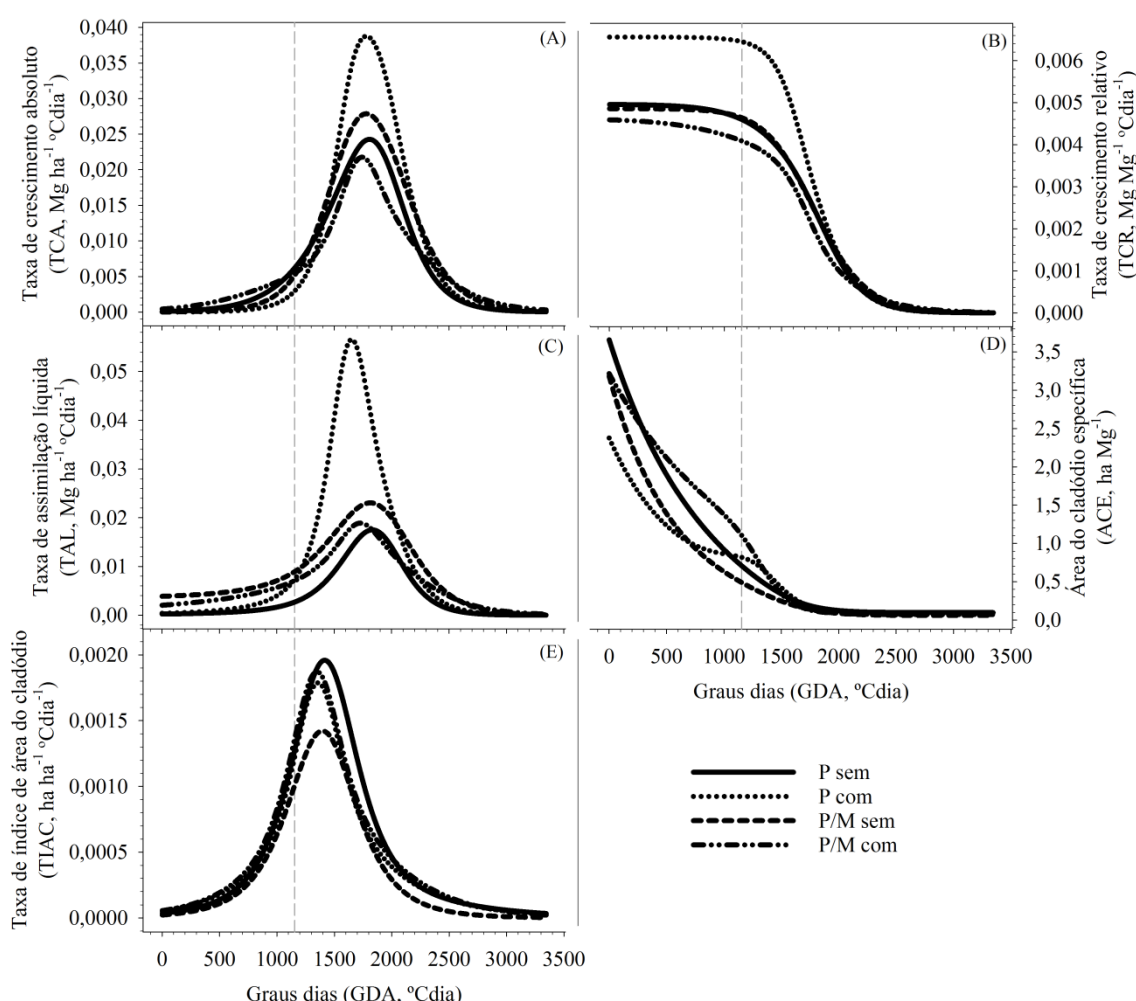


Fig. 2. Índices morfofisiológicos da palma forrageira cultivada de forma exclusiva (P) e em consórcio com milho (P/M), sem e com cobertura morta, em função dos graus dias acumulados. A linha tracejada vertical corresponde ao início dos tratamentos.

274

275 A taxa de crescimento absoluto (TCA), a qual representa a velocidade do acúmulo de
 276 biomassa seca da cultura, apresentou curvas do tipo gaussiano para todos os tratamentos (Fig.
 277 2A), com crescimento inicial lento, seguido por um crescimento rápido e depois com uma
 278 queda acentuada no acúmulo de matéria seca. Todavia, o tratamento que obteve maior TCA
 279 foi palma exclusiva com cobertura (P com), com valor máximo de $0,038 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ aos
 280 $1779 \text{ }^{\circ}\text{Cdia}$. Os demais tratamentos (P sem, P/M sem e P/M com) apresentaram valores
 281 inferiores de TCA.

282 A taxa de crescimento relativo (TCR) representa a velocidade do acúmulo de massa
 283 seca a partir de uma quantidade de biomassa pré-existente. Foi observado que a TCR obteve
 284 valor máximo no início do ciclo da cultura para todos os tratamentos, ocorrendo uma redução
 285 acentuada entre 1500 e $2000 \text{ }^{\circ}\text{Cdia}$, aproximadamente, sendo observada uma estabilização a
 286 partir de $2500 \text{ }^{\circ}\text{Cdia}$, tendendo a ausência de crescimento relativo (Fig. 2B). O tratamento ‘P

com' também se destacou em relação aos demais, com TCR máxima no valor de 0,0065 Mg Mg⁻¹ °Cdia⁻¹.

Assim como na TCA e na TCR, a taxa de assimilação líquida (TAL) foi maior para o tratamento P com cobertura (Fig. 2C), obtendo valor máximo de 0,056 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹ quando a cactácea acumulou 1652 °Cdia. Ou seja, a adição da cobertura morta contribuiu para melhorar a taxa fotossintética quando a palma foi cultivada de forma exclusiva, sendo que os demais tratamentos obtiveram valores inferiores e com magnitudes semelhantes entre si. Todavia, o comportamento da curva da TAL, para todos os tratamentos, foi semelhante ao comportamento observado na TCA (Fig. 2A).

A área do cladódio específica (ACE) foi maior na fase inicial do ciclo da cultura em todos os tratamentos, havendo uma redução acentuada à medida que a planta crescia e acumulava energia térmica, estabilizando-se a partir de 2000 °Cdia (Fig. 2D). Foi possível observar que o tratamento que obteve o valor mais baixo de ACE, na fase inicial, também foi 'P com' (2,4 ha Mg⁻¹).

A taxa de índice de área do cladódio (TIAC) mostrou-se lenta inicialmente, seguida por um crescimento acelerado, e depois por um declínio acentuado tendendo a estabilização, assim como ocorreu na TCA e na TAL (Fig. 2E). No entanto, as magnitudes dos valores foram semelhantes entre os tratamentos, sendo que o pico da TIAC variou entre 0,0014 e 0,0019 ha ha⁻¹ °Cdia⁻¹.

3.3. Fases fenológicas e momento de corte

Pôde-se observar, em todos os sistemas de cultivo, a presença de três fases fenológicas para a cultura da palma forrageira (Fig. 3). Todavia, a taxa de emissão de cladódios de segunda ordem foi superior a de primeira, e esta foi superior a de terceira ordem. Em relação à taxa máxima de emissão de cladódios, foram observadas diferenças entre os sistemas de cultivo (Fig. 3A, 3B, 3C e 3D).

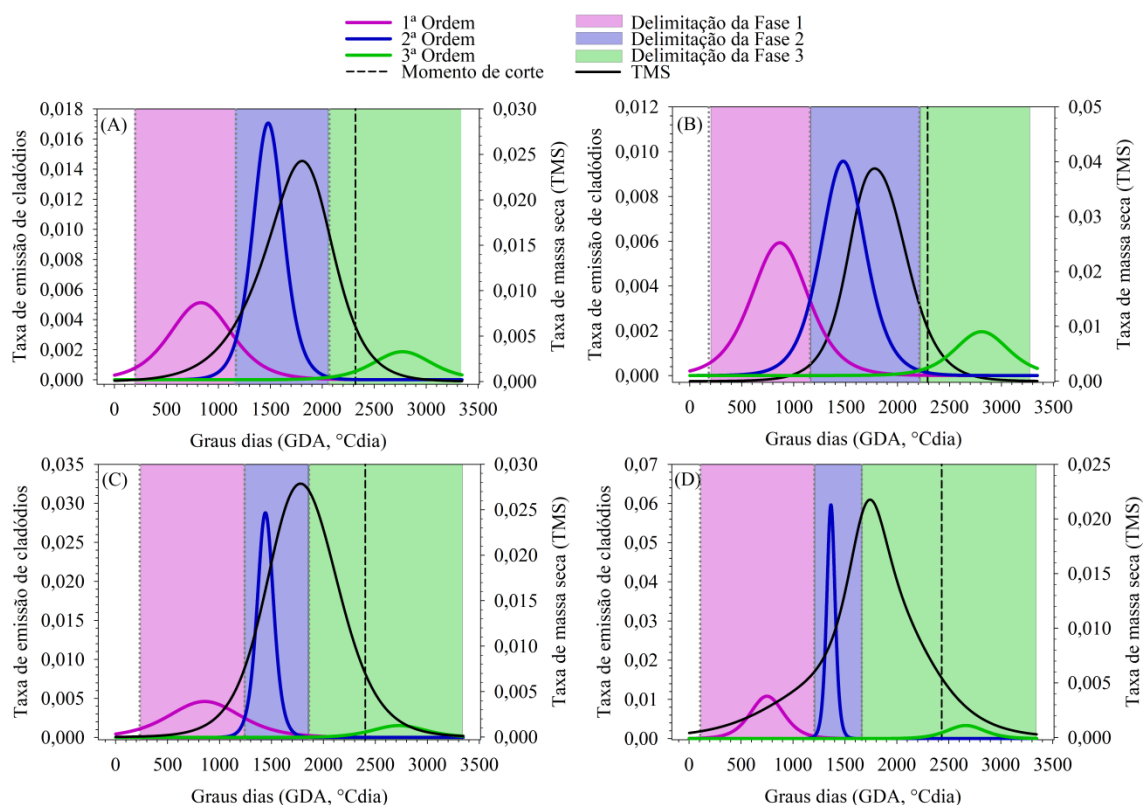


Fig. 3. Fases fenológicas e momento de corte da palma exclusiva sem cobertura (A), palma exclusiva com cobertura (B), palma consorciada sem cobertura (C) e, palma consorciada com cobertura (D), em função dos graus dias acumulados (GDA, °Cdia).

Na Fase 1, a taxa máxima de emissão de cladódios foi observada no sistema palma consorciada com cobertura (0,011 unid. °Cdia⁻¹) (Fig. 3D), enquanto que os demais sistemas obtiveram tendências semelhantes (em média 0,005 unid. °Cdia⁻¹). Na Fase 2, a taxa máxima para cladódios de segunda ordem também foi atribuída ao sistema palma consorciada com cobertura (0,060 unid. °Cdia⁻¹) (Fig. 3D), seguido pelos sistemas palma consorciada sem cobertura (Fig. 3C), palma exclusiva sem cobertura (Fig. 3A) e palma exclusiva com cobertura (Fig. 3B) (0,029, 0,017 e 0,010 unid. °Cdia⁻¹, respectivamente). Já na Fase 3, as taxas máximas entre os sistemas foram muito semelhantes, com média de 0,002 unid. °Cdia⁻¹.

Apesar dessas distinções, principalmente na taxa máxima de emissão de cladódios de segunda ordem (Fase 2), o que chamou maior atenção foi a duração das fenofases em função dos sistemas de cultivo e dos graus dias acumulados. Sendo assim, enquanto a duração da Fase 1 foi praticamente a mesma para todos os sistemas, foi notório que a duração da Fase 2 foi reduzida em função da consorciação. Nos sistemas exclusivos de palma, a duração média da Fase 2 foi de 975 °Cdia, já nos consórcios foi de 538 °Cdia. Ou seja, o consórcio reduziu a duração da Fase 2 em torno de 45%. Isso indica que a prática do consórcio causou uma

antecipação no surgimento de cladódios de terceira ordem (início da Fase 3). No entanto, não foram perceptíveis grandes alterações na duração das fenofases em função da cobertura morta.

No que diz respeito ao momento de corte da palma forrageira, levou-se em consideração a taxa de acúmulo de massa seca (TMS) (Fig. 3). Diante disso, observou-se uma tímida defasagem no momento de corte entre sistemas exclusivos e consorciados. Enquanto nos sistemas exclusivos o momento de corte se deu em torno de 2.300 °Cdia (Fig. 3A e 3B), nos sistemas consorciados houve um pequeno retardamento, isto é, o momento de corte se deu aos 2.400 °Cdia (Fig. 3C e 3D), mostrando uma diferença de apenas 100 °Cdia, podendo ser considerada insignificante diante da magnitude do ciclo da cultura. Entretanto, a cobertura morta pareceu não influenciar no momento de corte.

4. Discussão

4.1. Variáveis biométricas e de biomassa

Embora os efeitos dos sistemas de cultivo sobre as características morfogênicas da cultura tenham sido muito tímidos ao longo das sete amostragens, vale levar em consideração que o clone de palma forrageira utilizado, no presente estudo, foi Orelha de Elefante Mexicana (OEM, *O. stricta*). Ou seja, as alterações nas diversas variáveis de crescimento da referida planta se deve, não apenas às práticas agrônômicas adotadas (Dubeux Junior et al., 2006), mas também às próprias peculiaridades de cada clone, uma vez que há uma grande variabilidade genética entre as mais diversas espécies de plantas, conforme demonstrado por Amani et al. (2019) estudando 63 características morfogênicas em 48 ecótipos de *Opuntia* spp. Diante disso, em termos de produtividade e de área do cladódio (AC), alguns estudos já demonstraram a superioridade do clone OEM sobre outros clones amplamente utilizados no Nordeste brasileiro, como Miúda e IPA-Sertânea, ambos pertencentes à espécie *Nopalea cochenillifera* (Pinheiro et al., 2014; Silva et al., 2015a, 2014).

Foi percebido que a única variável biométrica que sofreu alteração foi PC, e apenas na 4ª amostragem. Em estudo realizado por Silva et al. (2014), foi verificado que, para o clone OEM, a AC estava mais relacionada ao crescimento do comprimento e do perímetro do cladódio, ou seja, essas variáveis foram as mais significativas para o aumento da superfície fotossintetizante da planta. Todavia, Pinheiro et al. (2014) detectaram que, apesar dessas e outras variáveis apresentarem correlação positiva com o IAC do clone OEM, sua correlação

foi considerada moderada, sendo que, os caracteres morfogenéticos do clone OEM explicaram apenas 63,69% do IAC e 94,27% do rendimento de matéria verde, indicando que, as variáveis biométricas respondem melhor à variabilidade da produtividade do que do IAC. Os mesmos autores ainda destacaram que a variável morfológica que apresentou maior correlação com o IAC e com o rendimento da cultura (matéria verde) foi o NTC (0,9569), seguida por altura x largura da planta (0,8228).

O IAC expressa a relação entre a área total dos cladódios e a área ocupada pela planta no solo. Porém, no presente estudo, o IAC não apresentou diferenças significativas entre os sistemas em nenhuma das amostragens. Entretanto, o valor médio de IAC a partir da 5ª amostragem (600 DAP) foi superior a 1,5 ha ha⁻¹. Diante disso, Silva et al. (2014) perceberam que o aumento no IAC, para o clone OEM, também era responsável pelo aumento na produtividade até 1,5 ha ha⁻¹, indicando que a partir desse valor de IAC, o rendimento de matéria verde para este clone tende a se estabilizar, e isto também depende do espaçamento adotado. Os mesmos autores ainda relataram que valores muito altos de IAC tendem a reduzir a produtividade, uma vez que, a incidência da radiação e a captação de CO₂ diminuem.

Pelo fato dos parâmetros de biomassa da palma (MF, MS e CMS) não terem sofrido com o consórcio, na maioria das amostragens, isso só mostra quão resiliente é esta cactácea às condições de competição pelos recursos disponíveis. Além disso, a baixa agressividade da cultura concorrente (milheto) pode estar relacionada a isso, pois Diniz et al. (2017), utilizando também o clone OEM, perceberam que o consórcio com o sorgo (*Sorghum bicolor*) reduziu o rendimento de matéria verde da palma quando comparado com esta em sistema exclusivo. Contudo, na amostragem 6 (682 DAP), a utilização de cobertura morta no cultivo solteiro de palma forrageira contribuiu no incremento dos parâmetros produtivos da cultura (MF e MS), e isso pode ser explicado pelos benefícios da cobertura morta no solo, uma vez que esta pode melhorar a conservação da umidade do solo, bem como disponibilizar nutrientes através de sua decomposição (Kader et al., 2017). Por outro lado, a ausência de respostas produtivas na maioria das amostragens, pode estar associada à alta eficiência no uso da água desta planta, a qual por meio de seu metabolismo CAM, fixa CO₂ no período noturno, fechando os estômatos durante o período diurno, evitando assim a perda excessiva de água por transpiração (Scalisi et al., 2016).

4.2. Índices morfofisiológicos

Pelos nossos resultados, foi notório que a palma forrageira, em cultivo solteiro e com cobertura morta, se destacou em comparação com os demais tratamentos ao observarmos as taxas de crescimento e os índices morfofisiológicos da cultura (TCA, TCR, TAL, ACE e TIAC). Isso pode estar associado a melhores condições de umidade do solo e disponibilidade de nutrientes à medida que a cobertura morta se decompõe. O aumento da umidade no meio edáfico resulta em crescimento favorável para a cultura, maior teor de clorofila e taxa fotossintética líquida, culminando no aumento de seu desempenho, principalmente pela cobertura estar relacionada ao maior teor de umidade e menores flutuações na temperatura do solo (Akhtar et al., 2019). Isso justifica o porquê deste tratamento ter se destacado quanto a TCA, TCR e TAL. O consórcio reduziu a TCA, TCR e TAL da palma forrageira, independentemente da cobertura morta. Isso pode ser explicado como uma menor eficiência na conversão da radiação solar em matéria seca em sistemas intercalados, pois as culturas consorciadas competem pelos recursos naturais (água, luz e nutrientes), resultando em menor TAL quando comparadas com cultivos solteiros (Lal et al., 2019).

A ACE e a TAL correlacionam a área foliar (IAC) e a produção de matéria seca, todavia, enquanto a TAL corresponde à fotossíntese líquida (balanço entre aquilo que foi produzido pela fotossíntese e o perdido por meio da respiração), a ACE exprime a matéria seca que está distribuída na superfície foliar, sendo assim, este índice, geralmente, tem relação inversamente proporcional com a espessura dos cladódios. Portanto, quanto maior a ACE (superfície específica), maior será a capacidade de interceptação da radiação solar (Queiroz et al., 2015; Silva et al., 2009).

4.3. Fases fenológicas e momento de corte

Pelos nossos resultados, a taxa de emissão de cladódios de segunda ordem foi superior às demais, independentemente do sistema adotado, e isso foi confirmado pelo estudo de Silva et al. (2015a), onde esses autores constataram que, para o clone OEM, a distribuição dos cladódios foi maior para os de segunda ordem, com proporção de 52%, enquanto que os cladódios de primeira e terceira ordens contribuíram com 28% e 13%, respectivamente, corroborando mais uma vez com o presente estudo, uma vez que a distribuição de cladódios terciários foi a menor. Queiroz et al. (2015) também relataram que a maior emissão de cladódios de segunda ordem é uma característica intrínseca do clone OEM (*O. stricta*).

Apesar dos sistemas consorciados terem apresentado as maiores taxas de emissão de cladódios de segunda ordem, foi observada uma redução acentuada na duração da Fase 2 em função da consorciação. Entretanto, Amorim et al. (2017) observaram que os sistemas de cobertura morta e consórcio com sorgo reduziram apenas a Fenofase 3 em *O. stricta*. A redução da Fase 2 no presente estudo pode ser vista como uma forma da planta driblar o sombreamento causado pela cultura concorrente, uma vez que houve antecipação da Fase 3, no entanto a consorciação não foi capaz de reduzir os rendimentos da palma na ocasião da colheita (Tabela 2), inclusive, ainda pode contribuir no aumento do rendimento de forragem quando somadas as produtividades das culturas componentes (Diniz et al., 2017; Lima et al., 2018; Masvaya et al., 2017; Sadeghpour et al., 2013; Temesgen et al., 2015).

Os cladódios de segunda ordem, juntamente com os cladódios primários, são responsáveis pela fotossíntese e pela sustentação (Pinheiro et al., 2014; Queiroz et al., 2015), enquanto que os cladódios terciários servem basicamente como dreno de fotoassimilados, além de serem menores e com baixo potencial de crescimento, não sendo muito favorável à planta investir energia com a emissão de cladódios de ordens superiores, como é o caso do clone OEM, com vistas a reduzir a competição entre cladódios na mesma planta (Amorim et al., 2017). No entanto, Liguori et al. (2013) constataram que, o sequestro de CO₂ foi 40% menor em cladódios de *Opuntia ficus indica* com 2 anos de idade (ordem inferior) em comparação com cladódios de 1 ano de idade (ordem superior), e isso pode contribuir para uma maior evapotranspiração de cladódios mais jovens, a depender, é claro, da disponibilidade de água no solo (Barbosa et al., 2017).

A taxa máxima de acúmulo de massa seca (TMS) se deu logo após a taxa máxima de emissão de cladódios de segunda ordem, indicando que tais cladódios são os principais responsáveis pelo acúmulo de matéria seca no clone OEM (*O. stricta*). Também foi possível observar em todos os sistemas que, embora o momento de corte tenha ocorrido após o início da Fase 3, o mesmo se deu antes da taxa máxima de emissão de cladódios de terceira ordem (Fig. 3). Nesse aspecto, o produtor não precisaria esperar uma grande emissão de cladódios terciários para efetuar a colheita, uma vez que, como já esclarecido, são os cladódios secundários que contribuem efetivamente no acúmulo de matéria seca.

Embora o sistema palma exclusiva com cobertura tenha obtido a maior TMS, o momento de corte foi praticamente o mesmo para todos os sistemas. Com resultados um pouco contrastantes, Amorim et al. (2017) verificaram que o consórcio de OEM com a cultura do sorgo antecipou o momento de corte da cactácea (17 meses), quando comparado com os

sistemas exclusivos de palma com e sem cobertura morta (em média, 20 meses), ressaltando que todo o seu experimento era irrigado. Nas condições experimentais do presente estudo, o momento de corte da cactácea se deu em torno dos 17 meses (dados não mostrados), sendo que os seis primeiros meses do ciclo foram conduzidos em sequeiro. Isso pode indicar que a restrição hídrica é fator preponderante para o momento de corte da palma forrageira (Amorim et al., 2017).

5. Conclusão

As características biométricas da palma forrageira não apresentaram plasticidade relevante quando submetida às práticas de cobertura morta vegetal e de consórcio com a cultura do milho. No entanto, quando cultivada de forma exclusiva, utilizando cobertura morta, obteve os melhores resultados quanto às taxas de crescimento absoluto, de crescimento relativo e de assimilação líquida de CO₂.

A consorciação promoveu uma redução de 45% na Fase 2 e, consequentemente, uma antecipação da Fase 3, porém, sem causar reduções no seu rendimento. Os cladódios secundários de OEM mostraram-se mais significativos no acúmulo de matéria seca. O momento de corte da palma forrageira se deu entre 2.300 e 2.400 °Cdia, sem influência considerável dos sistemas. Entretanto, a presença da irrigação, assim como em outros relatos da literatura, foi fator preponderante para antecipação do momento de corte (17 meses), em contraste com palmais conduzidos em sequeiro no Semiárido brasileiro.

Referências

- Akhtar, K., Wang, W., Khan, A., Ren, G., Zahir, M., 2019. Wheat straw mulching off set soil moisture deficit for improving physiological and growth performance of summer sown soybean. *Agricultural Water Management* 211, 16–25.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.031>
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper, 56, Rome 300pp. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.12.001>
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 711–728.
<https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Amani, E., Marwa, L., Hichem, B.S., Amel, S.-H., Ghada, B., 2019. Morphological variability of prickly pear cultivars (*Opuntia* spp.) established in ex-situ collection in Tunisia. *Scientia Horticulturae* 248, 163–175.

497 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.004>

498 Amorim, D.M., Silva, T.G.F., Pereira, P.C., Souza, L.S.B., Minuzzi, R.B., 2017. Phenophases
499 and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. *Pesquisa*
500 *Agropecuária Tropical* 47, 62–71.

501 Barbosa, M.L., Silva, T.G.F., Zolnier, S., Silva, S.M.S., Araújo Junior, G.N., Jardim,
502 A.M.R.F., 2017. Meteorological variables and morphological characteristics influencing
503 the evapotranspiration of forage cactus. *Ceres* 64, 465–475.

504 Carvalho, A.A., Silva, T.G.F., Souza, L.S.B., Moura, M.S.B., Araujo, G.G.L., Tolêdo, M.P.S.,
505 2017. Soil moisture in forage cactus plantations with improvement practices for their
506 resilience. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 21, 481–487.

507 Diniz, W.J.S., Silva, T.G.F., Ferreira, J.M.S., Santos, D.C., Moura, M.S.B., Araújo, G.G.L.,
508 Zolnier, S., 2017. Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water
509 depths in the Brazilian Semiarid Region. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 52, 724–733.
510 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000900004>

511 Dubeux Junior, J.C.B., Santos, M.V.F., Lira, M.A., Santos, D.C., Farias, I., Lima, L.E.,
512 Ferreira, R.L.C., 2006. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different N
513 and P fertilization and plant population in north-east Brazil. *Journal of Arid*
514 *Environments* 67, 357–372. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.02.015>

515 EMBRAPA, 2013. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Ministério da Agricultura,
516 Pecuária e Abastecimento, 3 ed, 353pp. <https://doi.org/10.1080/00015126709433140>

517 Kader, M.A., Senge, M., Mojid, M.A., Ito, K., 2017. Recent advances in mulching materials
518 and methods for modifying soil environment. *Soil and Tillage Research* 168, 155–166.
519 <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.01.001>

520 Lal, B., Rana, K.S., Rana, D.S., Shivay, Y.S., Sharma, D.K., Meena, B.P., Gautam, P., 2019.
521 Biomass , yield , quality and moisture use of *Brassica carinata* as influenced by
522 intercropping with chickpea under semiarid tropics. *Journal of the Saudi Society of*
523 *Agricultural Sciences* 18, 61–71. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.01.001>

524 Liguori, G., Inglese, G., Pernice, F., Sortino, G., Inglese, P., 2013. CO₂ uptake of *Opuntia*
525 *ficus-indica* (L.) Mill. whole trees and single cladodes, in relation to plant water status
526 and cladode age. *Italian Journal of Agronomy* 8, 14–20.
527 <https://doi.org/10.4081/ija.2013.e3>

528 Lima, L.R., Silva, T.G.F., Pereira, P.C., Morais, J.E.F., Assis, M.C.S., 2018. Productive-
529 economic benefit of forage cactus-sorghum intercropping systems irrigated with saline
530 water. *Caatinga* 2125, 191–201.

531 Masvaya, E.N., Nyamangara, J., Descheemaeker, K., Giller, K.E., 2017. Is maize-cowpea
532 intercropping a viable option for smallholder farms in the risky environments of semi-
533 arid southern Africa ? *Field Crops Research* 209, 73–87.
534 <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.04.016>

535 Pereira, P.C., Silva, T.G.F., Zolnier, S., Morais, J.E.F., Santos, D.C., 2015. Morfogênese da
536 palma forrageira irrigada por gotejamento. *Caatinga* 28, 184–195.

- 537 Pinheiro, K.M., Silva, T.G.F., Carvalho, H.F.S., Santos, J.E.O., Moraes, J.E.F., Zolnier, S.,
538 Santos, D.C., 2014. Correlações do índice de área do cladódio com características
539 morfológicas e produtivas da palma forrageira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 49,
540 939–947. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014001200004>
- 541 Queiroz, M.G., Silva, T.G.F., Zolnier, S., Silva, S.M.S., Lima, L.R., Alves, J.O., 2015.
542 Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes
543 lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 19, 931–
544 938. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p931-938>
- 545 Queiroz, M.G., Silva, T.G.F., Zolnier, S., Silva, S.M.S., Souza, C.A.A., Carvalho, H.F.S.,
546 2016. Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente
547 semiárido. *Irriga. Especial*, 141–154. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n01>
- 548 Richards, L.A., 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils*. Agricultural
549 Handbook, 60, US Department of Agriculture.
550 <https://doi.org/10.2136/sssaj1954.03615995001800030032x>
- 551 Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Esmaeili, A., Hosseini, M.B., Hashemi, M., 2013. Forage yield,
552 quality and economic benefit of intercropped barley and annual medic in semi-arid
553 conditions: Additive series. *Field Crops Research* 148, 43–48.
554 <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.03.021>
- 555 Sakar, E.H., Yamani, M. El, Boussakouran, A., Rharrabti, Y., 2019. Codification and
556 description of almond (*Prunus dulcis*) vegetative and reproductive phenology according
557 to the extended BBCH scale. *Scientia Horticulturae* 247, 224–234.
558 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.12.024>
- 559 Scalisi, A., Morandi, B., Inglese, P., Lo Bianco, R., 2016. Cladode growth dynamics in
560 *Opuntia ficus-indica* under drought. *Environmental and Experimental Botany* 122, 158–
561 167. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.10.003>
- 562 Silva, T.G.F., Araújo Primo, J.T., Moraes, J.E.F., Diniz, W.J.S., Souza, C.A.A., Silva, M.C.,
563 2015a. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no Semiárido e
564 relações com variáveis meteorológicas. *Caatinga* 28, 10–18.
- 565 Silva, T.G.F., Araújo Primo, J.T., Moura, M.S.B., Silva, S.M.S., Moraes, J.E.F., Pereira, P.C.,
566 Souza, C.A.A., 2015b. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus
567 clones under rainfed conditions. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 50, 515–525.
568 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000700001>
- 569 Silva, T.G.F., Miranda, K.R., Santos, D.C., Queiroz, M.G., Silva, M.C., Cruz Neto, J.F.,
570 Araújo, J.E.M., 2014. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem,
571 análise e aplicabilidade. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 9, 633–641.
572 <https://doi.org/10.5039/agraria.v9i4a4553>
- 573 Silva, T.G.F., Zolnier, S., Grossi, J.A.S., Barbosa, J.G., Moura, C.R.W., Muniz, M.A., 2009.
574 Crescimento do girassol ornamental cultivado em ambiente protegido sob diferentes
575 níveis de condutividade elétrica de fertirrigação. *Revista Ceres* 56, 602–610.
- 576 Temesgen, A., Fukai, S., Rodriguez, D., 2015. As the level of crop productivity increases : Is
577 there a role for intercropping in smallholder agriculture. *Field Crops Research* 180, 155–
578 166. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.06.003>