

CLEBER PEREIRA ALVES

CONFIGURAÇÕES, DENSIDADES E ORIENTAÇÕES DE CULTIVOS EM SISTEMAS
BIOSSALINOS DE CONSÓRCIOS PALMA-SORGO

Serra Talhada-PE

2021

**A
L
V
E
S

C
P

C
O
N
F
I
G
U
R
A
Ç
Õ
E
S
,

D
E
N
S
I
D
A
D
E
S
.
.
.
.
2
0
2
1**

CLEBER PEREIRA ALVES

CONFIGURAÇÕES, DENSIDADES E ORIENTAÇÕES DE CULTIVOS EM SISTEMAS
BIOSSALINOS DE CONSÓRCIOS PALMA-SORGO

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. DSc. Thieres George Freire da Silva.

Co-orientadora: DSc. Luciana Sandra Bastos de Souza.

Co-orientador: DSc. Gherman Garcia Leal de Araújo

Serra Talhada-PE

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- A474c Alves, Cleber Pereira
Configurações, densidades e orientações de cultivos em sistemas bioassalinos de consórcios palma-sorgo / Cleber Pereira Alves. - 2021.
136 f. : il.
- Orientador: Thieres George Freire da Silva.
Coorientadora: Luciana Sandra Bastos de Souza.
Inclui referências.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Serra Talhada, 2021.
1. Resiliência agrícola. 2. Opuntia stricta. 3. Nopalea cochenillifera. 4. Sorghum bicolor. I. Silva, Thieres George Freire da, orient. II. Souza, Luciana Sandra Bastos de, coorient. III. Título

CDD 581.15

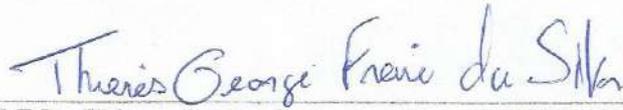
CLEBER PEREIRA ALVES

CONFIGURAÇÕES, DENSIDADES E ORIENTAÇÕES DE CULTIVOS EM
SISTEMAS BLOSSALINOS DE CONSÓRCIOS PALMA-SORGO

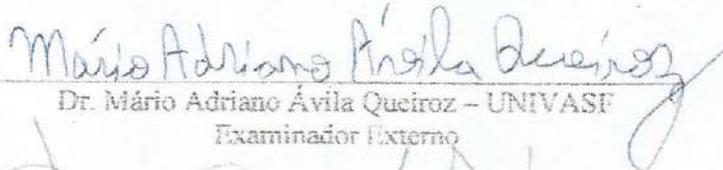
Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

APROVADO em 24 / 02 / 2021.

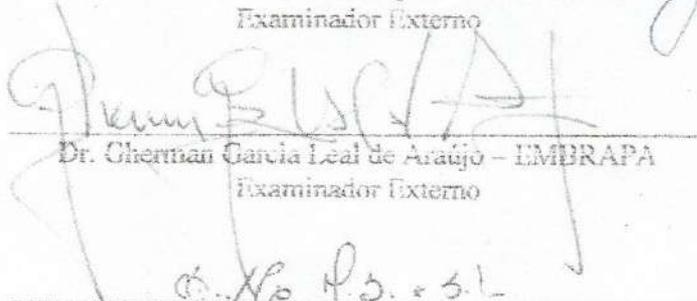
Banca Examinadora



Prof. DSc. Thieres George Freire da Silva – UAST/UFRPE
Orientador



Dr. Mário Adriano Ávila Queiroz – UNIVASF
Examinador Externo



Dr. Cherman Garcia Leal de Araújo – EMBRAPA
Examinador Externo



Dr. Servaldo Mercier Siqueira e Silva – IPA
Examinador Externo

Aos meus pais,
Lúcia de Fátima Pereira Alves e Clenaldo Pereira da Conceição,
pelo amor, carinho, dedicação, incentivo, conselhos, ensinamentos e,
por sempre estarem presente em minha vida, independente da distância.

Amo vocês!

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, pela dádiva da vida, por me livrar de todo o mal, dando-me saúde, força e coragem para continuar minha caminhada e superar as dificuldades.

Aos meus pais Lúcia de Fátima Pereira Alves e Clenaldo Pereira da Conceição, por todo ensinamento. Por serem meus melhores amigos e maiores exemplos de vida, me dando sempre bons conselhos e partilhando todos os momentos.

A minha irmã Layane Pereira Alves de Lima, pelo amor, companheirismo e incentivo. A meu cunhado Luann Lima, pelos conselhos, amizade e ensinamentos. Ao meu sobrinho Bernardo Alves pelos momentos de alegria.

A minha noiva, Danielle Eugênio, por todos os momentos partilhados, ensinamentos, companheirismo, carinho e amor. Por sempre está ao meu lado, independente das circunstâncias, sempre dando conselhos fundamentais para meu crescimento interpessoal.

A minhas tias, tios, primos e primas, por todos os momentos e ensinamentos. A minhas avôs Maria Helena e Dona Bela, por todo amor, carinho e entusiasmo com minhas conquistas. A seu Ki, pelos seus conselhos, ensinamentos e amizade.

Ao professor Thieres George Freire da Silva, por toda a orientação, responsabilidade, dedicação, paciência, ensinamentos e pelas oportunidades dadas, as quais possibilitaram meu crescimento profissional e pessoal.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada. Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal - PGPV, pelas oportunidades para meu crescimento profissional. A todo o corpo docente do PGPV, pelos ensinamentos, dedicação e contribuições importantes ao longo do mestrado.

A Embrapa pelo apoio financeiro por intermédio do Projeto: “Sistemas de cultivos e estratégias de manejo da palma forrageira submetida a diferentes práticas de irrigação complementar no semiárido” – IRRIGPALMA - Código SEG: 22.16.04.028.00.00.

Aos membros do Grupo de Agrometeorologia no Seminário – GAS, por todos os momentos e ensinamentos compartilhados, pelos trabalhos desenvolvidos, pelas conversas, momentos de descontração, responsabilidade e apoio na instalação e manutenção dos experimentos, sendo fundamentais e indispensáveis para a conclusão desse trabalho.

Aos colegas de turma Danielle, Baltazar, Ana Karlla, Jordão, Yara e Nielson, pelos momentos vividos e conhecimento partilhado. Assim como todos os colegas e amigos que fazem parte do PGPV.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Muito obrigado!

Seja sempre inquieto e vez por outra paciente,
parece contraditório, soa meio diferente,
mas às vezes pisar no freio
também é andar pra frente

(Bráulio Bessa)

RESUMO GERAL

As condições edafoclimáticas das regiões semiáridas, juntamente com o aumento na demanda por forragem, devido ao crescimento dos rebanhos e maiores demandas por produtos de origem animal (i.e., leite e carne), remetem a necessidade em melhoria nas condições de cultivo por meio de estratégias mitigatórias, com ênfase no uso de práticas de resiliência agrícola. Dentre elas, pode-se destacar o uso de espécies adaptadas (e.g., palma forrageira e sorgo), diversificação no sistema produtivo, uso de irrigação eficiente, agricultura bioassalada, densidade de plantas ideal e orientação de cultivo de forma adequada. Entretanto, são escassas pesquisas voltadas para o consórcio palma-sorgo sob irrigação com água salina, submetida a diferentes configurações de cultivo, densidade e orientação de plantio. Dito isso, objetivou-se avaliar as respostas produtivas, benefícios econômicos, índices morfo-fenológicos do consórcio palma-sorgo cultivado sob diferentes estratégias para melhoria da resiliência agrícola. A pesquisa foi conduzida no período de 2018 a 2020 no Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e outras Plantas Forrageiras – Centro REF, situado em Serra Talhada, Pernambuco, Brasil. Na ocasião, foram utilizados três clones de palma forrageira (IPA-Sertânia - IPA (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck), Miúda – MIU (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) e Orelha de Elefante Mexicana – OEM (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.)) e três cultivares de sorgo (IPA-467, SF11 e o Progenitor 288 – P.288 (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)). O estudo foi dividido em quatro experimentos, onde o experimento 1 consistiu em diferentes configurações de cultivos exclusivo e de consórcio palma-sorgo (OEM-EXC; IPA-EXC; MIU-EXC, SF11-EXC; P.288-EXC; 467-EXC; OEM-SF11; OEM-P.288; OEM-467; IPA-SF11; IPA-P.288; IPA-467; MIU-SF11; MIU-P.288 e MIU-467); no experimento 2 foram avaliados diferentes densidade de plantio para a palma forrageira (100.000; 50.000 33.333; 25.000 e 20.000 plantas ha⁻¹) sob orientação de cultivo Leste-Oeste; o experimento 3 se assemelha ao experimento 2, diferindo apenas na orientação de cultivo, nesse foi Norte-Sul; O experimento 4 foi composto por diferentes densidades de plantio da palma forrageira e do sorgo, por meio da modificação no espaçamento entre as fileiras de plantio (50.000; 40.000; 33.333 e 28.571 plantas ha⁻¹ para a palma e, 200.000; 160.000; 133.333 e 114.285 plantas ha⁻¹ para o sorgo). Para todos os experimentos o delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições cada. A partir dos dados obtidos durante todo o período experimental foi determinado o rendimento produtivo do sistema, índices de eficiência biológica, habilidade competitiva, benefício econômico, índices morfofisiológicos, fenofase vegetativa e momento

de corte ideal. O consórcio palma-sorgo promoveu bons resultados quanto ao rendimento forrageiro, eficiência biológica, habilidade competitiva e benefício econômico. A orientação de cultivo não influenciou a produtividade do consórcio palma-sorgo. Por outro lado, a densidade de plantio apresentou respostas positivas com o aumento do adensamento, com melhores resultados para as maiores densidade utilizadas. Os índices morfofisiológicos e a fenologia vegetativa da palma forrageira são influenciadas pelo sistema de produção empregado. Desse modo, o consórcio palma-sorgo é uma alternativa viável para regiões semiáridas, com melhores resultados na utilização da configuração OEM-467 ou OEM-P.288, assim como optar pela maior densidade de plantio avaliada no presente estudo.

Palavras-chave: resiliência agrícola, *Opuntia stricta*, *Nopalea cochenillifera*, *Sorghum bicolor*.

GENERAL ABSTRACT

The edaphoclimatic conditions of the semiarid regions, together with the increase in demand for forage, due to the growth of herds and greater demands for products of animal origin (i.e., milk and meat), refer to the need for improvement in cultivation conditions through strategies mitigating factors, with an emphasis on the use of agricultural resilience practices. Among them, we can highlight the use of adapted species (e.g., forage cactus and sorghum), diversification in the productive system, use of efficient irrigation, biosalin agriculture, ideal plant density and cultivation guidance in an appropriate way. However, there is little research on the forage cactus-sorghum consortium under irrigation with saline water, submitted to different cultivation configurations, density and planting orientation. That said, the objective was to evaluate the productive responses, economic benefits, morpho-phenological indices of the forage cactus-sorghum consortium grown under different strategies to improve agricultural resilience. The research was conducted in the period from 2018 to 2020 at the International Reference Center for Agrometeorological Studies of Palma and other Forage Plants - Centro REF, located in Serra Talhada, Pernambuco, Brazil. At the time, three forage cactus clones were used (IPA-Sertânia - IPA (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck), Miúda - MIU (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) and Mexican Elephant Ear - OEM (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.)) and three sorghum cultivars (IPA-467, SF11 and Progenitor 288 - P.288 (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)). The study was divided into four experiments, where experiment 1 consisted of different configurations of exclusive and consortium forage cactus-sorghum crops (OEM-EXC; IPA-EXC; MIU-EXC, SF11-EXC; P.288-EXC; 467- EXC; OEM-SF11; OEM-P.288; OEM-467; IPA-SF11; IPA-P.288; IPA-467; MIU-SF11; MIU-P.288 and MIU-467); in experiment 2 different planting density was evaluated for forage cactus (100,000; 50,000 33,333; 25,000 and 20,000 plants ha⁻¹) under East-West cultivation guidance; experiment 3 is similar to experiment 2, differing only in the cultivation orientation, in this one it was North-South; Experiment 4 consisted of different planting densities of forage cactus and sorghum, by changing the spacing between the planting rows (50,000; 40,000; 33,333 and 28,571 plants ha⁻¹ for the forage cactus and, 200,000; 160,000; 133,333 and 114,285 plants ha⁻¹ for sorghum). For all experiments, the design used was in randomized blocks, with four repetitions each. From the data obtained throughout the experimental period, the productive yield of the system was determined, biological efficiency indexes, competitive ability, economic benefit, morphophysiological indexes, vegetative phenophase and ideal cutting

moment. The forage cactus-sorghum consortium promoted good results in terms of forage yield, biological efficiency, competitive ability and economic benefit. The cultivation orientation did not influence the productivity of the forage cactus-sorghum consortium. On the other hand, the planting density showed positive responses with the increase in density, with better results for the higher density used. The morphophysiological indexes and the vegetative phenology of the forage cactus are influenced by the production system employed. Thus, the forage cactus-sorghum consortium is a viable alternative for semi-arid regions, with better results in the use of the OEM-467 or OEM-P.288 configuration, as well as opting for the higher planting density evaluated in the present study.

Keywords: agricultural resilience, *Opuntia stricta*, *Nopalea cochenillifera*, *Sorghum bicolor*.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 – MELHORIA NA RESILIÊNCIA AGRÍCOLA COMO POTENCIALIZADOR NO CULTIVO CONSORCIADO PALMA-SORGO EM AMBIENTE SEMIÁRIDO: UMA REVISÃO

Figura 1. Representação gráfica do mapa do Brasil, da região Nordeste e delimitação geográfica do Semiárido. Adaptado de SUDENE (2017).	27
Figura 2. Distribuição geográfica mundial da palma forrageira. Fonte: Mounir et al. (2020).	31
Figura 3. Representação simplificada do metabolismo ácido das crassuláceas (MAC). Adaptado de Gilman; Edwards (2020).	32
Figura 4. Sistema consorciado palma-sorgo com exploração do sistema radicular das culturas consortes. Fonte: O autor.	36

CAPÍTULO 2 – RENDIMENTO FORRAGEIRO E BENEFÍCIO ECONÔMICO DO CONSÓRCIO PALMA-SORGO SOB DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE CULTIVO, EM SISTEMAS BIOSSALINOS DE PRODUÇÃO

Figura 1. Localização da área de estudo, situada no município de Serra Talhada –PE, Brasil. (Alves, 2020).	58
Figura 2. Precipitação pluvial (P) e Evapotranspiração de referência (ET ₀), durante o período experimental de agosto de 2018 a julho de 2020 em Serra Talhada, PE, Brasil.	60
Figura 3. Croqui do experimento 1: Diferentes configurações de cultivo do consórcio palma-sorgo. Serra Talhada – PE, Brasil. Fonte: O autor.	61
Figura 4. Croqui do experimento 2: diferentes densidades de plantio para a palma forrageira, sob consórcio com o sorgo, submetido a orientação de plantio Leste-oeste. Serra Talhada – PE, Brasil. Fonte: O autor.	63
Figura 5. Croqui do experimento 3: palma forrageira submetida a diferentes densidades de plantio, sob orientação de cultivo Norte-Sul e consórcio com sorgo. Serra Talhada – PE, Brasil. Fonte: O autor.	64
Figura 6. Croqui do experimento 4: diferentes densidades de plantio do consórcio palma-sorgo. Serra Talhada – PE, Brasil. Fonte: O autor.	65
Figura 7. Produtividade do consórcio palma-sorgo, sob orientação de cultivo Leste-Oeste (A, B e C) e Norte-Sul (D, E e F), cultivada sob diferentes densidades de plantio (diferentes espaçamentos entre plantas), em ambiente semiárido. Y – Produtividade; P – Palma; PS – Somatório palma-sorgo; MF – Massa Fresca; MS – Massa Seca.	74
Figura 8. Produtividade em massa fresca (A e C) e seca (B e D) dos quatro ciclos de sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench), consorciado com palma forrageira em diferentes densidades de plantio e orientações de cultivo Leste-Oeste (A e B) e Norte-Sul (C e D). Y – Produtividade; S – Sorgo.	75
Figura 9. Produtividade em massa fresca (A, B e C) e massa seca (D, E e F) da palma forrageira (<i>Opuntia stricta</i> (Haw.) Haw.) e do sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench), em sistema consorciado, sob diferentes densidades de plantio (espaçamento entre linhas). Y – Produtividade; P – Palma; Σ_s – Somatório sorgo; PS – Somatório palma-sorgo; MF – Massa fresca; MS – Massa seca.	76

CAPÍTULO 3 - INDICADORES MORFOFISIOLÓGICO, FENOFASE E MOMENTO DE CORTE DO CONSÓRCIO PALMA-SORGO SOB ESTRATÉGIAS DE RESILIÊNCIA AGRÍCOLA

Figura 1. Evapotranspiração de referência (ET ₀) e precipitação pluvial (P) no período de agosto de 2018 a julho de 2020 no município de Serra Talhada, Pernambuco, Brasil.....	103
Figura 2. Índices morfofisiológicos de clones de palma forrageira (IPA – IPA Sertânia; MIU – Miúda; OEM – Orelha de Elefante Mexicana) submetidas a sistema de cultivo exclusivo (EXC) e consorciado com cultivares de sorgo (467; SF11; P.288 – Progenitor 288). TCA – Taxa de crescimento absoluto (A, B, C); TCR – Taxa de crescimento relativo (D, E, F); TAL – Taxa de assimilação líquida (G, H, I); ACE – Área do cladódio específica (J, K, L).	110
Figura 3. Índices morfofisiológicos da palma forrageira cultivada em orientação de cultivo Leste-Oeste em consórcio com sorgo, sob diferentes densidades de plantio. TCA – Taxa de crescimento absoluto (A); TCR – Taxa de crescimento relativo (B); TAL – Taxa de assimilação líquida (C); ACE – Área do cladódio específica (D).	111
Figura 4. Índices morfofisiológicos da palma forrageira cultivada em orientação de cultivo Norte-Sul em consórcio com o sorgo, sob diferentes densidades de plantio. TCA – Taxa de crescimento absoluto (A); TCR – Taxa de crescimento relativo (B); TAL – Taxa de assimilação líquida (C); ACE – Área do cladódio específica (D).	112
Figura 5. Índices morfofisiológicos da palma forrageira consorciada com sorgo, sob diferentes densidades de plantio sob diferentes espaçamentos entre linhas. TCA – Taxa de crescimento absoluto (A); TCR – Taxa de crescimento relativo (B); TAL – Taxa de assimilação líquida (C); ACE – Área do cladódio específica (D).	113
Figura 6. Índices morfofisiológicos dos três ciclos de cultivares de sorgo (467, SF11 e P.288) submetidas a diferentes configurações de cultivo. TCC – Taxa de crescimento da cultura (A, B e C); TCR – Taxa de crescimento relativo (D, E e F); TAL – Taxa de assimilação líquida (G, H e I); AFE – Área foliar específica (J, K e L); RAF – Razão de área foliar (M, N e O); RMF – Razão de massa foliar (P, Q e R).....	115
Figura 7. Índices morfofisiológicos dos quatro ciclos do sorgo sob orientação de cultivo Leste-Oeste em sistema consorciado com a palma forrageira submetida a diferentes densidades de plantio. TCC – Taxa de crescimento da cultura (A, B, C e D); TCR – Taxa de crescimento relativo (E, F, G e H); TAL – Taxa de assimilação líquida (I, J, K e L); AFE – Área foliar específica (M, N, O e P); RAF – Razão de área foliar (Q, R, S e T); RMF – Razão de massa foliar (U, V, W e X).....	117
Figura 8. Índices morfofisiológicos dos quatro ciclos do sorgo sob orientação de cultivo Norte-Sul em sistema consorciado com a palma forrageira submetida a diferentes densidades de plantio. TCC – Taxa de crescimento da cultura (A, B, C e D); TCR – Taxa de crescimento relativo (E, F, G e H); TAL – Taxa de assimilação líquida (I, J, K e L); AFE – Área foliar específica (M, N, O e P); RAF – Razão de área foliar (Q, R, S e T); RMF – Razão de massa foliar (U, V, W e X).....	118
Figura 9. Índices morfofisiológicos dos quatro ciclos do sorgo em consórcio com a palma forrageira sob diferentes densidades de plantio. TCC – Taxa de crescimento da cultura (A, B, C e D); TCR – Taxa de crescimento relativo (E, F, G e H); TAL – Taxa de assimilação líquida (I, J, K e L); AFE – Área foliar específica (M, N, O e P); RAF – Razão de área foliar (Q, R, S e T); RMF – Razão de massa foliar (U, V, W e X).....	119
Figura 10. Fenofase vegetativa e momento de corte de clones de palma forrageira (IPA – IPA Sertânia; MIU – Miúda; OEM – Orelha de Elefante Mexicana) submetidas a sistema de cultivo exclusivo (EXC) e consorciado com cultivares de sorgo (467; SF11; P.288 – Progenitor 288), em função dos graus dias acumulados (GDA, °Cdia).	120

Figura 11. Fenofase vegetativa e momento de corte da palma forrageira cultivada em orientação de cultivo Leste-Oeste em consórcio com sorgo cv. 467, sob diferentes densidades de plantio. A – 1000.000 plantas ha ⁻¹ ; B – 50.000 plantas ha ⁻¹ ; C – 33.333 plantas ha ⁻¹ ; D – 25.000 plantas ha ⁻¹ ; E – 20.000 plantas ha ⁻¹	122
Figura 12. Fenofase vegetativa e momento de corte da palma forrageira cultivada em orientação de cultivo Norte-Sul em consórcio com sorgo cv. 467, sob diferentes densidades de plantio. A – 1000.000 plantas ha ⁻¹ ; B – 50.000 plantas ha ⁻¹ ; C – 33.333 plantas ha ⁻¹ ; D – 25.000 plantas ha ⁻¹ ; E – 20.000 plantas ha ⁻¹	123
Figura 13. Fenofase vegetativa e momento de corte da palma forrageira consorciada com sorgo cv. 467, sob diferentes densidades de plantio por meio da modificação no espaçamento entre linhas. A – 50.000 plantas ha ⁻¹ ; B – 40.000 plantas ha ⁻¹ ; C – 33.333 plantas ha ⁻¹ ; D – 28.571 plantas ha ⁻¹	124

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2 – RENDIMENTO FORRAGEIRO E BENEFÍCIO ECONÔMICO DO CONSÓRCIO PALMA-SORGO SOB DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE CULTIVO, EM SISTEMAS BISSALINOS DE PRODUÇÃO

Tabela 1. Propriedades físicas e químicas de um Cambissolo Háptico na camada de 0,00 – 0,20 m, situado no município de Serra Talhada – PE, Brasil.....	58
Tabela 2. Descrição dos custos de produção e receita líquida da palma forrageira e do sorgo em cultivo consorciado e exclusivo cultivados sob diferentes densidades no semiárido brasileiro.....	68
Tabela 3. Produtividade em massa fresca (MF) e seca (MS) de quatro ciclos de cultivares de sorgo e dois cortes de clones de palma forrageira, cultivados sob sistema de cultivo exclusivo e consorciado, em ambiente semiárido (Corte 1- 02/2019-02/2020 e Corte 2 - 02/2020-07/2020).....	69
Tabela 4. Produtividade em massa fresca e seca da palma forrageira (<i>Opuntia stricta</i> (Haw.) Haw.) clone OEM e do sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench) cv. 467, sob orientação de cultivo Leste-Oeste e Norte-Sul.	72
Tabela 5. Índices de eficiência biológica de clones de palma forrageira e cultivares de sorgo, sob sistema consorciado, nos diferentes ciclos produtivos do sorgo e total (02/2019-02/2020 e 02/2020-07/2020).	77
Tabela 6. Índices de habilidade competitiva de clones de palma forrageira e cultivares de sorgo, sob sistema consorciado, nos diferentes ciclos produtivos do sorgo e total, cultivados em ambiente semiárido (02/2019-02/2020 e 02/2020-07/2020).	81
Tabela 7. Relação benefício/custo dos dois ciclos de palma forrageira (02/2019 a 02/2020 – Corte 1; 02/2020 a 07/2020 – Corte 2) e dos quatro ciclos do sorgo cultivados sob diferentes configurações de cultivo. Serra Talhada, PE, Brasil.	84
Tabela 8. Relação benefício/custo da palma forrageira e dos quatro ciclos de sorgo cultivados sob diferentes densidades de plantio, submetido a orientação de cultivo Leste-Oeste e Norte-Sul, em ambiente semiárido, no período de 2018 a 2020.....	86
Tabela 9. Relação benefício/custo do consórcio palma-sorgo cultivados sob diferentes densidades de plantio, em ambiente semiárido, no período de 2018 a 2020.....	86

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – RESILIÊNCIA AGRÍCOLA NO CULTIVO CONSORCIADO PALMA-SORGO EM AMBIENTE SEMIÁRIDO: UMA REVISÃO	22
1 Introdução	24
2 Caracterização ambiental e econômica do semiárido	25
3 Cultivos resilientes no cenário atual de mudanças climáticas	28
4 Palma forrageira e sua convivência no semiárido	30
5 Sorgo e sua importância como planta forrageira adaptada ao semiárido	34
6 Consórcio palma-sorgo como alternativa de cultivo em ambiente semiárido	36
7 Uso de irrigação no semiárido e agricultura bioassalada	37
8 Densidade populacional e orientação de plantio	39
9 Considerações finais	40
10 Referências	41
CAPÍTULO 2 – RENDIMENTO FORRAGEIRO E BENEFÍCIO ECONÔMICO DO CONSÓRCIO PALMA-SORGO SOB DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE CULTIVO, EM SISTEMAS BIOASSALADOS DE PRODUÇÃO	54
1 Introdução	56
2 Material e métodos	58
2.1 <i>Localização experimental</i>	58
2.2 <i>Design experimental e manejo das culturas</i>	59
2.2.1 <i>Experimento 1 (Diferentes configurações de cultivo)</i>	60
2.2.2 <i>Experimento 2 (Densidades de plantio sob orientação Leste-Oeste)</i>	62
2.2.3 <i>Experimento 3 (Densidades de plantio sob orientação Norte-Sul)</i>	63
2.2.4 <i>Experimento 4 (Densidade de plantio da palma e do sorgo)</i>	64
2.3 <i>Rendimento de forragem</i>	65
2.4 <i>Eficiência biológica</i>	66
2.5 <i>Habilidade competitiva</i>	67
2.6 <i>Benefício econômico</i>	68
2.7 <i>Análise estatística</i>	68
3 Resultados	69
3.1 <i>Rendimento de forragem</i>	69
3.2 <i>Eficiência biológica</i>	77
3.3 <i>Habilidade competitiva</i>	80
3.4 <i>Benefício econômico</i>	83
4 Discussão	87
4.1 <i>Rendimento de forragem</i>	87

4.2 Eficiência biológica	89
4.3 Habilidade competitiva	90
4.4 Benefício econômico	91
5 Conclusões	92
6 Referências	92
CAPÍTULO 3 - INDICADORES MORFOFISIOLÓGICO, FENOFASE E MOMENTO DE CORTE DO CONSÓRCIO PALMA-SORGO SOB ESTRATÉGIAS DE RESILIÊNCIA AGRÍCOLA.....	98
1 Introdução	100
2 Material e métodos	101
2.1 Local experimental	101
2.2 Delineamento experimental e manejo das culturas.....	102
2.2.1 Área 1 (Configurações de cultivo)	103
2.2.2 Área 2 (Densidade populacional sob orientação Leste-Oeste).....	104
2.2.3 Área 3 (Densidade populacional sob orientação Norte-Sul)	105
2.2.4 Área 4 (Densidade populacional da palma e do sorgo).....	105
2.3 Variáveis biométricas	106
2.4 Índices morfofisiológicos da palma forrageira e do sorgo	107
2.5 Fenofase e momento de corte da palma forrageira	108
2.6 Análise estatística	108
3 Resultados	108
3.1 Índices morfofisiológicos da palma forrageira e do sorgo	108
3.1.1 Clones de palma forrageira.....	108
3.1.2 Cultivares de sorgo.....	113
3.2 Fenofase e momento de corte da palma forrageira	119
4 Discussão	125
4.1 Índices morfofisiológicos da palma forrageira	125
4.2 Fenofase e momento de corte da palma forrageira	128
5 Conclusões	130
6 Referências	131

APRESENTAÇÃO

As regiões semiáridas apresentam, dentre suas características climáticas, altas temperaturas do ar, baixos regimes pluviométricos, com distribuição espaço-temporal irregular das chuvas e elevada demanda atmosférica, com ocorrência de eventos extremos, podendo ser citadas as secas e cheias, sendo as secas com maior frequência. A seca se caracteriza pela deficiência hídrica, promovendo dificuldade nos cultivos agrícolas, uma vez que a água é indispensável para o sucesso da atividade.

Dentre as regiões semiáridas, têm-se o Semiárido brasileiro, o qual ocupa uma extensão territorial equivalente a 18,2% do território nacional. Nesses ambientes, a pecuária é uma das principais atividades desenvolvidas. O Brasil é uma grande potência na exportação de produtos pecuários, com destaque para a carne bovina, sendo o maior exportador do produto mundialmente. No entanto, devido às características climáticas, mencionadas anteriormente, a baixa capacidade suporte da vegetação nativa (i.e., Caatinga) e o aumento na demanda por produtos de origem animal, remetem a necessidade no uso de práticas que buscam a melhoria para a resiliência agrícola e, conseqüentemente êxito na produção.

Entre essas práticas consistem na modificação do sistema de cultivo, com emprego de técnicas agrícolas sustentáveis, promovendo pleno crescimento e desenvolvimento dos vegetais, mesmo que estejam sob perturbações climáticas. Dito isso, pode ser citado dentre as práticas, a utilização de espécies adaptadas, a consorciação entre culturas, o emprego de irrigação e adequação na densidade e orientação de plantio.

Diante de diversas plantas forrageiras, surge nesse contexto como espécies adaptadas a ambientes semiáridos a palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) e o sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Ambas apresentam elevada eficiência no uso da água, alta produtividade, capacidade de rebrota, rusticidade e características morfológicas, fisiológicas e anatômicas que favorecem seu crescimento e desenvolvimento em ambientes com déficit hídrico, além de apresentarem tolerância a salinidade. Arelado ao uso dessas espécies, tem-se a utilização do sistema consorciado, o qual busca otimização no uso dos recursos, com cultivo simultâneo de duas ou mais espécies, de modo a favorecer o benefício mútuo das culturas. Estudos evidenciaram que o consórcio palma-sorgo é uma ótima alternativa para ambientes quentes e secos, com resultados superiores a seus cultivos de forma exclusiva, com melhoria em seu desempenho na presença de irrigação.

A melhoria de um sistema produtivo implantado em ambiente de escassez hídrica pode ser alcançada com uso da irrigação. Entretanto, em regiões de clima semiárido a quantidade e qualidade da água é reduzida, sendo frequentemente utilizado água salobra para irrigação dos cultivos, sendo assim necessário o emprego da agricultura bioassalada, que é a utilização de água com elevados teores de sais de forma eficiente e sustentável sem comprometer o solo e a planta.

Outros fatores que influenciam a eficiência no uso dos recursos (i.e., água, luz, nutrientes, etc.), favorecendo o aumento da produtividade, é a densidade de plantio e a orientação de cultivo. Onde a primeira é utilizada com o intuito de inserir no sistema de cultivo a quantidade de plantas ideal. Por sua vez, a orientação de cultivo busca a melhoria na captação e utilização da luz solar no acúmulo de massa seca.

Com isso, levando em consideração a escassez de pesquisas voltadas ao cultivo do consórcio palma-sorgo sob diferentes estratégias para melhoria da resiliência agrícola, aliado as condições climáticas dos ambientes de clima semiárido e o uso de água salobra na irrigação, estudos sobre o emprego de diferentes configurações, densidade e orientação de plantio são essenciais para compreender o comportamento da palma forrageira e do sorgo, em relação ao seu crescimento, desenvolvimento e rendimento produtivo, auxiliando diretamente na tomada de decisão por parte dos produtores, favorecendo maior eficiência no uso dos recursos, além de redução nos custos, com retorno econômico satisfatório.

1 **CAPÍTULO 1 – RESILIÊNCIA AGRÍCOLA NO CULTIVO CONSORCIADO PALMA-** 2 **SORGO EM AMBIENTE SEMIÁRIDO: UMA REVISÃO**

3
4 **RESUMO:** O sucesso do agronegócio no setor pecuário, depende da oferta de forragem para
5 os animais, especialmente em zonas semiáridas, onde as características climáticas e a baixa
6 disponibilidade de alimento podem dificultar a atividade. Diante disso, o uso de práticas
7 agrícolas que melhorem a resiliência agrícola dos cultivos e possibilitem a oferta de forragem
8 durante todo o ano para os animais torna-se imprescindível. Dentre tais práticas, destacam-se:
9 o uso de espécies adaptadas as condições climáticas, escolha da configuração de cultivo, a
10 densidade de plantio e orientação de cultivo. Nesse contexto, duas culturas que merecem
11 destaque em ambientes quentes e secos é a palma forrageira e o sorgo forrageiro, ambas
12 apresentam elevada eficiência no uso dos recursos, com produtividade satisfatória, além da
13 existência de trabalhos que evidenciam os benefícios na associação dessas culturas na dieta
14 alimentar dos animais. Dessa forma, a presente revisão analisou a adoção de práticas de
15 resiliência agrícola para melhoria das respostas produtivas e estruturais das culturas da palma e
16 sorgo. Os achados desta revisão, podem servir como subsídios para o planejamento da produção
17 de forragem, ao tempo em que sugerem que a adoção de práticas adequadas (i.e. irrigação,
18 consorciação, orientação de cultivo e densidade) e suas combinações no sistema de produção
19 permitem um melhor aproveitamento dos recursos naturais. E, com isso, maiores acúmulos de
20 biomassa, constituindo-se em fatores determinantes para o êxito na produção.

21
22 **Palavras-chave:** configurações de cultivo, densidade e orientação de plantio, *Opuntia stricta*,
23 *Nopalea cochenilifera*, *Sorghum bicolor*

35 **ABSTRACT:** The success of agribusiness in the livestock sector depends on the supply of
36 fodder for animals, especially in semi-arid areas, where climatic characteristics and low food
37 availability can hamper activity. Therefore, the use of agricultural practices that improve the
38 agricultural resilience of crops and make it possible to offer fodder throughout the year for
39 animals becomes essential. Among such practices, the following stand out: the use of species
40 adapted to climatic conditions, choice of cultivation configuration, planting density and
41 cultivation orientation. In this context, two crops that deserve to be highlighted in hot and dry
42 environments are the forage cactus and the forage sorghum, both have high efficiency in the
43 use of resources, with satisfactory productivity, in addition to the existence of studies that show
44 the benefits in the association of these cultures in the diet. animal feed. Thus, the present review
45 analyzed the adoption of agricultural resilience practices to improve the productive and
46 structural responses of forage cactus and sorghum crops. The findings of this review may serve
47 as inputs for the planning of forage production, while suggesting that the adoption of
48 appropriate practices (i.e. irrigation, intercropping, cultivation and density guidance) and their
49 combinations in the production system allow for a better use of natural resources. And, with
50 this, greater accumulations of biomass, constituting determining factors for success in
51 production.

52

53 **Keywords:** cultivation settings, density and orientation planting, *Opuntia stricta*, *Nopalea*
54 *cochenilifera*, *Sorghum bicolor*

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68 **1 Introdução**

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

A contribuição do agronegócio é positiva para o equilíbrio da balança comercial do país (Santos et al., 2016). Um setor com crescente participação é a pecuária, que juntamente com o crescimento populacional, traz consigo o aumento na demanda por produtos forrageiros, para atendimento da necessidade alimentar dos animais, e conseqüentemente, humana (Alves et al., 2018; Zhang et al., 2019a), principalmente em regiões semiáridas. Nessas regiões há predomínio de pequenos e médios produtores (i.e., agricultura familiar), que são responsáveis pela produção de 70% dos produtos consumidos. No entanto, estas estão sujeitas a variabilidade climática, impactando diretamente na produtividade dos cultivos (Moraes et al., 2019).

A produção de forragem nativa em ambientes semiáridos, se restringe aos períodos chuvoso, sendo inviabilizada em períodos de estiagem (Nunes et al., 2016; Moraes et al., 2019). Para contornar tais situações é de suma importância o emprego de estratégias que favoreçam a disponibilidade de alimento para os animais durante todo o ano, vindo a mitigar as condições adversas impostas pelo clima (Maia e Gurgel, 2013). Dentre essas estratégias, destaca-se o uso de culturas adaptadas e manejo de cultivo, os quais devem ser cuidadosamente planejados, logo que, seu uso de modo inadequado pode proporcionar efeitos negativos no crescimento e desenvolvimento das culturas (Corrêa et al., 2019).

O estudo da utilização de cultivos resilientes em regiões semiáridas se tornam relevante, visando a maximização da produtividade das culturas. Essas práticas consistem na adequação da agricultura ao clima da região, aprimorando os recursos disponíveis, com adoção de práticas de resiliência, destacando-se o uso de culturas adaptadas bem como a diversificação do cultivo (Rao et al., 2018; Rai et al., 2018), o adensamento das culturas e orientação de plantio.

A palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.), apresenta elevada tolerância a longos períodos de estiagem, e alta eficiência do uso da água, devido principalmente a seu metabolismo ácido das crassuláceas (MAC). Neste caso, a abertura estomática no período noturno, reduzindo a perda de água para a atmosfera, e assim, possibilitando aumento no rendimento agrícola de tais regiões (Silva et al., 2015a; Barbosa et al., 2018). Além disso, a palma forrageira apresenta baixo requerimento hídrico, de tal modo que em regiões com precipitação igual ou superior a 493 mm ano⁻¹, desde que sua distribuição seja regular, não há necessidade de irrigação (Silva et al., 2017).

O fornecimento exclusivo da palma, no entanto, provoca distúrbios nutricionais nos animais, devido as baixas concentrações de fibras, sendo necessário o incremento de culturas, que favorecem o suprimento do componente deficitário (Santos e Santos, 2018). Uma ótima

102 alternativa é o sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), pois além de possuir elevados teores de
103 fibra, apresenta alta produção de biomassa mesmo em condições climáticas adversas (e. g.,
104 déficit hídrico) (Aguiar et al., 2015).

105 Para maior eficiência no uso dos recursos disponíveis, o cultivo consorciado dessas
106 culturas adaptadas as condições climáticas, é de extrema importância (Lima et al. 2018a).
107 Segundo os mesmos autores o cultivo consorciado palma-sorgo elevam a eficiência no uso da
108 água, quando avaliado a matéria seca. Diniz et al. (2017) estudaram o consórcio palma-sorgo e
109 verificaram que esse tipo de cultivo apresenta grande vantagem biológica e capacidade
110 competitiva quando comparado ao cultivo exclusivo, demonstrando sua eficiência no uso da
111 terra. Consórcio palma-sorgo promove maior lucro quando relacionado com o monocultivo da
112 palma forrageira (Lima et al., 2018b).

113 Para maximização do cultivo, a irrigação torna-se uma importante prática, pois busca
114 atender a demanda das culturas, favorecendo seu pleno desenvolvimento. Entretanto, em
115 ambiente semiárido a água de irrigação por muitas vezes é de baixa qualidade, devido a
116 quantidade de sais presentes, sendo necessário colocar em prática o uso de agricultura
117 bioassalada, a qual é definida como práticas agrícolas melhoradas que buscam o uso de solo e
118 água salina com a finalidade de alcançar melhor produção por meio do uso sustentável e
119 integrado dos recursos (Nikalje et al., 2017).

120 Além dos fatores elencados anteriormente o rendimento de uma cultura é bastante
121 influenciado pela densidade populacional e o arranjo no sistema de cultivo (Corrêa et al., 2019).
122 Uma vez que influencia na interceptação solar incidente, influenciando na área e inserção foliar,
123 principalmente nas camadas inferiores das plantas (Cardoso et al., 2017; Corrêa et al., 2019).
124 Dessa forma, a presente revisão analisou a adoção de práticas de resiliência agrícola para
125 melhoria das respostas produtivas e estruturais das culturas da palma e sorgo.

126

127 **2 Caracterização ambiental e econômica do semiárido**

128 A agricultura é um setor dependente das condições climáticas, bem como de sua
129 variabilidade, desse modo o clima regional reflete em efeitos negativos e/ou positivos na
130 produtividade agrícola, sendo mais pronunciáveis aqueles relacionados às alterações nos
131 padrões de chuvas no que concerne ao seu volume (i.e. secas e enchentes) e sua distribuição
132 espaço-temporal (Rao et al., 2018; Rai et al., 2018).

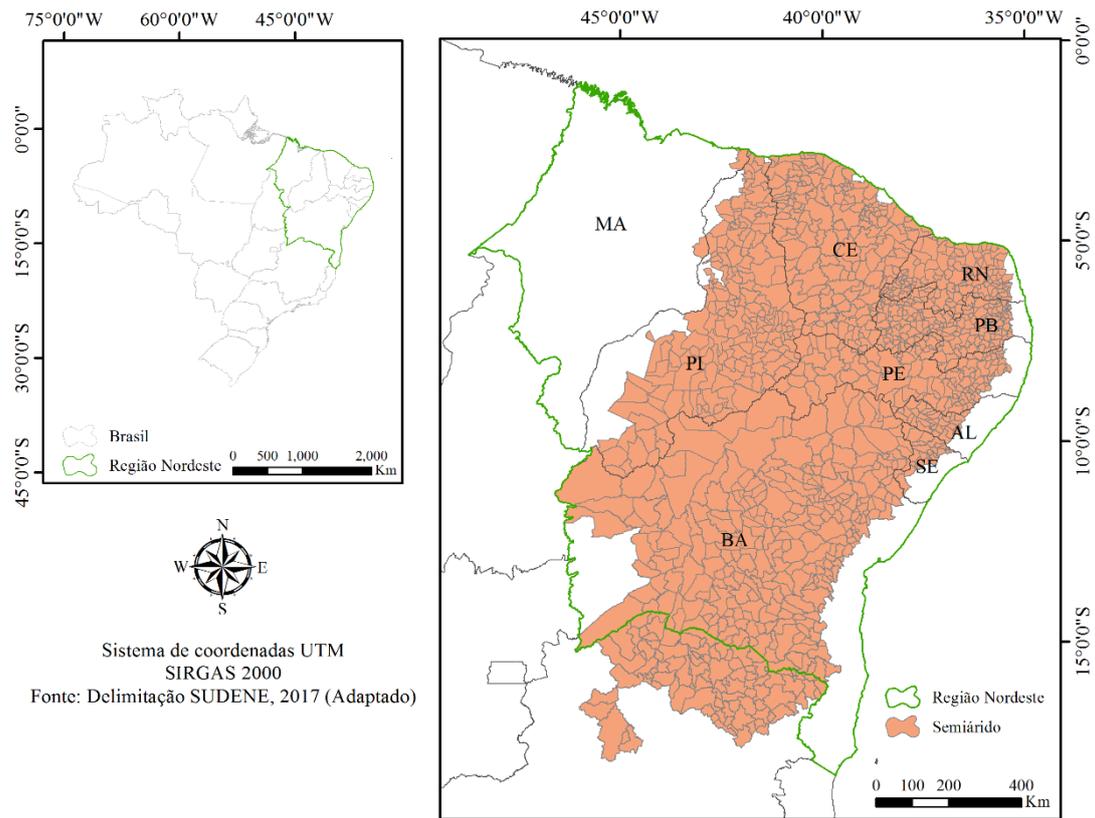
133 O território global é caracterizado por apresentar 55% de zonas áridas, semiárida e
134 desérticas, as quais são bastante difundidas e diversificadas em todo o mundo (Campos et al.,
135 2017). E esse percentual tende a aumentar ainda mais, devido as mudanças climáticas e a ação

136 antrópica, refletindo em redução nas precipitações pluviais e aumento na sazonalidade, que são
137 determinantes para o aumento de áreas desertificadas, que representam um tipo de degradação
138 ambiental mais grave nas zonas áridas, semiáridas e sub-úmidas (Li et al., 2016).

139 Em regiões áridas e semiáridas a escassez hídrica e a distribuição irregular da
140 precipitação pluvial são fatores limitantes para o estabelecimento e produção das culturas, em
141 especial os cultivos em sequeiro (Aguirre-Gutiérrez et al., 2019; Zhang et al., 2019b). De acordo
142 com a classificação climática de Köppen a região semiárida apresenta três classificações
143 principais, sendo eles, BShw' – semiárido, com verão e outono chuvoso, e chuvas concentradas
144 nos meses de março e abril, BShs' – semiárido, com maiores precipitações pluviais no inverno
145 e outono, com de maio e junho mais chuvoso e BShw – semiárido, com verão chuvoso e
146 precipitações pluviais mais concentradas nos meses de dezembro e janeiro (Pereira Filho et al.,
147 2013).

148 O Semiárido brasileiro corresponde a 18,2% do território nacional e abrange uma área
149 de 982.566 km², sendo o mais úmido e maior ambiente semiárido do planeta (Figura 1) (Silva
150 et al., 2020a). Frequentemente em regiões semiáridas, ocorrem anos com chuvas abaixo da
151 normal climatológica, com presença de secas severas, aumentando a escassez hídrica e
152 ameaçando o desenvolvimento socioeconômico e qualidade ambiental (Montenegro e Ragab,
153 2012). Os períodos de secas severas no Semiárido brasileiro são frequentemente observados ao
154 longo do tempo, com destaque para a década de 2011 a 2020, sendo considerada uma das mais
155 graves, com seca severa nos anos de 2012 a 2016, com elevada variabilidade das precipitações
156 pluviais e distribuição irregular no espaço e no tempo, com alta intensidade e baixa duração,
157 sendo necessário um olhar especial para a região, uma vez que há maior frequência nos períodos
158 secos, com aumento na severidade e extensão espacial, que desencadeia condições de baixos
159 índices pluviométricos e elevação no déficit hídrico (Silva et al., 2020b), desfavorecendo a
160 produção agrícola nesses ambientes.

161



162

163 **Figura 1.** Representação gráfica do mapa do Brasil, da região Nordeste e delimitação
164 geográfica do Semiárido. Adaptado de SUDENE (2017).

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

As perdas nas colheitas agrícolas, são decorrentes das secas sazonais que atingem predominantemente as regiões semiáridas, devido as variações climáticas que prejudicam o crescimento das culturas (Cunha, et al., 2015). A seca é definida como um longo período de tempo, com precipitação pluvial inferior à normal climatológica, a qual resulta em escassez hídrica. Esta é considerada um dos perigos naturais com maior capacidade de devastação, que podem comprometer a segurança hídrica, alimentar e energética, além de ocorrer em todas as zonas climáticas, sendo as semiáridas as mais vulneráveis a tais mudanças (Brito et al., 2021).

A seca pode ser classificada de quatro formas distintas: seca meteorológica, quando há ausência de chuva em uma região por um período de tempo. Seca hídrica, associada ao abastecimento deficiente da água em superfície e abaixo dela. Seca agrícola, referindo-se à disponibilidade insuficiente de água para a cultura durante seu ciclo de vida, e seca socioeconômica, ligada a falha no sistema de recursos hídricos, o qual busca atender a demanda por água, impactando diretamente e indiretamente na atividade antrópica (Cunha et al., 2015).

Parte dos prejuízos no setor agropecuário, se deve a tais condições adversas, as quais influenciam de maneira negativa no crescimento e desenvolvimento das culturas, provocando a inviabilização da produção (Sá Júnior et al., 2018). Além das condições do clima semiárido,

181 com destaque para o aumento do déficit hídrico, a região Nordeste do Brasil é ameaçada pela
182 degradação ambiental devido a elevada pressão antrópica, por meio da atividade agropecuária,
183 com ênfase no setor pecuário, havendo degradação do bioma Caatinga (Silva et al., 2021). Neste
184 contexto, pode se observar a substituição da paisagem nativa por espécies forrageiras para
185 formação de pastagem, a fim de garantir a alimentação animal durante todo o ano, devido a
186 demanda imposta pela atividade predominante da região semiárida brasileira (Silva et al.,
187 2020c).

188 A pecuária é a principal atividade econômica do semiárido brasileiro por conta da baixa
189 probabilidade de sucesso nos lucros na produção de culturas como feijão e milho, em
190 decorrência da irregularidade da precipitação e riscos de secas prolongadas (Meira et al., 2021).
191 No entanto, para o fornecimento de forragem a cada unidade animal no bioma Caatinga, são
192 necessários de 12 a 15 ha, e durante secas severas, este valor dobra, onde a cultura ofertada
193 além de suprir a necessidade alimentar dos animais, devem ser tolerantes a altas temperaturas
194 e a escassez hídrica (Lemos et al., 2021).

195 Com isso, o uso de cultivos resilientes permitem a adequação do cultivo as condições
196 climáticas, com a finalidade de produzir de forma sustentável, buscando o êxito na produção
197 agrícola e consequentemente pecuária (Rai et al., 2018). Neste contexto, podem permitir a
198 melhor adequação diante das situações adversas impostas pelo clima, sem prejuízos ao meio
199 ambiente.

200 **3 Cultivos resilientes no cenário atual de mudanças climáticas**

201 Resiliência é basicamente definida como a capacidade de um sistema e seus
202 componentes em lidar e se adaptar facilmente as mudanças ocorridas no ambiente (Šūmane et
203 al., 2018; Roy et al., 2019; Clay e Zimmerer, 2020). Logo, a resiliência agrícola é considerada
204 como capacidade do sistema de produção manter suas características estruturais e
205 comportamentais sob influência de características climáticas adversas, por meio de adaptações
206 e práticas adequadas, a fim de mitigar desafios climáticos e eventos extremos (Eeswaran et al.,
207 2021).

208 As práticas para melhoria na resiliência agrícola podem ser categorizadas em três: as
209 intervenções genéticas, as decisões informadas e intervenções agronômicas. O primeiro caso, é
210 obtido por meio do desenvolvimento de germoplasmas tolerantes a estresses ambientes (e.g.,
211 seca, altas temperaturas, etc.), bem como genótipos com ajustes fenológicos, com intuito de
212 evitar esses estresses. A utilização das decisões informadas para melhoria da resiliência é a
213 partir do uso de previsões climáticas, a fim de evitar estresses, por meio da tomada de decisão
214 e planejamento agrícola. Por sua vez, as intervenções agronômicas incluem ajustes desde o

215 plantio até a colheita, com uso de manejos agrícolas adequados a cada região (Eeswaran et al.,
216 2021).

217 Logo, em cultivos resilientes ocorre a mudança do ambiente de produção, através de
218 práticas agrícolas, tais como a diversificação simultânea de espécies na mesma área, utilização
219 de culturas adaptadas ao clima da região em que está inserida, de modo que esses manejos
220 devem integrar as práticas tradicionais com a ciência moderna, possibilitando a garantia da
221 colheita em quantidade e qualidade (Rai et al., 2018).

222 Além do mais, esses cultivos visam a sustentabilidade do ecossistema, reduzindo os
223 riscos relacionados ao clima, através do acréscimo na capacidade adaptativa das culturas e da
224 resiliência, mantendo a diversidade biológica, produtividade, e questões voltadas a abordagens
225 socioeconômicas (Rao et al., 2018).

226 Dessa forma, para contornar impactos negativos na produtividade agrícola, o emprego
227 de sistemas de produção resiliente é de extrema importância, principalmente no contexto de
228 mudanças climáticas (Chandra et al., 2017). As mudanças climáticas influenciam bastante o
229 setor agropecuário, sendo necessário práticas agrônômicas que visem a redução dos seus
230 impactos negativos, através de manejos agrícolas (i.e., escolha de culturas e combinação de
231 espécies), afim de mitigar os riscos e elevar a produtividade (Texeira et al., 2018).

232 Além das mudanças climáticas, a crescente demandas por alimento decorrentes do
233 crescimento populacional e a redução no tamanho das terra agricultáveis é muitas vezes
234 conflitante para os ambientes agrícola (Hosseini-Motlagh et al., 2020), pois ao mesmo tempo
235 que se necessita elevar a produtividade das lavouras deve-se haver manutenção da
236 biodiversidade, redução da degradação ambiental, melhoria na segurança alimentar, bem como
237 conservação da diversidade do ecossistema, sendo um grande desafio da atualidade, tornando
238 importante o aumento da resiliência do sistema em se adaptar as mudanças ocorridas, levando
239 em consideração a manutenção das biodiversidade e bem estar socioeconômico da população
240 (Frei et al., 2020).

241 Esse fato é mais agravante para os pequenos produtores, uma vez que são mais
242 susceptíveis a mudanças ocorridas no clima (Moroda et al., 2018), com destaque para os de
243 regiões semiáridas. Segundo Cristiano (2021), pesquisas relatam que pequenas propriedades
244 (i.e., < 2 ha) são responsáveis por produzir cerca de 30 a 34% do suprimento alimentar global.

245 Com isso, no atual cenário de mudanças climáticas, necessidade alimentar crescente e
246 esgotamento de recursos (Šūmane et al., 2018), é de extrema importância a adaptação dos
247 sistemas de produção agrícola, através da modificação no ambiente de cultivo, a fim de

248 melhorar a resiliência agrícola, por meio do uso de culturas bem adaptadas ao clima, tempo de
249 crescimento e uso de irrigação (Matthews et al., 2013), assim como utilização de manejo
250 adequado.

251

252 **4 Palma forrageira e sua convivência no semiárido**

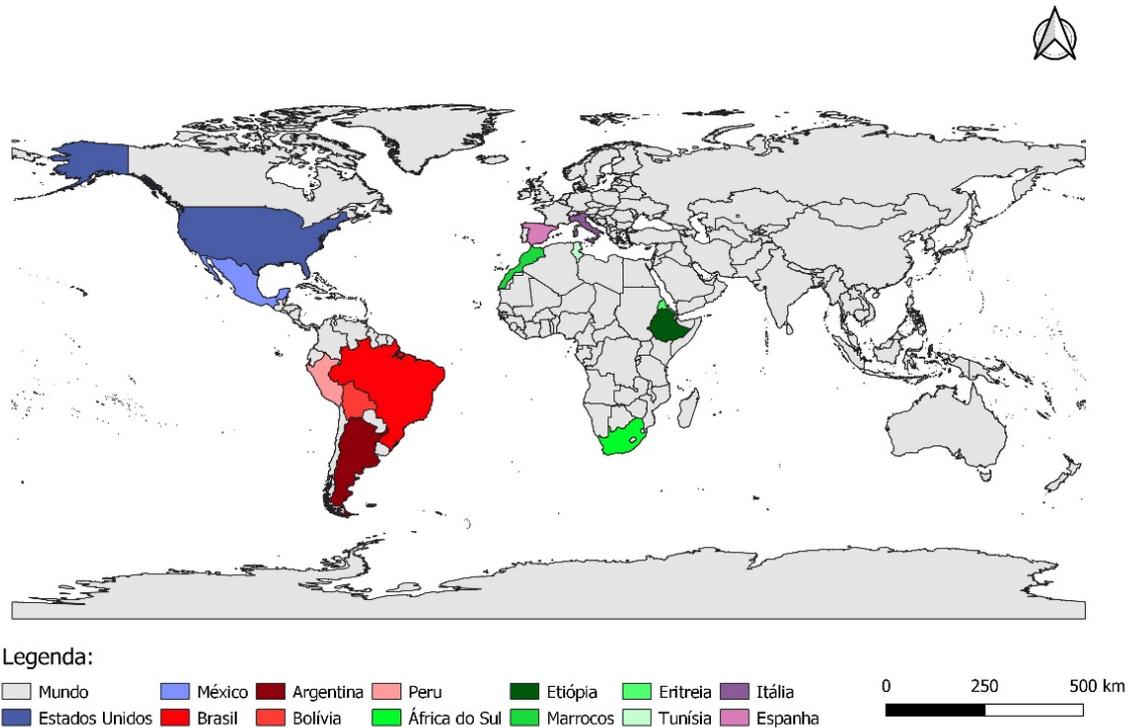
253 O uso de culturas adaptadas é uma alternativa indispensável para as regiões secas e
254 quentes, como o semiárido, pois as alterações ocorridas pelo clima são bastante desfavoráveis,
255 quando relacionados a produção vegetal (Maia e Gurgel, 2013). Além do fator climático, outro
256 agravante é a remoção da vegetação nativa, aumentando a fragilidade das terras, com
257 intensificação no processo de desertificação.

258 No Semiárido brasileiro, é estimado que metade da superfície de Caatinga já foi
259 modificada, havendo alterações nas trocas de massa e energia, influenciando diretamente na
260 disponibilidade hídrica e, conseqüentemente dificultando a produção agrícola, sendo então
261 necessário adoção de práticas para melhoria na conservação dos recursos e adequações na
262 atividade agropecuária, surgindo nesse cenário o uso de culturas adaptadas como uma técnica
263 bastante adequada (Nunes et al., 2020).

264 Diante de tais circunstâncias, o cultivo de palma forrageira (*Opuntia* sp e *Nopalea* sp.)
265 é uma estratégia mitigatória à convivência da atividade pecuária em ambientes quentes e secos
266 (Nhaga et al., 2018), tendo por finalidade atender a demanda dos animais por forragem em
267 períodos de estiagem prolongada (Carvalho et al., 2017). Alternativamente, seus cladódios
268 podem ser utilizados na alimentação humana, medicina moderna (Ginestra et al., 2009) e
269 produção de biocombustível (Santos et al., 2016). A palma forrageira apresenta adaptações
270 morfofisiológicas, principalmente relacionadas ao seu metabolismo ácido das crassuláceas
271 (MAC) (Silva et al., 2015b; Souza Filho et al., 2016; Araújo Júnior et al., 2021), com eficiência
272 no uso da água ~3 vezes maior que nas plantas com metabolismo C4 e ~6 vezes maior que
273 plantas C3, apresentando elevado potencial para a utilização em região semiárido (Liu et al.,
274 2018).

275 A palma forrageira é da família das cactáceas, constituída por aproximadamente 130
276 gêneros e 1500 espécies (Pessoa et al., 2020). Comumente conhecida e disseminada na África
277 do Sul, Argentina, Bolívia, Brasil, Eritreia, Espanha, Estados Unidos (Texas), Etiópia, Itália,
278 Marrocos, México, Peru e Tunísia (Figura 2) (Mounir et al., 2020). Essa cultura apresenta um
279 diferencial quando comparada a espécies forrageiras comumente utilizadas na alimentação
280 animal, pois além de suprir a necessidade alimentar, é importante fonte de água, devido
281 armazenamento deste elemento em seus cladódios, servindo como ótima estratégia em

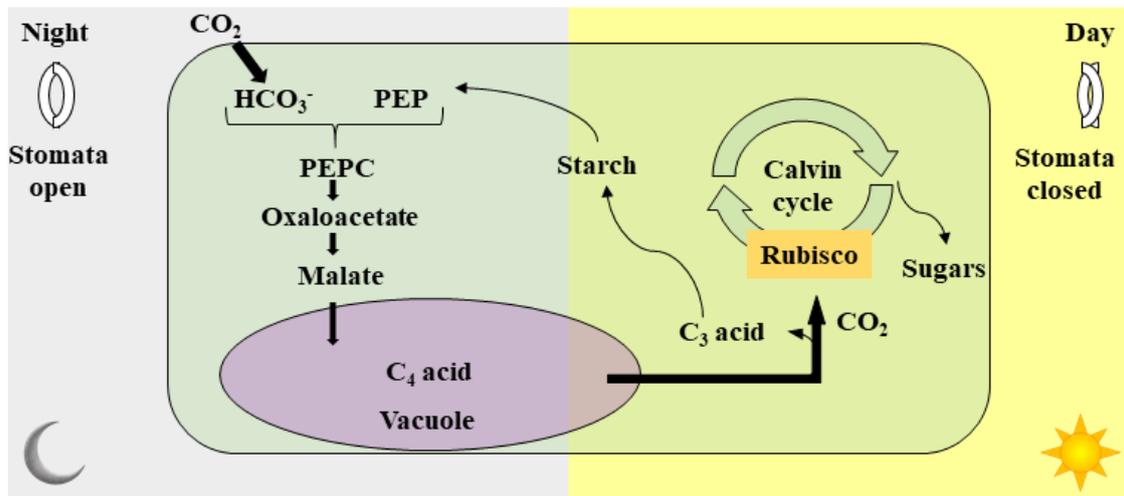
282 ambientes onde a esse recurso natural é limitado (Barbosa et al., 2018; Carvalho et al., 2018).
283 A manutenção do equilíbrio hídrico e consequente retenção de água em seus cladódios se dá
284 pela presença de cutícula impermeável, refletindo a luz solar, com redução da temperatura
285 interna e regulação na entrada e saída de oxigênio e gás carbônico (Rocha, 2012).



286 **Figura 2.** Distribuição geográfica mundial da palma forrageira. Fonte: Mounir et al. (2020).
287
288

289 Plantas com metabolismo MAC realizam sua abertura estomática no período noturno,
290 quando a temperatura é amena e a umidade relativa do ar elevada, com os estômatos abertos o
291 CO₂ é fixado. No citosol a fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPCase) catalisa o CO₂ atmosférico
292 juntamente com o fosfoenolpiruvato, resultando na formação de oxaloacetato, o qual é reduzido
293 a malato e posteriormente transportado para o vacúolo das células, na forma de ácido málico.
294 No período diurno, os estômatos se fecham, evitando a perda de água e entrada de CO₂, então
295 o malato é descarboxilado, por meio da ação da enzima NADP-málica, havendo a liberação do

296 CO₂ no interior da célula, sendo posteriormente assimilado pela Rubisco no ciclo de Calvin-
 297 Benson (Figura 3) (Scalisi et al., 2016; Liu et al., 2018).
 298



299
 300 **Figura 3.** Representação simplificada do metabolismo ácido das crassuláceas (MAC).
 301 Adaptado de Gilman; Edwards (2020).

302 Além de suas adaptações fisiológicas e fenológica a palma forrageira apresenta um
 303 sistema radicular superficial e com alta distribuição espacial, possibilitando uma maior
 304 exploração do solo com elevada captação de água, devido a sua complexidade radicular (Hassan
 305 et al., 2019).

306 A produtividade e as características morfofisiológicas e fenológicas da palma forrageira,
 307 são dependentes do manejo agrícola empregado e do genótipo utilizado. Queiroz et al. (2015)
 308 avaliaram as características morfofisiológicas e produtiva da palma forrageira, e verificaram
 309 que o uso de irrigação na palma promove aumento no número de cladódios, assim como no
 310 rendimento forrageiro em massa fresca e seca, quando comparado a cultivo em sequeiro. Silva
 311 et al. (2014a) estudaram a eficiência produtiva dos clones Orelha de Elefante Mexicana (OEM),
 312 Miúda (MIU) e IPA-Sertânia (IPA), considerando a produção de massa fresca, constataram que
 313 os clones OEM e IPA apresentaram melhores resultados de eficiência no uso da água,
 314 entretanto, para massa seca, os três clones não apresentaram diferença. Rocha et al. (2017), em
 315 estudo com diferentes genótipos da espécie sob intervalos de corte, observaram que o
 316 desempenho produtivo e as características estruturais são afetadas pelo genótipo e manejo de
 317 corte utilizado. A fim de verificar a produção de forragem e respostas estruturais do clone de
 318 palma forrageira OEM sob diferentes lâminas e frequências de irrigação Pereira et al. (2021)

319 verificaram que a lâmina de água de 77% da evapotranspiração da cultura eleva a produtividade
320 de forragem, podendo ser adotado a frequência de irrigação de 7 a 28 dias. Amorim et al. (2017)
321 observaram que quando há presença de cobertura morta no solo a palma eleva a taxa de acúmulo
322 de matéria seca, com redução no ciclo da cultura, em comparação ao cultivo sem uso de
323 cobertura, adicionalmente, verificaram-se modificações nas fenofases com aplicação de
324 lâminas de irrigação. Além dos trabalhos elencados anteriormente, diversos são os estudos na
325 literatura que buscam o entendimento comportamental da palma forrageira sob diferentes
326 manejos de cultivo (Queiroz et al., 2015; Silva et al., 2015a; Peixoto et al., 2018; Nunes et al.,
327 2020; Matos et al., 2020; Léo et al., 2021).

328 O comportamento produtivo e estrutural do vegetal é sujeito a mudanças associadas ao
329 acúmulo de sais na água ou solo. Em estudo com a palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.)
330 Santos et al. (2020) avaliaram o comportamento da cultura sob estresse salino, por meio da
331 irrigação com água salina (4,61 dS m⁻¹) e não salina (0,58 dS m⁻¹), com volumes de aplicação
332 de 300, 600 e 900 ml e frequências de rega, observaram que o aumento excessivo de salinidade
333 e elevação na frequência de rega reflete em resposta negativa quanto ao crescimento da cultura.
334 Franco-Salazar e Véliz (2008) observaram que quando há aumento na concentração de NaCl
335 no meio a palma forrageira reduz a formação de novos órgãos e produção de massa seca, no
336 entanto, como alternativa de escape ao estresse a planta investe em biomassa radicular.
337 Gajender et al. (2013) em estudo com a palma forrageira sob diferentes salinidades do solo e
338 da água de irrigação, relatam que a cultura é moderadamente tolerante ao estresse salino, com
339 alta sensibilidade em seus parâmetros quando exposta a condições acima de 4 dS m⁻¹.

340 Em relação a sua composição bromatológica, a palma possui alto valor energético,
341 devido à elevada concentração de carboidratos não fibrosos, entretanto, os teores de matéria
342 seca, proteína bruta e fibra são baixos quando comparados aos níveis mínimos indicados para
343 os ruminantes (Peixoto et al., 2018; Pessoa et al., 2020). A composição bromatológica é
344 bastante dependente do genótipo. Pessoa et al. (2020) avaliaram diferentes genótipos de palma
345 forrageiras (IPA-20, Gigante, Orelha de Elefante Mexicana, Orelha de Elefante Africana e F-
346 08), e verificaram que os genótipos Orelha de Elefante Mexicana e Orelha de Elefante Africana
347 apresentaram os melhores resultados quanto a pectina, carboidrato não fibroso e digestibilidade,
348 sendo estes mais recomendados para alimentação de ruminantes em relação aos demais
349 estudados. Vale ressaltar que a pectina é um composto presente na parede celular dos vegetais,
350 que apresenta alta solubilidade, contribuindo para o aumento na digestibilidade da fibra em
351 detergente neutro e da matéria seca, de tal modo, plantas com elevados teores deste composto

352 apresentam alto potencial para serem ofertadas na alimentação de ruminantes, pois apresentam
353 características que favorecem a manutenção de um ambiente ruminal favorável (Pessoa et al.,
354 2020).

355 No entanto, por possuir baixas concentrações de fibras e proteínas, juntamente com
356 elevado teor de umidade, o fornecimento exclusivo da palma pode promover distúrbios
357 nutricionais e/ou laxativos nos animais, sendo necessário ser fornecida juntamente com um
358 alimento fonte de fibras e proteínas, proporcionando o desempenho adequado do rúmen
359 (Macêdo et al., 2017).

360

361 **5 Sorgo e sua importância como planta forrageira adaptada ao semiárido**

362 O sorgo é uma cultura que apresenta alta capacidade fotossintética e elevada biomassa,
363 tendo uma grande diversidade em seu uso, desde a alimentação animal até a produção de
364 biocombustível, demonstrando assim sua importância no globo (Zhu et al., 2019). Esta
365 representa o quinto cereal mais valioso economicamente em termos mundiais, pois se trata de
366 uma importante fonte alimentar, apresenta características adaptativa a condições adversas,
367 podendo ser bastante utilizado no cenário de mudanças climáticas (Punia et al., 2020).

368 Dentre os seus atributos, o sorgo apresenta baixa exigência hídrica, com alta tolerância
369 a ambientes secos, elevado rendimento forrageiro e baixa necessidade quanto a fertilidade do
370 solo, além de apresentar capacidade de rebrota, permitindo outras colheitas em uma mesma
371 estação de crescimento (Pino e Heinrichs, 2017), além disso apresenta crescimento rápido e
372 tolerância a eventos climáticos severos (Xiao et al., 2021).

373 A adaptabilidade do sorgo a regiões de clima quente e seco está associado a
374 modificações morfológicas e estruturais, que viabilizam a produção dessa espécie em ambientes
375 de condições adversas. Dentre estas, tem-se serosidade presente em seu colmo e folhas,
376 enrolamento das folhas nos horários com temperaturas do ar mais altas, favorecendo uma
377 redução na área foliar, possibilitando a minimização da incidência solar nas folhas e,
378 conseqüentemente menor transpiração. Dispõe de um sistema radicular bem desenvolvido e de
379 grande profundidade, o que possibilita seu crescimento e desenvolvimento em solos rasos e de
380 baixa fertilidade, além de apresentar maior produtividade quando comparado à outras culturas
381 (i.e., milho) (Perazzo et al., 2013). Desse modo, essa cultura é opção viável de volumoso em
382 regiões que apresentam longos períodos de baixa disponibilidade hídrica. Adicionalmente é
383 bastante utilizado no processo de ensilagem, por apresentar elevada qualidade em sua
384 composição bromatológica (Tang et al., 2018).

385 O potencial produtivo do sorgo é dependente de diversos fatores, tais como cultivar
386 utilizada, densidade populacional, época de semeadura, entre outros manejos de cultivo. Com
387 intuito de quantificar a produção de duas cultivares de sorgo (crioulo e BRS Ponta Negra) sob
388 diferentes arranjos populacionais (1, 2 ou 3 plantas por cova) Silva et al. (2017) observaram
389 que a cultivar BRS Ponta Negra apresentou os melhores resultados, e o melhor arranjo quando
390 se utilizaram duas plantas por cova. Ceccon et al. (2018) a fim de determinar a produtividade
391 de cultivares de sorgo sacarino (BRS 506, BRS 508, BRS 509 e BRS 511) sob cinco épocas de
392 semeadura (dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril) e dois tipos de solo (arenoso e argiloso),
393 verificaram que a cultivar que apresentou maior produtividade foi a BRS 506 sob cultivo em
394 solo argiloso. Estes autores observaram que a época de semeadura independente do solo, em
395 que ocorreu a maior produção de biomassa e açúcares totais foi aquela realizada nos meses de
396 dezembro e janeiro.

397 Além do relatado anteriormente, o sorgo apresenta capacidade de tolerância moderada
398 ao estresse salino, e, pode ser cultivado em condições onde a salinidade é um fator inevitável
399 (Coelho et al., 2014). A salinidade do solo e da água apresentam efeitos prejudiciais sobre o
400 rendimento das espécies, pois promove redução no potencial osmótico, toxicidade iônica e
401 desequilíbrio nutricional (Saadat e Homae, 2015), isso é mais agravante em ambientes áridos
402 e semiáridos, onde a quantidade e qualidade da água é reduzido, tornando-se inevitável o uso
403 de águas com aporte de sais (Silva et al., 2014b). As respostas do sorgo à salinidade são
404 variáveis. Costa et al. (2019) em avaliação ao desempenho de três cultivares de sorgo (BRS
405 506, Ponta Negra e IPA 2502) submetidos a três lâminas de irrigação (306, 378 e 490 mm) e
406 quatro concentrações salinas (0,8; 2,4; 3,4 e 4,8 dS m⁻¹), verificaram que a cultivar BRS 506 é
407 a mais sensível com relação a salinidade. Já as cultivares Ponta Negra e IPA 2502 não
408 apresentam redução significativa da produtividade quando se aumentou a concentração salina
409 até 4,8 dS m⁻¹, no entanto, a cultivar IPA 2502 apresentou o menor resultado de produtividade
410 independente da lâmina de irrigação e da salinidade da água. Punia et al. (2020) estudaram o
411 comportamento fisiológico de dois genótipos de sorgo (SSG 59-3 e PC-5) sob diferentes
412 concentrações salinas (60; 80; 100; 120 e 140 mM NaCl), e observaram que o genótipo SSG
413 59-3 apresentou melhor desempenho, mesmo sob altos níveis de salinidade, devido à forte
414 composição genética e alta adaptabilidade de tolerância ao estresse salino.

415 Logo, quando a água de boa qualidade for escassa, os eventos de irrigação podem ser
416 realizados com uso de águas salobras, desde que haja a escolha correta do arranjo produtivo e
417 cultivar a ser utilizada, sem que haja prejuízos significativo na produção de forragem em cultivo

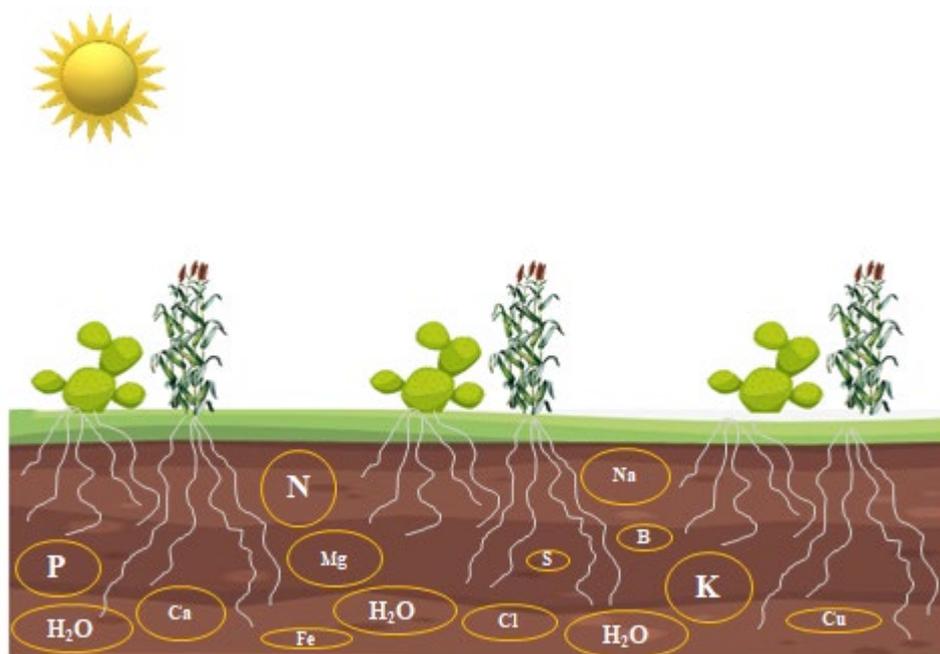
418 de sorgo (Elias et al., 2016). Além do relatado, o sorgo quando cultivado em consórcio com
419 outras plantas, apresenta otimização e maximização na utilização dos recursos disponíveis (i.e.,
420 luz, solo, água, etc.) (Chimonyo et al., 2018), com destaque para o cultivo palma-sorgo,
421 proporcionando disponibilidade de forragem de qualidade e em quantidade durante períodos de
422 estiagem prolongada (Diniz et al., 2017).

423

424 **6 Consórcio palma-sorgo como alternativa de cultivo em ambiente semiárido**

425 consórcio, o qual é realizado a partir do plantio de duas ou mais culturas, sendo de
426 espécies diferentes, em uma mesma área de forma simultânea, a fim de promover a
427 diversificação no ambiente de cultivo, proporcionando redução dos riscos ocasionados pela
428 irregularidade de chuva (Masvaya et al., 2017).

429 O sistema consorciado promove exploração espacial e temporal da água e dos
430 nutrientes presente no solo, por meio do aumento na densidade de raízes e diferença no
431 arranjo do sistema radicular das culturas consorciadas (Figura 3). Nesse tipo de sistema, a
432 cobertura do solo por parte do dossel das culturas é precoce, reduzindo a evaporação do solo,
433 possibilitando maior quantidade de água disponível para as mesmas (Chimonyo et al., 2016).



434

435 **Figura 4.** Sistema consorciado palma-sorgo com exploração do sistema radicular das culturas
436 consortes. **Fonte:** O autor.

437 O uso de cultivos consorciados tem sido bastante incentivado em regiões semiáridas,
438 pois promovem um melhor aproveitamento de área e água, havendo o aumento dos rendimentos
439 por meio da cooperação mútua da cultura e de seu consorte (Masvaya et al., 2017). A produção

440 de matéria seca, por unidade de área em condição de consórcio é elevada, havendo otimização
441 dos recursos disponíveis no local, minimiza as perdas de produção, em especial em áreas com
442 baixos níveis pluviométricos (Amorim et al., 2017). Desse modo, para a maximização na
443 produtividade de cultivos de palma forrageira e maior eficiência no uso da terra, o cultivo
444 consorciado com sorgo é uma alternativa bastante viável, principalmente em regiões semiáridas
445 (Lima et al., 2018a).

446 Vários estudos tem demonstrado a importância do consorcio palma-sorgo em condições
447 semiárida, como aumento no acúmulo de matéria seca da forragem e antecipação da colheita
448 da palma forrageira (Amorim et al., 2017), vantagens biológicas e alta capacidade competitiva
449 em relação ao cultivo exclusivo das culturas, com maior benefício produtivo, eficiência no uso
450 da terra (Diniz et al., 2017), promoção de maior lucratividade em comparação ao monocultivo
451 da palma forrageira (Lima et al., 2018b), além de apresentar aumento na eficiência no uso da
452 água (Lima et al., 2018a).

453 Quando irrigado, o consórcio palma-sorgo apresenta aumento considerável em seu
454 rendimento em comparação aos sistemas dependentes de chuva (Diniz et al., 2017). Alves et al.
455 (2019) estudaram a evapotranspiração de cultura (ET_c) do consórcio palma-sorgo, e verificaram
456 que há um incremento de produção no sistema produtivo com pequeno reflexo na demanda
457 hídrica, onde obtiveram ET_c média igual a 3,0 mm dia⁻¹ e K_c de 0,64, ou seja, com o acréscimo
458 do sorgo no sistema, é necessário o acréscimo de ~20% no K_c da palma forrageira, uma vez
459 que o K_c da palma forrageira é de 0,52 de acordo com Queiroz et al., (2016).

460 Além da irrigação, em sistema consorciado, outro fator de elevada importância é a
461 escolha da configuração de cultivo empregada, uma vez aumenta a diversificação e
462 produtividade do sistema. Jardim et al. (2021), avaliaram diferentes configurações de cultivo
463 para o consórcio palma-sorgo, e constataram que a escolha do clone de palma e da cultivar de
464 sorgo a ser utilizada no sistema de produção é determinante para o sucesso do cultivo, oferecendo
465 assim maior lucratividade.

466 **7 Uso de irrigação no semiárido e agricultura bioessalina**

467 O estresse hídrico é um dos principais fatores que impactam a produção agrícola, pois
468 afeta componentes fisiológicos, de crescimento e produtividade das plantas. Este pode ser
469 ocasionado tanto pelo excesso (afetando a aeração na zona radicular e a lixiviação dos
470 nutrientes) quanto pelo déficit (inibindo o crescimento, afetando a fisiologia do vegetal e sua
471 produção), porém o estresse por deficiência é mais comum (Araújo Júnior et al., 2019; Silva et
472 al., 2015c), destacando-se a importância do uso de irrigação.

473 A irrigação torna-se uma estratégia indispensável no meio agrícola, uma vez que, busca
474 suprir a necessidade hídrica das culturas, com redução dos impactos negativos e maximização
475 da produção, promovendo bons resultados em relação a eficiência do sistema de produção,
476 principalmente em regiões semiáridas, onde a escassez hídrica é um fator limitante (Cruz Neto
477 et al., 2017; Diniz et al., 2017).

478 A agricultura de sequeiro no semiárido brasileiro, apresenta elevados riscos,
479 principalmente devido as condições climáticas. Entretanto, deve-se levar em consideração que
480 apenas 2 a 3% dessa região apresenta potencialidade para irrigação, isso se deve as limitações
481 em relação a quantidade e qualidade das águas, além de limitações edáficas (Dubeux Júnior et
482 al., 2010). Nessa região, devido aos aspectos geológicos, as águas subterrâneas são comumente
483 salobras (Dantas et al., 2014), podendo ser prejudiciais para as culturas se a presença de sais
484 for muita elevada. Em contrapartida, a crescente demanda acelerada por produtos agrícolas,
485 principalmente países em desenvolvimento e a incapacidade dos recursos terrestres e hídricos
486 em sustentar tais demanda, remetem a necessidade em se utilizar terras e águas marginais, no
487 entanto, o uso inadequado promove riscos como degradação ambiental e esgotamento dos
488 recursos (Al-Shorepy et al., 2010).

489 Com isso, é necessário utilizar estratégias que possam vir a proporcionar maior
490 produção agrícola, principalmente através do uso de águas subterrâneas, que por sua vez,
491 apresentam baixa qualidade, devido aos íons presentes, os quais por muitas vezes desfavorecem
492 o desenvolvimento/crescimento das culturas (SILVA et al., 2015d).

493 A salinidade apresenta efeitos osmóticos e específicos no crescimento dos vegetais. Em
494 altos níveis pode promover redução no turgor das células, devido à perda de água. Além disso,
495 o acúmulo de íons específicos (e.g., sódio) provocam interferência nos processos bioquímicos
496 internos. Para mitigar tais condições, plantas tolerantes, desenvolvem mecanismos a custo
497 energético, e, por esse motivo são associados a redução na produção de biomassa (Masters et
498 al., 2007).

499 As culturas sensíveis a salinidade, apresentam diminuição de 50% do crescimento
500 quando submetidas a 4-5 dS m⁻¹, já as altamente tolerantes, reduzem 50% do seu crescimento
501 sob níveis de salinidade acima de 40 dS m⁻¹, demonstrando que à medida que se aumenta o
502 nível de salinidade plantas sensíveis reduzem gradualmente a taxa de crescimento e
503 consequentemente a produção de biomassa (Masters et al., 2007).

504 As espécies vegetais podem ser divididas em dois grupos quando refere-se a ambientes
505 salinos, em relação a sua resistência a exposição a concentrações de sal, sendo elas as halófitas

506 e as glicófitas (Holanda et al., 2011). As halófitas são altamente resistentes a concentrações de
507 sais, devido a capacidade em compartimentação dos íons em seu vacúolo, evitando que elevadas
508 quantidades de sais alcancem o protoplasma, devido a regulação salina, que permite a tolerância
509 aos efeitos tóxicos e osmóticos associados a salinidade. Já as glicófitas sob altas concentrações
510 salinas inibem seu crescimento, principalmente devido à redução na habilidade de absorção da
511 água, resultando em alterações em seu metabolismo (Holanda et al., 2011).

512 Muitas plantas crescem em condições salinas, as quais podem ser utilizadas para
513 diversas finalidades. Em estudo com espécies da Caatinga Dantas et al. (2014) avaliaram o
514 metabolismo germinativo de sementes sob diferentes condutividades elétricas (CE), e
515 observaram que as espécies *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan, *Myracrodruon*
516 *urundeuva* (Fr. All.), *Aspidosperma pyriformium* (Mart.) e *Erythrina velutina* (Willd.) apresentam
517 elevada tolerância a salinidade, com mecanismos de germinação eficientes sob utilização de
518 água salobra, e limitação em sua germinação a partir de 12 dS m⁻¹. Apesar disso, os autores
519 indicaram produção de mudas com sucesso em CE inferiores a 6 dS m⁻¹. Vale e Azevedo (2013)
520 estudaram a produtividade do sorgo BRS Ponta Negra, capim elefante roxo e capim elefante
521 verde submetidos a irrigação com água com diferentes CE (2,9 e 3,7 dS m⁻¹) e constataram que
522 o sorgo BRS Ponta Negra apresenta maiores valores de proteína bruta e produtividade em massa
523 fresca e seca em relação ao capim elefante, sugerindo o uso do sorgo em ambientes irrigados
524 com água moderadamente salina. Santos et al. (2013) analisaram a tolerância do capim
525 Marandu, e verificaram que a composição bromatológica não foi afetada com a elevação da
526 salinidade (0,03 a 5,0 dS m⁻¹), apresentando-se como recurso forrageiro alternativo em
527 ambientes salinos.

528 Com a redução gradual dos recursos hídricos em quantidade e qualidade, principalmente
529 em ambientes áridos e semiáridos, o uso de práticas agrícolas que visem a otimização do uso
530 dessas águas é necessário. A agricultura biohalina está incluída dentre essas práticas, uma vez
531 que, busca a produção de culturas de interesse econômico sob utilização de água de irrigação e
532 solos com diversos níveis de salinidade. A partir dessa agricultura o fornecimento de água de
533 boa qualidade é reduzido, optando pelo uso de águas e solos marginais, principalmente na
534 produção de forragem para alimentação animal (Días et al., 2018).

535

536 **8 Densidade populacional e orientação de plantio**

537 O aumento na quantidade de plantas por unidade de área, resulta em competição por
538 recursos necessários para o crescimento da cultura. Com isso, o rendimento das culturas é

539 determinado pela eficiência em que a população de plantas utiliza os recursos, tornando-se
540 necessário a determinação da densidade ideal de plantio (Basiri e Nadjafi, 2019).

541 A densidade populacional é um fator importante no uso eficiente dos recursos
542 disponíveis, tais como água, nutrientes e radiação solar, desempenhando papel fundamental na
543 competição entre as culturas. Quando a quantidade de plantas é superior ao ideal, a competição
544 é aumentada, devido a maior limitação dos recursos, como consequência há alterações nos
545 rendimentos (Siadat-Jamian et al., 2019).

546 Vários estudos têm demonstrado acréscimo na produtividade e em características
547 morfológicas (e. g., altura de planta) das culturas através de modificações no arranjo de cultivo,
548 pela redução do espaçamento entre linhas e elevação na densidade populacional (Demétrio et
549 al., 2008; Takasu et al., 2014; Pereira et al., 2017). Demétrio et al. (2008) ressaltaram que o
550 incremento da produtividade está associado a maior eficiência na interceptação luminosa. Silva
551 et al. (2014c) em estudo com a palma forrageira submetida a diferentes densidades de plantio,
552 verificaram que a resposta da palma é positiva ao aumento na densidade de plantio com até
553 80.000 plantas ha⁻¹. Segundo Rodrigues et al. (2018), em estudo com o sorgo sob diferentes
554 densidades populacionais, observaram que as características morfogenéticas e estruturais do
555 sorgo não são alteradas pela modificação na densidade de plantio (25,91 a 66,36 plantas m⁻²).
556 Em sistema consorciado com feijão-caupi, o sorgo, apresentou resposta positiva com a variação
557 na densidade de plantio (Morgado, 2006).

558 A orientação de plantio por sua vez, está diretamente relacionada com a interceptação
559 luminosa por parte das plantas, alterando os índices de sombreamento na linha de cultivo, a
560 ação fotossintética, e conseqüentemente o desempenho produtivo dos vegetais (Corrêa et al.,
561 2019). Para a palma forrageira, Peixoto et al. (2019) observaram que o sombreamento
562 ocasionado pelo cajá (*Spondias* spp.), medindo aproximadamente 1,5 m de altura, reduziu a
563 produção de massa verde da palma forrageira, entretanto, quando submetida a orientação Leste-
564 Oeste a cultura apresentou incremento em sua produtividade.

565

566 **9 Considerações finais**

567 Essa revisão analisou a adoção de práticas de resiliência agrícola para melhoria das
568 respostas produtivas das culturas da palma e sorgo. Nossa compilação mostrou que o uso de
569 espécies adaptadas ao clima, e configuração ideal (i.e. densidade e orientação de cultivo),
570 refletem em modificação nas características morfológicas e produtivas do vegetal e, mesmo no
571 êxito da produção com retorno positivo. Aliado a isso, o uso da agricultura bioassalada e manejo
572 adequados em ambientes semiáridos representam estratégia importantes para maximização da

573 produção de forragem nestes. Ressaltamos ainda que, o maior aprofundamento das pesquisas
574 em campo com as culturas da palma e sorgo podem permitir o entendimento das combinações
575 de práticas de resiliência agrícola mais assertivas que permitam a maximização na produção de
576 forragem.

577

578 **10 Referências**

579

580 Aguiar, M. do S. M. A. Silva, F. F., Donato, S. L. R., Rodrigues, E. S. de O., Costa, L. T.,

581 Mateus, R. G., Souza, D. R., Silva, V. L. 2015. Forage cactus in diets of confined dairy
582 cattle: performance and economic viability. *Semina: Ciências Agrárias* 36, 1013-1030.

583 Aguirre-Gutiérrez, C. A., Holwerda, F., Goldsmith, G. R., Delgado, J., Yepez, E., Carbajal,
584 N., Escoto-Rodrigues, M., Arredondo, J. T. 2019. The importance of dew in the water
585 balance of a continental semiarid grassland. *Journal of Arid Environments* 168, 26-35.

586 Al-Shorepy, S. A.; Alhadrami, G. A.; El Awad, A. I. 2010. Development of sheep and goat
587 production system based on the use of salt-tolerant plants and marginal resources in the
588 United Arab Emirates. *Small Ruminant Research* 91, 39–46.

589 Alves, C. P. Silva, T. G. F., Alves, H. K. M. N., Jardim, A. M. da R. F., Souza, L. S. B., Cruz
590 Neto, J. F., Santos, J. P. A. de S. 2019. Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação:
591 balanço de água no solo e coeficientes da cultura. *Agrometeoros* 27, 347–356.

592 Alves, D. F.; Rebouças Filho, P. J.; Costa, P. V. M. 2018. Correlação entre a Inflação e a
593 Exportação de carne bovina no Brasil de 2000 a 2015. *Revista brasileira de geografia*
594 econômica 13, 1-15.

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

598 Araújo Júnior, G.N. Gomes, F. T., Silva, M. J., Jardim, A. M. F. da R., Simões, V. J. L. P.,
599 Izidro, J. L. P. S., Leite, M. L. de M. V., Teixeira, V. I., Silva, T. G. F. 2019. Estresse
600 hídrico em plantas forrageiras: Uma revisão. *PUBVET* 13, 1-10.

601 Araújo Júnior, G. N., Queiroz, M. G., Jardim, A. M. F. da R., Araújo, J. F. N., Silva, T. G. F.
602 Temperatura base da palma forrageira em sistema de cultivo consorciado com o sorgo. In:
603 XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia V Simpósio de Mudanças Climáticas e
604 Desertificação do Semiárido Brasileiro, 2017, Anais... Juazeiro-BA/Petrolina-PE:
605 SBAGRO, 2017.

606 Araújo Júnior, N. Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Souza, M. de S., Araújo, G. G. L., Moura,
607 M. S. B., Santos, J. P. A. de S., Jardim, A. M. F. da R., Alves, C. P., Alves, H. K. M. N.
608 2021. Productivity, bromatological composition and economic benefits of using irrigation
609 in the forage cactus under regulated deficit irrigation in a semiarid environment. *Bragantia*
610 80, 1–12.

611 Barbosa, M. L. Silva, T. G. F., Zolnier, S., Silva, S. M. S., Ferreira, W. P. M. 2018.
612 Environmental variables influencing the expression of morphological characteristics in
613 clones of the forage cactus. *Revista Ciência Agronômica* 49, 399-408.

614 Basiri, M. H.; Nadjafi, F. 2019. Effect of plant density on growth, yield and essential oil
615 characteristics of Iranian Tarragon (*Artemisia dracunculus* L.) landraces. *Scientia*
616 *Horticulturae* 257.

617 Birthal P. S.; Hazrana J. 2019. Crop diversification and resilience of agriculture to climatic
618 shocks: Evidence from India. *Agricultural Systems* 173, 345-354.

619 Brito, C. S., Silva, R. M., Santos, C. A. G., Brasil Neto, R. M., Coelho, V. H. B. 2021.
620 Monitoring meteorological drought in a semiarid region using two long-term satellite-
621 estimated rainfall datasets: A case study of the Piranhas River basin, northeastern Brazil.
622 *Atmospheric Research* 250.

623 Campos, F. S., Gois, G. V., Vicente, S. L. A., Macedo, A., Matias, A. G. de S. 2017.
624 Alternativa de forragem para caprinos e ovinos criados no semiárido. *Nutri Time* 14, 5004-
625 5013.

626 Cardoso, M. J., Bastos, E. A., Sobrinho, C. A., Melo, F. de B. 2017. Agronomic performance
627 of 'BRS' Itaim cowpea beans at different planting densities under no-tillage and
628 conventional systems. *Revista Ciência Agronômica* 48, 856-861.

629 Carvalho, A. A., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Moura, M. S. B., Araújo, G. G. L., Tolêdo,
630 M. P. S. 2017. Soil moisture in forage cactus plantations with improvement practices for
631 their resilience *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 21, n. 7, p. 481–
632 487, 2017.

633 Carvalho, C. B. M., Edvan, R. L., Carvalho, M.L.A.M., Reis, A.L.A., Nascimento, R.R. 2018.
634 Uso de cactáceas na alimentação animal e seu armazenamento após colheita. *Archivos de*
635 *Zootecnia* 67, 440-446.

636 Cavalcante, L. A. D. Santos, G. R. de A., Silva, L. M., Fagundes, J. L., Silva, M. A. 2014.
637 Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. *Pesquisa*
638 *Agropecuária Tropical* 44, 424–433.

- 639 Ceccon, G. Makino, P. A., Alves, V. B., Fachinelli, R., Luz, R. A. 2018. Produtividade De
640 Cultivares De Sorgo Sacarino Em Diferentes Épocas De Semeadura E Tipos De Solo.
641 Journal of Neotropical Agriculture 5, 69–75.
- 642 Chandra, A., Dargusch, P., McNamara, K. E., Caspe, A. M., Dalabajan, D. 2017. A Study of
643 Climate-Smart Farming Practices and Climate-resiliency Field Schools in Mindanao, the
644 Philippines. World Development 98, 214-230.
- 645 Chimonyo, V. G. P., Modi, A. T., Mabhaudhi, T. 2018. Sorghum radiation use efficiency and
646 biomass partitioning in intercrop systems. South African Journal of Botany 118, 76–84.
- 647 Chimonyo, V. G. P., Modi, A. T., Mabhaudhi, T. Water use and productivity of a sorghum-
648 cowpea-bottle gourd intercrop system. Agricultural Water Management 165, 82–96.
- 649 Clay, N.; Zimmerer, K. S. 2020. Who is resilient in Africa’s Green Revolution? Sustainable
650 intensification and Climate Smart Agriculture in Rwanda. Land Use Policy 97.
- 651 Coelho, D. S., Simões, W. L., Mendes, A. M. S., Dantas, B. F., Rodrigues, J. A. S., Souza, M.
652 A. 2014. Germinação e crescimento inicial de variedades de sorgo forrageiro submetidas
653 ao estresse salino. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 18, 25–30.
- 654 Corrêa, R. D. G., Furlani, C. E. A., Zerbato, C., Oliveira, D. T., Noronha, R H de F.,
655 Warikoba, N. K. 2019. Sowing operation direction and population densities in corn
656 growing. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 23, 183-187.
- 657 Costa, J. P. N. Costa, A. R. F. C., Medeiros, J. F., Silva, M. V. T., Lino, V. A. da S. 2019.
658 Desempenho De Variedades De Sorgo Dupla Aptidão Submetidas a Diferentes Lâminas
659 De Irrigação Com Água Salina. Revista Brasileira de Milho e Sorgo 18, 417–428.
- 660 Cristiano, S. 2021. Organic vegetables from community-supported agriculture in Italy:
661 Emergy assessment and potential for sustainable, just, and resilient urban-rural local food
662 production. Journal of Cleaner Production 292.
- 663 Cunha, A. P. M. A., Alvalá, R. C., Nobre, C. A., Carvalho, M. A. 2015. Monitoring
664 vegetative drought dynamics in the Brazilian semiarid region. Agricultural and Forest
665 Meteorology 214-215, 494-495.
- 666 Dantas, B. F. Ribeiro, R. C., Matias, J. R., Araújo, G. G. L. 2014. Germinative metabolism of
667 Caatinga forest species in biosaline agriculture. Journal of Seed Science 36, 194–203.
- 668 Demétrio, C. S., Fornasieri Filho, D., Cazetta, J. O., Cazetta, D. A. 2008. Desempenho de
669 híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais.
670 Pesquisa Agropecuária Brasileira 43.

671 Días, F.J. Grattan, S. R., Reyes, J. A., Roza-Delgado, B., Benes, S. E., Jiménez, C., Dorta, M.,
672 Tejedor, M. 2018. Using saline soil and marginal quality water to produce alfafa in arid
673 climates. *Agricultural Water Management* 199, 11-21.

674 Diniz, W. J. da S. Siva, T. G. F., Ferreira, J. M. da S., Santos, D. C., Moura, M. S. B., Araújo,
675 G. G. L., Zolnier, S. 2017. Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation
676 water depths in the Brazilian Semiarid Region. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 52, 724-
677 733.

678 Dubeux Júnior, J. C. B., Araújo Filho, J. T., Santos, M. V. F., Lira, M. de A., Santos, D. C.,
679 Pessoa, R. A. S. 2010. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma
680 forrageira - Clone IPA-201. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 5, 129-135.

681 Eeswaran, R., Nejadhashemi, A. P., Alves, F. C., Saravi, B. 2021. Evaluating the applicability
682 of soil moisture-based metrics for gauging the resiliency of rainfed agricultural systems in
683 the midwestern United States. *Soil and Tillage Research* 205.

684 Elias, O. F. A. E S., Leite, M. L. de M. V., Azevedo, J. M., Silva, J. P. S. de S., Nascimento,
685 G. F., Simplicio, J. B. 2017. Características Agronômicas De Cultivares De Sorgo Em
686 Sistema De Plantio Direto No Semiárido De Pernambuco. *Revista Ciência Agrícola* 14,
687 29–36.

688 Franco-Salazar, V. A., Véliz, J. A. 2008. Efectos de la salinidad sobre el crecimiento, acidez
689 tituable y concentración de clorofila en *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. *Revista*
690 *Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente* 20, 12–17.

691 Frei, B., Queiroz, C., Chaplin-Kramer, B., Andersson, E., Renard, D., Rhemtulla, J. M.,
692 Bennett, E. M. 2020. A brighter future: Complementary goals of diversity and
693 multifunctionality to build resilient agricultural landscapes. *Global Food Security* 26.

694 Gajender, R. K. Y., Yadav, R. K., Dagar, J. C., Lal, K., Singh, G. 2013. Growth and fruit
695 characteristics of edible cactus (*Opuntia ficus-indica*) under salt stress environment.
696 *Journal of Soil Salinity and Water Quality* 5, 136–142.

697 Gilman, I. S., Edwards, E. J. 2020. Crassulacean acid metabolism. *Current Biology* 30, R57–
698 R62.

699 Ginestra, G., Parker, M. L., Bennett, R. N., Robertson, J., Mandalari, G., Narbad, A., Curto,
700 R. B., Bisignano, G., Faulds, C. B., Waldron, K. W. 2009. Anatomical, chemical, and
701 biochemical characterization of cladodes from prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.)
702 Mill.]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57, 10323–10330.

703 Hassan, S. Inglese, P., Gristina, L., Liguori, G., Novara, A., Louhaichi, M., Sortino, G. 2019.
704 Root growth and soil carbon turnover in *Opuntia ficus-indica* as affected by soil volume
705 availability. *European Journal of Agronomy* 105, 104-110.

706 Holanda, J.S., Amorim, J. R. A., Ferreira Neto, M., Holanda, A. C., Sá, F. V. S. In: GHEYI,
707 H. R. et al (Ed.). *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. 2.ed.
708 Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 35–50.

709 Holanda, J. S. Araújo, F. S., Gallão, M. I., Medeiros Filho, S. 2011. Impacto da salinidade no
710 desenvolvimento e crescimento de mudas de carnaúba (*Copernicia prunifera* (Miller) H.E.
711 Moore). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 15, 47–52.

712 Hosseini-Motlagh, S. M., Samani, M. R. G., Saadi, F. A. 2020. A novel hybrid approach for
713 synchronized development of sustainability and resiliency in the wheat network.
714 *Computers and Electronics in Agriculture* 168.

715 Jardim, A. M. da R. F., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Araújo Júnior, G. do N., Alves, H. K.
716 M. N., Souza, M. de S., Araújo, G. G. L., Moura, M. S. B. 2021. Intercropping forage
717 cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and
718 competitive ability through interspecific complementarity. *Journal of Arid Environments*,
719 188.

720 Lédo, A. A., Donato, S. L. R., Aspiazú, I., Silva, J. A., Brito, C. F. B., Donato, P. E. R. 2021.
721 Nutritional balance and recovery rate of macronutrients by ‘Gigante’ cactus pear under
722 different fertilizations. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 25, 82-89.

723 Lemos, M. Ferreira-Neto, M., Fernandes, C dos S., Lima, Y. B., Dias, N. da S., Medeiros, J.
724 F., Brito, R. F., Sá, F. V. da S. 2021. The effect of domestic sewage effluent and planting
725 density on growth and yield of prickly pear cactus in the semiarid region of Brazil. *Journal*
726 *of Arid Environments* 185.

727 Li, Q., Zhang, C., She, Y., Jia, W., Li, J. 2016 Quantitative assessment of the relative roles of
728 climate change and human activities in desertification processes on the Qinghai-Tibet
729 Plateau based on net primary productivity. *CATENA* 147, 789-796.

730 Lima, L. R., Silva, T. G. F., Jardim, A. M. da R. F., Souza, C. A. A., Queiroz, M. G., Tabosa,
731 J. N. 2018a. Growth, water use and efficiency of forage cactus sorghum intercropping
732 under different water depths. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 22,
733 113-118.

- 734 Lima, L. R., Silva, T. G. F., Pereira, P. de C., Morais, J. E. F., Assis, M. C de S. 2018b.
735 Productive-economic benefit of forage cactus-sorghum intercropping systems irrigated
736 with saline water. *Revista Caatinga* 31, 191-201.
- 737 Liu, D., Palla, K. J., Hu, R., Moseley, R. C., Mendoza, C., Chen, M., Abraham, P. E., Labbé,
738 J. L., Kalluri, U. C., Tschaplinski, T. J., Cushman, J. C., Borland, A. M., Tuskan, G. A.,
739 Yang, X. 2018. Perspectives on the basic and applied aspects of crassulacean acid
740 metabolism (CAM) research. *Plant Science* 274, 394-401.
- 741 Macêdo, A. J. da S., Santos, E. M., Oliveira, J. S., Perazzo, A. F. 2017. Produção de silagem
742 na forma de ração à base de palma: Revisão de Literatura. *Revista Electrónica de*
743 *Veterinaria* 18, 1-11.
- 744 Maia, A. L., Gurgel T. C. N. P. Um olhar sobre a utilização de plantas forrageiras da caatinga
745 como estratégia de convivência com a seca no alto oeste potiguar. *GEOTemas*, v. 3, n. 1, p.
746 31-43, 2013.
- 747 Masters, D, G., Benes, S. E., Norman, H. C. 2007. Biosaline agriculture for forage and
748 livestock production. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 119, 234-248.
- 749 Masvaya, E. N., Nyamangara, J., Descheemaeker, K., Giller, K. E. 2017. Is maize-cowpea
750 intercropping a viable option for smallholder farms in the risky environments of semi-arid
751 southern Africa. *Field Crops Research* 209, 73-87.
- 752 Matos, L. V., Donato, S. F. R., Silva, B. L., Kondo, M. K., Lani, J. L. 2020. Structural
753 characteristics and yield of 'gigante' cactus pear in agroecosystems in the semi-arid region of
754 Bahia, Brazil. *Revista Caatinga* 33, 1111-1123.
- 755 Matthews, R. B., Rivington, M., Muhammed, S., Newton, A. C., Hallett, P. D. 2013.
756 Adapting crops and cropping systems to future climates to ensure food security: The role
757 of crop modelling. *Global Food Security* 2, 24-28.
- 758 Meira, A. N., Givisiez, P. E. N., Souza, Francisca G. C., Leon, C. M. G. C., Azevedo, P. S.,
759 Silva, N. M. V., Oliveira, C. J. B. 2021. Food security and safety mismatch in low-income
760 settings : Evidence from milk produced by smallholders in semiarid Paraíba , Northeastern
761 Brazil. *Journal of Arid Environments* 188.
- 762 Montenegro, S., Ragab, R. Impact of possible climate and land use changes in the semi arid
763 regions: A case study from North Eastern Brazil. *Journal of Hydrology* 434–435, 55–68.
- 764 Moraes, G. S. de O., Guim, A., Tabosa, J. N., Chagas, J. C. C., Almeida, M. de P., Ferreira, M
765 de A. 2019. Cactus [*Opuntia stricta* (Haw.) Haw] cladodes and corn silage: How do we

766 maximize the performance of lactating dairy cows reared in semiarid regions?. *Livestock*
767 *Science* 221, 133-138.

768 Morais, J. E. F., Silva, T. G. F., Queiroz, M. G., Araújo, G. G. L., Moura, M. S. B., Araújo
769 Júnior, G. do N. 2017. Hydrodynamic changes of the soil-cactus interface, effective actual
770 evapotranspiration and its water efficiency under irrigation. *Revista Brasileira de*
771 *Engenharia Agrícola e Ambiental* 21, 273-278.

772 Morgado, L. B. 2006. Estudo sobre densidade de plantio de sorgo e feijão-caupi. *Revista*
773 *Ciência Agronômica* 37, 357–363.

774 Moroda, G. T., Tolossa, D., Semie, N. 2018. Perception and adaptation strategies of rural
775 people against the adverse effects of climate variability: A case study of Boset District,
776 East Shewa, Ethiopia. *Environmental Development* 27, 2–13.

777 Mounir, B., Younes, E. G., Asmaa, M., Abdeljalil, Z., Abdellah, A. 2020. Physico-chemical
778 changes in cladodes of *Opuntia ficus-indica* as a function of the growth stage and
779 harvesting areas. *Journal of Plant Physiology* 251.

780 Nhaga, A. O. Pinto, C. de M., Salles, M. G. F., Pinro, O. R. de O., Sousa, F. A. 2018.
781 Controle da cochonilha de escama da palma forrageira com o uso de extrato de nim. *Centro*
782 *Científico Conhecer* 15, 312–340.

783 Nikalje, G. C., Srivastava, A. K., Pandey, G. K., Suprasanna, P. 2017. Halophytes in biosaline
784 agriculture: Mechanism, utilization, and value addition. *Land degradation & development*
785 29, 1081-1095.

786 Nunes, A. T., Cabral, D. L. V., Amorim, E. L. C., Santos, M. V. F., Albuquerque, U. P. 2020.
787 Plants used to feed ruminants in semi-arid Brazil: A study of nutritional composition
788 guided by local ecological knowledge. *Journal of Arid Environments*. 135, 96-103.

789 Nunes, J. da S. L. Salvador, K. R. da S., Jardim, A. M. da R F., Araújo Júnior, G. do N.,
790 Carvalho, A. A., Souza, L. S. B., Montenegro, A. A. de A., Silva, T. G. F. 2020. Índices
791 morfofisiológicos e biofísicos da palma forrageira cultivada sob tecnologias hídricas na
792 bacia do Rio Pajeú. *Journal of Environmental Analysis and Progress* 5, 128–139.

793 Nxele, X., Klein, A., Ndimba, B. K. 2017. Drought and salinity stress alters ROS
794 accumulation, water retention, and osmolyte content in sorghum plants. *South African*
795 *Journal of Botany* 108, 261–266.

796 Peixoto, M. J. A., Carneiro, M. S. de S., Amorim, D. S., Edvan, R. L., Pereira, E. S., Costa,
797 M. R. G. F. 2018. Características agronômicas e composição química da palma forrageira
798 em função de diferentes sistemas de plantio. *Archivos de Zootecnia* 67, 35-39.

799 Perazzo, A. F., Santos, E. M., Pinho, R. M. A., Campos, F. S., Ramos, J. P. de F., Aquino, M.
800 M., Silva, T. C., Bezerra, H. F. C. 2013. Características agronômicas e eficiência do uso da
801 chuva em cultivares de sorgo no semiárido. *Ciência Rural* 43, 1771-1776.

802 Pereira Filho, J.M., Silva, A. M. de A.; Cézar, M. F. Manejo da Caatinga para produção de
803 caprinos e ovinos. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal* 14.

804 Pereira, J. D. S., Cavalcante, A. B., Simões, W. L., Voltolini, T. V. 2021. Forage yield,
805 structural responses and chemical composition of spineless cactus Orelha de Elefante
806 Mexicana in different water depths and irrigation frequencies. *Ciencia Ruarl* 51, 1-7.

807 Pereira, L. B., Machado, D. S., Alves Filho, D. C., Brondani, I. L., Silva, V. S., Argenta, F.
808 M., Moura, A. F. Borchate, D. 2017. Características agronômicas da planta e produtividade
809 da silagem e grãos de milho submetido a diferentes arranjos populacionais. *Magistra* 29,
810 18-27.

811 Pessoa, D. V., Andrade, A. P., Magalhães, A. L. R., Teodoro, A. L., Santos, D. C., Araujo, G.
812 G. L., Medeiros, A. N., Nascimento, D. B., Valença, R de L., Cardoso, D. B. 2020. Forage
813 cactus of the genus *Opuntia* in different with the phenological phase: Nutritional value.
814 *Journal of Arid Environments* 181.

815 Pino, F., Heinrichs, A. J. 2017. Sorghum forage in precision-fed dairy heifer diets. *Journal of*
816 *Dairy Science* 100, 224-235.

817 Punia, H. Tokas, J., Malik, A., Singh, S., Phogat, D. S., Bhuker, A., Mor, V. S., Rani, A.,
818 Sheokand, R. N. 2020. Discerning morpho-physiological and quality traits contributing to
819 salinity tolerance acquisition in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *South African*
820 *Journal of Botany*, 1–10,

821 Queiroz, M. G., Silva, T. G. F., Zolnier, S., Silva, S. M. S., Lima, L. R., Alves., J. de O. 2015.
822 Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes
823 lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 19, 931–938.

824 Queiroz, M. G., Silva, T. G. F., Zolnier, S., Silva, S. M. S., Souza, C. A. A., Carvalho, H. F.
825 de S. 2016. Relações Hídrico-Econômicas Da Palma Forrageira Cultivada Em Ambiente
826 Semiárido. *Irriga* 1, 141-154.

827 Queiroz, M. G., Silva, T. G. F., Araújo Júnior, G do N., Jardim, A. M. da R. F., Silva, M. J.,
828 Souza, C. A. A. 2018. Procedimento metodológico para análise da distribuição da chuva e
829 extrato do balanço hídrico no semiárido: estudo de caso. *Scientia Plena* 14.

830 Rai, R. K., Bhatta, L. D., Acharya, U., Bhatta, A. P. 2018. Assessing climate-resilient
831 agriculture for smallholders. *Environmental Development*, 27, 26-33.

- 832 Ramos, J. P. de F., Souza, J. T. A., Santos, E. M., Pimenta Filho, E. C., Ribeiro, O. L. 2017.
833 Crescimento e Produtividade de *Nopalea cochenillifera* em função de diferentes densidades
834 de plantio em cultivo com e sem capina. *Revista Electrónica de Veterinária* 18, 1-12.
- 835 Rao, C. S., Kareemulla, K., Krishnan, P., Murthy, G. R. K., Ramesh, P., Ananthan, P. S.,
836 Joshi, P. K. 2019. Agro-ecosystem based sustainability indicators for climate resilient
837 agriculture in India: A conceptual framework. *Ecological Indicators* 105, 621-633.
- 838 Rocha, J. E. da S. 2012. Palma Forrageira no Nordeste do Brasil: Estado da Arte. *Embrapa*
839 *Caprinos e Ovinos*, p. 40.
- 840 Rocha, R. S., Voltolini, T. V., Gava, C. A. T. 2017. Características produtivas e estruturais de
841 genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. *Archivos de*
842 *Zootecnia* 66, 363–371.
- 843 RODRIGUES, L. S., Alves Filho., D. C., Brondani, I. L., Silva, V. S., Paula, P. C., Adams, S.
844 M., Martini, P. M., Martini, A. P. M. 2018. Variáveis morfogênicas e estruturais de sorgo
845 forrageiro implantado com diferentes arranjos populacionais sob pastoreio contínuo.
846 *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 70, n. 1, p. 287–296, 2018.
- 847 Roy, R., Gain, A. K., Samat, N., Hurlbert, M., Tan, M. L., Chan, N. C. 2019. Resilience of
848 coastal agricultural systems in Bangladesh: Assessment for agroecosystem stewardship
849 strategies. *Ecological Indicators* 106.
- 850 Sá Júnior, E. H., Cruz, M. G., Leite, M. L. de M. V., Lucena, L. R. R. 2018. Características
851 agronômicas de capim-corrente (*Urochloa mosambicensis*) adubado com esterco suíno e
852 submetido a duas alturas de corte. *Revista Ciência Agrícola* 16, 1-9.
- 853 Saadat, S., Homae, M. 2015. Modeling sorghum response to irrigation water salinity at early
854 growth stage. *Agricultural Water Management* 152, 119–124.
- 855 Santos, D. B., Voltolini, T. V., Azevedo, C. A. V., Nogueira, D. M., Silva, A. S., Medeiros, S.
856 S. 2013. Tolerância do Capim Marandu a Salinidade. *Revista Educação Agrícola Superior*
857 28, 63–66.
- 858 Santos, L. P., Avelar, J. M. B., Shikida, P., Carvalho, M. A. 2016. Agronegócio brasileiro no
859 comércio internacional. *Revista de Ciências Agrárias* 39, 54-69.
- 860 Santos, M. A., Santos, B. R. C. 2018. Silagem da palma forrageira consorciada com resíduos
861 da mandioca e bagaço da cana-de-açúcar: Revisão. *PUBVET* 12, 1-8.
- 862 Santos, N. S., Silva, J. C. de S., Pereira, W. S., Melo, J. L. R., Lima, K. V., LIMA, D. O.,
863 Lima, K. F., Almeida, R. S. 2020. Crescimento da palma forrageira sob estresse salino e
864 diferentes lâminas de irrigação. *Revista Craibeiras de Agroecologia* 5.

865 Santos, T. do N. Dutra, E. D., Prado, A. G., Leite, F. C. B., Souza, R. de F. R., Santos, D. C.,
866 Abreu, C. A. M., Simões, D. A., Morais, M. A., Menezes, R. S. C. 2016. Potential for
867 biofuels from the biomass of prickly pear cladodes: Challenges for bioethanol and biogas
868 production in dry areas. *Biomass and Bioenergy* 85, 215–222.

869 Scalisi, A., Morandi, B., Inglese, P., Bianco, R. L. 2016. Cladode growth dynamics in
870 *Opuntia ficus-indica* under drought. *Environmental and Experimental Botany* 122, 158-
871 167.

872 Siadat-Jamian, S., Aghaalikhani, M., Soufizadeh, S., Mokhtassi-Bidgoli, A. 2019. Qualitative
873 and quantitative response of artichoke to irrigation treatments and planting densities.
874 *Scientia Horticulturae* 253, 422-428.

875 Silva, A. S., Santos, E. M., Ramos, J. P., Perazzo, A. F., Muniz, A. C. S., Santos, F. N. de S.,
876 Pereira, D. M., Cruz, G. F. de L. 2019. Características agrônômicas de variedades de
877 *Opuntia cochenillifera* e *Nopalea cochenillifera* sob diferentes densidades de plantio.
878 *Colloquium Agrariae* 15, 88–96.

879 Silva, F. G., Dutra, W. F., Dutra, A. F., Oliveira, I. M., Filgueiras, L. M. B., Melo, A. S.
880 2015c. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de
881 irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 19.

882 Silva, J. E. S. B., Matias, J. R., Guirra, K. S., Aragão, C. A., Araújo, G. G. L., Dantas, B. F.
883 2015d. Development of seedlings of watermelon cv. Crimson Sweet irrigated with
884 biosaline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 19, 835-840.

885 Silva, J. L. B. DA, Moura, G. B. de A., Silva, M. V., Lopes, P. M. O., Guedes, R. V. de S.,
886 Silva, E. F. de F. Ortiz, P. F. S., Rodrigues, J. A. de M. 2020b. Changes in the water
887 resources, soil use and spatial dynamics of Caatinga vegetation cover over semiarid region
888 of the Brazilian Northeast. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 20.

889 Silva, J. L. DE A., Medeiros, J. F., Alves, S. S. V., Oliveira, F. de A., Silva Júnior, M. J.,
890 Nascimento, I. B. 2014b. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de
891 forragem no semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*
892 18, 66–72.

893 Silva, J. R. I., Souza, R. M. S., Santos, W. A., Almeida, A. Q., Souza, E. S., Antonino, A. C.
894 2017. Aplicação do método de Budyko para modelagem do balanço hídrico no semiárido
895 brasileiro. *Scientia Plena* 13.

896 Silva, L. M., Fagundes, J. L., Viegas, P. A. A. Muniz, E. N., Rangel, J. H. de A., Moreira, A.
897 L., Backes. A. A., 2014c. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes
898 densidades de plantio. *Ciencia Rural* 44, 2064–2071.

899 Silva, M. V., Pandorfi, H., Lopes, P. M. O., Silva. J. L. B., Almeida, G. L. P., Silva, D. A. de
900 O., Santos, A., Rodrigues, J. A. de M., Batista, P. H. D., Jardim, A. M. da R. F. 2020c.
901 Pilot monitoring of caatinga spatial-temporal dynamics through the action of agriculture
902 and livestock in the brazilian semiarid. *Remote Sensing Applications: Society and*
903 *Environment* 19.

904 Silva, M. V., Pandorfi, H., Almeida, G. L. P., Lima, R. P., Santos, A., Jardim, A. M. da R. F.,
905 Rolim, M. M., Silva, J. L. B., Batista, P. H. D., Silva, R. Â. B., Lopes, P. M. O., Silva, D.
906 C., 2021. Spatio-temporal monitoring of soil and plant indicators under forage cactus
907 cultivation by geoprocessing in Brazilian semi-arid region. *Journal of South American*
908 *Earth Sciences* 107.

909 Silva, T. G. F., Araújo Primo, J. T., Silva, S. M. S., Moura, M. S. B., Santos, D. C., Silva, M
910 da C., Araújo, J. E. M. 2014a. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de
911 clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. *Bragantia*,
912 73, 184-191.

913 Silva, T. G. F., Araújo Primo, J. T., Morais, J. E. F., Diniz, W. J. da S., Souza, C. A. A., Silva,
914 M da C. 2015a. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e
915 relações com variáveis meteorológicas. *Revista Caatinga* 28, 10-18.

916 Silva, T. G. F., Araújo Primo, J. T., Moura, M. S. B., Silva, S. M. S., Morais, J. E. F., Pereira,
917 P. de C., Souza, C. A. A. 2015b. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage
918 cactus clones under rainfed conditions. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 50 515-525.

919 Silva, T. G. F., Araújo, G. G. L., Moura, M. S. B., Souza, L. S. B. 2017. Agrometeorological
920 research on forage cactus and its advances in Brazil. *Amazonian Journal of Plant Research*
921 2, 45-68.

922 Silva, T. G. F., Queiroz, M. G., Zolnier, S., Souza, L. S. B., Souza, C. A. A., Moura, M. S. B.,
923 Araújo, G. G. L., Steidle Neto, A. J., Santos, T. S., Melo, A. L., Cruz Neto, J. F., Silva, M.
924 J., Alves, H. K. M. N. 2021a. Soil properties and microclimate of two predominant
925 landscapes in the Brazilian semiarid region: Comparison between a seasonally dry tropical
926 forest and a deforested area. *Soil and Tillage Research* 207.

- 927 Silva, T. I., Santana, L. D., Camara, F. T., Pinto, A. A., Brito, L. L. M., Mota, A. M. D. 2017.
928 Produtividade de variedades de sorgo em diferentes arranjos populacionais em primeiro
929 corte e rebrota. *Espacios* 38.
- 930 Souza Filho, P. F., Ribeiro, V. T., Santos, E. S., Macedo, G. R. 2016. Simultaneous
931 saccharification and fermentation of cactus pear biomass—evaluation of using different
932 pretreatments. *Industrial Crops and Products* 89, 425-433.
- 933 SUDENE. Delimitação do semiárido. 2017. Disponível em: < <http://www.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>>. Acessado em 12 de Ago de 2019.
- 934 Šūmane, S., Kunda, I., Knickel., Strauss, A., Tisenkopfs., Rios, I., Rivera, M., Chebach, T.,
935 Ashkenazy, A. 2018. Local and farmers' knowledge matters! How integrating informal and
936 formal knowledge enhances sustainable and resilient agriculture. *Journal of Rural Studies*
937 59, 232–241.
- 938
- 939 Sun, W., Yang, X., Su, J., Guan, Z., Jiang., J., Chen, F., Fang, W., Zhang, F. 2019. The
940 genetics of planting density-dependent branching in chrysanthemum. *Scientia*
941 *Horticulturae* 256.
- 942 Takasu, A. T., Rodrigues, R. A. F., Goes, R. J., Haga, O. A. K. I. 2014. Desempenho
943 agrônômico do milho sob diferentes arranjos populacionais e espaçamento entrelinhas.
944 *Revista Agrarian* 7, 34-41.
- 945 Tang, C., Yang, X., Chen, X., Ameen, A., Xie, G. 2018. Sorghum biomass and quality and
946 soil nitrogen balance response to nitrogen rate on semiarid marginal land. *Field Crops*
947 *Research* 215, 12-22.
- 948 Teixeira, G.C da S., Stone, L. F., Heinemann, A. B. Eficiência do uso da radiação solar e
949 índices morfofisiológicos em cultivares de feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.
950 45, n. 1, p. 9-17, 2015.
- 951 Texeira, E. I., Ruiter, J., Ausseil, A-G., Daigneault, A., Johnstone, P., Holmes, A., Tait, A.,
952 Ewert, F. 2018. Adapting crop rotations to climate change in regional impact modelling
953 assessments. *Science of The Total Environment* 616–617, 785-795.
- 954 Vale, M. B., Azevedo, P. V. Avaliação da produtividade e qualidade do capim elefante e do
955 sorgo irrigados com água do lençol freático e do rejeito do dessalinizador. *Holos*, v. 3, p.
956 181, 2013.
- 957 Xiao, M. Z., Sun, R., Du, Z-Y., Yang, W-B., Yuan, T-Q. 2021. A sustainable agricultural
958 strategy integrating Cd-contaminated soils remediation and bioethanol production using
959 sorghum cultivars. *Industrial Crops and Products* 162.

960 Zhang, Z., Yu, K., Siddique, K. H. M., Nan, Z. 2019b. Phenology and sowing time affect
961 water use in four warm-season annual grasses under a semi-arid environment. *Agricultural
962 and Forest Meteorology* 269-270, 257-269.

963 Zhang, Z., Chirstensnen, M., Nan, Z., Whish, J. P. M., Bell, L. E., Wang, Z., Sim, R. 2019a.
964 Plant development and solar radiation interception of four annual forage plants in response
965 to sowing date in a semi-arid environment. *Industrial Crops and Products* 131, 41-53.

966 Zhu, L., Wang, D., Sun, J., Mu, Y., Pu, W., Ma, B., Ren, F., Yan, W., Zhang, Z., Li, G., Pan,
967 Y. 2019. Phenotypic and proteomic characteristics of sorghum (*Sorghum bicolor*) albino
968 lethal mutant *sbe6-a1*. *Plant Physiology and Biochemistry* 139, 400–410.

1 **CAPÍTULO 2 – RENDIMENTO FORRAGEIRO E BENEFÍCIO ECONÔMICO DO**
2 **CONSÓRCIO PALMA-SORGO SOB DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE CULTIVO,**
3 **EM SISTEMAS BIOSALINOS DE PRODUÇÃO**
4

5 **RESUMO:** Determinou-se o rendimento forrageiro, eficiência biológica, habilidade
6 competitiva e benefício econômico de diferentes estratégias de cultivos do consórcio palma-
7 sorgo, em sistemas biossalinos de produção. A pesquisa foi conduzida no período de 2018 a
8 2020, no Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e outras
9 Plantas Forrageiras – Centro REF, Serra Talhada, Pernambuco, Brasil. Foram realizados quatro
10 experimentos, que compreenderam: 1) diferentes configurações de cultivo para o consórcio
11 palma-sorgo(OEM-EXC, IPA-EXC, MIU-EXCOEM-SF11; OEM-P.288; OEM-467; IPA-
12 SF11; IPA-P.288; IPA-467; MIU-SF11; MIU-P.288 e MIU-467); 2) diferentes densidades de
13 plantio para a palma forrageira ((20.000, 25.000, 33.333, 50.000 e 100.000 plantas ha⁻¹) em
14 consórcio com sorgo sob orientação de cultivo Leste-Oeste; 3) Semelhante ao experimento 2,
15 com modificação na orientação, sendo nesse Norte-Sul e 4) Densidades de plantio da palma
16 forrageira e do sorgo (28.570, 33.333, 40.000 e 50.000 plantas ha⁻¹; 114.285, 133.333, 160.000
17 e 200.000 plantas ha⁻¹, respectivamente). Todos em delineamento em blocos casualizados, e
18 com quatro repetição, cada. O consórcio palma-sorgo apresentou produtividade superior aos
19 sistemas exclusivos. Os índices de eficiência biológica e habilidade competitiva evidenciam
20 melhor performance no sistema consorciado em comparação ao monocultivo. O aumento na
21 densidade de plantio promoveu incremento produtivo no consórcio palma-sorgo. Por sua vez,
22 a orientação de plantio não influenciou na produtividade do consórcio, mas ofereceu melhores
23 condições para a palma quando o cultivo foi sob orientação Leste-Oeste. O consórcio palma-
24 sorgo é uma ótima alternativa de sistema de produção para ambientes semiáridos, com
25 utilização da agricultura biossalina, principalmente sob densidade de plantio mais elevadas
26 (50.000 e 100.000 plantas ha⁻¹), sendo viável economicamente.

27
28 **Palavras-Chave:** *Opuntia stricta*; *Nopalea cochenillifera*; *Sorghum bicolor*; resiliência
29 agrícola
30
31
32
33
34

35 **ABSTRACT:** The forage yield, biological efficiency, competitive ability and economic benefit
36 of different cultivation strategies of the forage cactus-sorghum consortium in biosalin
37 production systems were determined. The research was conducted from 2018 to 2020, at the
38 International Reference Center for Agrometeorological Studies of Palma and other Forage
39 Plants - Centro REF, Serra Talhada, Pernambuco, Brazil. Four experiments were carried out,
40 which comprised: 1) different cultivation configurations for the forage cactus-sorghum
41 consortium (OEM-EXC, IPA-EXC, MIU-EXCOEM-SF11; OEM-P.288; OEM-467; IPA-
42 SF11; IPA -P.288; IPA-467; MIU-SF11; MIU-P.288 and MIU-467); 2) different planting
43 densities for forage cactus ((20,000, 25,000, 33,333, 50,000 and 100,000 plants ha⁻¹) in
44 consortium with sorghum under East-West cultivation guidance; 3) Similar to experiment 2,
45 with change in orientation, being in this North-South and 4) planting densities of forage cactus
46 and sorghum (28,570, 33,333, 40,000 and 50,000 plants ha⁻¹; 114,285, 133,333, 160,000 and
47 200,000 plants ha⁻¹, respectively). All in a randomized block design, with four repetitions, each.
48 The forage cactus-sorghum consortium showed higher productivity than the exclusive systems.
49 The indexes of biological efficiency and competitive ability show better performance in the
50 intercropped system compared to monoculture. The increase in planting density promoted a
51 productive increase in the forage cactus-sorghum consortium. In turn, the planting orientation
52 did not influence the productivity of the consortium, but it offered better conditions for the
53 forage cactus when the cultivation was under East-West orientation. The forage cactus-sorghum
54 consortium is a great alternative production system for semi-arid environments, using biosalin
55 agriculture, mainly under higher planting density (50,000 and 100,000 plants ha⁻¹), being
56 economically viable.

57

58 **Keywords:** *Opuntia stricta*; *Nopalea cochenillifera*; *Sorghum bicolor*; agricultural resilience

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68 **1 Introdução**

69

70 Nas regiões semiáridas há predomínio de atividade pecuária, desempenhando papel
71 importante na economia, no entanto, as condições climáticas são desfavoráveis a produção de
72 forragem em quantidade e qualidade. As regiões áridas e semiáridas ocupam uma extensão
73 territorial de aproximadamente 66,7 milhões de km² do globo, abrigando cerca de 2 bilhões de
74 pessoas, com tendência de crescimento em suas dimensões, devido aos reflexos das mudanças
75 climáticas (AYANGBENRO; BABALOLA, 2020). Esses ambientes apresentam restrições
76 biofísicas, como altas temperaturas, baixos índices pluviométricos, distribuição irregular das
77 chuvas, extremos climáticos, como secas e cheias e elevada variação climática sazonal e
78 interanual, que torna a atividade agrícola vulnerável (SINGH; CHUDASAMA, 2020).

79

80 No Brasil, a região semiárida abrange uma área de 982.566 km² (i.e., 18,2% do
81 territorial nacional), sendo esse, o maior e mais úmido semiárido do mundo (SILVA et al.,
82 2020). Dentre as atividades agrícolas desenvolvidas nesse ambiente, há o cultivo de espécies
83 forrageiras adaptadas as condições climáticas (SILVA et al., 2020). Entretanto, o uso
84 inadequado de manejos de cultivo, inviabiliza a produtividade da lavoura. Com isso, para se
85 alcançar bons resultados no sistema de produção, é necessário o uso de práticas para melhoria
86 da resiliência agrícola (i.e., capacidade do sistema, mesmo sob perturbações climáticas, manter
87 pleno crescimento e produtividade satisfatória), por meio de técnicas que auxiliem na mitigação
88 das condições adversas, garantindo o rendimento dos vegetais (EESWARAN et al., 2021).
89 Dentre estas práticas, pode-se destacar o uso de culturas adaptadas ao clima (i.e., escolha da
90 espécie e clone/cultivar), diversificação de espécies no sistema produtivo, uso de irrigação (RAI
91 et al., 2018; RAO et al., 2019; EESWARAN et al., 2021), assim como, adensamento e
92 orientação de plantio.

92

93 Duas culturas adaptadas que merecem destaque em ambiente semiárido é a palma
94 forrageira (*Opuntia* sp. e *Nopalea* sp.) e o sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), em
95 função da elevada eficiência no uso da água, devido seu metabolismo ácido das crassuláceas
96 (MAC) e C4, respectivamente (DINIZ et al., 2017). Essas espécies desempenham importante
97 papel no suprimento alimentar dos rebanhos da região (JARDIM et al., 2020). Diversos
98 trabalhos evidenciam o sucesso no sistema do consórcio palma-sorgo, onde, além de possibilitar
99 eficiência no uso dos recursos, promove maior rentabilidade e produtividade quando
100 comparado ao monocultivo, com resultados positivos quando irrigado (AMORIM et al., 2017;
DINIZ et al., 2017; LIMA et al., 2018a, 2018b).

101 Arelado ao sistema consorciado, o uso de irrigação é uma prática essencial para o
102 sucesso dos cultivos agrícolas em ambientes secos e quentes (ALVES et al., 2019). No entanto,
103 essas regiões são acometidas por redução gradativa dos recursos hídricos em quantidade e
104 qualidade, tornando-se necessário o uso da agricultura bioassalada, que consiste na utilização de
105 águas salobras de forma sustentável, de modo a favorecer maior produção ao sistema (DÍAZ et
106 al., 2018; KHORSANDI; SIADATI; RASTEGARY, 2020).

107 O adensamento e a orientação de cultivo, também são práticas para melhoria da
108 resiliência agrícola. A primeira, busca a otimização da eficiência no uso da terra e de água, em
109 função da quantidade ideal de plantas por unidade de área (SILVA et al., 2019; MENG et al.,
110 2020). Por outro lado, a segunda prática consiste na adequação do cultivo em relação às linhas
111 de plantio, a fim de melhorar a interceptação luminosa dos vegetais, com influência direta na
112 área e inserção foliar, e na produção de matéria seca (BUESA; MIRÁS-AVALOS;
113 INTRIGLIOLO, 2020; OLIVEIRA et al., 2012; TONINI et al., 2019). Alguns estudos
114 mostraram que quando submetida a maiores densidades, a palma forrageira apresentou maior
115 incremento produtivo (CAVALCANTE et al., 2014; LEMOS et al., 2021; SILVA et al., 2014).
116 Peixoto et al. (2018) relataram que a palma forrageira apresenta maior produtividade quando
117 plantada sob a orientação Leste-Oeste e, quando sombreada, tem seu potencial produtivo
118 reduzido.

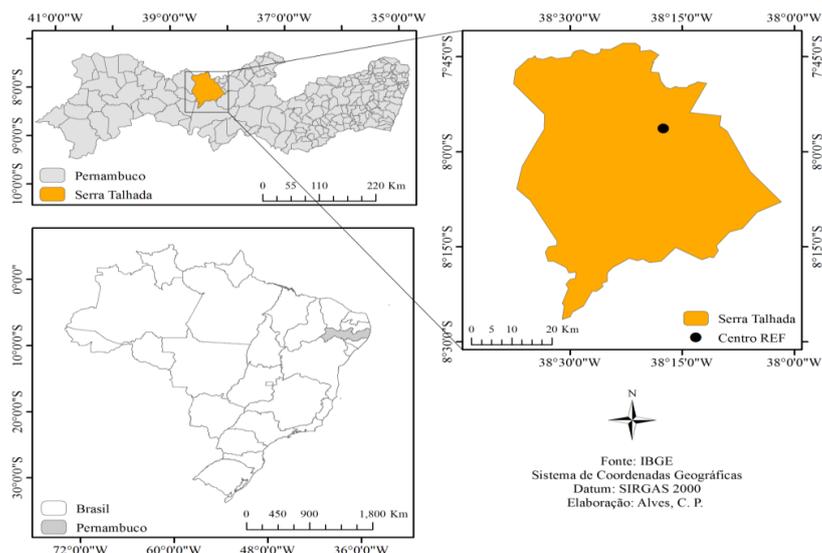
119 Para o entendimento das características produtivas, competitividade entre as culturas e
120 benefício econômico do consórcio em função das modificações no sistema de cultivo, a
121 determinação do rendimento forrageiro, aplicação de índices biológicos e de rentabilidade, são
122 ferramentas essenciais para o auxílio na tomada de decisão, favorecendo a escolha do melhor
123 sistema a ser utilizado pelo produtor (DINIZ et al., 2017; HENDGES et al., 2019). Além disso,
124 são escassas as informações no tocante a utilização do consórcio palma-sorgo submetido à
125 diferentes configurações, densidade e orientação de cultivo, sob agricultura bioassalada. Dessa
126 forma, a hipótese desse estudo é que a escolha correta do sistema produtivo no consórcio palma-
127 sorgo, utilizando a configuração ideal, maiores densidades de plantio e modificação na
128 orientação de cultivo, promove maior eficiência no uso dos recursos naturais, com
129 produtividade satisfatória das culturas e, significativo retorno econômico para o produtor.

130 Com isso, determinou-se o rendimento forrageiro, eficiência biológica, habilidade
131 competitiva e benefício econômico de diferentes estratégias de cultivos do consórcio palma-
132 sorgo, em sistemas bioassalados de produção

133 **2 Material e métodos**

134 **2.1 Localização experimental**

135 O estudo foi conduzido no Centro de Referência Internacional de Estudos
 136 Agrometeorológicos de Palma e outras Plantas Forrageiras – Centro REF, situado na
 137 Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE-
 138 UAST), no município de Serra Talhada, Pernambuco, Brasil (7°56'20" S; 38°17'31" O e 431
 139 m) (Figura 1).



140

141 **Figura 1.** Localização da área de estudo, situada no município de Serra Talhada –PE, Brasil.
 142 (Alves, 2020).

143 O clima da região, de acordo com a classificação de Köopen, é do tipo BSW_h' (i.e.,
 144 semiárido quente), com verão chuvoso e inverno seco (ALVARES et al., 2013). A temperatura
 145 do ar varia de 20,1 a 32,9 °C, com precipitação pluvial média 642 mm ano⁻¹, umidade relativa
 146 do ar em torno de 63% e demanda atmosférica acima de 1800 mm ano⁻¹ (PEREIRA et al., 2015;
 147 SILVA et al., 2015). O solo característico da área experimental é classificado como um
 148 Cambissolo Háplico Ta Eutórfico típico (Tabela 1).

149 **Tabela 1.** Propriedades físicas e químicas de um Cambissolo Háplico na camada de 0,00 – 0,20
 150 m, situado no município de Serra Talhada – PE, Brasil

Propriedades físicas						
ρ_p	ϕ_t	Areia	Silte	Argila		
-----g cm-----	----%----	----- g kg ⁻¹ -----				
1,45	42,27	828,60	148,25	23,15		
Propriedades químicas						
pH	CE	P	Ca	K	Na	V
	dS m ⁻¹	mg dm ⁻³	-----cmolc dm ³ -----			%
5,95	0,32	168,96	3,45	13,80	1,09	97,15

ρ_p = Densidade das partículas; ϕ_t = Porosidade total do solo. CE = Condutividade elétrica; P = Fósforo; Ca = Cálcio; Na = Sódio; K = Potássio; V = Saturação de bases.

151 2.2 *Design experimental e manejo das culturas*

152 O estudo foi dividido em quatro experimentos, os quais diferenciaram-se em relação aos
153 tratamentos, espécies de palma forrageira e cultivares de sorgo utilizados. Para todos os
154 experimentos, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso (DBC), com
155 quatro repetições. Antes da instalação dos experimentos houve a preparação inicial do solo,
156 com aração, gradagem e sulcagem. Em seguida, os cladódios de palma forrageira foram
157 plantados em alinhamento bilateral, enterrando-se 50% do comprimento total do cladódio no
158 solo. Já as cultivares de sorgo, a semeadura foi realizada em sulcos, paralelos as fileiras da
159 palma forrageira. Sempre que necessário, realizou-se limpeza nas áreas experimentais, com a
160 finalidade da retirada de ervas daninhas, favorecendo condições ideais para o desenvolvimento
161 das culturas. As adubações foram realizadas na linha de cultivo, levando em consideração a
162 densidade de plantio da palma forrageira, aplicando doses iguais a 200-80-130 kg ha⁻¹ de N-P-
163 K, nessa ordem, tendo como base a densidade de 40.000 plantas ha⁻¹.

164 A irrigação foi realizada três vezes por semana (segundas, quartas e sextas-feiras), por
165 meio de um sistema de irrigação por gotejamento, com emissores espaçados a 0,20 m, vazão de
166 1,57 L h⁻¹, coeficiente de uniformização de aplicação de água igual a 92% a uma pressão de
167 100 kPa. A água utilizada apresentou uma condutividade elétrica média de 1,62 dS m⁻¹,
168 classificada como C3 (alta salinidade), segundo a classificação de Richards (1954), pH de 6,84
169 e, concentração média de sódio e potássio de 168,66 mg L⁻¹ e 28,17 mg L⁻¹, respectivamente,
170 oriunda de poço artesiano com profundidade de 48 m e vazão de 12 m³ h⁻¹.

171 Para todos os experimentos, a palma forrageira foi considerada a cultura principal do
172 sistema. A lâmina de irrigação foi baseada em 80% da sua necessidade hídrica
173 (Evapotranspiração da cultura - ET_c) considerando o coeficiente de cultura (K_c) igual a 0,52
174 (QUEIROZ et al., 2016). A ET_c foi obtida pelo produto da evapotranspiração de referência
175 (ET₀), obtida diariamente pela equação de Penman-Monteith (Eq. 1), parametrizada pela FAO
176 (ALLEN et al., 1998), e o coeficiente de cultura (K_c).

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} \mu_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 \mu_2)} \quad (1)$$

177 em que, ET₀ = evapotranspiração de referência, (mm d⁻¹); Δ = declividade da curva de pressão
178 de saturação de vapor, (kPa °C⁻¹); G = densidade do fluxo de calor no solo, (MJ m⁻² d⁻¹); R_n –
179 saldo de radiação líquida, (MJ m⁻² d⁻¹); γ = constante psicrométrica, (kPa °C⁻¹); T = temperatura
180 média do ar diária, (°C); μ₂ = velocidade do vento a dois metros de altura, (m s⁻¹); e_s = pressão

181 de saturação de vapor d'água, (kPa); e_a = pressão de vapor atual do ar, (kPa); $e_s - e_a$ = déficit de
182 pressão de vapor, (kPa).

183 Os dados meteorológicos durante o período experimental, foram monitorados por uma
184 estação meteorológica automática, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia
185 (INMET), a qual encontrava-se a aproximadamente 20 metros da área experimental.

186 Durante o período experimental as chuvas se concentraram de dezembro de 2018 a maio
187 de 2019 e dezembro de 2019 a julho de 2020. Com estiagem nos meses de agosto a novembro
188 de 2018 e 2019. O acumulado de chuva durante todo o período foi de 1888,80 mm, sendo esta
189 inferior a demanda atmosférica total, a qual apresentou valor total de 3556,81 mm. A ET_0 média
190 de $4,95 \text{ mm dia}^{-1}$, com valor máximo de $7,42 \text{ mm dia}^{-1}$ e mínimo de $0,54 \text{ mm dia}^{-1}$ (Figura 2).

191

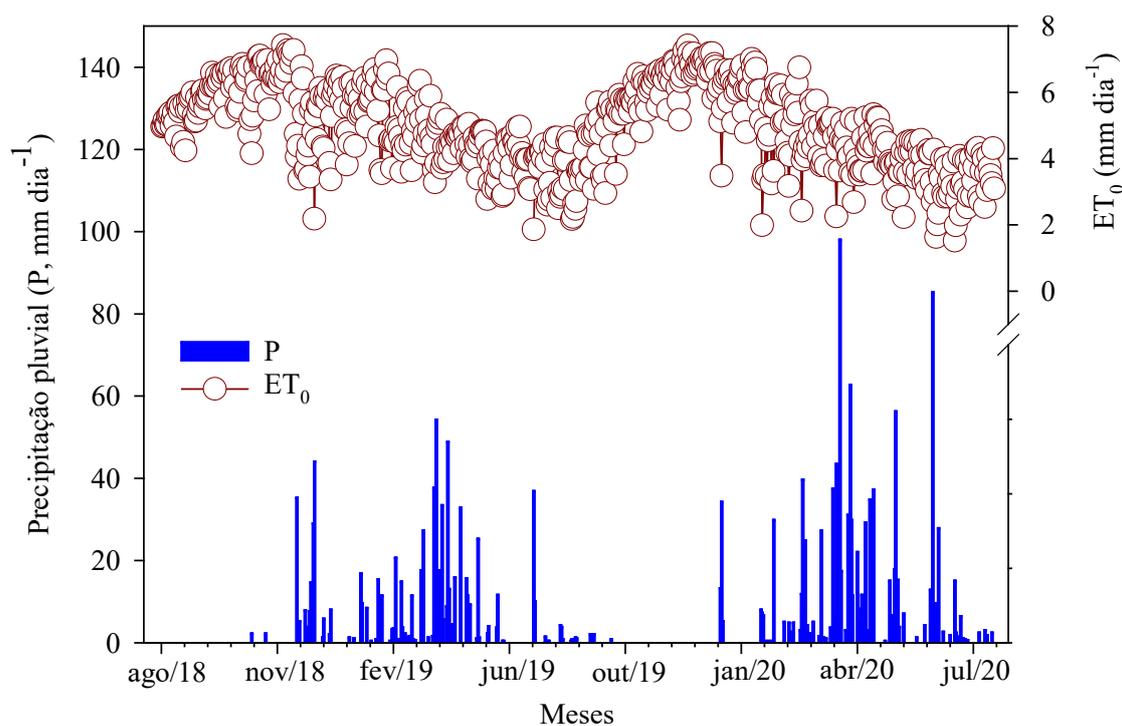


Figura 2. Precipitação pluvial (P) e Evapotranspiração de referência (ET_0), durante o período experimental de agosto de 2018 a julho de 2020 em Serra Talhada, PE, Brasil.

192 2.2.1 Experimento 1 (Diferentes configurações de cultivo)

193 O experimento 1 consistiu em diferentes configurações de cultivo. Nesse, foram
194 utilizados três clones de palma forrageira, pertencentes aos gêneros *Nopalea* e *Opuntia*, sendo:
195 IPA-Sertânia - IPA (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck), Miúda - MIU (*Nopalea*
196 *cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) e Orelha de Elefante Mexicana - OEM (*Opuntia stricta* (Haw.)

197 Haw.) e três cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) (IPA-467, SF11 e o Progenitor
 198 288 – P.288) as quais apresentam boa adaptabilidade às condições do clima semiárido.

199 Os clones de palma forrageira foram plantados em espaçamento de 1,0 x 0,2 m (50.000
 200 plantas ha⁻¹), e as cultivares de sorgo semeadas em sulcos com profundidade de 0,05 m,
 201 distanciados a 0,25 m das fileiras de palma. O experimento foi constituído por 15 tratamentos,
 202 dispostos em esquema 3+3+3x3 (três clones de palma forrageira + três cultivares de sorgo em
 203 cultivo exclusivo + nove combinações para o consórcio palma-sorgo (OEM-SF11; OEM-P.288;
 204 OEM-467; IPA-SF11; IPA-P.288; IPA-467; MIU-SF11; MIU-P.288 e MIU-467)),
 205 caracterizando as diferentes configurações de cultivo (Figura 3).

➤ **Legenda:**

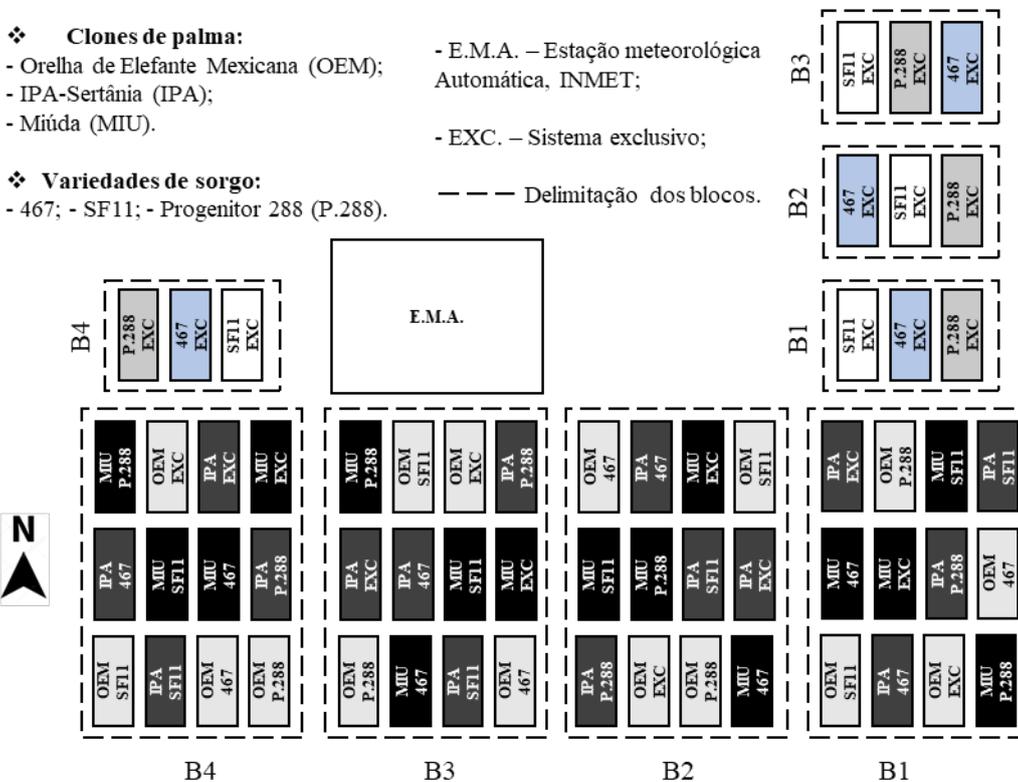


Figura 3. Croqui do experimento 1: Diferentes configurações de cultivo do consórcio palma-sorgo. Serra Talhada – PE, Brasil. **Fonte:** O autor

206 Cada parcela experimental foi constituída por quatro fileiras com 5 metros cada, com
 207 área igual a 20 m², contendo 25 plantas em cada fileira. Foi considerada como parcela útil, as
 208 duas fileiras centrais de cada parcela, desprezando duas plantas de cada extremidade, resultando
 209 em um total de 46 plantas úteis, numa área útil igual a 9,20 m² parcela⁻¹.

210 No presente estudo, foram avaliados dois cortes de palma forrageira, o primeiro com 12
 211 meses e o segundo com 6 meses, de modo que a palma forrageira se encontrava no segundo
 212 ciclo produtivo nos períodos de 02/2019 a 02/2020 e 02/2020 a 07/2020, respectivamente

213 (totalizando ~18 meses de duração). Os clones de palma forrageira foram plantados em janeiro
214 de 2016, havendo corte de uniformização em março de 2017, deixando no campo apenas os
215 cladódios basais e primários, e posteriormente, dando início aos tratamentos e aplicação da
216 irrigação com base na ETc da palma forrageira. Em junho de 2018, houve a primeira colheita
217 da palma, sendo conduzida na ausência da irrigação e do consórcio até fevereiro de 2019. Nesse
218 período houve o corte de uniformização, e retomada dos tratamentos e irrigação, sendo
219 realizada a colheita em fevereiro de 2020. Logo após, houve retomada imediata do sistema
220 consorciado e irrigação, com colheita realizada em julho de 2020.

221 Para cultura do sorgo foram conduzidos quatro ciclos, sendo duas semeaduras e duas
222 rebrotas. A primeira semeadura foi realizada dia 08 de fevereiro de 2019, sendo feito um
223 desbaste 15 dias após a emergência das plântulas, deixando-se 20 plantas por metro linear
224 (200.000 plantas ha⁻¹). Para todas as cultivares o primeiro ciclo (primeira brota) teve uma
225 duração de 110 dias após a emergência (DAE), sendo colhido em junho de 2019. Já o segundo
226 ciclo (primeira rebrota) teve uma duração de 72 dias após o corte (DAC), sendo realizado o
227 corte em agosto de 2019. A duração do terceiro ciclo (segunda rebrota) foi de 82 DAC,
228 realizando-se a colheita em novembro de 2019, enquanto o último ciclo (segunda brota), o
229 semeio foi realizado no dia 03 de março de 2020, e a colheita 106 DAE, no mês de junho de
230 2020.

231 Durante todo o período experimental a lâmina de água aplicada via eventos de irrigação
232 foi de 682,28 mm, que somados a 1699,20 mm de precipitação, totalizou em 2381,48 mm
233 recebidos pelo sistema.

234 2.2.2 Experimento 2 (Densidades de plantio sob orientação Leste-Oeste)

235 Nesse experimento foram avaliados diferentes densidade de plantio sob orientação de
236 cultivo Leste-Oeste. Para isto, o clone Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.)
237 Haw.) foi utilizado juntamente com a cultivar de sorgo IPA-467 (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)
238 em sistema consorciado.

239 A palma foi plantada em agosto de 2018, em espaçamento fixo de 1 metro entre linhas,
240 sob a orientação de cultivo Leste-Oeste e cinco espaçamentos entre plantas, os quais
241 constituíram os tratamentos, sendo eles 0,10; 0,20; 0,30; 0,40 e 0,50 m, que representaram as
242 densidades de plantio de 100.000; 50.000; 33.333; 25.000 e 20.000 plantas ha⁻¹,
243 respectivamente (Figura 4). Cada parcela experimental possuiu uma área de 12 m², formada por
244 quatro fileiras de cultivo, com 3 metros de comprimento cada. A parcela útil consistiu nas duas
245 fileiras centrais, com exceção das duas plantas de cada extremidade.

246

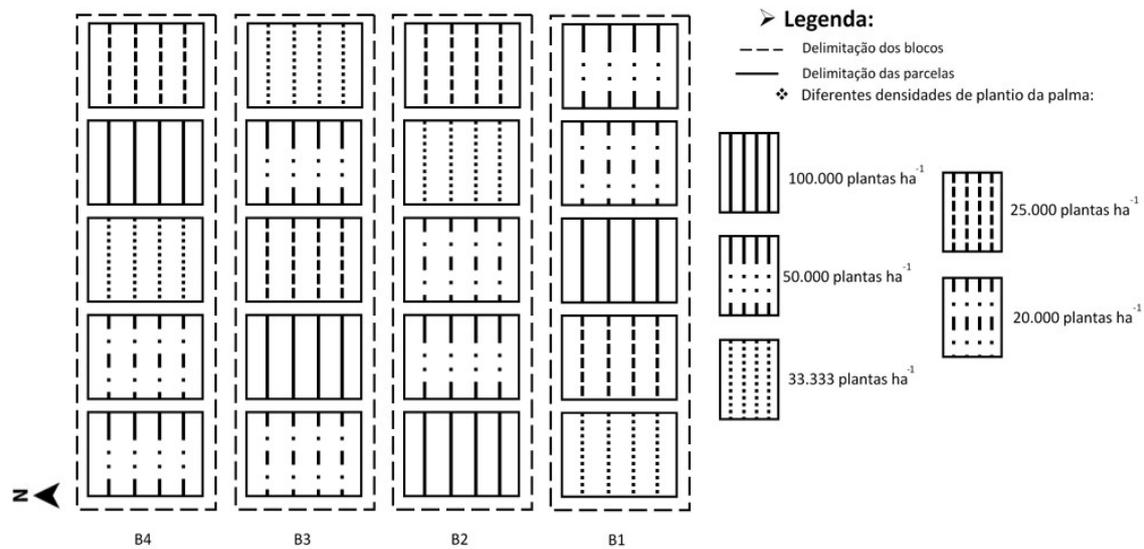


Figura 4. Croqui do experimento 2: diferentes densidades de plantio para a palma forrageira, sob consórcio com o sorgo, submetido a orientação de plantio Leste-oeste. Serra Talhada – PE, Brasil. **Fonte:** O autor.

247 A palma forrageira permaneceu até janeiro de 2019 em condição de sequeiro e na
 248 ausência do consórcio. No dia 28 de janeiro de 2019 foi realizado o semeio do sorgo, em sulcos
 249 paralelos a fileira da palma forrageira. Nesse mesmo período, iniciou-se a irrigação do
 250 experimento. Após o estabelecimento do sorgo em campo, realizou-se o desbaste das plântulas,
 251 deixando 20 plantas por metro linear, obtendo um estande de 200.000 plantas ha⁻¹.

252 A colheita da palma foi realizada em abril de 2020, caracterizando seu primeiro ciclo
 253 produtivo (~20 meses). Para o sorgo, avaliou-se quatro ciclos consecutivos, sendo uma brota
 254 e três rebrotas. A duração do primeiro ciclo (brota) foi de 115 DAE, com corte realizado em
 255 maio de 2019; no segundo ciclo (primeira rebrota) a duração foi de 84 DAC, sendo realizado o
 256 corte em agosto de 2019; o terceiro ciclo (segunda rebrota) apresentou uma duração de 99 DAC,
 257 sendo colhido em novembro de 2019; já o quarto e último ciclo (terceira rebrota) teve uma
 258 duração de 112 DAC, com corte realizado em março de 2020.

259 A reposição de água pelo sistema de irrigação foi igual a 286,90 mm, que somadas com
 260 a precipitação pluvial ocorrida (1692,00 mm) totalizou 1978,90 mm de entrada de água no
 261 sistema.

262 2.2.3 Experimento 3 (Densidades de plantio sob orientação Norte-Sul)

263 Esse experimento consistiu em diferentes densidades de plantio sob orientação de
 264 cultivo Norte-Sul. Para tal, utilizou-se o clone Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*
 265 (Haw.) Haw.) em consórcio com a cultivar de sorgo IPA-467 (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).

266 Para tal, a época de plantio, quantidade de ciclos, período de colheita da palma e do
 267 sorgo, assim como o tamanho das parcelas e tratamentos impostos são semelhantes aos do
 268 experimento 2, com exceção apenas na orientação de cultivo, nesse a orientação de cultivo
 269 utilizada foi Norte-Sul (Figura 5).

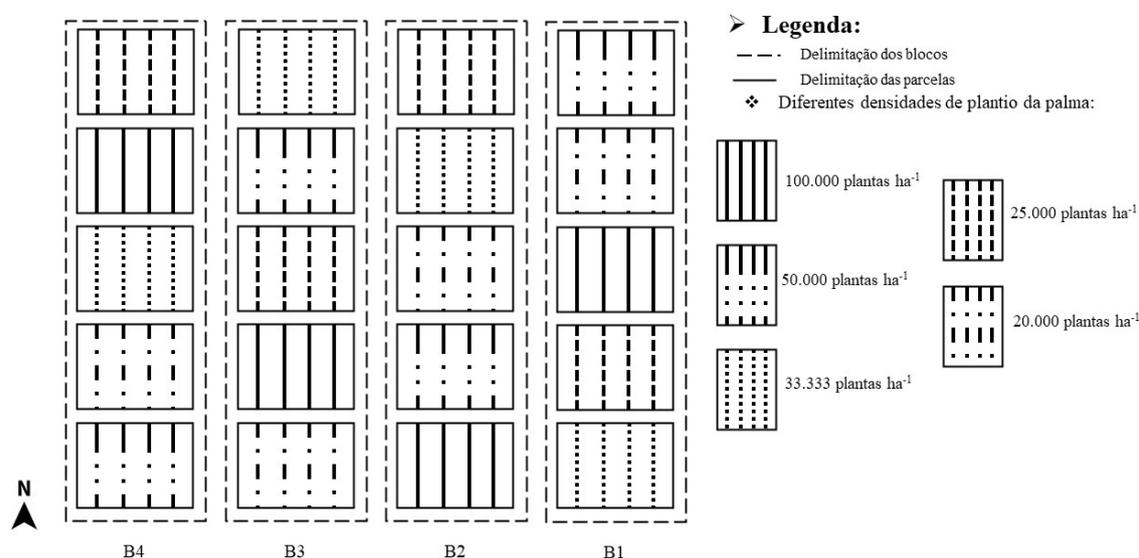


Figura 5. Croqui do experimento 3: palma forrageira submetida a diferentes densidades de plantio, sob orientação de cultivo Norte-Sul e consórcio com sorgo. Serra Talhada – PE, Brasil. **Fonte:** O autor.

270 A água aplicada por meio do sistema de irrigação durante o período experimental foi de
 271 294,59 mm, que somados a 1692 mm de precipitação pluvial, totalizou 1986,59 mm recebidos
 272 pelo experimento.

273 2.2.4 Experimento 4 (Densidade de plantio da palma e do sorgo)

274 O experimento 4 foi composto por diferentes densidades de plantio da palma forrageira
 275 e do sorgo, por meio da modificação no espaçamento entre as fileiras de plantio. O clone de
 276 palma utilizado foi a Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw), consorciada
 277 com a cultivar de sorgo IPA-467 (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).

278 A palma forrageira foi plantada sob espaçamento fixo entre plantas de 0,20 m, e quatro
 279 diferentes espaçamentos entre fileiras (quatro tratamentos), sendo 1,00; 1,25; 1,50 e 1,75 m,
 280 resultando em densidades finais de plantio para a palma iguais a 50.000; 40.000; 33.333 e
 281 28.571 plantas ha⁻¹, respectivamente, e para o sorgo, 200.000; 160.000; 133.333 e 114.285
 282 plantas ha⁻¹, nessa ordem (Figura 6). O sorgo foi semeado em sulcos paralelos a linha de plantio
 283 da palma, deixando 20 plantas por metro linear após o desbaste. As parcelas experimentais
 284 foram constituídas de quatro fileiras de cultivo com 15 plantas de palma em cada, sendo

285 considerada parcela útil as duas fileiras centrais, com exceção de duas plantas de cada
286 extremidade.
287

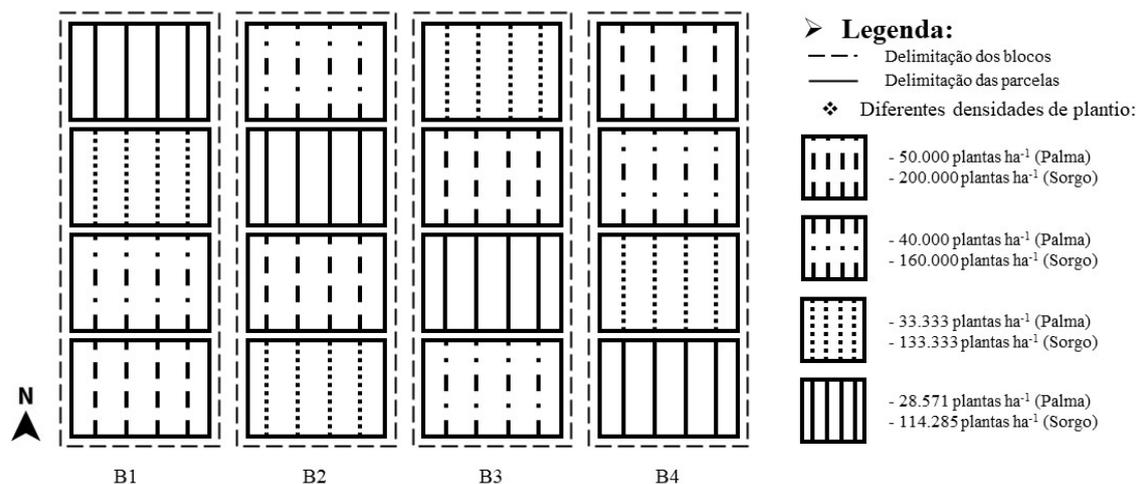


Figura 6. Croqui do experimento 4: diferentes densidades de plantio do consórcio palma-sorgo. Serra Talhada – PE, Brasil. **Fonte:** O autor.

288 O período do plantio a colheita e toda condução experimental, tanto da palma quanto
289 do sorgo seguiu as mesmas condições descrita nos experimentos 2 e 3.

290 Durante o período experimental, por meio do sistema de irrigação foram aplicados
291 283,05 mm, que somados a precipitação pluvial ocorrida (1692 mm), totalizou em 1975,05 mm.
292

293 2.3 Rendimento de forragem

294 A produtividade da palma forrageira foi determinada na colheita. Nessa ocasião, as
295 plantas presentes na parcela útil foram contabilizadas, a fim de obter a densidade final de
296 plantas. Posteriormente, realizou-se o corte dessas plantas, deixando no campo apenas os
297 cladódios basais e de primeira ordem, o material cortado foi então pesado, obtendo assim a
298 massa fresca total das plantas (Kg). Em seguida, dois cladódios representativos de cada parcela
299 foram selecionados, pesados, cortados, colocado em sacos de papeis, devidamente identificados
300 e acondicionados em estufa de circulação forçada de ar a 55°C até atingir peso constante. A
301 partir da relação entre os valores de peso seco e fresco, determinou-se os teores de matéria seca
302 dos cladódios. A estimativa da produtividade em massa fresca (MF, Mg ha⁻¹) foi realizada com
303 base na massa fresca total das plantas e a densidade final de plantas. Já para a estimativa da
304 produtividade de massa seca (MS, Mg ha⁻¹), considerou-se os valores estimados de MF das
305 plantas e os teores de matéria seca dos cladódios.

306 A determinação da produtividade do sorgo foi realizada no final de cada ciclo da cultura.
 307 Na ocasião da colheita, foram consideradas as duas fileiras centrais da parcela para a
 308 contabilização do número de plantas em dois metros lineares, obtendo a densidade final de
 309 plantas. Logo após, oito plantas em cada parcela útil foram colhidas e pesadas, a fim de se obter
 310 massa fresca total das plantas. Em seguida, duas plantas representativas de cada parcela foram
 311 colhidas, fracionadas, pesadas em balança semi-analítica, colocadas em sacos de papel e
 312 acomodadas em estufa de circulação forçada de ar a 55°C até atingir peso constante. A relação
 313 entre os valores de massa seca e fresca resultou nos teores de matéria seca da planta. Estimou-
 314 se a produtividade de massa fresca (MF, Mg ha⁻¹) considerando a massa fresca total e a
 315 densidade final de plantas. Para estimar a massa seca (MS, Mg ha⁻¹) considerou-se os valores
 316 de teores de matéria seca da planta e os valores estimados de MF das plantas.

317 2.4 Eficiência biológica

318 A eficiência biológica do consórcio palma-sorgo foi determinada por meio do taxa
 319 equivalente da terra (LER) (AMANULLAH et al., 2020), razão de área equivalente no tempo
 320 (RAET), coeficiente equivalente de terra (CET) e índice de produtividade do sistema (IPS), os
 321 quais foram obtidos conforme as equações 2, 3, 4 e 5, respectivamente (SADEGHPOUR et al.,
 322 2013; YILMAZ et al., 2014; DINIZ et al., 2017).

$$323 \quad LER = \frac{Y_{ab}}{Y_{aa}} + \frac{Y_{ba}}{Y_{bb}} \quad (2)$$

324 em que, Y_{ab} e Y_{ba} = rendimento da palma forrageira e do sorgo, para os sistemas consorciados,
 325 respectivamente; Y_{aa} e Y_{bb} = rendimento da palma forrageira e do sorgo, em sistemas
 326 exclusivos, respectivamente. Quando LER > 1, existe vantagem produtiva do consórcio em
 327 relação ao sistema exclusivo, se LER = 1, não existe vantagem produtiva, e se LER < 1, existe
 328 desvantagem em consorciar (YILMAZ et al., 2014).

$$329 \quad RAET = \frac{(LER_a \cdot t_a) + (LER_b \cdot t_b)}{T_{ab}} \quad (3)$$

330 em que, LER_a e LER_b = uso eficiente da terra parcial da palma e do sorgo, respectivamente. t_a
 331 e t_b = duração do ciclo da palma e do sorgo em dias, respectivamente. T_{ab} = representa o tempo
 332 total do sistema consorciado. Se RAET > 1, existe vantagem produtiva, se RAET = 1, não existe
 333 vantagem produtiva, e se RAET < 1, existe desvantagem produtiva (DINIZ et al., 2017)

$$334 \quad CET = LER_a \cdot LER_b \quad (4)$$

335 onde, se CET > 0,25, há vantagem produtivo no sistema consorciado, uma vez que, o coeficiente
 336 produtivo mínimo é 25% (DINIZ et al., 2017).

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

334 onde, a principal vantagem desse índice é padronizar o rendimento da cultura secundária
335 (sorgo), em relação a cultura primária (palma) (SADEGHPOUR et al., 2013).

336 2.5 Habilidade competitiva

337 A habilidade competitiva do consórcio palma-sorgo foi determinada por meio dos
338 índices de coeficiente de adensamento relativo (CAR) (Eq. 6), agressividade (A) (Eq. 7), perda
339 ou ganho atual de rendimento (PGAR) (Eq. 8) e razão de competitividade (RC) (Eq. 9), (DINIZ
340 et al., 2017; SADEGHPOUR et al., 2013).

$$CAR = \left[\frac{(Y_{ab} \cdot X_{ba})}{(Y_{aa} - Y_{ab}) \cdot X_{ab}} \right] \cdot \left[\frac{(Y_{ba} \cdot X_{ab})}{(Y_{bb} - Y_{ba}) \cdot X_{ba}} \right] \quad (6)$$

341 em que, X_{ab} = representa a proporção de plantio da palma em consórcio com o sorgo; X_{ba} =
342 representa a proporção de plantio do sorgo consorciado com a palma. De modo que, se $CAR >$
343 1, então há vantagem no rendimento do sistema consorciado quando comparado ao exclusivo,
344 se $CAR = 1$, não ocorre vantagem produtiva no consórcio, e se $CAR < 1$, existe desvantagem
345 no sistema. Quando $CAR_{ab} > CAR_{ba}$, indica que a palma forrageira apresenta alta
346 competitividade sobre o sorgo (SADEGHPOUR et al., 2013)

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

347 onde, se $A_{ab} = 0$, ambas as culturas são igualmente competitivas, enquanto que, se $A_{ab} >$
348 0(positivo), a palma é dominante sobre o sorgo no sistema, e se $A_{ab} < 0$ (negativo), o sorgo é
349 dominante sobre a palma no sistema (SADEGHPOUR et al., 2013). A mesma lógica se aplica
350 em A_{ba} .

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

351 onde, se $PGAR > 0$ (positivo), indica vantagem do sistema consorciado em relação ao solteiro,
352 se $PGAR < 0$ (negativo), indica desvantagem do sistema consorciado.

$$RC_a = \frac{LER_a \cdot X_{ba}}{LER_b \cdot X_{ab}} \quad (9)$$

353 onde, se $RC_a < 1$, ocorre efeito positivo no sistema consorciado e as culturas podem ser
354 cultivadas juntas, por outro lado, se $RC_a > 1$, ocorre efeito negativo, devido a maior
355 competitividade das culturas, não sendo indicado a consorciação (SADEGHPOUR et al., 2013).
356 O mesmo raciocínio é aplicado para o sorgo (RC_b).

357 *2.6 Benefício econômico*

358 A análise econômica de viabilidade para o sistema consorciado palma-sorgo foi
 359 realizada por meio da relação benefício/custo (Eq. 10), considerando a receita líquida obtida no
 360 sistema e o custo total de produção (i.e., custos fixos e variáveis), para a implementação do
 361 sistema em uma área de um hectare (Tabela 2).

$$\frac{B}{C} = \frac{RL}{CTP} \quad (10)$$

362 em que, B/C = relação benefício/custo; RL = receita líquida (R\$); CTP = custo total de
 363 produção. O sistema é considerado viável quando o B/C foi superior a 1.

364 **Tabela 2.** Descrição dos custos de produção e receita líquida da palma forrageira e do sorgo
 365 em cultivo consorciado e exclusivo cultivados sob diferentes densidades no semiárido
 366 brasileiro.

Descrição dos custos	Palma sob diferentes densidades (plantas ha ⁻¹)					Sorgo				
						Exclusivo	Consoiciado sob diferentes densidades (plantas ha ⁻¹)			
	20.000	25.000	33.333	50.000	100.000		114.285	133.333	160.000	200.000
1 - Custo fixo (R\$ ha⁻¹)*										
1.1 - Sucção e conjunto moto-bomba	2.579,76	2.579,76	2.579,76	2.579,76	2.579,76	2.579,76	-	-	-	-
1.2 - Recalque	3.958,60	3.958,60	3.958,60	3.958,60	3.958,60	3.958,60	-	-	-	-
1.3 Implantação da cultura	4.314,14	5.154,41	6.555,83	9.360,35	1.7770,7	600,00	495,00	530,00	565,00	600,00
Subtotal (1)	10.852,5	11.692,8	13.094,2	15.898,8	24.309,1	7.138,36	495,00	530,00	565,00	600,00
2 - Custo variáveis (R\$ ha⁻¹)										
2.1 Depreciação dos componentes	1.903,61	1.903,61	1.903,61	1.903,61	1.903,61	1.079,93	-	-	-	-
2.2 Energia elétrica	424,95	424,95	424,95	424,95	424,95	424,95	-	-	-	-
2.3 Mão de obra (manutenção)	859,13	859,13	859,13	859,13	859,13	859,13	627,00	627,00	627,00	627,00
Subtotal (2)	3.187,69	3.187,69	3.187,69	3.187,69	3.187,69	2.364,01	627,00	627,00	627,00	627,00
Descrição receita líquida										
Finalidade de venda	Palma					Sorgo				
Forragem (R\$ tonelada)	150,00					250,00				
Cladódio (R\$ unidade)	0,15					-				

367 - Em cultivo consorciado os custos para a cultura do sorgo são referentes apenas a implantação e colheita. * Os custos fixos são validos para o
 368 primeiro ciclo da cultura.

370 *2.7 Análise estatística*

371 Todos os dados foram submetidos a análise de normalidade e homocedasticidade.
 372 Atendendo as premissas, realizou-se a análise de variância (ANOVA), pelo teste F (p<0,05).
 373 Quando significativo o teste de hipótese, as médias foram comparadas entre si pelo teste de
 374 Tukey a 5% de significância, no caso dos tratamentos qualitativos e análise de regressão para

375 os tratamentos quantitativos. Apenas para os experimentos 2 e 3, devido a semelhança entre os
 376 tratamentos impostos, realizou-se uma análise conjunta, a fim de observar significância na
 377 interação dos fatores estudados. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software
 378 RStudio (R Core Team, 2018).

379

380 3 Resultados

381 3.1 Rendimento de forragem

382 A produtividade em massa fresca (MF) e seca (MS) apresentaram diferença significativa
 383 ($p < 0,05$) quando submetida a diferentes configurações de cultivo, para os quatro ciclos de sorgo
 384 e dois cortes de palma forrageira estudados sob irrigação com água salina (Tabela 2).

385 **Tabela 3.** Produtividade em massa fresca (MF) e seca (MS) de quatro ciclos de cultivares de
 386 sorgo e dois cortes de clones de palma forrageira, cultivados sob sistema de cultivo exclusivo
 387 e consorciado, em ambiente semiárido (Corte 1- 02/2019-02/2020 e Corte 2 - 02/2020-
 388 07/2020).

Corte 1 - 02/2019 a 02/2020						
Rendimento Massa Fresca (Mg ha ⁻¹)						
Tratamentos	Variáveis					
	Y _{SC1}	Y _{SC2}	Y _{SC3}	Σ _C	Y _P	Y _{PS}
IPA-467	54,15abc	40,49ab	9,31ab	103,96abcd	45,39b	149,35cd
IPA-P.288	76,65ab	34,50ab	10,12ab	121,27ab	52,49b	173,76bc
IPA-SF11	50,53abc	31,01ab	9,45ab	91,00abcd	65,97b	156,98c
MIU-467	41,33bc	26,36b	5,87ab	73,56bcd	60,66b	134,23cd
MIU-P.288	62,76abc	30,99ab	10,70ab	104,45abcd	57,92b	162,38bc
MIU-SF11	52,17abc	27,12b	8,47ab	87,77abcd	70,34b	158,12c
OEM-467	36,66c	21,33b	3,54b	61,53d	232,30a	293,83a
OEM-P.288	78,73a	27,37b	7,82ab	113,92abc	187,86a	301,79a
OEM-SF11	40,07c	22,42b	6,01ab	68,51cd	200,86a	269,37ab
IPA-EXC	-	-	-	-	48,11b	48,12d
MIU-EXC	-	-	-	-	72,93b	72,93cd
OEM-EXC	-	-	-	-	267,43a	267,43ab
467-EXC	55,52abc	51,01a	14,31ab	120,85ab	-	120,85cd
P.288-EXC	63,80abc	36,12ab	13,88ab	113,80abc	-	113,80cd
SF11-EXC	71,50abc	49,67a	14,71a	135,88a	-	135,88cd
P-valor	0,001	<0,001	0,01	<0,001	<0,001	<0,001
CV%	25,55	24,68	45,73	20,24	38,45	24,71

Rendimento Massa Seca (Mg ha ⁻¹)						
Tratamentos	Variáveis					
	Y _{SC1}	Y _{SC2}	Y _{SC3}	Σ _C	Y _P	Y _{PS}
IPA-467	17,43ab	11,85abc	3,15abcd	32,44abc	3,05b	35,49ab
IPA-P.288	21,58ab	9,08bc	3,34abcd	34,01abc	3,34b	37,36ab
IPA-SF11	16,46ab	8,28bc	2,73abcd	27,48abc	4,09b	31,57abc
MIU-467	12,64ab	7,94bc	1,80bcd	22,39bc	4,96b	27,35bc
MIU-P.288	18,69ab	8,71bc	3,13abcd	30,53abc	4,78b	35,32ab
MIU-SF11	14,85ab	7,63bc	2,53abcd	25,02bc	5,98b	31,01abc
OEM-467	13,32ab	6,56c	1,05d	20,94bc	16,63a	37,57ab
OEM-P.288	20,65ab	7,56bc	2,27abcd	30,48abc	13,78a	44,24a
OEM-SF11	10,9b	6,34c	1,63cd	18,88c	15,85a	34,73ab
IPA-EXC	-	-	-	-	3,27b	3,27d
MIU-EXC	-	-	-	-	5,20b	5,20d
OEM-EXC	-	-	-	-	17,96a	17,96cd
467-EXC	21,91ab	15,35a	5,25a	42,52a	-	42,52a

P.288-EXC	21,88ab	9,83abc	4,42abc	36,14ab	-	36,14ab
SF11-EXC	24,07a	12,89ab	5,06ab	42,03a	-	42,03ab
P-valor	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
CV%	26,50	26,32	43,81	20,56	33,98	19,24

Corte 2 - 02/2020 a 07/2020

Tratamentos	Rendimento Massa Fresca (Mg ha ⁻¹)		
	Variáveis		
	Y _{SC1}	Y _P	Y _{PS}
IPA-467	30,14ab	49,49b	79,64c
IPA-P.288	30,51ab	18,29b	48,81cd
IPA-SF11	18,60bc	29,20b	47,80cd
MIU-467	33,89ab	46,65b	80,55c
MIU-P.288	24,24abc	34,23b	58,44cd
MIU-SF11	8,54c	46,02b	54,56cd
OEM-467	42,30a	131,93a	174,23a
OEM-P.288	28,73abc	134,15a	162,89a
OEM-SF11	14,91bc	129,41a	144,33ab
IPA-EXC	-	26,16b	26,16d
MIU-EXC	-	36,50b	36,50d
OEM-EXC	-	128,10a	128,10b
467-EXC	42,43a	-	42,43d
P.288-EXC	43,36a	-	43,36d
SF11-EXC	27,57abc	-	27,56d
P-valor	<0,001	<0,001	<0,001
CV%	28,56	19,64	17,26

Rendimento Massa Seca (Mg ha⁻¹)

Tratamentos	Variáveis		
	Y _{SC1}	Y _P	Y _{PS}
IPA-467	16,28abc	3,37b	19,66bc
IPA-P.288	15,10abc	1,23b	16,33bcd
IPA-SF11	9,25bcd	1,89b	11,115cde
MIU-467	16,74abc	3,00b	19,74bc
MIU-P.288	12,17abcd	2,51b	14,68bcd
MIU-SF11	3,29d	3,58b	6,88de
OEM-467	21,57a	10,32a	31,90a
OEM-P.288	14,40abcd	10,43a	24,84ab
OEM-SF11	8,51cd	9,90a	18,41bc
IPA-EXC	-	1,64b	1,64e
MIU-EXC	-	2,47b	2,47e
OEM-EXC	-	11,61a	11,61cde
467-EXC	20,70a	-	20,70bc
P.288-EXC	20,33ab	-	20,33bc
SF11-EXC	13,558abcd	-	13,58cd
P-valor	<0,001	<0,001	<0,001
CV%	31,52	36,06	27,32

389 Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de
390 probabilidade. IPA – IPA Sertânia; MIU – Miúda; OEM – Orelha de Elefante mexicana. Cultivares de sorgo – 467; SF11;
391 P.288 – Progenitor 288. EXC – Exclusivo. Y – Produtividade; SC1, SC2 e SC3 – Sorgo Ciclo 1, Ciclo 2 e Ciclo 3,
392 respectivamente; Σ_c – Somatório produtividade dos ciclos de sorgo; P – Palma; PS – Sistema palma-sorgo.

393 Observa-se que no primeiro corte da palma forrageira, todas as cultivares de sorgo,
394 independente da configuração a qual estavam submetidas, apresentaram decréscimo em sua
395 produtividade ao longo do tempo. Quando avaliado o somatório das produtividades do sorgo
396 para massa fresca, verificou-se que a configuração que obteve melhor desempenho produtivo
397 foi SF11-EXC (135,88 Mg ha⁻¹), e o menor valor encontrado foi para configuração OEM-467
398 (61,53 Mg ha⁻¹). Para produtividade em massa seca os melhores resultados foram nas

399 configurações 467-EXC e SF11-EXC (42,52 e 42,03 Mg ha⁻¹), e menor desempenho para a
400 configuração OEM-SF11 (18,88 Mg ha⁻¹). Em se tratando da palma forrageira, os maiores
401 valores em massa fresca e seca foram observados para as configurações contendo o clone OEM
402 em sua constituição, com valores médios iguais a 222,11 MF Mg ha⁻¹ e 16,06 MF Mg ha⁻¹. Com
403 base nos valores presentes na Tabela 2 os cultivos exclusivos da palma e do sorgo obtiveram
404 boas produtividades, porém abaixo dos sistemas de cultivo consorciado, onde os sistemas que
405 obtiveram melhores desempenhos produtivos em massa fresca foram as configurações OEM-
406 P.288 e OEM-467 (301,79 e 293,83 Mg ha⁻¹, respectivamente), enquanto para a produtividade
407 em massa seca, apenas a configuração OEM-P.288 apresentou melhor rendimento (p<0,05),
408 com valor médio igual a 44,24 Mg ha⁻¹.

409 O comportamento produtivo no segundo corte (Tabela 2) foi semelhante ao primeiro,
410 em relação ao desempenho produtivo, no segundo corte da palma forrageira o sistema
411 consorciado promoveu um aumento significativo na biomassa, quando somado as
412 produtividades das culturas consorciadas. Os maiores valores de produtividade em massa fresca
413 para o sorgo foram constatados nas configurações P.288-EXC; 467-EXC e 467-OEM (43,36;
414 42,43 e 42,30 Mg ha⁻¹, respectivamente). Já para massa seca, as maiores médias foram
415 observadas nas configurações 467-OEM e 467-EXC, com valores iguais a 21,57 e 20,70 Mg
416 ha⁻¹, nessa ordem. Quando avaliado o rendimento da palma forrageira, percebeu-se que as
417 configurações com a presença do clone OEM, independente da cultivar de sorgo e do sistema,
418 apresentaram os melhores resultados tanto para massa fresca quanto para massa seca, com
419 valores médios iguais a 130,89 MF Mg ha⁻¹ e 10,57 MS Mg ha⁻¹. Ao final do ciclo produtivo,
420 com o somatório da produtividade do sorgo com o da palma, verificou-se que para rendimento
421 em massa fresca, as melhores configurações foram OEM-467 e OEM-P.288, com valores
422 médios iguais a 174,23 e 162,89 MF Mg ha⁻¹, respectivamente. Para o rendimento em massa
423 seca, a configuração que obteve maior produtividade média foi OEM-467, com valor igual a
424 31,90 MS Mg ha⁻¹.

425 Quando se avaliou as orientações e densidades de plantio sobre o rendimento em MF e
426 MS, do sorgo, da palma e do consórcio palma-sorgo, verificou-se que a interação entre os
427 fatores não foi significativa (p>0,05). No entanto, a modificação na orientação de plantio Norte-
428 Sul e Leste-Oeste influenciou significativamente (p<0,05) o rendimento produtivo da palma
429 forrageira, ao passo que não foi constatado resultado no rendimento do sorgo durante os quatro
430 ciclos estudados, nem no somatório palma-sorgo para as diferentes orientações cultivo (p>0,05)
431 (Tabela 3).

432 **Tabela 4.** Produtividade em massa fresca e seca da palma forrageira (*Opuntia stricta* (Haw.)
 433 Haw.) clone OEM e do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. 467, sob orientação de
 434 cultivo Leste-Oeste e Norte-Sul.

Rendimento Massa Fresca (Mg ha⁻¹)							
Orientação	Variáveis						
	Y_{SC1}	Y_{SC2}	Y_{SC3}	Y_{SC4}	Σ_C	Y_P	Y_{PS}
Leste-Oeste	38,33a	41,48a	21,21a	16,12a	117,15a	345,78a	462,93a
Norte-Sul	43,85a	47,11a	24,84a	14,62a	130,51a	307,99b	438,51a
P-valor	0,08	0,09	0,12	0,61	0,07	0,03	0,18
CV%	23,41	22,59	30,68	59,4	18,75	16,80	13,41

Rendimento Massa Seca (Mg ha⁻¹)							
Orientação	Variáveis						
	Y_{SC1}	Y_{SC2}	Y_{SC3}	Y_{SC4}	Σ_C	Y_P	Y_{PS}
Leste-Oeste	12,86a	13,85a	8,27a	5,04a	40,04a	21,69a	61,73a
Norte-Sul	12,72a	16,37a	8,08a	4,47a	41,41a	17,48b	58,89a
P-valor	0,91	0,18	0,87	0,57	0,63	0,01	0,33
CV%	32,51	37,99	43,11	66,10	22,13	25,24	15,06

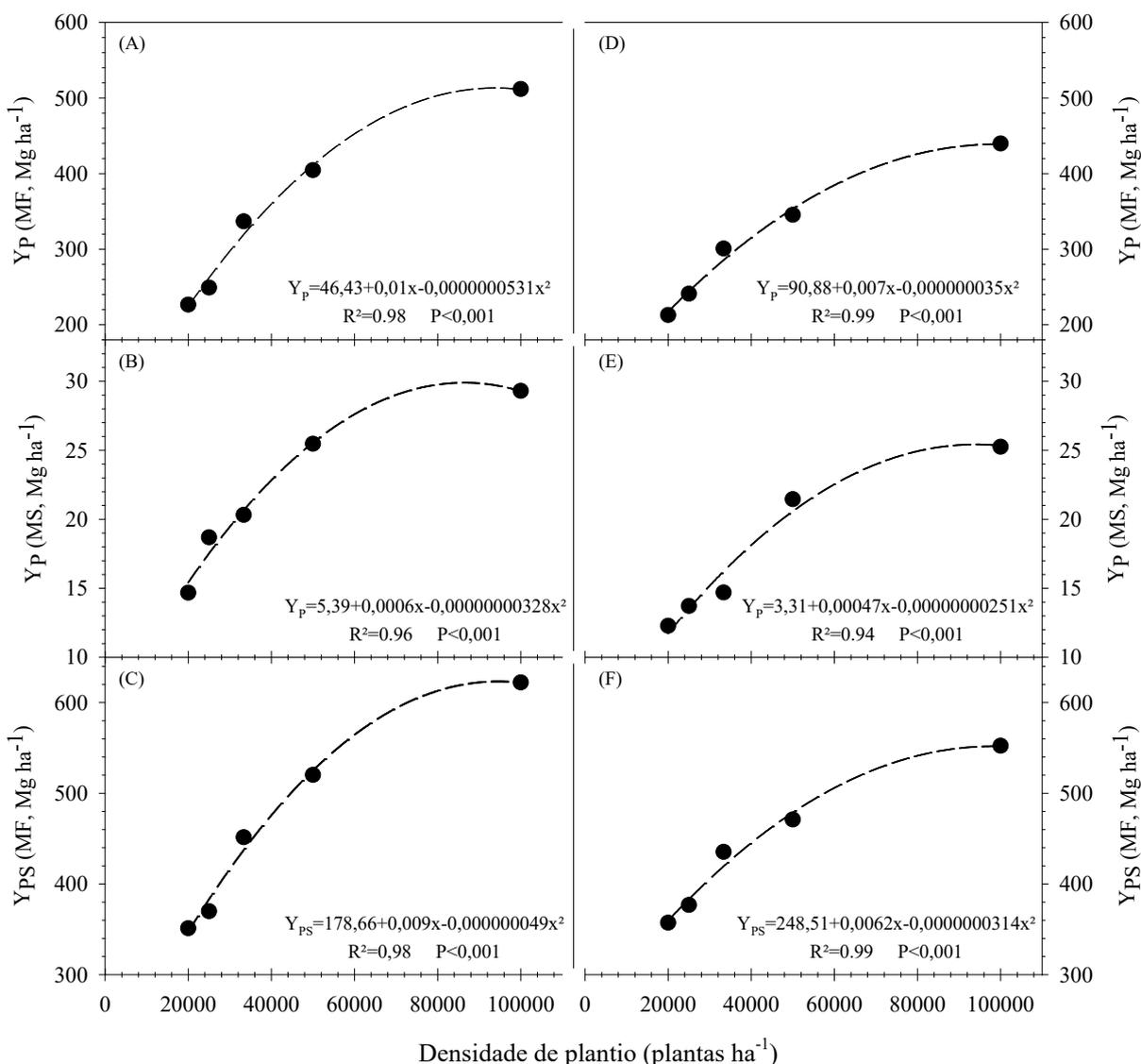
435 Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de
 436 probabilidade. Y – Produtividade; SC1, SC2, SC3 e SC4 – Sorgo Ciclo 1, Ciclo 2, Ciclo 3 e Ciclo 4, respectivamente; Σ_C –
 437 Somatório produtividade dos ciclos de sorgo; P – Palma; PS – Sistema palma-sorgo.

438 Para a palma forrageira a modificação na orientação de cultivo afetou significativamente
 439 o rendimento em MF e MS, apresentando melhor desempenho quando submetida a orientação
 440 Leste-Oeste (345,78 e 21,69 Mg ha⁻¹, respectivamente), com um incremento de 12,95% para
 441 MF e 24,08% para MS quando comparado a orientação Norte-Sul, que obteve valores médios
 442 de rendimento de MF e MS iguais a 306,11 e 17,48 Mg ha⁻¹, nessa ordem. Apesar desse
 443 acréscimo no rendimento da palma, essa diferença não foi verificada quando avaliado o
 444 somatório das produtividades da palma com o sorgo, com valores médios iguais a 449,77 MF
 445 Mg ha⁻¹ e 60,31 MS Mg ha⁻¹.

446 O rendimento em MF e MS do sorgo não foi afetado pelas diferentes orientações de
 447 plantio, em seus quatros ciclos produtivos, nem em seu somatório final, onde a partir do
 448 somatório de todas as colheitas de sorgo, verificou-se valores médios iguais a 123,83 MF Mg
 449 ha⁻¹ e 40,73 MS Mg ha⁻¹.

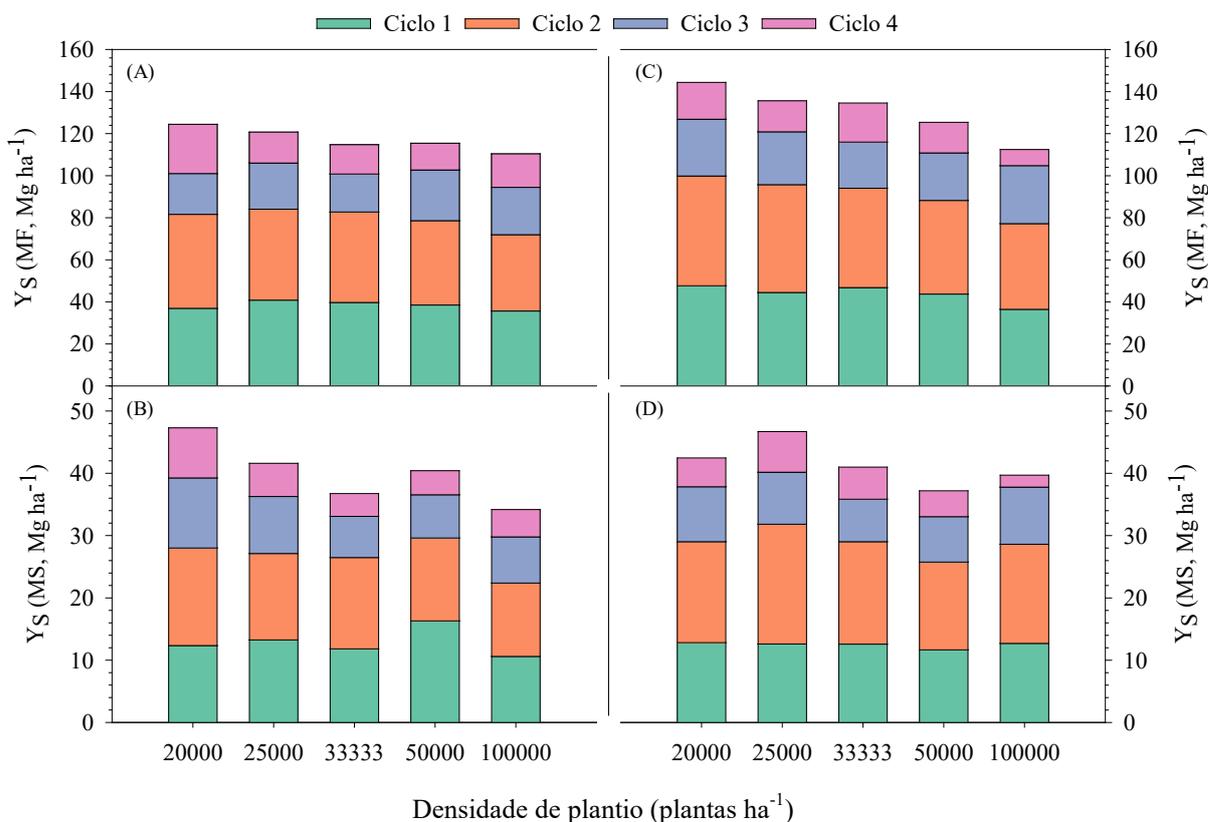
450 Em relação a densidade de plantio, por meio da modificação no espaçamento entre
 451 plantas, observou-se efeito significativo para a produtividade em MF da palma forrageira e do
 452 consórcio palma-sorgo, assim como para a produtividade em MS da palma forrageira, já a
 453 produtividade em MS do consórcio, tanto na orientação Leste-Oeste, quanto Norte-Sul, não foi
 454 verificado efeito significativo da densidade (Figura 7).

455 Com relação as variáveis com efeito significativo na aplicação dos tratamentos (Figura
456 7), a produtividade de MF e MS apresentou resposta positiva e quadrática ao aumento da
457 densidade para a palma forrageira e para o somatório dos rendimentos da palma e do sorgo.
458 Com ponto de máximo para sentido Leste-Oeste igual a 94.162, 91.463 e 90.180 plantas ha⁻¹ e
459 Norte-Sul igual a 98.870, 93.625 e 98.726 plantas ha⁻¹, para as variáveis produtividade MF
460 palma, MS palma e MF somatório palma-sorgo, respectivamente. Verificou-se que para a MF
461 da palma forrageira sob orientação de cultivo Leste-Oeste (Figura 7A), o incremento na
462 produtividade foi de 125,88% maior para a maior densidade de plantas (100.000 plantas ha⁻¹),
463 com produtividade igual a 511,84 MF Mg ha⁻¹, quando comparado a menor densidade (20.000
464 plantas ha⁻¹), que obteve produtividade média de 226,59 MF Mg ha⁻¹. Já para a palma cultivada
465 na orientação Norte-Sul, esse acréscimo foi de 101,60% maior, com produtividade igual a
466 439,80 MF Mg ha⁻¹ na maior densidade, e 218,15 MF Mg ha⁻¹ para a menor (Figura 7D). Em
467 se tratando do rendimento de MS para a palma forrageira, o incremento foi de 99,72% maior
468 para o cultivo em orientação Leste-Oeste, apresentando produtividade para maior densidade
469 igual a 29,30 MS Mg ha⁻¹ e 14,67 MS Mg ha⁻¹ na menor (Figura 7B), e de 105,78% (25,25 e
470 12,27 MS Mg ha⁻¹) para a palma submetida a orientação de plantio Norte-Sul (Figura 7E), isso
471 quando comparado os dois extremos de densidade (100.000 e 20.000 plantas ha⁻¹). Para o
472 somatório das produtividades da palma com o sorgo, o acréscimo da produtividade de MF foi
473 de 77,24%, quando comparado a maior (622,21 MF Mg ha⁻¹) e a menor densidade de plantio
474 (351,05 MF Mg ha⁻¹) sob orientação de cultivo Leste-Oeste (Figura 7C), e aumento de 52,34%
475 quando submetido a orientação Norte-Sul, com produtividade igual a 552,29 MF Mg ha⁻¹ para
476 maior densidade e 362,54 MF Mg ha⁻¹, quando submetido a menor densidade de plantio (Figura
477 7F). A MS do consórcio palma-sorgo não apresentou diferença significativa, com valor médio
478 igual a 60,77 Mg ha⁻¹ para a orientação Leste-Oeste e 58,89 Mg ha⁻¹ para a orientação Norte-
479 Sul
480



481
 482 **Figura 7.** Produtividade do consórcio palma-sorgo, sob orientação de cultivo Leste-Oeste (A,
 483 B e C) e Norte-Sul (D, E e F), cultivada sob diferentes densidades de plantio (diferentes
 484 espaçamentos entre plantas), em ambiente semiárido. Y – Produtividade; P – Palma; PS –
 485 Somatório palma-sorgo; MF – Massa Fresca; MS – Massa Seca.

486 Para o sorgo, as diferentes densidades de plantio da palma forrageira não afetaram o
 487 rendimento em MF e MS (Figura 8). O valor médio para o rendimento em MF do sorgo,
 488 considerando todos os ciclos, foi igual a 117,15 Mg ha⁻¹ e 130,51 Mg ha⁻¹, para a orientação de
 489 plantio Leste-Oeste (Figura 8A) e Norte-Sul (Figura 8C), nessa ordem. Para o rendimento em
 490 MS, o valor médio obtido foi de 40,04 Mg ha⁻¹ quando o sorgo foi submetido a orientação de
 491 cultivo Leste-Oeste (Figura 8B), e 41,41 Mg ha⁻¹ para a orientação Norte-Sul (Figura 8D).

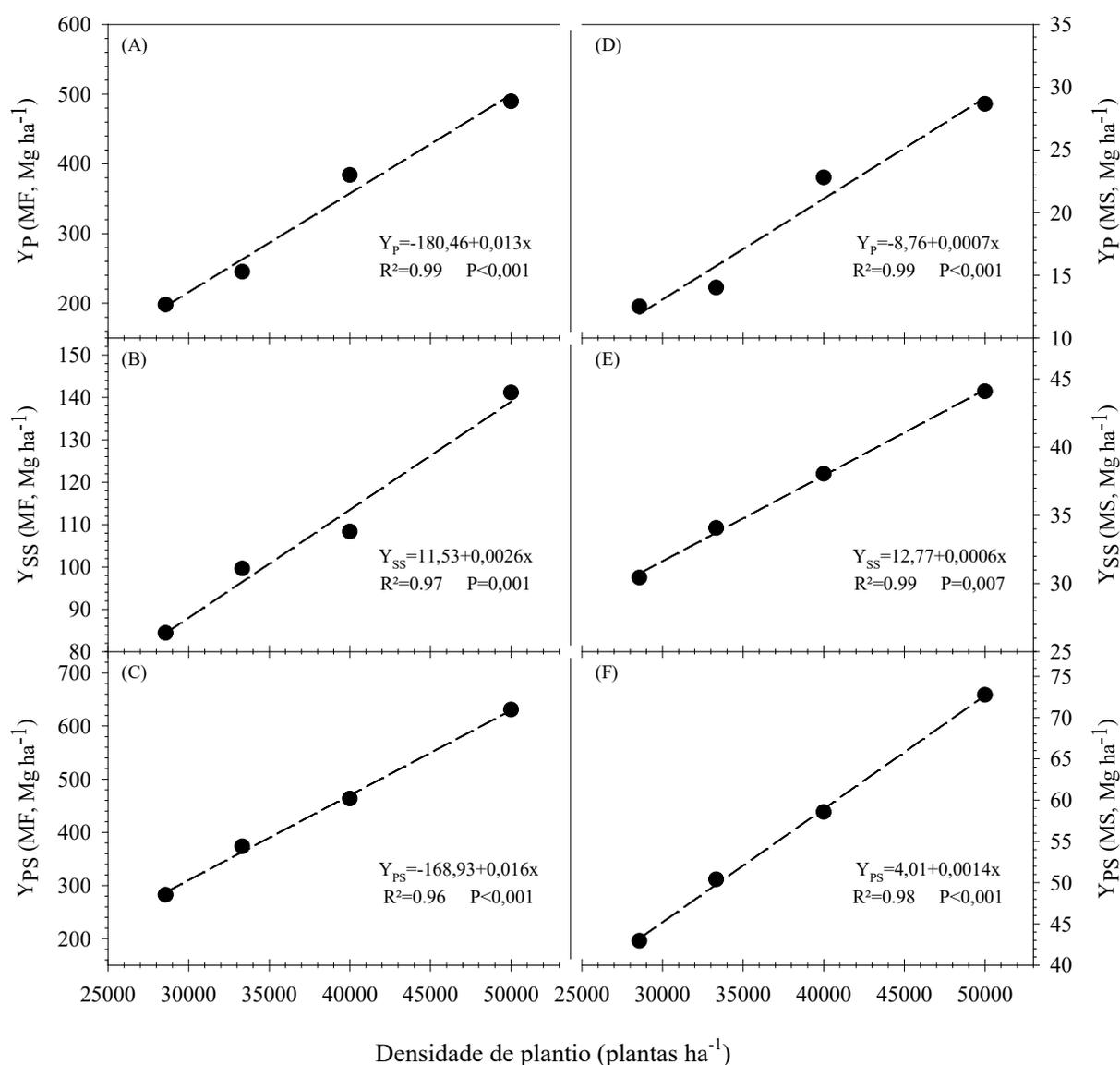


493
494
495
496
497

Figura 8. Produtividade em massa fresca (A e C) e seca (B e D) dos quatro ciclos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), consorciado com palma forrageira em diferentes densidades de plantio e orientações de cultivo Leste-Oeste (A e B) e Norte-Sul (C e D). Y – Produtividade; S – Sorgo.

498
499
500

O rendimento produtivo em MF e MS da palma forrageira, do somatório dos ciclos de sorgo e do consórcio palma-sorgo (Figura 9) sob diferentes densidades de plantio, por meio da modificação do espaçamento entre linhas apresentou diferença significativa ($p < 0,05$).



501
 502 **Figura 9.** Produtividade em massa fresca (A, B e C) e massa seca (D, E e F) da palma forrageira
 503 (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) e do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), em sistema
 504 consorciado, sob diferentes densidades de plantio (espaçamento entre linhas). Y –
 505 Produtividade; P – Palma; Σ_S – Somatório sorgo; PS – Somatório palma-sorgo; MF – Massa
 506 fresca; MS – Massa seca.

507 Observa-se na Figura 9 que as produtividades em MF e MS apresentaram respostas
 508 positivas e lineares ao aumento na densidade de plantio para a palma forrageira e sorgo sob
 509 irrigação com água salina (1,6 dS m⁻¹) e, conseqüentemente, para o somatório das duas
 510 produtividades (i.e., soma da produtividade da palma com todos os ciclos do sorgo). Para o
 511 rendimento em MF da palma forrageira (Figura 9A), constatou-se que o aumento da densidade
 512 promoveu um aumento de 147,4 %, quando submetida a maior densidade (50.000 plantas ha⁻¹)
 513 com rendimento igual a 489,56MF Mg ha⁻¹, em comparação a menor (28.571 plantas ha⁻¹),
 514 com 197,88 MF Mg ha⁻¹, no caso do rendimento de MS para a palma (Figura 9D) o acréscimo

515 foi de 128,91%, com rendimento igual a 28,66 e 12,52 MS Mg ha⁻¹, para maior e menor
 516 densidade de plantio, nessa ordem. O somatório dos quatros ciclos do sorgo apresentou um
 517 rendimento de MF 67,15% maior na maior densidade (141,13 MF Mg ha⁻¹) quando comparada
 518 com a menor (84,43 MF Mg ha⁻¹) (Figura 9B), já o rendimento de MS (Figura 9E) foi de 44,85%
 519 superior quando submetido a maior densidade (44,08 MS Mg ha⁻¹).

520 Em relação ao somatório da produtividade da palma com os quatro ciclos de sorgo, quando
 521 avaliado o rendimento de MF (Figura 9C) verificou-se que o aumento da densidade (630,69
 522 MF Mg ha⁻¹) propiciou um aumento de 123,40% em comparação a menor densidade (282,31
 523 MF Mg ha⁻¹). Para o rendimento de MS (Figura 9F) a elevação da densidade favoreceu um
 524 incremento de 69,36% no consórcio palma-sorgo, com produtividade igual a 72,74 MS Mg ha⁻¹
 525 para maior densidade de plantio e 42,95 MS Mg ha⁻¹ para a menor.

526 3.2 Eficiência biológica

527 Na Tabela 5 são apresentados os valores dos índices de eficiência biológica para as
 528 configurações de cultivo palma-sorgo, nos quatro ciclos do sorgo e os dois cortes da palma.
 529 Observa-se que os índices de eficiência biológica apresentaram comportamento semelhante
 530 para os diferentes ciclos de do sorgo, onde as diferentes configurações do consórcio palma-
 531 sorgo proporcionaram diferença nos valores dos índices avaliados, exceto para o somatório ao
 532 final do primeiro corte da palma forrageira, onde para LER, RAET, CET e IPS não foi
 533 evidenciado diferença significativa, com valores médios iguais a 1,61, 1,81, 0,59 e 28,98,
 534 respectivamente. De maneira geral os valores de LER, RAET, CET e IPS apresentam bons
 535 resultados para o cultivo consorciado, onde os valores de LER acima de 1 indicaram eficiência
 536 biológica em optar pelo sistema consorciado, sendo este reforçado quando observado o RAET,
 537 o qual leva em consideração o tempo e o espaço, sendo este superior a uma unidade, por sua
 538 vez o CET superior a 0,25 indica que há vantagem produtiva em optar pelo consórcio em
 539 comparação ao monocultivo. Verifica-se então que quando avaliado o rendimento final a partir
 540 do somatório das produtividades do sorgo, há vantagem produtiva no sistema de produção do
 541 consórcio palma-sorgo, em comparação a seus cultivos de forma exclusiva.

542 **Tabela 5.** Índices de eficiência biológica de clones de palma forrageira e cultivares de sorgo,
 543 sob sistema consorciado, nos diferentes ciclos produtivos do sorgo e total (02/2019-02/2020 e
 544 02/2020-07/2020).

		02/2019 - 02/2020					
Tratamentos		Variáveis					
		LER _a	LER _b	LER	RAET	CET	IPS
CICLO 1	IPA-467	0,87bcd	0,70abc	1,57cd	1,56cd	0,61abcd	17,47abc
	IPA-P.288	1,09bc	0,98a	2,08b	2,06b	1,07a	21,64ab
	IPA-SF11	0,74cd	0,57bc	1,32de	1,31de	0,44bcd	16,50abc
	MIU-467	1,46b	0,46c	1,92bc	1,90bc	0,67abc	12,85bc
	MIU-P.288	0,27d	0,64abc	0,92e	0,92e	0,17d	12,10c

	MIU-SF11	0,36d	0,62bc	0,99e	0,98e	0,22cd	14,89abc
	OEM-467	1,42b	0,62bc	2,05bc	2,03bc	0,89ab	14,40abc
	OEM-P.288	0,48cd	0,82ab	1,30de	1,29de	0,39cd	22,87a
	OEM-SF11	2,25a	0,46c	2,72a	2,68a	0,91ab	16,59abc
	P-valor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003
	Tratamentos	Variáveis					
		LER_a	LER_b	LER	RAET	CET	IPS
CICLO 2	IPA-467	0,57bc	0,68abcd	1,25bcd	1,13bcd	0,38b	10,20
	IPA-P.288	0,28c	0,75abc	1,04cd	0,98bcd	0,21b	9,11
	IPA-SF11	0,31c	0,63abcd	0,94cd	0,88cd	0,19b	8,40
	MIU-467	0,28c	0,41cd	0,69d	0,63d	0,11b	6,68
	MIU-P.288	0,29c	0,75ab	1,05cd	0,98bcd	0,22b	8,80
	MIU-SF11	1,53a	0,60bcd	2,13a	1,81a	1,11a	8,09
	OEM-467	1,37a	0,42bcd	1,80ab	1,51ab	0,61ab	7,96
	OEM-P.288	1,10ab	0,94a	2,04a	1,81a	1,06a	8,87
	OEM-SF11	1,118a	0,36d	1,55abc	1,30abc	0,33b	8,43
	P-valor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,46
	Tratamentos	Variáveis					
		LER_a	LER_b	LER	RAET	CET	IPS
CICLO 3	IPA-467	0,86ab	0,52	1,38abc	1,27abc	0,29abc	4,73
	IPA-P.288	0,79ab	0,65	1,44ab	1,33ab	0,49ab	5,64
	IPA-SF11	1,12a	0,55	1,67a	1,52a	0,62a	3,99
	MIU-467	0,37b	0,34	0,71d	0,70cd	0,16bc	3,90
	MIU-P.288	0,59ab	0,79	1,39abc	1,30ab	0,42abc	6,81
	MIU-SF11	0,40b	0,35	0,76cd	0,66d	0,13c	3,02
	OEM-467	1,12a	0,33	1,45ab	1,30ab	0,37abc	7,93
	OEM-P.288	0,34b	0,55	0,89bcd	0,85bcd	0,17bc	6,64
	OEM-SF11	0,72ab	0,60	1,32abcd	1,22abcd	0,41abc	4,42
	P-valor	<0,001	0,060	<0,001	<0,001	<0,001	0,77
	Tratamentos	Variáveis					
		LER_a	LER_b	LER	RAET	CET	IPS
TOTAL	IPA-467	1,22a	0,64abc	1,87	2,13	0,71	32,75
	IPA-P.288	0,60b	0,86ab	1,46	1,59	0,52	34,34
	IPA-SF11	0,90ab	0,66abc	1,56	1,76	0,58	27,88
	MIU-467	0,77ab	0,51c	1,29	1,45	0,38	23,05
	MIU-P.288	0,60b	0,83ab	1,44	1,57	0,51	26,16
	MIU-SF11	1,17a	0,59bc	1,77	2,02	0,69	25,76
	OEM-467	1,19a	0,49c	1,68	1,94	0,59	27,72
	OEM-P.288	0,90ab	0,91a	1,81	2,00	0,76	37,35
	OEM-SF11	1,05ab	0,57bc	1,62	1,84	0,58	25,84
	P-valor	0,001	<0,001	0,060	0,080	0,11	0,09
02/2019 - 07/2020							
	Tratamentos	Variáveis					
		LER_a	LER_b	LER	RAET	CET	IPS
CICLO 1/ TOTAL	IPA-467	1,79a	0,57abc	2,36a	2,90a	1,06abc	1,58b
	IPA-P.288	0,28b	0,56abc	0,84b	0,93b	0,16c	0,82b
	IPA-SF11	1,34a	0,52bc	1,86ab	2,26ab	0,73bc	1,30b
	MIU-467	1,41a	0,84ab	2,25a	2,68a	0,90bc	2,30b
	MIU-P.288	1,98a	0,52bc	2,50a	3,08a	0,80bc	1,51b
	MIU-SF11	2,28a	0,26c	2,54a	3,22a	0,44bc	1,30b
	OEM-467	1,63a	1,10a	2,73a	3,22a	1,85a	11,65a
	OEM-P.288	1,84a	0,77abc	2,61a	3,16a	1,19ab	11,70a
	OEM-SF11	1,42a	0,83ab	2,25a	2,70a	1,21ab	13,50a
	P-valor	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

545 Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de
546 probabilidade. IPA – IPA Sertânia; MIL – Miúda; OEM – Orelha de Elefante mexicana. Cultivares de sorgo – 467; SF11; P.288
547 – Progenitor 288. EXC – Exclusivo. LER_a – Uso eficiente da terra parcial da palma forrageira; LER_b – Uso eficiente da terra
548 parcial do sorgo; LER – Uso eficiente da terra total; RAET – Razão de área equivalente no tempo; CET – Coeficiente equivalente
549 de terra; IPS – Índice de produtividade do sistema (Mg MS ha⁻¹).

550 Para o ciclo 1 do sorgo, apesar da LER_a e LER_b terem apresentado valores inferiores a
551 1, indicando uma desvantagem produtiva para as culturas sob consórcio, quando avaliado os

552 valores de LER (i.e. LERa + LERb) verificou-se que há sim uma vantagem produtiva em se
553 realizar o consórcio palma-sorgo ($LER > 1$), exceto para as configurações MIU-P.288 e MIU-
554 SF11 (0,92 e 0,99, respectivamente). O RAET obteve o mesmo comportamento que os
555 verificados na LER (i.e., para todas as configurações, exceto para MIU-P.288 e MIU-SF11,
556 houve vantagem produtiva), assim como o CET, com valores superiores a 25%, com exceção
557 das configurações MIU-288 e MIU-SF11. O IPS apresentou valor superior aos demais para a
558 configuração OEM-P.288 (22,87 Mg ha⁻¹), sendo este 89% maior que o menor resultado, o qual
559 foi obtido para a configuração MIU-P.288 (12,10).

560 Em todas as configurações para o ciclo 2 do sorgo, com exceção de IPA-SF11 e MIU-
561 467, os valores de LER indicaram eficiência no uso do consorcio, sendo eles maiores que 1.
562 Para a RAET as configurações que obtiveram vantagem produtiva foram a IPA-467, MIU-
563 SF11, OEM-467, OEM-P.288 e OEM-SF11, com maiores valores encontrados nas
564 configurações MIU-SF11 e OEM-P.288, as quais não diferiram significativamente entre si, com
565 valor médio de 1,81, com menor resultado obtido na configuração MIU-467. Avaliando o CET,
566 observa-se que comportamento se assemelha aos resultados obtidos na LER, com melhores
567 resultados para IPA-467, MIU-SF11, OEM-467, OEM-P.288 e OEM-SF11 (>25%). Para o IPS
568 não foi constatado diferença significativa entre os tratamentos estudados, com valor médio igual
569 a 8,50 Mg ha⁻¹.

570 No terceiro ciclo do sorgo, com exceção das configurações MIU-467, MIU-SF11 e
571 OEM-P.288, o sistema consorciado apresentou bons resultados, com valores de LER superior
572 a unidade ($LER > 1$), mesmo que para a maioria das configurações os valores de LERa e LERb
573 (< 1) tenham mostrado que as culturas obtiveram desvantagem produtiva no sistema
574 consorciado. Isso evidencia que o consorcio teve uma maior eficiência que os cultivos
575 exclusivo. A configuração que obteve maior valor de LER foi a IPA-SF11 (1,67) e menor valor
576 para MIU-467 (0,71). A RAET e o CET seguiram o mesmo comportamento que a LER, com
577 desvantagem produtiva quando utilizado as configurações MIU-467, MIU-SF11 e OEM-P.288,
578 com valores inferiores a 1,00 para RAET e menores que 25% para CET, e melhor desempenho
579 para a configuração IPA-SF11 (1,52 e 0,62, respectivamente) e menor para MIU-467 (0,66 e
580 0,13, respectivamente). O IPS apresentou valor médio igual a 5,23 Mg ha⁻¹ em massa seca.

581 Embora tenha ocorrido variação nos diferentes ciclos de sorgo, quando observado o
582 ciclo total da palma forrageira, juntamente com os três ciclos de sorgo, foi verificado que
583 mesmo com valores de LERa e LERb inferiores a 1,00 em algumas configurações, mostrando
584 que tem-se uma desvantagem para ambas as culturas quando consorciadas, no entanto, os

585 valores de LER superiores a uma unidade (em média, 1,61) evidenciam que o consórcio palma-
586 sorgo independente da configuração de cultivo, apresenta vantagem produtiva mais eficiente
587 que o cultivo exclusivo. Isso é reforçado quando avaliado os índices RAET e CET que
588 obtiveram valores superiores a 1,00 e 0,25, respectivamente, indicando a eficiência no sistema
589 consorciado palma-sorgo, com valores médios iguais a 1,81 e 0,59, respectivamente. O valor
590 médio de IPS foi igual a 28,98 Mg ha⁻¹ de massa seca.

591 Para o segundo corte da palma forrageira estudado, foi observado que para todos os
592 índices de eficiência biológica houve diferença significativa ($p < 0,05$) para as configurações de
593 cultivo utilizadas. No entanto, quando avaliado a LER é visto que para todas as configurações,
594 com exceção da IPA-P.288, o qual obteve menor valor, sendo este inferior unidade (0,84), há
595 efeito positivo quando utilizado o sistema consorciado ($LER > 1$), mesmo que as respostas
596 isoladas de algumas configurações para as variáveis LERa e LERb, tenham dado valores
597 menores que 1,00. Para o índice RAET e CET o comportamento se assemelha ao constatado na
598 LER, com vantagem produtiva para sistema consorciado, exceto para a configuração IPA-
599 P.288, que apresenta menor valor em comparação aos demais tratamentos, além de obter valor
600 inferior a 1,00 para RAET e 0,16 para CET, indicando a desvantagem em se utilizar essa
601 configuração. O IPS apresentou maiores valores quando a configuração utilizada continha o
602 clone de palma forrageira OEM em sua combinação, independentemente das cultivares de sorgo
603 utilizadas, diferindo estatisticamente das demais configurações, com valores médios iguais a
604 13,50; 11,70 e 11,65 (OEM-SF11, OEM-467 e OEM-P.288, respectivamente). De modo que,
605 as demais configurações não apresentaram diferença significativa entre si.

606

607 *3.3 Habilidade competitiva*

608 Os valores dos índices de habilidade competitiva para as diferentes configurações de
609 cultivo dos quatro ciclos de sorgo e dois ciclos do consórcio palma-sorgo, são apresentados na
610 Tabela 6. De maneira geral, os índices estudados apresentaram comportamento semelhante para
611 os diferentes ciclos de sorgo e palma, mostrando dominância da palma sobre o sorgo,
612 independente da configuração estudada, com vantagem acumulada do consorcio em relação ao
613 sistema exclusivo. Dito isso, os valores de coeficientes de adensamento relativos da
614 palma (CARab) e do sorgo (CARba), assim como o produto de CARab e CARba (CAR), não
615 apresentaram diferença significativamente para as diferentes configurações. O índice de
616 agressividade da palma (Aa) foi positivo, enquanto para agressividade do sorgo (Ab) os valores
617 foram negativos, indicando a dominância da palma em relação ao sorgo, sendo confirmado com
618 os maiores valores encontrados para razão de competitividade da palma (RCa), superiores a

619 uma unidade e, inferiores para razão de competitividade do sorgo (RCb). Quando estudado a
 620 perda ou ganho atual de rendimento da palma (PGARa), do sorgo (PGARb) e seu somatório
 621 (PGAR), é constatado que há vantagem em optar pelo sistema consorciado em relação ao
 622 exclusivo.

623 **Tabela 6.** Índices de habilidade competitiva de clones de palma forrageira e cultivares de sorgo,
 624 sob sistema consorciado, nos diferentes ciclos produtivos do sorgo e total, cultivados em
 625 ambiente semiárido (02/2019-02/2020 e 02/2020-07/2020).

02/2019 - 02/2020											
CICLO	Tratamentos	Variáveis									
		CAR _{ab}	CAR _{ba}	CAR	A _{ab}	A _{ba}	RC _a	RC _b	PGAR _a	PGAR _b	PGAR
1	IPA-467	-6,10	0,24	-0,46	19,37	-19,37	20,65ab	0,05bc	1493,31ab	75,63abc	1259,28ab
	IPA-P.288	-11,28	0,43	-15,74	13,88	-13,88	20,97ab	0,05bc	1183,65a	105,98a	1599,29a
	IPA-SF11	1,13	0,17	1,87	8,44	-8,44	16,97ab	0,05bc	1071,04abc	62,24bc	1133,28abc
	MIU-467	-12,90	0,30	-0,75	18,92	-18,92	28,47a	0,04c	1030,76abc	52,20c	1082,97abc
	MIU-P.288	-0,27	0,024	1,77	8,67	-8,67	5,10b	0,23a	353,74d	70,28abc	424,02d
	MIU-SF11	4,61	0,21	0,75	10,65	-10,65	5,80b	0,21ab	380,97d	68,81abc	449,78d
	OEM-467	-1,66	0,66	-0,79	3,54	-3,54	7,59b	0,15abc	596,64bcd	83,29abc	679,93bcd
	OEM-P.288	-6,82	0,63	-2,86	8,02	-8,02	4,87b	0,22a	498,80cd	101,68ab	600,49cd
	OEM-SF11	-5,28	0,55	-6,22	5,59	-5,59	15,73ab	0,09abc	769,35bcd	62,26bc	858,61bcd
	P-valor	0,89	0,92	0,14	0,58	0,58	0,01	<0,001	<0,001	0,002	<0,001
CICLO	Tratamentos	Variáveis									
		CAR _{ab}	CAR _{ba}	CAR	A _{ab}	A _{ba}	RC _a	RC _b	PGAR _a	PGAR _b	PGAR
2	IPA-467	17,83	-0,20	-3,01	22,55	-22,55	15,37b	0,06ab	1087,94b	71,31b	1159,25b
	IPA-P.288	6,56	0,53	2,07	3,49	-3,49	6,72b	0,25a	459,76c	80,68ab	540,44c
	IPA-SF11	5,48	0,15	1,37	13,79	-13,79	8,23b	0,16ab	495,20c	66,99b	562,20c
	MIU-467	0,29	0,10	0,27	7,02	-7,02	10,76b	0,15ab	479,92c	44,45b	524,38c
	MIU-P.288	5,09	0,21	0,90	2,63	-2,63	5,23b	0,23a	414,90c	81,19ab	496,09c
	MIU-SF11	-12,67	0,14	-2,47	15,79	-15,79	31,76a	0,03b	1942,23a	64,17b	2006,40a
	OEM-467	15,43	0,21	1,91	6,60	-6,60	12,33b	0,08ab	672,33bc	52,77b	725,11bc
	OEM-P.288	-0,23	2,08	-3,19	10,20	-10,20	4,27b	0,24a	498,73c	120,78a	619,51c
	OEM-SF11	-0,01	-3,11	16,81	8,27	-8,27	11,30b	0,09ab	513,82c	46,65b	560,47c
	P-valor	0,67	0,50	0,75	0,15	0,15	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001
CICLO	Tratamentos	Variáveis									
		CAR _{ab}	CAR _{ba}	CAR	A _{ab}	A _{ba}	RC _a	RC _b	PGAR _a	PGAR _b	PGAR
3	IPA-467	4,80	0,25	-0,38	21,62	-21,62	20,49a	0,04b	787,97ab	55,64	843,61ab
	IPA-P.288	-16,37	0,33	-4,27	14,28	-14,28	9,73ab	0,10b	691,75abc	73,12	764,87abc
	IPA-SF11	-28,40	0,20	-5,93	10,33	-10,33	21,44a	0,06b	877,12a	61,46	938,58a
	MIU-467	-7,34	0,06	-0,43	15,91	-15,91	12,46ab	0,10b	370,34bcde	37,20	407,54bcd
	MIU-P.288	-0,05	-2,26	10,37	18,52	-18,52	10,01ab	0,21b	567,77abcd	89,82	657,60abc
	MIU-SF11	-33,27	0,46	-0,50	5,22	-5,22	8,13ab	0,15b	325,70cde	40,20	365,91cd
	OEM-467	2,89	0,21	-0,05	5,93	-5,93	5,75ab	0,24b	299,38cde	60,24	359,62cd
	OEM-P.288	0,15	0,68	-0,39	6,14	-6,14	1,54b	0,89a	108,18e	79,45	187,63d
	OEM-SF11	-0,23	0,37	-0,04	6,23	-6,23	2,48b	0,57ab	207,003de	102,70	309,74cd
	P-valor	0,61	0,19	0,61	0,44	0,444	0,003	0,001	<0,01	0,08	<0,001
TOTAL	Tratamentos	Variáveis									
		CAR _{ab}	CAR _{ba}	CAR	A _{ab}	A _{ba}	RC _a	RC _b	PGAR _a	PGAR _b	PGAR
	IPA-467	13,83ab	0,17	3,37	14,16	-14,16	27,08a	0,04b	1097,27a	69,00b	116,281a
	IPA-P.288	-22,05b	0,70	-10,88	14,45	-14,45	8,35b	0,18ab	775,08ab	93,96ab	869,04ab
	IPA-SF11	7,76ab	0,5	-1,47	13,43	-13,43	17,97ab	0,07ab	951,35ab	71,92b	1023,28ab
	MIU-467	12,56ab	0,13	1,59	9,06	-9,06	13,21ab	0,08ab	786,45ab	57,14b	843,60ab
	MIU-P.288	11,65ab	0,29	1,65	10,98	-10,98	8,37b	0,15ab	706,67ab	92,13ab	798,80ab
	MIU-SF11	-9,05ab	0,18	-1,46	7,98	-7,98	18,13ab	0,06ab	916,14ab	65,86b	982,00ab
	OEM-467	7,39ab	0,41	3,41	2,95	-2,95	6,25b	0,18ab	429,97b	69,21b	499,19b
	OEM-P.288	26,58a	0,003	17,82	3,09	-3,09	3,10b	0,32a	369,91b	119,08a	488,99b
	OEM-SF11	-2,53ab	0,54	-0,80	2,17	-2,17	5,99b	0,30ab	412,72b	82,23ab	494,95b
	P-valor	0,04	0,99	0,15	0,07	0,07	0,002	0,01	0,006	<0,001	0,009

02/2019 - 07/2020

CICLO 1/ TOTAL	Tratamentos	Variáveis									
		CAR _{ab}	CAR _{ba}	CAR	A _{ab}	A _{ba}	RC _a	RC _b	PGAR _a	PGAR _b	PGAR
	IPA-467	-23,09	0,43	-6,41	28,53a	-28,53b	35,45ab	0,03bc	2033,72a	91,27	2125,00a
	IPA-P.288	4,45	0,08	-1,06	6,28b	-6,28a	9,80b	0,13bc	722,48bc	94,45	816,93bc
	IPA-SF11	-7,79	0,11	-1,53	14,86ab	-14,86ab	20,51b	0,05bc	1132,41ab	81,94	1214,35abc
	MIU-467	-19,25	0,42	3,54	14,12ab	-14,12ab	18,69b	0,09bc	1507,77ab	95,70	1603,47ab
	MIU-P.288	-2,23	-0,11	-5,94	16,09ab	-16,09ab	20,86b	0,05bc	722,54bc	72,08	794,63bc
	MIU-SF11	10,21	0,04	0,42	16,35ab	-16,35ab	65,26a	0,02c	1409,74ab	28,99	1438,73abc
	OEM-467	-3,04	-0,06	-7,99	2,19b	-2,19a	2,80b	0,43a	367,60c	148,14	515,7c
	OEM-P.288	-14,23	1,09	1,46	3,00b	-3,00a	4,40b	0,27ab	405,29c	104,52	509,82c
	OEM-SF11	1,90	0,91	9,95	3,60b	-3,60a	5,01b	0,24abc	448,36c	87,53	535,89c
	P-valor	0,62	0,37	0,76	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,06	<0,001

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. IPA – IPA Sertânia; MIL – Miúda; OEM – Orelha de Elefante mexicana. Cultivares de sorgo – 467; SF11; P.288 – Progenitor 288. CAR_{ab} – Coeficiente de adensamento relativo da palma sobre o sorgo; CAR_{ba} – Coeficiente de adensamento relativo do sorgo sobre a palma; CAR – Coeficiente de adensamento relativo; A_{ab} – Agressividade da palma sobre o sorgo; A_{ba} – Agressividade do sorgo sobre a palma; PGAR_a – Perda ou ganho atual de rendimento da palma; PGAR_b – Perda ou ganho atual de rendimento do sorgo; PGAR – Perda ou ganho atual de rendimento; RC_a – Razão de competitividade da palma; RC_b – Razão de competitividade do sorgo.

626 Para o primeiro ciclo do sorgo, observa-se que para CAR_{ba} todos os valores foram
627 inferiores a uma unidade. Para CAR_{ab}, verificou-se valores superiores a 1,00 nas configurações
628 IPA-SF11 e MIU-SF11. Por sua vez, quando avaliado o produto dos coeficientes parciais da
629 palma e do sorgo (CAR) as configurações IPA-SF11 e MIU-P.288 apresentaram valores
630 superiores a 1,00, indicando vantagem para essas configurações. O índice de agressividade não
631 apresentou diferença significativa, com resultados positivos para A_a e negativos A_b, indicando
632 dominância da palma sobre o sorgo. Isso é corroborado quando avaliado RC_a e RC_b, que
633 mesmo apresentando diferença significativa entre os tratamentos ($p < 0,05$), os valores de RC_a
634 foram superiores a 1,00, enquanto para RC_b os valores foram inferiores a uma unidade, para
635 todos as configurações estudadas. O Maior valor de RC_a e RC_b foi encontrado na configuração
636 MIU-467 e MIU-P.288, respectivamente. Para PGAR_a, PGAR_b e PGAR foi verificado
637 diferença significativa para as diferentes configurações ($p < 0,05$), com maiores valores para a
638 configuração IPA-P.288.

639 No ciclo 2 os valores de CAR_a, CAR_b e CAR, não apresentaram diferença significativa,
640 ainda que tenha havido variação em seus valores. Para as configurações IPA-P.288, IPA-SF11,
641 OEM-467 e OEM-SF11, os valores de CAR encontrados foram superiores a uma unidade,
642 indicando haver vantagem produtiva no sistema. O índice de agressividade não apresentou
643 diferença significativa, com valores positivos para A_a e negativos para A_b. Para RC_a RC_b foi
644 verificado diferença significativa, com maiores valores para as configurações MIU-SF11 para
645 RC_a e IPA-P.288, MIU-P.288 e OEM-P.288 para RC_b. Observa-se diferença significativa para
646 PGAR_a, PGAR_b e PGAR, com maiores valores para as configurações MIU-SF11, OEM-P.288
647 e MIU-SF11, respectivamente.

648 O terceiro ciclos apresenta variação nos valores de CAR_a, CAR_b e CAR, no entanto,
649 não foi evidenciado diferença significativa entre os tratamentos. Com valores de CAR acima

650 de uma unidade apenas para MIU-P.288 (em média, 10,37). Os índices Aa e Ab não
651 apresentaram diferença significativa, com domínio de palma sobre o sorgo (i.e., $Aa > 1$ e $Ab < 1$).
652 Houve diferença significativa para os índices RCa e RCb, com maiores valores para as
653 configurações IPA-467 e OEM-P.288, respectivamente. Para PGARa e PGAR, foi observado
654 diferença significativa, com maiores valores para IPA-SF11, quando avaliado PGARb, não
655 houve diferença significativa, mas apresentaram valores satisfatórios, superiores a 1,00.

656 Quando avaliado o primeiro corte da palma, verifica-se que as configurações que
657 obtiveram valores acima de uma unidade para CAR, foram IPA-467, MIU-467, MIU-P.288,
658 OEM-467 e OEM-P.288, indicando a eficiência no sistema adotado. Os índices Aa e Ab,
659 demonstram que a palma forrageira se manteve dominante sobre o sorgo. A razão de
660 competitividade para a palma e sorgo apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$), com
661 maiores valores observados nas configurações IPA-467 e OEM-P.288, para RCa e RCb,
662 respectivamente. Para os índices PGARa, PGARb e PGAR observa-se diferença significativa,
663 com resultados superiores nas configurações IPA-467, OEM-P.288 e IPA-467,
664 respectivamente.

665 Para o segundo corte da palma e quarto ciclo do sorgo observa-se que para os índices
666 de coeficiente de adensamento relativo e agressividade, não houve diferença significativa. Os
667 valores de CARa foram superiores a um 1,00 para as configurações IPA-P.288, MIU-SF11 e
668 OEM-SF11. Para CARb os todos os valores foram inferiores a uma unidade, exceto para OEM-
669 P288. O CAR foi maior que uma unidade nas configurações MIL-467, OEM-P.288 e OEM-
670 SF11, indicando a vantagem produtiva do consorcio quando comparada ao sistema exclusivo.
671 Os valores de Aa foram positivos e Ab negativos, evidenciando a dominância da palma sobre
672 o sorgo. Os índices RCa e RCb apresentaram diferença significativa, com maiores valores para
673 MIU-SF11 e OEM-467. Em geral os valores de PGAR foram superiores a uma unidade, com
674 diferença significativa para os índices PGARa e PGAR, com melhores desempenhos para a
675 configuração IPA-467.

676

677 *3.4 Benefício econômico*

678 Na Tabela 7, são apresentados os valores da relação benefício/custo para os dois cortes
679 da palma forrageira e os quatro ciclos de sorgo cultivados sob diferentes configurações de
680 cultivo. Observa-se que para o primeiro corte de palma forrageira, quando a venda da palma é
681 destinada para forragem, as configurações que promoveram viabilidade econômica foram
682 OEM-467, OEM-P.288, OEM-SF11 e OEM-EXC, uma vez que, seus valores foram superiores
683 a uma unidade, com resultados iguais a 4,92, 3,79, 4,12 e 5,81, respectivamente. Dessa forma,

684 a cada R\$ 1,00 investido no sistema a produtividade da palma forrageira nessas configurações
 685 de cultivo obtiveram retorno iguais a R\$ 4,92, R\$ 3,79, R\$ 4,12 e R\$ 5,81, nessa ordem. Para
 686 a venda de cladódio, ainda para o primeiro ciclo, todas as configurações desempenham ótima
 687 viabilidade econômica (>1,00). No caso do somatório dos quatro ciclos do sorgo, sua venda
 688 para forragem proporciona viabilidade econômica para todas as configurações, com exceção da
 689 P.288-EXC, apresentando valor igual a 0,90. Por sua vez, a venda de forragem para o somatório
 690 da palma com sorgo, promoveu viabilidade econômica (B/C > 1,00) para o sistema adotado,
 691 indicando que o consorcio favorece a viabilidade econômica, com retorno médio de R\$ 1,82.

692 A venda de forragem da palma em seu segundo corte se assemelha ao primeiro, porém
 693 com valores menores, com viabilidade econômica para as configurações OEM-467, OEM-
 694 P.288, OEM-SF11 e OEM-EXC (2,51, 2,57, 2,45 e 2,41, respectivamente). A venda de cladódio
 695 é uma alternativa viável economicamente em seu segundo ciclo, com valores superiores a uma
 696 unidade. Para a venda da forragem do sorgo, tem-se uma inviabilidade econômica, com valores
 697 menores que 1,00 para todas as configurações. A venda da forragem oriunda do somatório dos
 698 rendimentos da palma com o sorgo, é viável economicamente apenas para as configurações
 699 OEM-467, OEM-P.288 e OEM-SF11, com retorno a cada R\$1,00 investido de R\$1,70, R\$1,55
 700 e R\$1,33, respectivamente.

701 **Tabela 7.** Relação benefício/custo dos dois ciclos de palma forrageira (02/2019 a 02/2020 –
 702 Corte 1; 02/2020 a 07/2020 – Corte 2) e dos quatro ciclos do sorgo cultivados sob diferentes
 703 configurações de cultivo. Serra Talhada, PE, Brasil.

02/2019 a 02/2020				
Tratamento	Finalidade de venda (R\$)			
	VF Palma	VC Palma	VF Sorgo	VF P+S
IPA-467	0,16	6,09	3,78	1,82
IPA-P.288	0,34	4,17	4,57	2,28
IPA-SF11	0,68	5,99	3,18	1,83
MIU-467	0,55	13,66	2,38	1,39
MIU-P.288	0,48	11,96	3,80	2,00
MIU-SF11	0,79	12,43	3,03	1,82
OEM-467	4,92	14,34	1,83	3,50
OEM-P.288	3,79	8,85	4,23	3,99
OEM-SF11	4,12	15,87	2,15	3,21
IPA-EXC	0,23	1,43	-	-
MIU-EXC	0,86	12,25	-	-
OEM-EXC	5,81	16,00	-	-
467-EXC	-	-	1,02	-
P.288-EXC	-	-	0,90	-
SF11-EXC	-	-	1,27	-

02/2020 a 07/2020	
Tratamento	Finalidade de venda (R\$)

	VF Palma	VC Palma	VF Sorgo	VF P+S
IPA-467	0,32	3,97	0,05	0,22
IPA-P.288	-0,51	1,27	-0,02	-0,32
IPA-SF11	-0,22	3,86	-0,40	-0,29
MIU-467	0,24	6,20	0,08	0,18
MIU-P.288	-0,09	5,41	-0,21	-0,14
MIU-SF11	0,23	9,74	-0,79	-0,17
OEM-467	2,51	11,46	0,40	1,70
OEM-P.288	2,57	16,88	-0,07	1,55
OEM-SF11	2,45	12,46	-0,45	1,33
IPA-EXC	-0,30	1,91	-	-
MIU-EXC	-0,03	3,94	-	-
OEM-EXC	2,41	13,05	-	-
467-EXC	-	-	-0,61	-
P.288-EXC	-	-	-0,62	-
SF11-EXC	-	-	-0,74	-

VF_Palma – venda da palma para forragem; VC_Palma – venda da palma para semente (cladódios); VF_Sorgo – venda do sorgo para forragem; VF_P+S – venda da palma e do sorgo para forragem.

704 Em relação ao consórcio palma-sorgo sob diferentes densidades e orientação de plantio,
705 observou-se viabilidade econômica ($B/C > 1,00$), com resultados satisfatórios para todas
706 finalidades de venda (i.e., venda de forragem da palma, do sorgo, e do somatório palma-sorgo,
707 ou para venda de cladódio para semente da palma forrageira) (Tabela 7). Sob orientação de
708 cultivo Leste-Oeste, para as diferentes densidades de plantio a venda de forragem da palma
709 forrageira, venda de cladódio para semente, venda de sorgo para forragem e venda da forragem
710 do somatório palma-sorgo, variaram de 1,23 a 1,86; 1,94 a 3,0,3; 9,41 a 10,74; e 2,16 a 2,82,
711 nessa ordem. Isso mostra que para cada real (R\$ 1,00) investido o retorno médio é de R\$ 1,54,
712 R\$ 2,34, R\$ 10,05 e R\$ 2,55 para a finalidade de venda de forragem da palma, cladódios para
713 semente, forragem sorgo e forragem do consórcio, respectivamente.

714 Quando submetido a orientação de cultivo Norte-Sul, nas diferentes densidades de
715 plantio, a relação benefício/custo para venda de forragem da palma variou de 1,12 a 1,53, com
716 retorno médio de R\$ 1,39, para venda dos cladódios para semente a variação foi de 1,39 a 2,97,
717 e retorno médio de R\$2,16, a venda da forragem do sorgo apresentou uma variação de 10,28 a
718 13,48, e retorno médio igual a R\$ 12,09, para o somatório da palma e sorgo, o retorno foi de
719 R\$ 3,27, com variação de 2,91 a 3,66, todo o retorno foi baseado em cada R\$ 1,00 investido.

720 Independentemente da orientação de cultivo utilizada, observou-se que a densidade de
721 plantio de 33.333 plantas ha⁻¹ promoveu maior retorno econômico quando a destinação de
722 venda foi forragem da palma forrageira, cladódios para semente e forragem do somatório
723 palma-sorgo com retorno médio de R\$ 1,69, R\$ 3,00 e R\$ 3,24, respectivamente. Já para venda
724 de sorgo para forragem, a maior rentabilidade foi observada na menor densidade de plantio

727 (20.000 plantas ha⁻¹), com retorno igual a R\$ 12,11. Todo o retorno se baseou em cada R\$ 1,00
728 investido.

729 **Tabela 8.** Relação benefício/custo da palma forrageira e dos quatros ciclos de sorgo cultivados
730 sob diferentes densidades de plantio, submetido a orientação de cultivo Leste-Oeste e Norte-
731 Sul, em ambiente semiárido, no período de 2018 a 2020.

Orientação de cultivo	Densidade de plantio (plantas ha ⁻¹)	Finalidade de venda (R\$)			
		VF_Palma	VC_Palma	VF_Sorgo	VF_P+S
Leste-Oeste	100.000	1,57	2,26	9,41	2,16
	50.000	1,74	2,26	9,89	2,76
	33.333	1,86	3,03	9,82	2,82
	25.000	1,31	1,94	10,39	2,50
	20.000	1,23	2,25	10,74	2,54
Orientação de cultivo	Densidade de plantio (plantas ha ⁻¹)	Finalidade de venda (R\$)			
		VF_Palma	VC_Palma	VF_Sorgo	VF_P+S
Norte-Sul	100.000	1,37	1,39	10,28	3,08
	50.000	1,49	1,98	11,58	2,91
	33.333	1,53	2,97	12,50	3,66
	25.000	1,48	2,53	12,61	3,24
	20.000	1,12	1,95	13,48	3,47

732 VF_Palma – venda da palma para forragem; VC_Palma – venda da palma para semente (cladódios); VF_Sorgo – venda do
733 sorgo para forragem; VF_P+S – venda da palma e do sorgo para forragem.

734 A relação benefício/custo do consórcio palma-sorgo cultivado em diferentes densidades
735 de plantio é apresentada na Tabela 8. Observa-se que independente da densidade utilizada, há
736 viabilidade econômica para a venda de forragem da palma, do sorgo, do somatório palma-sorgo,
737 assim como, para a venda de cladódios de palma forrageira para plantio, com relação
738 benefício/custo superior a 1. Quando destinado a venda de forragem da palma, forragem do
739 sorgo e somatório palma-sorgo, observou-se tendência de aumento com a elevação da
740 densidade de plantio, com maiores valores para a densidade de 50.000 plantas ha⁻¹, com retorno
741 de R\$ 3,57, R\$ 12,72 e R\$ 4,63, nessa ordem, a cada R\$ 1,00 investido. Já para venda de
742 cladódios para semente, a densidade com maior retorno econômico (R\$ 3,82, para cada R\$1,00
743 investido) foi a densidade de 40.000 plantas ha⁻¹.

744 **Tabela 9.** Relação benefício/custo do consórcio palma-sorgo cultivados sob diferentes
745 densidades de plantio, em ambiente semiárido, no período de 2018 a 2020.

Densidade de plantio (plantas ha ⁻¹)	Finalidade de venda (R\$)			
	VF_Palma	VC_Palma	VF_Sorgo	VF_P+S
50.000	3,57	3,62	12,72	4,63
40.000	3,31	3,82	10,37	4,20
33.333	1,76	2,71	8,33	2,63
28.571	1,75	2,00	7,50	2,55

746 VF_Palma – venda da palma para forragem; VC_Palma – venda da palma para semente (cladódios); VF_Sorgo – venda do
747 sorgo para forragem; VF_P+S – venda da palma e do sorgo para forragem.

748 **4 Discussão**

749 *4.1 Rendimento de forragem*

750 A redução gradativa da produtividade do sorgo com o passar dos ciclos está associada
751 a seu vigor produtivo. Com o decorrer do tempo e com os cortes realizados na colheita,
752 ocasionam estresse a cultura, com redução em seus carboidratos de reserva, sendo evidenciado
753 com redução em seu potencial produtivo de um ciclo para outro (SILVA et al., 2012).

754 Os maiores valores de rendimento do sorgo em massa fresca e seca para os cultivos
755 exclusivos em relação ao consórcio, está associado a competição interespecífica entre as
756 culturas no sistema consorciado (MAKINO; CECCON; FACHINELLI, 2019), uma vez que,
757 nesse sistema há uma maior competição inter e intraespecífica entre as plantas pelos recursos
758 disponíveis (i.e., água, luz e nutrientes).

759 A partir dos resultados, observou-se que a palma forrageira e o sorgo apresentam
760 tolerância ao estresse salina, uma vez que a água aplicada foi caracterizada como de alta
761 salinidade ($1,62 \text{ dS m}^{-1}$), sendo classificada como uma água C3, no entanto, os valores de
762 produtividade foram satisfatórios. Em estudo com a palma forrageira Gajender et al. (2013)
763 observou que a cultura apresenta tolerância moderada a salinidade, onde exibe alta sensibilidade
764 em condições acima de 4 dS m^{-1} . Por sua vez, a produtividade sorgo sob estresse salino é
765 dependente da cultivar utilizada e do arranjo de cultivo empregado. Costa et al. (2019)
766 verificaram que o sorgo apresenta sensibilidade a salinidade e, conseqüentemente redução em
767 sua produtividade quando a concentração salina é superior a $4,8 \text{ dS m}^{-1}$.

768 A produtividade da palma forrageira ser mais elevada nos sistemas que continham o
769 clone OEM, está associado a fatores intrínsecos desse clone, onde apresenta uma menor
770 mortalidade quando comparado aos clones MIU e IPA (SILVA et al., 2015), variáveis
771 biométricas superiores (PEREIRA et al., 2015), elevada produção de MF e MS por planta,
772 elevada eficiência no uso da água (SILVA et al., 2014), maior capacidade em acúmulo de
773 matéria seca por unidade de área (NUNES et al., 2020), com alta agressividade e expressiva
774 adaptabilidade, sendo uma ótima opção quando submetida a cultivos consorciados. Além disso,
775 Silva et al. (2015) observaram maiores produtividades para o clone OEM em comparação aos
776 clones IPA e MIU.

777 Os sistemas de plantio para as configurações OEM-P.288 e OEM-467 obtiveram
778 maiores rendimentos (Tabela 2), devido as características do clone elencadas anteriormente,
779 bem como as características morfológicas (i.e., número, largura e comprimento de folhas, altura
780 e diâmetro do colmo) das cultivares P.288 e 467 (dados não mostrados). A perda de rendimento
781 das culturas menos competitivas em consórcio, que nesse caso é o sorgo, é reduzida por meio

782 da compensação na modificação em sua morfologia, características funcionais, duração
783 prologada do ciclo e acúmulo de matéria seca (ZHANG et al., 2020).

784 De maneira geral o sistema consorciado palma-sorgo promove um incremento na
785 produtividade das culturas em comparação a seu cultivo de forma exclusiva, sendo uma ótima
786 prática para o convívio com o semiárido. Esse incremento se deve a capacidade biológica das
787 culturas consortes em se adaptar a um novo sistema de cultivo e competir pelos recursos
788 disponíveis (DINIZ et al., 2017). Os sistemas consorciados apresentaram aumento produtivo
789 em relação ao monocultivo, devido a eficiência no uso da terra e dos recursos limitados, por
790 meio da complementaridade espaço-temporal (MOGHBELI et al., 2019; ZHANG et al., 2020).

791 Vale ressaltar que em consórcio palma-sorgo, há diferença entre os metabolismos das
792 plantas consorciadas, onde a palma forrageira possui metabolismo ácido das crassuláceas, com
793 alta eficiência no uso da água e elevada quantidade de água presente em seus cladódios,
794 havendo abertura estomática no período noturno e fechamento diurno (SCALISI et al., 2016).
795 Por outro lado, o sorgo apresenta metabolismo C4, com o inverso do ocorrido na descrição
796 anterior. Desse modo, possivelmente a competição é menor nesse sistema, com favorecimento
797 mútuo entre as culturas. Além disso, o sorgo apresenta características fisiológicas de
798 interrupção ou limitação das atividades metabólicas sob déficit hídrico (SANTOS et al., 2020).

799 Outro fator que promove um incremento produtivo nas lavouras é o aumento da
800 densidade de plantio (KHAN et al., 2017; MAKINO; CECCON; FACHINELLI, 2019), no
801 entanto, o aumento na produtividade das culturas consorciadas é registrado quando há
802 modificação nas densidades de ambas. Isso é evidenciado na produtividade do sorgo quando
803 submetido a consórcio com a palma forrageira nas diferentes orientações de cultivo (ie., Leste-
804 Oeste e Norte-Sul), onde não foi verificado diferença significativa para o rendimento em MF e
805 MS para as diferentes densidades (Figura 8), devido apenas a palma forrageira está com
806 diferentes espaçamentos entre plantas, com estande para o sorgo fixo (200.000 plantas ha⁻¹).
807 Por sua vez, quando as duas culturas são submetidas a diferentes densidades, têm-se uma
808 elevação na produtividade de ambas, bem como no somatório de suas produtividades (Figura
809 9).

810 Desse modo, é evidente que o aumento da densidade de plantio para o consórcio palma-
811 sorgo favoreceu uma maior produtividade por unidade de área ocupada. Essa elevação no
812 rendimento forrageiro, com o aumento no adensamento está associado, principalmente, a maior
813 quantidade de plantas por área, com otimização no espaço disponível (SILVA et al., 2014;
814 PETTER et al., 2016), acréscimo na melhoria no uso da água, devido a menor área de solo

815 exposta, favorecendo menor evaporação do solo (AHMADI; SOLGI; SEPASKHAH, 2019;
816 ALVES et al., 2019).

817 A maior produtividade para a palma forrageira na orientação de cultivo Leste-Oeste em
818 comparada a Norte-Sul (Tabela 3) em sistema consorciado palma-sorgo, pode está relacionada
819 com o sombreamento ocasionado pela cultura do sorgo sobre a cultura da palma forrageira. O
820 sombreamento de culturas em cultivos consorciados pode promover redução na incidência
821 luminosa nas culturas de baixo porte, havendo redução de fotoassimilados e,
822 consequentemente, redução na produtividade da cultura sombreada (FRANCK et al., 2013;
823 ALMEIDA et al., 2014), com influência direta na fisiologia da planta, ocasionando níveis mais
824 baixos de clorofila, quando comparadas a vegetais em pleno sol (TEIXEIRA et al., 2020). No
825 caso do sorgo, a direção de cultivo não afetou o rendimento, isso pode ser explicado pela alta
826 capacidade das culturas com metabolismo C4 na absorção da radiação solar (CORRÊA et al.,
827 2019). Além disso, o sorgo apresenta dentre suas características morfológica, a distribuição
828 foliar de forma alternada, reduzindo o auto sombreamento.

829

830 *4.2 Eficiência biológica*

831 O índice LER é utilizado para avaliar o uso da terra do sistema consorciado em
832 comparação ao monocultivo, indicando a área de terra relativa para que o sistema exclusivo
833 obtenha rendimento igual ao consórcio (AMANULLAH et al., 2020; LI et al., 2020). A
834 oscilação nos valores de LER parcial e total, para os diferentes ciclos de sorgo, se deve as
835 variações nas produtividades em cada ciclo e incrementos da palma forrageira. Os valores de
836 LER superiores a uma unidade para o primeiro corte da palma (média = 1,61), indicam que para
837 que o sistema exclusivo produza o equivalente ao sistema consorciado, é necessário um
838 acréscimo de 61% de terra (i.e., 0,61 ha) (SADEGHPOUR et al., 2013; YILMAZ et al., 2014;
839 MORAIS et al., 2018). Para o segundo corte da palma forrageira, o LER foi inferior a 1,00
840 apenas na configuração IPA-P.288, possivelmente devido à alta mortalidade da palma,
841 refletindo em menor estande e, consequentemente, menor produtividade por unidade de área.
842 Para as demais configurações, os valores são superiores a uma unidade, indicando a alta
843 eficiência do consórcio palma sorgo em relação ao monocultivo. Valores de LER superiores a
844 uma unidade indicam que o sistema consorciado é mais eficiente que o exclusivo no uso da
845 terra, havendo sustentabilidade biológica e vantagem produtiva nesse sistema (DINIZ et al.,
846 2017). Silva et al. (2013) estudando diferentes configurações de cultivo da palma em consórcio
847 com o algodão, gergelim e amendoim e, Diniz et al. (2017) em estudo do consórcio palma-

848 sorgo, obtiveram valores acima de uma unidade, reforçando a eficiência dessa cultura quando
849 submetida a diferentes configurações de sistema consorciado.

850 Para melhor entendimento da eficiência do consórcio, a aplicação do RAET é de
851 fundamental importância, uma vez que, leva em consideração o tempo das culturas em campo
852 até o momento da colheita (DINIZ et al., 2017). De maneira geral, os valores de RAET foram
853 superiores a uma unidade, exceto para a configuração IPA-P.288 no segundo corte da palma
854 forrageira, devido a elevada mortalidade do clone. Esse resultado refletiu um valor de CET
855 igual a 0,16 indicando desvantagem para o sistema. Valores de RAET acima de uma unidade,
856 indicam que o consórcio palma-sorgo apresenta vantagem biológica no uso do solo e no tempo,
857 assim como CET acima de 0,25, evidencia a superioridade do sistema consorciado em relação
858 ao sistema exclusivo (DINIZ et al., 2017).

859 O índice IPS mostra a equiparação do rendimento da cultura secundária (sorgo) ao do
860 rendimento da cultura primária (palma forrageira). Nesse estudo, os valores de IPS foram
861 superiores aos rendimentos da palma em monocultivo, comprovando a estabilidade da produção
862 de forragem do consórcio palma-sorgo (DINIZ et al., 2017).

863

864 *4.3 Habilidade competitiva*

865 Os valores negativos para CAR parcial e total, obtidos nesse estudo, estão associados a
866 um maior rendimento da cultura no cultivo consorciado, quando comparado ao exclusivo, em
867 algumas repetições, indicando que a competição interespecífica foi superior a intraespecífica.
868 Os índices de agressividade e competitividade, mostram que a palma forrageira é a cultura
869 dominante, enquanto o sorgo a cultura dominada. Resultados semelhantes foram obtidos por
870 Diniz et al. (2017), ao estudarem o consórcio palma-sorgo em ambiente semiárido. Moraes et
871 al. (2018) relataram que a dominância de uma cultura sobre a outra em sistema consorciado, é
872 devido a uma melhor resposta produtiva da cultura dominante. Desse modo, a competição entre
873 as espécies consorciadas pode ser definida pela interação entre ambas, desempenhando
874 importante papel na determinação da produtividade do sistema (ZHANG; YANG e DONG,
875 2011).

876 O índice PGAR desempenha importante papel no entendimento da competição intra e
877 interespecífica no sistema consorciado, fornecendo evidências mais precisas que outros índices
878 (AMANULLAH et al., 2020). O consórcio palma-sorgo promoveu ganho produtivo (i.e.,
879 $PGAR > 1$), onde a palma forrageira obteve valores superiores aos encontrados para o sorgo
880 (i.e., $PGAR_a > PGAR_b$), indicando que a palma é menos susceptível a perda de rendimento em
881 sistema consorciado em comparação ao sorgo (YILMAZ et al., 2014).

882

883 *4.4 Benefício econômico*

884 Nas diferentes configurações de cultivo para o consórcio palma-sorgo, durante os dois
885 cortes de palma forrageira, a venda da palma para forragem se mostrou viável economicamente
886 apenas para as configurações com o clone OEM ($B/C > 1,00$), isso ocorre devido a maior
887 capacidade adaptativa e agressividade desse clone (XAVIER et al., 2020), o qual apresenta alta
888 produção em MF por unidade de área, com menores taxas de mortalidade se comparado aos
889 demais clones estudados (SILVA et al., 2015). A venda dos cladódios para semente é uma
890 alternativa viável em sistema consorciado para os clones avaliados, independente da
891 configuração empregada ($B/C > 1,0$). Esse resultado se deve, principalmente, à elevada taxa de
892 produção de cladódios por unidade de área (dados não mostrados).

893 Para o primeiro ciclo da palma forrageira, a cultura do sorgo apresentou viabilidade
894 econômica em todas as configurações, exceto na configuração P.288-EXC. Essa resposta,
895 possivelmente está relacionada com a alta mortalidade das plantas após as colheitas em seu
896 cultivo exclusivo, apresentando menor quantidade de plantas por linha de plantio (dados não
897 mostrados) e menor produtividade com o passar dos ciclos (Tabela 2).

898 O sistema consorciado no primeiro ciclo da palma forrageira apresentou-se viável
899 economicamente (Tabela 6) devido ao menor custo na implantação em comparação a receita
900 líquida (dados não mostrados), devido a maximização na utilização do sistema de irrigação,
901 maior produção de forragem por área ocupada, uma vez que, nessa área houve a presença das
902 duas culturas, possibilitando uma complementaridade de suas produtividades no espaço e no
903 tempo. Lima et al. (2018b) em estudo do consórcio palma-sorgo, observaram que há uma maior
904 rentabilidade no uso do sistema consorciado em comparação ao exclusivo.

905 Já para o segundo corte da palma, os valores baixos ou negativos obtidos, pode ser
906 reflexo do tempo do ciclo (~6 meses), promovendo receita líquida menor que o custo de
907 produção, havendo aumento na implantação do sistema e redução no retorno obtido, mostrando
908 que a viabilidade econômica do consorcio palma-sorgo necessita de um maior tempo de
909 condução do cultivo, para que haja um maior acúmulo de MF e MS das culturas implantadas.

910 A venda de cladódios para semente, venda de forragem da palma, do sorgo e somatório
911 palma-sorgo nos diferentes sistemas de cultivo, são viáveis economicamente para os produtores
912 (Tabela 7 e 8). Esses resultados devem-se a alta produtividade da palma forrageira e do sorgo
913 em cultivo consorciado, nesse tipo de sistema há redução nos custos, onde os custos com a
914 cultura secundária são apenas na aquisição das sementes e semeio, além disso, a produção por
915 unidade de área é aumentado. Em sistemas consorciados há otimização da área de cultivo,

916 redução dos custos com insumos e tratos culturais, com aumento na receita líquida (SILVA et
917 al., 2008).

918

919 **5 Conclusões**

920 O sistema consorciado palma-sorgo apresenta-se como uma ótima alternativa de cultivo
921 para ambientes semiáridos, com uso da agricultura bioessalina. Essa alternativa se torna ainda
922 mais viável com a utilização das configurações OEM-467 e OEM-P.288. Os índices de
923 eficiência biológica e habilidade competitiva, evidenciaram que há vantagem em se optar pelo
924 sistema consorciado palma-sorgo, contribuindo para maximização nas produtividades e,
925 tornando uma prática rentável para ambientes quentes e secos.

926 A modificação na orientação de cultivo não alterou o rendimento produtivo do consórcio
927 palma-sorgo, no entanto, ofereceu melhores condições para o desenvolvimento produtivo da
928 palma forrageira quando submetida a orientação Leste-Oeste. As maiores densidades de plantio
929 estudadas (50.000 e 100.000 plantas ha⁻¹) promoveram incremento produtivo no consórcio
930 palma-sorgo, tanto com a modificação no espaçamento entre plantas como entre linhas,
931 havendo uma melhoria na viabilidade econômica, com redução de custos.

932 Sugere-se o desenvolvimento de mais pesquisas voltadas ao consórcio da palma
933 forrageiras com outras cultivares de sorgo e diferentes espécies forrageiras, assim como
934 utilização de água com maiores teores salinos e diferentes volumes de aplicação, com o intuito
935 de obter resultados, bem como alternativas para o favorecimento na produção de forragem em
936 ambientes distintos e condições adversas.

937

938 **6 Referências**

939 AHMADI, S. H.; SOLGI, S.; SEPASKHAH, A. R. Quinoa: A super or pseudo-super crop?
940 Evidences from evapotranspiration, root growth, crop coefficients, and water productivity in a
941 hot and semi-arid area under three planting densities. **Agricultural Water Management**, v.
942 225, n. September, p. 105784, 2019.

943 ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements.
944 FAO. **Irrigation and Drainage Paper**, v. 56, 1998.

945 ALMEIDA, F. L. et al. Produtividade de soja em diferentes posições entre renques de
946 eucalipto em cultivo consorciado. **Colloquium Agrariae**, v. 10, n. 1, p. 33–44, 2014.

947 ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map of Brazil. **Meteorologische**
948 **Zeitschrift**, Germany, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

949
950 ALVES, C. P. et al. Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação: balanço de água no solo
951 e coeficientes da cultura. **Agrometeoros**, v. 27, n. 2, p. 347–356, 2019.

952 AMANULLAH et al. Influence of irrigation regimes on competition indexes of winter and
953 summer intercropping system under semi-arid regions of Pakistan. **Scientific Reports**, v. 10,
954 n. 1, p. 1–21, 2020.

955 AMORIM, D. M. et al. Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and
956 cropping systems. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 1, p. 62–71, 2017.

957 AYANGBENRO, A. S.; BABALOLA, O. O. Reclamation of arid and semi-arid soils: The
958 role of plant growth-promoting archaea and bacteria. **Current Plant Biology**, 2020.

959 BUESA, I.; MIRÁS-AVALOS, J. M.; INTRIGLIOLO, D. S. Row orientation effects on
960 potted-vines performance and water-use efficiency. **Agricultural and Forest Meteorology**,
961 v. 294, 2020.

962 CAVALCANTE, L. A. D. et al. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes
963 densidades de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 4, p. 424–433, 2014.

964 CORRÊA, R. D. G. et al. Sowing operation direction and population densities in corn
965 growing. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 3, p. 183–187,
966 2019.

967 COSTA, J. P. N. et al. Desempenho De Variedades De Sorgo Dupla Aptidão Submetidas a
968 Diferentes Lâminas De Irrigação Com Água Salina. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.
969 18, n. 3, p. 417–428, 2019.

970 DÍAZ, F. J. et al. Using saline soil and marginal quality water to produce alfalfa in arid
971 climates. **Agricultural Water Management**, v. 199, p. 11–21, 2018.

972 DINIZ, W. J. DA S. et al. Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water
973 depths in the Brazilian Semiarid Region. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 52, n. 9, p.
974 724–733, 2017.

975 EESWARAN, R. et al. Evaluating the applicability of soil moisture-based metrics for gauging
976 the resiliency of rainfed agricultural systems in the midwestern United States. **Soil and**
977 **Tillage Research**, v. 205, 2021.

- 978 FRANCK, N. et al. Estimating the Carbon Assimilation of Growing Cactus Pear Cladodes
979 through Different Methods. **Acta Horticulturae**, v. 995, n. 19, p. 157–164, 2013.
- 980 GAJENDER, R. K. Y. et al. Growth and fruit characteristics of edible cactus (*Opuntia ficus-*
981 *indica*) under salt stress environment. **Journal of Soil Salinity and Water Quality**, v. 5, n. 2,
982 p. 136–142, 2013.
- 983 HENDGES, A. R. A. D. A. et al. Agronomic performance and biological efficiency of kale
984 intercropped with spice species. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 1, p. 7–15, 2019.
- 985 JARDIM, A. M. R. F. et al. Multivariate analysis in the morpho-yield evaluation of forage
986 cactus intercropped with sorghum. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e**
987 **Ambiental**, v. 24, p. 756–761, 2020.
- 988 KHAN, A. et al. Planting density and sowing date strongly influence growth and lint yield of
989 cotton crops. **Field Crops Research**, v. 209, p. 129–135, 2017.
- 990 KHORSANDI, F.; SIADATI, S. M. H.; RASTEGARY, J. Haloengineering as a vital
991 component of sustainable development in salt-affected ecosystems. **Environmental**
992 **Development**, v. 35, 2020.
- 993 LEMOS, M. et al. The effect of domestic sewage effluent and planting density on growth and
994 yield of prickly pear cactus in the semiarid region of Brazil. **Journal of Arid Environments**,
995 v. 185, 2021.
- 996 LI, C. et al. Yield gain, complementarity and competitive dominance in intercropping in
997 China: A meta-analysis of drivers of yield gain using additive partitioning. **European**
998 **Journal of Agronomy**, v. 113, 2020.
- 999 LIMA, L. R. et al. Growth, water use and efficiency of forage cactus sorghum intercropping
1000 under different water depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.
1001 22, n. 2, p. 113–118, 2018a.
- 1002 LIMA, L. R. et al. Productive-economic benefit of forage cactus-sorghum intercropping
1003 systems irrigated with saline water. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 191–201, 2018b.
- 1004 MAKINO, P. A.; CECCON, G.; FACHINELLI, R. Produtividade e teor de nutrientes em
1005 populações de milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária. **Revista Brasileira de**
1006 **Milho e Sorgo**, v. 18, n. 2, p. 206–2020, 2019.

- 1007 MENG, X. et al. Optimizing the planting density under the ridge and furrow rainwater
1008 harvesting system to improve crop water productivity for foxtail millet in semiarid areas.
1009 **Agricultural Water Management**, v. 238, 2020.
- 1010 MOGHBELI, T. et al. Evaluation of yield and its components on onion and fenugreek
1011 intercropping ratios in different planting densities. **Journal of Cleaner Production**, v. 213, p.
1012 634–641, 2019.
- 1013 MORAIS, E. C. DE et al. Habilidade competitiva e biológica do consórcio beterraba com
1014 caupi-hortaliça proveniente de adubação verde e de arranjos espaciais. **Revista Ceres**, v. 65,
1015 n. 5, p. 433–442, 2018.
- 1016 NUNES, J. da S. L. et al. Índices morfofisiológicos e biofísicos da palma forrageira cultivada
1017 sob tecnologias hídricas na bacia do Rio Pajeú. **Journal of Environmental Analysis and**
1018 **Progress**, v. 5, n. 1, p. 128-139, 2020.
- 1019 OLIVEIRA, K. M. G. et al. Modelagem para a estimativa da orientação de linhas de plantio
1020 de cafeeiros. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 2, p. 293–305, 2012.
- 1021 PEIXOTO, M. J. A. et al. Características agronômicas e composição química da palma
1022 forrageira em função de diferentes sistemas de plantio. **Archivos de Zootecnia**, v. 67, n. 257,
1023 p. 35–39, 2018.
- 1024 PEREIRA, P. de C. et al. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. **Revista**
1025 **Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 184-195, 2015.
- 1026 PETTER, F. A. et al. Elevada densidade de semeadura aumenta a produtividade da soja?
1027 Respostas da radiação fotossinteticamente ativa. **Bragantia**, v. 75, n. 2, p. 173–183, 2016.
- 1028 QUEIROZ, M. G. DE et al. Relações Hídrico-Econômicas Da Palma Forrageira Cultivada Em
1029 Ambiente Semiárido. **Irriga**, v. 1, n. 01, p. 141, 2016.
- 1030 RAI, R. K. et al. Assessing climate-resilient agriculture for smallholders. **Environmental**
1031 **Development**, v. 27, p. 26–33, 2018.
- 1032 RAO, C. S. et al. Agro-ecosystem based sustainability indicators for climate resilient
1033 agriculture in India: A conceptual framework. **Ecological Indicators**, v. 105, p. 621–633,
1034 2019.
- 1035 RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington DC,
1036 US Department of Agriculture, 1954. 160 p. (USDA Agricultural Handbook, 60).

- 1037 SADEGHPOUR, A. et al. Forage yield, quality and economic benefit of intercropped barley
1038 and annual medic in semi-arid conditions: Additive series. **Field Crops Research**, v. 148, p.
1039 43–48, 2013.
- 1040 SANTOS, G. C. L. et al. Crescimento e eficiência do uso da água do sorgo sob distintos
1041 regimes hídricos contínuos. **Archivos de Zootecnia**, v. 69, n. 265, p. 14–21, 2020.
- 1042 SCALISI, A. et al. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought.
1043 **Environmental and Experimental Botany**, v. 122, p. 158–167, 2016.
- 1044 SILVA, A. S. et al. Características agronômicas de variedades de *Opuntia*
1045 *cochenilliferae* *Nopalea cochenillifera* sob diferentes densidades de plantio. **Colloquium**
1046 **Agrariae**, v. 15, n. 6, p. 88–96, 2019.
- 1047 SILVA, G. S. DA et al. Viabilidade econômica do cultivo da alface crespa em monocultura e
1048 em consórcio com pepino. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1516–1523, 2008.
- 1049 SILVA, L. L. G. G. et al. Produtividade e carboidratos de reserva de pastagens sob
1050 intensidades de cortes. **Archivos Latinoamericanos de Produccion Animal**, v. 20, n. 1-2, p.
1051 7-16, 2012.
- 1052 SILVA, T. G. F. DA et al. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no
1053 semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 10–18,
1054 2015.
- 1055 SILVA, T. G. F. DA et al. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones
1056 de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. **Bragantia**, v. 73, n. 2,
1057 p. 184-191, 2014.
- 1058 SILVA, G. DOS S. et al. Desempenho agronômico de algodão orgânico e oleaginosas
1059 consorciados com palma forrageira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e**
1060 **Ambiental**, v. 17, n. 9, p. 975–981, 2013.
- 1061 SILVA, L. M. et al. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de
1062 plantio. **Ciencia Rural**, v. 44, n. 11, p. 2064–2071, 2014.
- 1063 SILVA, T. G. F. et al. Soil properties and microclimate of two predominant landscapes in the
1064 Brazilian semiarid region: Comparison between a seasonally dry tropical forest and a
1065 deforested area. **Soil and Tillage Research**, 2020.

- 1066 SINGH, P. K.; CHUDASAMA, H. Pathways for climate change adaptations in arid and semi-
1067 arid regions. **Journal of Cleaner Production**, 2020.
- 1068 TEIXEIRA, A. D. G. et al. Yacon planting density in intercropping with corn under banana
1069 orchard. **Horticultura Brasileira**, v. 38, n. 1, p. 83–88, 2020.
- 1070 TONINI, H. et al. Effect of planting system and solar exposure on biomass allocation in the
1071 initial growth of eucalyptus. **Ciencia Florestal**, v. 29, n. 1, p. 86–95, 2019.
- 1072 XAVIER, M. A. et al. Caracterização biométrica de cladódios de *Opuntia stricta* submetida a
1073 lâminas de irrigação e adubação orgânica no Semiárido paraibano. **Agrarian**, v. 13, n. 47, p.
1074 74–81, 2020.
- 1075 YILMAZ, Ş. et al. Effects of seeding rates on competition indices of barley and vetch
1076 intercropping systems in the eastern mediterranean. **Turkish Journal of Agriculture and
1077 Forestry**, v. 39, n. 1, p. 135–143, 2014.
- 1078 ZHANG, D. et al. Maize plant density affects yield, growth and source-sink relationship of
1079 crops in maize/peanut intercropping. **Field Crops Research**, v. 257, 2020.
- 1080 ZHANG, G.; YANG, Z.; DONG, S. Interspecific competitiveness affects the total biomass
1081 yield in an alfalfa and corn intercropping system. **Field Crops Research**, v. 124, n. 1, p. 66–
1082 73, 2011.

1 **CAPÍTULO 3 - INDICADORES MORFOFISIOLÓGICO, FENOFASE E MOMENTO** 2 **DE CORTE DO CONSÓRCIO PALMA-SORGO SOB ESTRATÉGIAS DE** 3 **RESILIÊNCIA AGRÍCOLA**

4
5 **RESUMO:** O entendimento do comportamento de crescimento, do conhecimento fenológico
6 e, determinação de momento de corte é essencial para o planejamento e escolha correta do
7 sistema de cultivo a ser empregado. Assim, objetivou-se avaliar o crescimento e
8 desenvolvimento do sistema consorciado palma-sorgo sob diferentes estratégias para melhoria
9 da resiliência agrícola. A pesquisa foi desenvolvida no período de 2018 a 2020 em Serra
10 Talhada, Pernambuco, Brasil, com a condução de quatro experimentos, em delineamento em
11 blocos ao acaso, e quatro repetições cada. O primeiro experimento consistiu em diferentes
12 configurações de cultivo para o consórcio palma-sorgo (OEM-SF11; OEM-P.288; OEM-467;
13 IPA-SF11; IPA-P.288; IPA-467; MIU-SF11; MIU-P.288 e MIU-467); no segundo experimento
14 o consórcio palma-sorgo, foi submetido a orientação de cultivo Leste-Oeste e diferentes
15 densidade de plantio (20.000, 25.000, 33.333, 50.000 e 100.000 plantas ha⁻¹); o terceiro
16 experimento se assemelhou ao segundo, com modificação apenas na orientação de cultivo,
17 sendo Norte-Sul; e o quarto experimento foi composto por diferentes densidades de plantio para
18 a palma (28.570, 33.333, 40.000 e 50.000 plantas ha⁻¹) e para o sorgo (200.000, 1600.000,
19 133.333 e 114.285 plantas ha⁻¹). Foram realizadas análises biométricas e de biomassa a fim de
20 quantificar os índices morfofisiológico (TCA, TCR, TAL, ACE, AFE, RAF e RMF), delimitar
21 as fenofases e determinar o momento de corte. Os máximos valores para os índices
22 morfofisiológico foram evidenciados nas configurações que continham o clone OEM e nas
23 maiores densidade estudadas. A duração e número de fenofases foram modificados com o
24 emprego dos diferentes sistemas, com maiores números de fenofase para a configuração MIU-
25 EXC e para as menores densidade avaliadas. A taxa máxima de acúmulo de matéria seca foi
26 obtida nas configurações compostas pelo clone OEM, assim como nas maiores densidades de
27 plantio. O momento de corte é antecipado com o aumento da densidade de plantio (50.000 e
28 100.000 plantas ha⁻¹) e uso do clone OEM.

29
30 **Palavras-chave:** *Opuntia stricta*, *Nopalea cochenillifera*, *Sorghum bicolor*, densidade e
31 orientação de plantio

35

36 **ABSTRACT:** The understanding of growth behavior, phenological knowledge and
37 determination of cutting time is essential for planning and correct choice of the cultivation
38 system to be employed. Thus, the objective was to evaluate the growth and development of the
39 forage cactus under different strategies to improve agricultural resilience. The research was
40 carried out in the period from 2018 to 2020 in Serra Talhada, Pernambuco, Brazil, with the
41 conduction of four experiments, in a randomized block design, and four repetitions each. The
42 first experiment consisted of different cultivation configurations for the forage cactus-sorghum
43 consortium (OEM-SF11; OEM-P.288; OEM-467; IPA-SF11; IPA-P.288; IPA-467; MIU-
44 SF11; MIU- P.288 and MIU-467); in the second experiment, the forage cactus intercropped
45 with sorghum cv. 467, submitted to East-West cultivation guidance and different planting
46 density (20,000, 25,000, 33,333, 50,000 and 100,000 plants ha⁻¹); the third experiment is similar
47 to the second, with modification only in the cultivation orientation, in which the cultivation is
48 North-South; the fourth experiment consists of different planting densities for the palm (28,570,
49 33,333, 40,000 and 50,000 plants ha⁻¹) and for sorghum (200,000, 1600,000, 133,333 and
50 114,285 plants ha⁻¹). Biometric and biomass analyzes were performed in order to quantify the
51 morphophysiological indices (TCA, TCR, TAL, ACE, AFE, RAF and RMF), delimit the
52 phenophases and determine the cut-off time. The maximum values for the morphophysiological
53 indexes were evidenced in the configurations that contained the OEM clone and in the highest
54 studied densities. The duration and number of phenophases were modified using different
55 systems, with higher numbers of phenophases for the MIU-EXC configuration and for the
56 lowest evaluated densities. The maximum dry matter accumulation rate was obtained in
57 configurations composed by the OEM clone, as well as in the highest planting densities. The
58 cutting moment is anticipated with an increase in planting density (50,000 and 100,000 plants
59 ha⁻¹) and use of the OEM clone.

60

61 **Keywords:** *Opuntia stricta*, *Nopalea cochenillifera*, *Sorghum bicolor*, planting density and
62 cultivation orientation

63

64

65

66

67

68

69 **1 Introdução**

70 O aumento na demanda por forragem é reflexo do crescente consumo de produtos de
71 origem animal e de um cenário de crescimento populacional, levando a impulsionar melhorias
72 no uso dos recursos disponíveis, com otimização das áreas já cultiváveis e redução de riscos de
73 degradação ambiental (ZHANG et al., 2019), principalmente em ambientes de clima semiárido,
74 visto que, nessas regiões os cultivos são mais afetados pelas condições ambientais adversas
75 (JARDIM et al., 2020).

76 O uso de espécies forrageiras adaptadas as condições climáticas de uma região, torna-
77 se essencial para o êxito da atividade. Dentre as culturas, em ambiente de clima semiárido, a
78 palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) desempenha importante papel no setor
79 agropecuário, devido a sua adaptação a condições adversas, por meio da modificação em suas
80 características fisiológica, anatômica e estruturais, tolerando altas temperaturas e estresse
81 hídrico, apresentando elevada produção de biomassa (PINHEIRO et al., 2014; SILVA et al.,
82 2015; QUEIROZ et al., 2016; BARBOSA et al., 2018; ALVES et al., 2020; ARAÚJO JUNIOR
83 et al., 2021). Além da palma forrageira, outra cultura que merece destaque é o sorgo (*Sorghum*
84 spp.), devido a suas características adaptativas, alta eficiência no uso dos recursos e elevada
85 produtividade, tornando-os uma relevante combinação para maximização do desempenho
86 animal (JARDIM et al., 2021).

87 Embora essas culturas sejam adaptadas as condições edafoclimáticas, porém quando
88 submetidas as práticas para a melhoria da resiliência agrícola podem apresentar melhores
89 resultados (CARVALHO et al., 2017). Dentre essas práticas, têm-se o uso de sistema
90 consorciado, irrigação eficiente, densidade populacional e orientação de cultivo adequados.

91 Dentre os sistemas consorciados em ambiente semiáridos, a adoção do consorcio palma-
92 sorgo é uma estratégia eficiente no uso dos recursos disponíveis, pois promove alta produção
93 de forragem e elevação na lucratividade do cultivo, e quando associado a aplicação de lâminas
94 de irrigação complementares à chuva, tem-se a maximização em seus resultados (DINIZ et al.,
95 2017; LIMA et al., 2018a; LIMA et al., 2018b).

96 A busca pela melhor densidade de plantio e orientação de cultivo é de fundamental
97 importância para o favorecimento na utilização dos recursos presentes na propriedade, sendo a
98 primeira associa a melhor utilização da área (HOU et al., 2020) e a segunda à interceptação
99 luminosas das culturas (OLIVEIRA et al., 2012).

100 Para o consórcio palma-sorgo ainda existe uma lacuna referente ao crescimento e
101 desenvolvimento das culturas face a modificação no sistema de produção. Dito isso, é

102 importante a compreensão do comportamento de atributos morfológicos que contribuem para a
103 produtividade da cultura, podendo ser citado a delimitação fenológica, uma vez que a partir de
104 práticas agrônomicas aplicada pode haver retardo ou aceleração no início e duração de cada
105 fase, influenciando o acúmulo de matéria seca pela planta e, conseqüentemente, no momento
106 de colheita ideal (AMORIM et al., 2017).

107 Além disso o melhor entendimento do desempenho da palma forrageira e do sorgo
108 submetidos à diferentes práticas resilientes, pode ser obtido a partir da aplicação de índices
109 morfofisiológicos, como taxa de crescimento absoluto da cultura (TCA/TCC), taxa de
110 crescimento relativo (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL), área do cladódio/foliar
111 específica (ACE/AFE), razão de área foliar (RAF) e razão de massa foliar (RMF) (QUEIROZ
112 et al., 2015; SILVA et al., 2009).

113 Diante do exposto, objetivou-se determinar indicadores morfofisiológicos, fases
114 fenológicas e momento de corte palma forrageira consorciado com o do sorgo sob diferentes
115 sistemas de produção, visando a melhoria da resiliência agrícola em ambiente Semiárido.

116

117 **2 Material e métodos**

118

119 *2.1 Local experimental*

120 A pesquisa foi desenvolvida no período de agosto de 2018 a julho de 2020 no Centro
121 de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e outras Plantas
122 Forrageiras – Centro REF, situado nas dependências da Universidade Federal Rural de
123 Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST), localizado no município
124 de Serra Talhada, Pernambuco, Brasil, com coordenadas 7°56'20" Sul; 38°17'31" Oeste e 431
125 m.

126 Segundo a classificação climática de Köopen, o clima da região é do tipo BSW_h, com
127 chuvas concentradas no verão e período seco no inverno (ALVARES et al., 2014), com
128 temperatura média do ar de 26,5 °C, umidade relativa do ar média de 63%, precipitação pluvial
129 média anual de 642 mm e demanda atmosférica anual superior a 1800 mm (PEREIRA et al.,
130 2015; SILVA et al., 2015).

131 O solo da área experimental é do tipo Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico, com
132 relevo plano, e características físico-químicas, na profundidade de 0,00 a 0,20 m, descritas a
133 seguir: densidade do solo = 1,45 g dm⁻³; porosidade total do solo = 42,27 %; Areia = 828,60 g
134 kg⁻¹; Silte = 148,225 g kg⁻¹; Argila = 23,1 g kg⁻¹; pH(água) = 5,95; CEes = 0,32 dS m⁻¹; P =

135 168,96 mg dm⁻³; Ca²⁺ = 3,45 cmolc dm⁻³; K⁺ = 13,8 cmolc dm⁻³; Na⁺ = 1,09 cmolc dm⁻³;
136 Saturação por bases = 97,15%.

137

138 2.2 Delineamento experimental e manejo das culturas

139 A pesquisa foi dividida em quatro áreas experimentais, com diferença em seus
140 tratamentos, clones de palma forrageira e cultivares de sorgo utilizados. O delineamento
141 utilizado em todos os experimentos foi em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições,
142 cada. Anterior ao plantio o solo foi arado, gradeado e sulcado. Posteriormente, os cladódios de
143 palma forrageira foram plantando em alinhamento bilateral, com 50% do comprimento total do
144 cladódio inserida no solo. Para as cultivares de sorgo, o semeio foi realizado em sulcos paralelos
145 a fileira da palma, com profundidade de 0,05m e distanciados a 0,25m do cladódio basal da
146 palma forrageira. A retirada de ervas daninhas foi realizada sempre que necessário, a fim de
147 favorecer o crescimento ideal das culturas cultivadas. As adubações das áreas experimentais
148 foram realizadas levando em consideração a densidade populacional da palma forrageira de
149 40.000 plantas ha⁻¹, com aplicação de doses de N-P-K iguais a 200-80-130 kg ha⁻¹,
150 respectivamente.

151 A irrigação foi realizada por meio de um sistema por gotejamento com vazão de 1,57 L
152 h⁻¹, a uma pressão de 100 kPa e coeficiente de uniformização de aplicação igual a 92%, com
153 emissores espaçados a 0,20 m entre si. A água aplicada apresentou condutividade elétrica média
154 igual a 1,62 dS m⁻¹, sendo classificada como de alta salinidade (C3), de acordo com a
155 classificação de Richards (1954) e, pH de 6,84, concentração de Na⁺ = 168,66 mg L⁻¹ e K⁺ =
156 28,17 mg L⁻¹.

157 Para todos os experimentos, a aplicação da lâmina de irrigação foi realizada três vezes
158 por semana (segundas, quartas e sextas-feiras), com base em 80% da exigência hídrica
159 (Evapotranspiração da cultura – ETc) da palma forrageira, uma vez que, foi considerada a
160 acultura principal no sistema. A estimativa da ETc foi obtida por meio do produto da
161 evapotranspiração de referência (ETo) e o coeficiente de cultura (Kc), considerando o Kc igual
162 a 0,52 (QUEIROZ et al., 2016). Por sua vez, a ETo foi obtida diariamente pela equação de
163 Penman-Monteith, parametrizada pela FAO, conforme equação 1 (ALLEN et al., 1998).

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} \mu_2(es - ea)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 \mu_2)} \quad (1)$$

164 em que, ET₀ = evapotranspiração de referência, (mm d⁻¹); Δ = declividade da curva de pressão
165 de vapor de saturação, (kPa °C⁻¹); G = fluxo de calor no solo, (MJ m⁻² d⁻¹); R_n – saldo de radiação

166 líquida, ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); γ = constante psicrométrica, ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); T = temperatura média diária do
167 ar a dois metros de altura, ($^\circ\text{C}$); μ_2 = velocidade do vento a dois metros de altura, (m s^{-1}); e_s =
168 pressão de saturação de vapor, (kPa); e_a = pressão de vapor atual do ar, (kPa); $e_s - e_a$ = déficit de
169 pressão de vapor, (kPa).

170 Durante o período experimental, os dados meteorológicos foram obtidos em uma
171 estação meteorológica automática, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia
172 (INMET), localizada aproximadamente a 20 metros das áreas experimentais.

173 A Figura 1 mostra o comportamento da precipitação pluvial e ET_0 durante todo o
174 período experimental (i.e., agosto de 2018 a julho 2020). A precipitação acumulada foi de
175 1888,80 mm, sendo inferior a ET_0 , que apresentou valor total igual a 3556,81 mm.

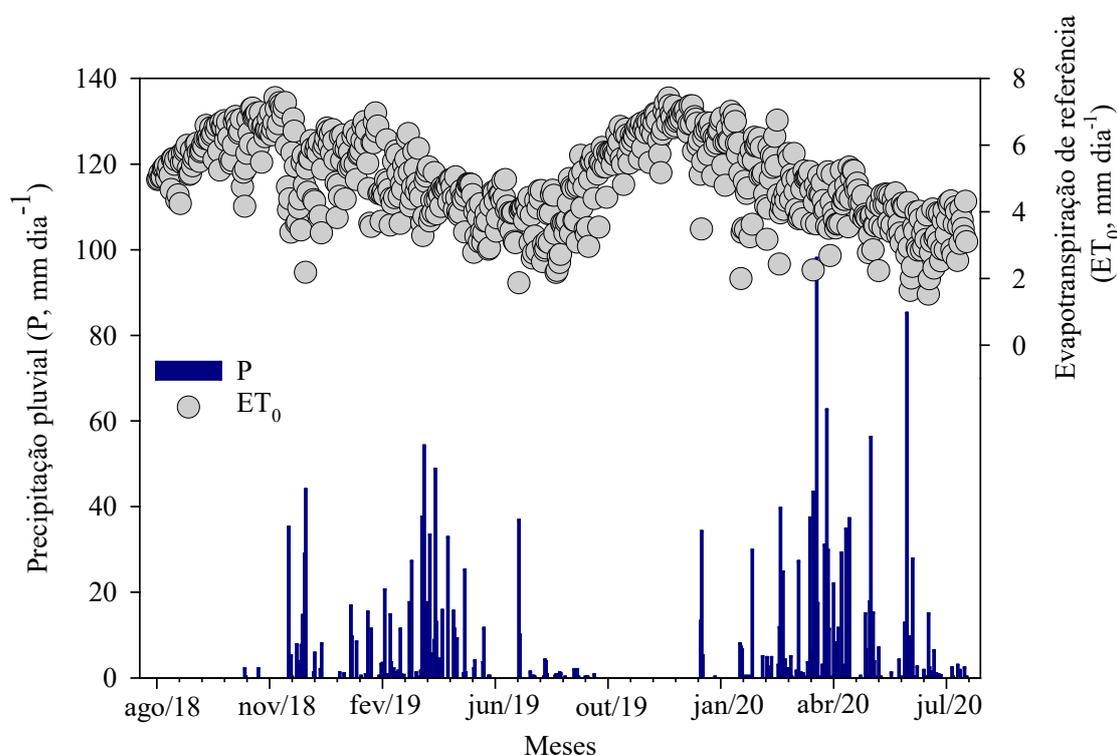


Figura 1. Evapotranspiração de referência (ET_0) e precipitação pluvial (P) no período de agosto de 2018 a julho de 2020 no município de Serra Talhada, Pernambuco, Brasil.

176 2.2.1 Área 1 (Configurações de cultivo)

177 A área 1 foi composta por diferentes configurações de cultivo. Para isso, os materiais
178 vegetais utilizados foram três clones de palma forrageira, sendo: Orelha de Elefante Mexicana
179 – OEM (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), IPA-Sertânia - IPA (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-
180 Dyck) e Miúda – MIU (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) e três cultivares de sorgo,
181 sendo: Progenitor 288 – P.288, SF11 e IPA-467 (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).

182 O plantio dos clones de palma forrageira foi realizado em espaçamento de 1,0 x 0,2 m,
183 totalizando em uma densidade inicial de 50.000 plantas ha⁻¹, e as cultivares de sorgo semeadas
184 em sulcos, com densidade inicial de plantas de 200.000 plantas ha⁻¹. O experimento foi
185 composto por 15 tratamentos, arranjados em 3+3+3x3, sendo os três clones de palma forrageira,
186 e as três cultivares de sorgo em monocultivo e nove combinações para o sistema consorciado
187 palam-sorgo (OEM-SF11; OEM-P.288; OEM-467; IPA-SF11; IPA-P.288; IPA-467; MIU-
188 SF11; MIU-P.288 e MIU-467). Cada parcela apresentou área igual a 20 m², composto por
189 quatro fileiras de cinco metros cada, com 25 plantas de palma por fileira. A parcela útil foi
190 considerada como as duas fileiras centrais, desprezando duas plantas de cada extremidade, com
191 área igual a 9,20 m² parcela⁻¹, e um total de 46 plantas úteis.

192 O plantio da palma foi realizado em janeiro de 2016, a qual foi mantida em sequeiro e
193 na ausência dos tratamentos até janeiro de 2017, havendo corte de uniformização nesse período,
194 deixando no solo apenas cladódios basais e primários e, posteriormente, dado início aos
195 tratamentos, com primeira colheita realizada em junho de 2018. Em seguida, a palma manteve-
196 se sem irrigação e ausência dos tratamentos, sendo realizado corte de uniformização em
197 fevereiro de 2019. Nesse período, houve retomada dos tratamentos e lâmina de irrigação, com
198 colheita realizada em fevereiro de 2020. Desse modo, no presente estudo a palma forrageira
199 encontrava-se em seu segundo ciclo produtivo.

200 Para o sorgo, foram conduzidos três ciclo consecutivos, sendo uma semeadura e duas
201 rebrotas. A semeadura foi realizada dia 08 de fevereiro de 2019, com primeira colheita realizada
202 em junho de 2019, totalizando 110 dias após a emergência (DAE). O segundo ciclo foi colhido
203 em agosto de 2019, com duração de 72 dias após o corte (DAC). Já o terceiro ciclo teve uma
204 duração de 82 DAC, sendo colhido em novembro de 2019.

205 A lâmina de água aplicada via eventos de irrigação durante todo o período foi igual a
206 433,31 mm, que somados a 790,40 mm da precipitação pluvial, totalizou em 1223,71 mm de
207 água recebidos.

208 2.2.2 Área 2 (*Densidade populacional sob orientação Leste-Oeste*)

209 A área 2 foi constituída de diferentes densidades de plantio da palma forrageira sob
210 orientação de plantio Leste-Oeste. Nesse estudo, os materiais vegetais utilizados foram o clone
211 de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana – OEM (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) em
212 consórcio com a cultivar de sorgo IPA-467 (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).

213 O plantio da palma forrageira foi realizado em agosto de 2018, com espaçamento entre
214 linhas fixo de 1 metro, sob orientação de plantio Leste-Oeste, composto por cinco densidades
215 de plantio, por meio da modificação no espaçamento entre planta sendo: 0,10; 0,20; 0,30; 0,40

216 e 0,50 m, resultando em densidade populacional inicial de 100.000; 50.000; 33.333; 25.000 e
217 20.000 plantas ha⁻¹, nessa ordem. A área de cada parcela experimental foi igual a 12 m²,
218 constituída por quatro fileiras de plantio, com três metros de comprimento cada. A parcela útil
219 foi composta pelas duas fileiras centrais, desprezando duas plantas de cada extremidade.

220 Após o plantio, a palma forrageira permaneceu na ausência de irrigação e do consórcio
221 até janeiro de 2019. Nesse período, houve o semeio do sorgo e iniciou-se a aplicação de água
222 via eventos de irrigação. A palma forrageira foi colhida em abril de 2020, totalizando ~20 meses
223 de cultivo (agosto de 2018 a abril de 2020), sendo caracterizado por seu primeiro ciclo
224 produtivo. Para a cultura do sorgo, foi avaliado quatro ciclos consecutivos, sendo uma
225 semeadura e três rebrotas. O primeiro ciclo do sorgo apresentou uma duração de 115 DAE,
226 havendo a colheita em maio de 2019; para o segundo ciclo a colheita foi realizada 84 DAC,
227 com corte feito em agosto de 2019; o terceiro ciclo teve uma duração de 99 DAC, e colheita
228 realizada em novembro de 2019; o quarto e último ciclo apresentou uma duração de 112 DAC,
229 sendo colhido em março de 2020.

230 O total de água recebida pelo sistema foi de 1978,90 mm, desses 286,90 mm foi
231 proveniente de eventos de irrigação e 1692,00 mm advindos da precipitação pluvial ocorrida.

232 2.2.3 Área 3 (Densidade populacional sob orientação Norte-Sul)

233 A área 3 seguiu com os mesmos tratamentos da área 2, no entanto, diferindo na
234 orientação de plantio que foi Norte-Sul. Também, foi utilizado o clone Orelha de Elefante
235 Mexicana – OEM (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), juntamente com a cultivar de sorgo IPA-
236 467 (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) em consórcio.

237 A água aplicada via eventos de irrigação durante a condução experimental foi igual a
238 294,59 mm, e precipitação pluvial igual a 1692,00 mm, totalizando em 1986,59 mm de
239 entrada de água no sistema.

240 2.2.4 Área 4 (Densidade populacional da palma e do sorgo)

241 Essa área consistiu em diferentes densidades populacionais da palma forrageira e do
242 sorgo, por meio da alteração no espaçamento entre linhas. Os materiais vegetais utilizados
243 foram o clone Orelha de Elefante Mexicana - OEM (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw), em consórcio
244 com a cultivar de sorgo IPA-467 (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).

245 A palma forrageira foi plantada em espaçamento fixo de 0,20 m entre plantas, com
246 variação no espaçamento entre linhas, constituindo os tratamentos, sendo 1,00; 1,25; 1,50 e
247 1,75 m entre linhas, resultando em densidade inicial de plantio de 50.000; 40.000; 33.333 e
248 28.571 plantas ha⁻¹, nessa ordem, para a palma forrageira e 200.000; 160.000; 133.333 e
249 114.285 plantas ha⁻¹, respectivamente, para a cultura do sorgo.

250 A condução e duração dos quatro ciclos de sorgo, assim como o ciclo da palma
 251 forrageira, é igual ao descrito na área experimental 2. A água recebida pelo sistema durante o
 252 período experimental por meio da irrigação foi igual a 283,05 mm, o qual somado a precipitação
 253 pluvial de 1692,00 mm, totaliza em 1975,05 mm.

254 2.3 Variáveis biométricas

255 Na cultura da palma foram realizadas campanhas biométricas mensais e de biomassa a
 256 cada 90 dias, com o intuito de quantificar aspectos estruturais, necessários para determinação
 257 de índices morfofisiológicos, delimitação das fases fenológicas e momento de corte da cultura.
 258 As avaliações biométricas foram realizadas em uma planta por parcela, mensurando altura da
 259 planta (AP, cm – distância entre a superfície do solo e o cladódio mais alto da planta), largura
 260 da planta (LP, cm – distancia horizontal entre os cladódios mais extremos), número total de
 261 cladódio por planta (NTC – unidades), assim como número de cladódios por ordem de
 262 surgimento (NC1, NC2, assim sucessivamente). Em uma ramificação representativa foi
 263 quantificado o comprimento (CC, cm), largura (LC, cm), perímetro (PC, cm) e espessura (EC,
 264 cm) dos cladódios. Além disso, conforme modelo proposto por Silva et al. (2014a), determinou-
 265 se as áreas dos cladódios (AC, cm²) por ordem de surgimento e clone de palma forrageira (eq.
 266 2, 3 e 4). Posteriormente, calculou-se o índice de área do cladódio (IAC, m² m⁻²), conforme a
 267 equação 5 (PINHEIRO et al., 2014), através da razão entre a área do cladódio e o espaçamento
 268 adotado.

$$AC_{IPA} = 1,6691 * \frac{(1 - \exp(0,0243 * PC))}{-0,0243} \quad (2)$$

$$AC_{MIU} = 0,7198 * CC * LC \quad (3)$$

$$AC_{OEM} = 0,7086 * \frac{(1 - \exp(-0,000045765 * CC * LC))}{0,000045765} \quad (4)$$

$$IAC = \frac{(\sum_n^{i=1} AC)}{\frac{10000}{E1 * E2}} \quad (5)$$

269 em que, AC = área do cladódio, (cm²); PC = perímetro do cladódio, (cm); CC = comprimento
 270 do cladódio, (cm); LC = largura do cladódio, (cm); IAC = índice de área do cladódio (m² m⁻²);
 271 10000 = fator de conversão de cm² para m²; E1 = espaçamento entre fileira (m); E2 =
 272 espaçamento entre plantas (m).

273 A determinação da biomassa fresca e seca (Mg ha⁻¹) foi realizada a partir da escolha de
 274 uma planta representativa por parcela. Na ocasião, a planta escolhida era colhida, deixando em
 275 campo apenas os cladódios basais, e pesada. Posteriormente, era escolhido dois cladódios
 276 representativo do terço médio, pesados em balança (massa fresca), em seguida fragmentados,

277 acondicionados em sacos de papel identificados e levados à estufa de circulação forçada de ar
278 a 55°C até atingir peso constante. Considerando a massa seca e fresca dos cladódios, foram
279 obtidos os dados de teores de matéria seca. Já a produtividade de matéria fresca (Mg ha⁻¹), foi
280 estimada a partir dos valores de peso fresco total e da densidade final de plantas das parcelas
281 úteis. Já os dados de produtividade de matéria seca (Mg ha⁻¹) foram estimados ao considerar os
282 valores de teores de matéria seca dos cladódios e os valores estimados de matéria fresca das
283 plantas.

284 Para o sorgo, as medidas biométricas foram realizadas semanalmente em duas plantas
285 por parcela. Em cada planta foi obtido o número de folhas vivas (NFV, unidade), largura (LF3+,
286 cm) e comprimento (CF3+, cm) da folha 3+. A área foliar (AF, cm²) foi estimada conforme
287 equação 6 (SHIH; GASCHO; RAHI, 1981). O índice de área foliar (IAF, cm² cm⁻²) foi estimado
288 seguindo a equação 7.

$$AF = 0.741 * CF+3 * LF+3 \quad (6)$$

$$IAF = \frac{(AF * NFV)}{(E1 * E2)} \quad (7)$$

289 em que, AF = área foliar (cm²); CF3+ = comprimento da folha +3 (cm); LF+3 = largura da
290 folha +3 (cm); IAF = índice de área foliar (cm² cm⁻²); NFV = número de folhas vivas (unidades);
291 E1 = espaçamento entre linhas (cm); E2 = espaçamento entre plantas (cm).

292 A mensuração da biomassa fresca e seca do sorgo (Mg ha⁻¹) foi realizada por meio de
293 amostragens realizadas a cada 15 dias. Nesse momento, uma planta representativa por parcela
294 era escolhida, particionada em folha viva, folha morta, colmo e panícula, pesada (massa fresca),
295 acondicionados em sacos de papel devidamente identificados, em seguida levados a estufa de
296 circulação forçada de ar a 55°C até atingir peso constante (massa seca).

297

298 2.4 Índices morfofisiológicos da palma forrageira e do sorgo

299 Os índices morfofisiológicos foram obtidos por meio de análise de regressões
300 sigmóides, relacionando os valores de massa seca da planta (MSP), massa seca foliar (MSF),
301 índice de área do cladódio (IAC) e índice de área foliar (IAF), com os graus dias acumulados
302 (GDA, °Cdia). A obtenção do GDA foi realizada mediante a soma dos valores dos graus dias
303 (GD, °Cdia), o qual foi calculado por meio da diferença entre a temperatura média do dia e a
304 temperatura base da palma forrageira de 22° C (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2017) e do sorgo de
305 10,8 °C (BANDEIRA et al., 2016). Os modelos sigmóides que tiveram coeficiente de
306 determinação acima de 0,85 foram derivados para o cálculo das taxas diárias de acúmulo de

307 matéria seca, resultando na taxa de crescimento absoluto da cultura para ambas as culturas
308 (TCA, $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^\circ\text{Cdia}$). Além da TCA, para a palma foram calculados a taxa de assimilação
309 líquida (TAL, $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^\circ\text{Cdia}$), taxa de crescimento relativo (TCR, $\text{Mg Mg}^{-1} \text{ }^\circ\text{Cdia}$), área do
310 cladódio específica (ACE, ha Mg^{-1}). Por sua vez, para o sorgo além da TAL e TCR, foram
311 calculados a área foliar específica (AFE, ha Mg^{-1}), razão de área foliar (RAF, ha Mg^{-1}) e razão
312 de massa foliar (RMF, Mg Mg^{-1}). Os cálculos foram realizados por meio das razões: $\text{TAL} =$
313 TCA/IAC , $\text{TCR} = \text{TCA/MSP}$, $\text{ACE} = \text{IAC/MSP}$, $\text{AFE} = \text{IAF/MSF}$, $\text{RAF} = \text{IAF/MSP}$ e $\text{RMF} =$
314 MSF/MSP .

315 *2.5 Fenofase e momento de corte da palma forrageira*

316 A delimitação fenológica foi determinada a partir de análises de regressões, com a
317 utilização de modelos sigmóides com três parâmetros, relacionando os graus dias acumulados
318 (GDA, $^\circ\text{Cdia}$) e o número de cladódios por ordem de surgimento (primeira, segunda ordem, e
319 assim sucessivamente). As equações com coeficientes de determinação maior que 0,90 e
320 parâmetros significativos ($p < 0,5$), foram derivadas para obtenção da taxa diária de emissão de
321 cladódios. A superação de uma fase fenológica foi considerada quando a emissão de cladódios
322 de ordem superior, for maior que a taxa de emissão de cladódios de ordem inferior (AMORIM
323 et al., 2017).

324 Por sua vez, o momento de corte foi determinado com base nos valores de acúmulo de
325 massa seca. Para isto, foi definido como o momento ideal de corte para a palma forrageira o
326 GDA que apresentou 25% da máxima taxa de acúmulo de massa seca, de acordo com
327 metodologia descrita por Amorim et al., 2017.

328

329 *2.6 Análise estatística*

330 Os modelos de regressão sigmoide para obtenção dos índices morfofisiológico,
331 delimitação das fenofases e taxa de acúmulo de massa seca, foram ajustados utilizando como
332 critérios a significância do modelo ($p < 0,05$) e coeficiente de determinação (R^2) superior a 0,85.
333 Todos os ajustes foram realizados no software SigmaPlot (Versão 14.0) da Systat Software, San
334 Jose, CA.

335

336 **3 Resultados**

337 *3.1 Índices morfofisiológicos da palma forrageira e do sorgo*

338 *3.1.1 Clones de palma forrageira*

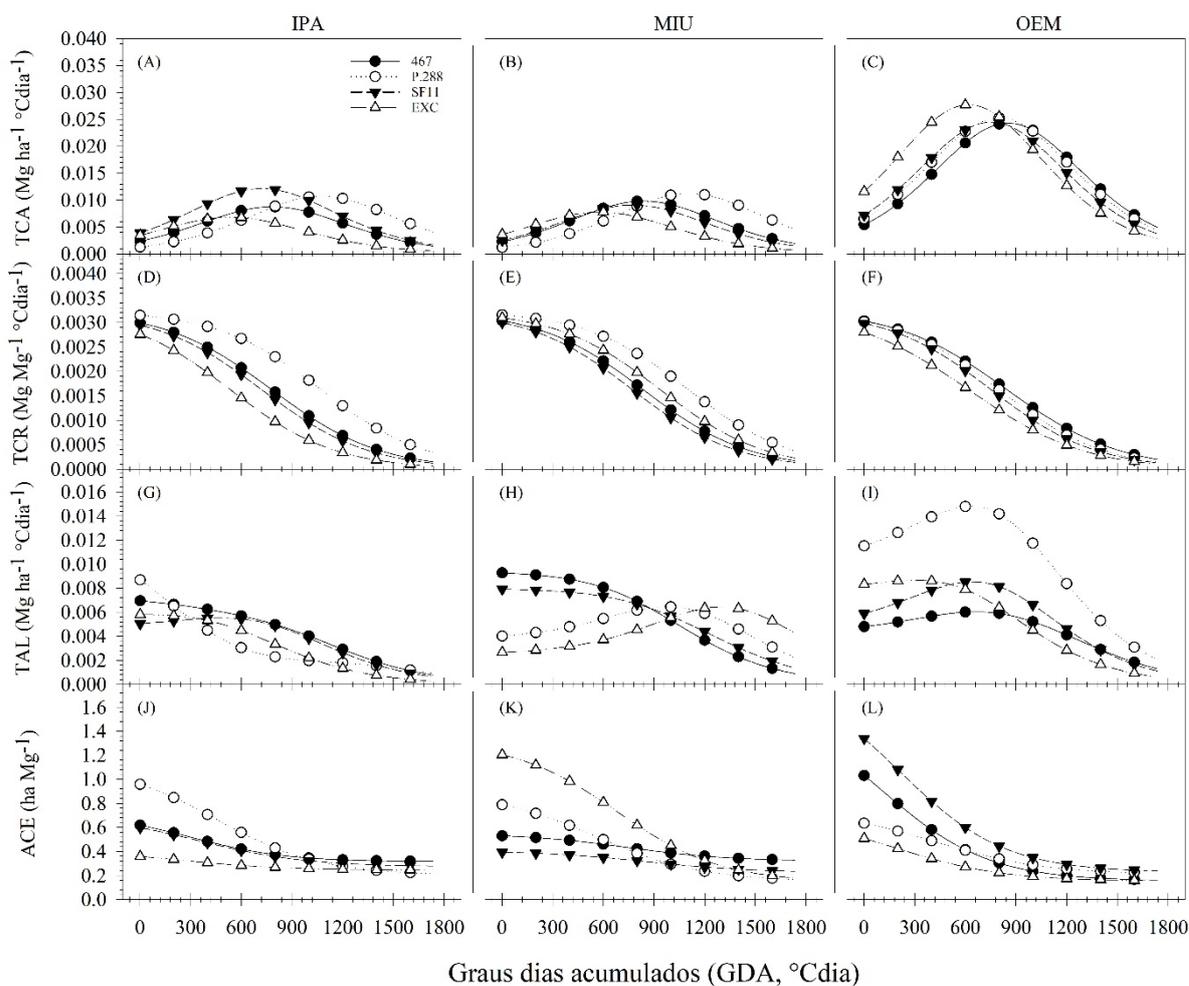
339 Observa-se na Figura 2 o comportamento dos índices morfofisiológicos dos clones de
340 palma forrageira sob consórcio com cultivares de sorgo, assim como em sistema exclusivo.

341 Verifica-se que há diferença no comportamento entre os clones estudados em função dos
342 tratamentos imposto. A taxa de crescimento absoluto (TAC - Figura 2A, 2B e 2C), apresentou
343 duas fases bem definidas para todos os clones independente do tratamento aplicado, uma com
344 aumento no acúmulo de matéria seca e a outra caracterizada por sua diminuição (~580 °Cdia –
345 145 dias). De modo geral, os maiores valores foram encontrados para clone OEM, em
346 comparação aos clones IPA e MIU. Dentre os sistemas para o clone OEM, o que obteve maior
347 valor foi OEM-EXC, com taxa máxima igual a 0,027 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹ aos 620 °Cdia (155 dias).
348 As demais configurações com OEM obtiveram valor médio igual a 0,024 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹,
349 ocorrido aos 825 °Cdia (206 dias), para as configurações contendo os clones IPA e MIU os
350 valores médios foram 0,010 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹ aos 825 °Cdia (206 dias), no entanto, para os
351 mesmos clones, as configurações contendo a cultivar P.288 apresentou um retardamento em
352 seu pico, quando comparada as demais com valores médios igual a 0,009 e 0,010 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹
353 ¹, para os clones IPA e MIU, nessa ordem, ocorrido aos 1200 °Cdias (300 dias).

354 Para taxa de crescimento relativo (TCR – Figura 2D, 2E e 2F), verifica-se que os clone
355 de palma forrageira independente da configuração de cultivo, apresentaram redução em seus
356 valores ao longo do tempo, com maiores valores no início do ciclo. O maior valor obtido foi
357 para a configuração MIU-P.288 (0,032 Mg Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹).

358 No caso da taxa de assimilação líquida (TAL – Figura 2G, 2H e 2I), os clones de palma
359 forrageira submetidos a diferentes configurações, obtiveram comportamentos distintos.
360 Entretanto, apresentaram redução na fase final do ciclo. Os maiores valores foram obtidos para
361 a configuração OEM-P.288, com valor máximo igual a 0,014 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹ aso 623 °Cdia
362 (156 dias).

363 Em relação a área do cladódio específica (ACE – Figura 2J, 2K e 2L) verificou-se que
364 os valores máximos para todas as configurações foram constatados na fase inicial do ciclo, com
365 redução acentuada ao passar do tempo. A configuração que obteve maiores valor para tal índice
366 foi com a utilização do clone OEM consorciado com a cultivar de sorgo SF11, sendo observado
367 na fase inicial do período experimental.

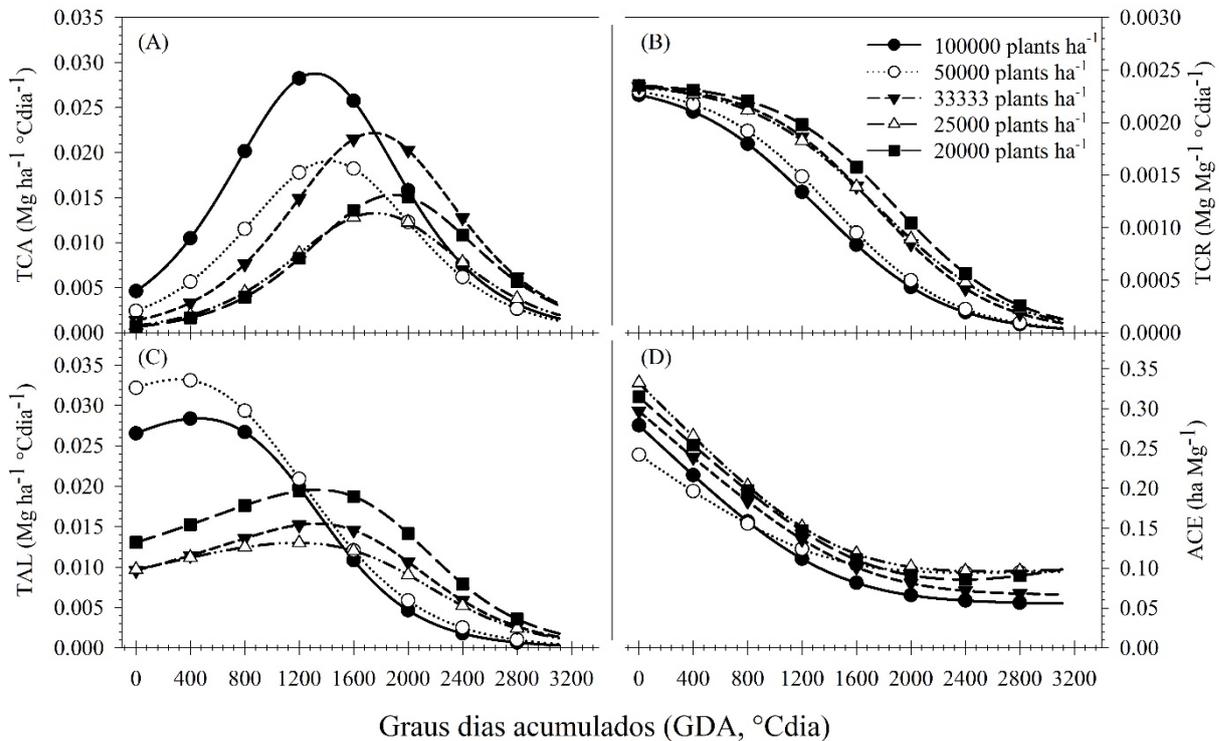


368
 369 **Figura 2.** Índices morfofisiológicos de clones de palma forrageira (IPA – IPA Sertânia; MIU –
 370 Miúda; OEM – Orelha de Elefante Mexicana) submetidas a sistema de cultivo exclusivo (EXC)
 371 e consorciado com cultivares de sorgo (467; SF11; P.288 – Progenitor 288). TCA – Taxa de
 372 crescimento absoluto (A, B, C); TCR – Taxa de crescimento relativo (D, E, F); TAL – Taxa de
 373 assimilação líquida (G, H, I); ACE – Área do cladódio específica (J, K, L).

374 Quando submetida a orientação de cultivo Leste-Oeste, sob diferentes densidades de
 375 plantio, a palma forrageira consorciada com a cultivar de sorgo 467 apresentou variação quanto
 376 ao comportamento dos índices morfofisiológicos em função da densidade aplicada (Figura 3).

377 Avaliando a TCA (Figura 3A) verificou-se que quando submetida a maior densidade de
 378 plantio (100.000 plantas ha⁻¹) a palma forrageira apresenta maiores valores, com valor máximo
 379 igual a 0,028 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹ aos 1200 °Cdia (300 dias). No caso do TCR (Figura 3B) para
 380 todas as densidades, observou-se maiores valores na fase inicial do cultivo, e redução gradativo
 381 com o crescimento da cultura, com maior valor para a menor densidade de plantio (20.000
 382 plantas ha⁻¹), sendo este igual a 0,0024 Mg Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹. Para a TAL (Figura 3C) a palma
 383 sob diferentes densidades apresentou comportamento distinto, com pontos de máximo para as
 384 duas maiores densidades com valores iguais a 0,033 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹ para 50.000 plantas ha⁻¹, e

385 0,029 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹ para 100.000 plantas ha⁻¹, ocorrido aos 400 °Cdia (100 dias). O ACE
 386 apresentou valores máximos para todos os tratamentos no início do ciclo com redução ao
 387 decorrer do ciclo, com estabilização em seus valores ao 2000 °Cdia (500 dias).

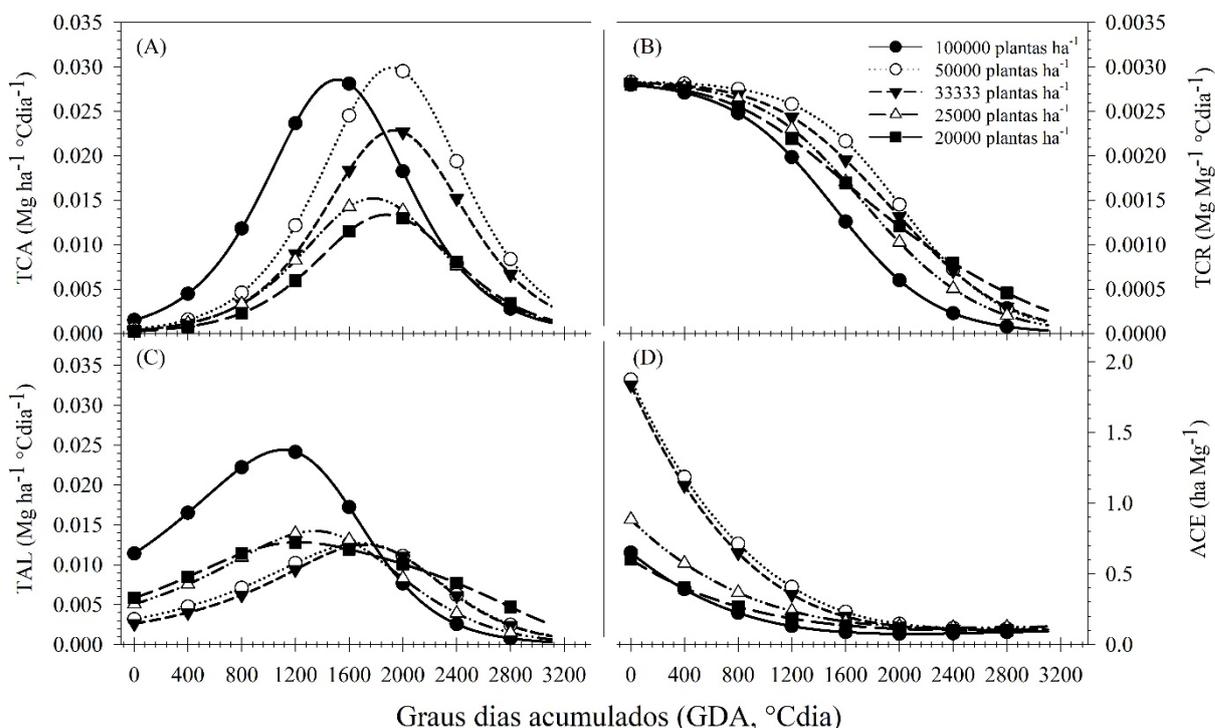


388 Graus dias acumulados (GDA, °Cdia)
 389 **Figura 3.** Índices morfofisiológicos da palma forrageira cultivada em orientação de cultivo
 390 Leste-Oeste em consórcio com sorgo, sob diferentes densidades de plantio. TCA – Taxa de
 391 crescimento absoluto (A); TCR – Taxa de crescimento relativo (B); TAL – Taxa de assimilação
 392 líquida (C); ACE – Área do cladódio específica (D).

393 A palma forrageira em sistema de cultivo consorciado com sorgo cv. 467 submetida a
 394 orientação de cultivo Norte-Sul, apresentou comportamento distinto em relação as diferentes
 395 densidades de plantio (Figura 4).

396 Observa-se que os maiores valores de TCA (Figura 4A) foram encontrados quando a
 397 palma forrageira foi cultivada sob as maiores densidade de plantio, com valores iguais a 0,028
 398 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹ para a densidade de plantio de 50.000 plantas ha⁻¹, seguido da densidade de
 399 100.000 plantas ha⁻¹ com valor máximo igual a 0,027 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹. O comportamento da
 400 TCR (Figura 4B) se assemelha ao ocorrido quando a cultura foi cultivada sob orientação Leste-
 401 Oeste, no entanto, nesse os maiores valores foram observados na densidade de 50.000 plantas
 402 ha⁻¹ com valor igual a 0,0029 Mg Mg⁻¹ °Cdia⁻¹ no início do cultivo. Para o índice TAL (Figura
 403 4C) a densidade que promoveu uma maior taxa foi a de 100.000 plantas ha⁻¹, com máxima de
 404 0,024Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹ aos 1100 °Cdia (275 dias). Para todas as densidades o ACE (Figura 4D)
 405 apresentou comportamento semelhante, com máximos valores na fase inicial e redução gradual

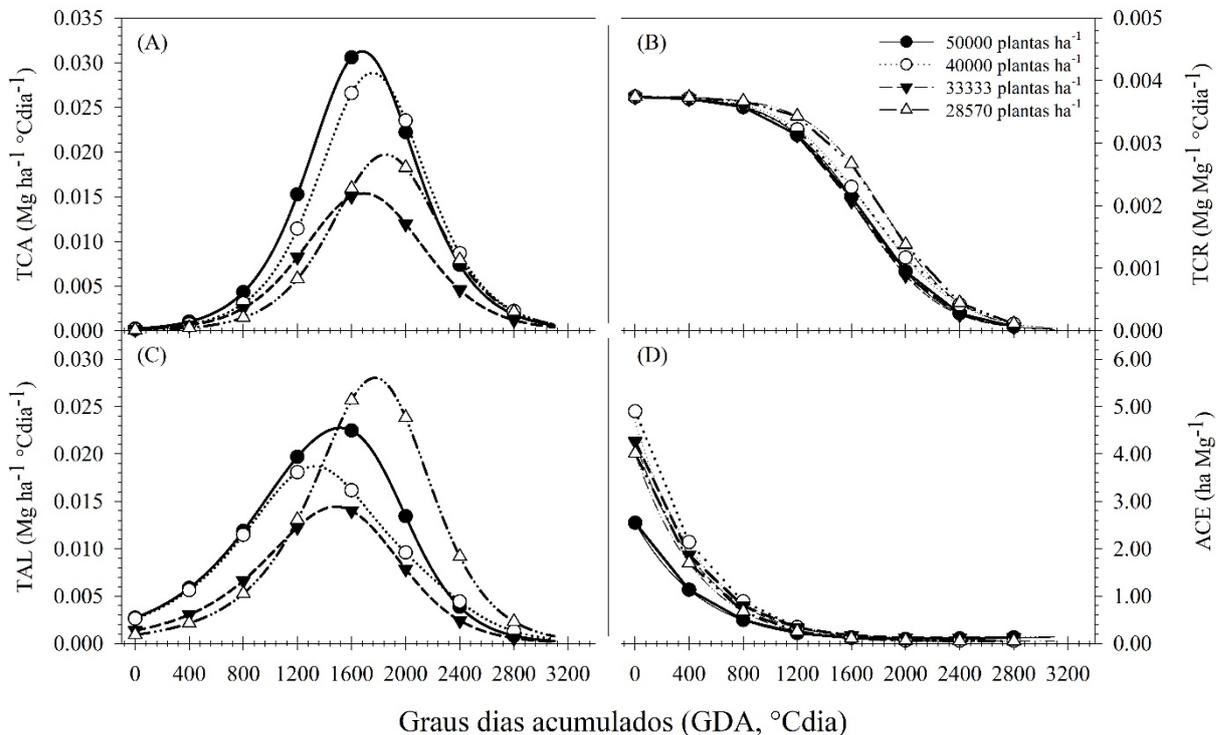
406 à medida que a cultura cresce e acumulava energia térmica, atingindo valor constante
 407 aproximadamente após os 1600 °Cdia (400 dias). Pôde-se observar que os maiores valores
 408 foram constatados nas maiores densidade de plantio (50.000 e 100.000 plantas ha⁻¹) com valor
 409 máximo média de 1,9 ha Mg⁻¹.



410
 411 **Figura 4.** Índices morfofisiológicos da palma forrageira cultivada em orientação de cultivo
 412 Norte-Sul em consórcio com o sorgo, sob diferentes densidades de plantio. TCA – Taxa de
 413 crescimento absoluto (A); TCR – Taxa de crescimento relativo (B); TAL – Taxa de assimilação
 414 líquida (C); ACE – Área do cladódio específica (D).

415 As diferentes densidades de plantio por meio da modificação no espaçamento entre
 416 linhas promoveram diferença nos índices morfofisiológicos (Figura 5). Verificou-se que a
 417 maior densidade aplicada (50.000 plantas ha⁻¹) promoveu máximo valor de TCA (Figura 5A)
 418 igual a 0,032 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹ aos 1400 °Cdia (350 dias). Para TCR (Figura 5B) o
 419 comportamento foi semelhante para todas as densidades empregadas, com maiores valores no
 420 início do ciclo, mantendo-se constante até aproximadamente 1200 °Cdia (300 dias), com
 421 redução gradual a partir desse momento. A menor densidade de plantio (28.570 plantas ha⁻¹)
 422 promoveu maiores valores de TAL (Figura 5C) quando comparada as demais densidades,
 423 ocorrido aos 1800 °Cdia (450 dias), com valor médio igual a 0,027 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹. Para ACE
 424 os maiores valores foram encontrados na fase inicial, com destaque para a densidade de 40.000
 425 plantas ha⁻¹, a qual obteve valor superior as demais densidades, sendo igual a 5 ha Mg⁻¹ °Cdia⁻¹.

426 ¹, no entanto, o comportamento foi semelhante para todas as densidades, com estabilização em
 427 seus valores em torno de 1500 °Cdias (375 dias).

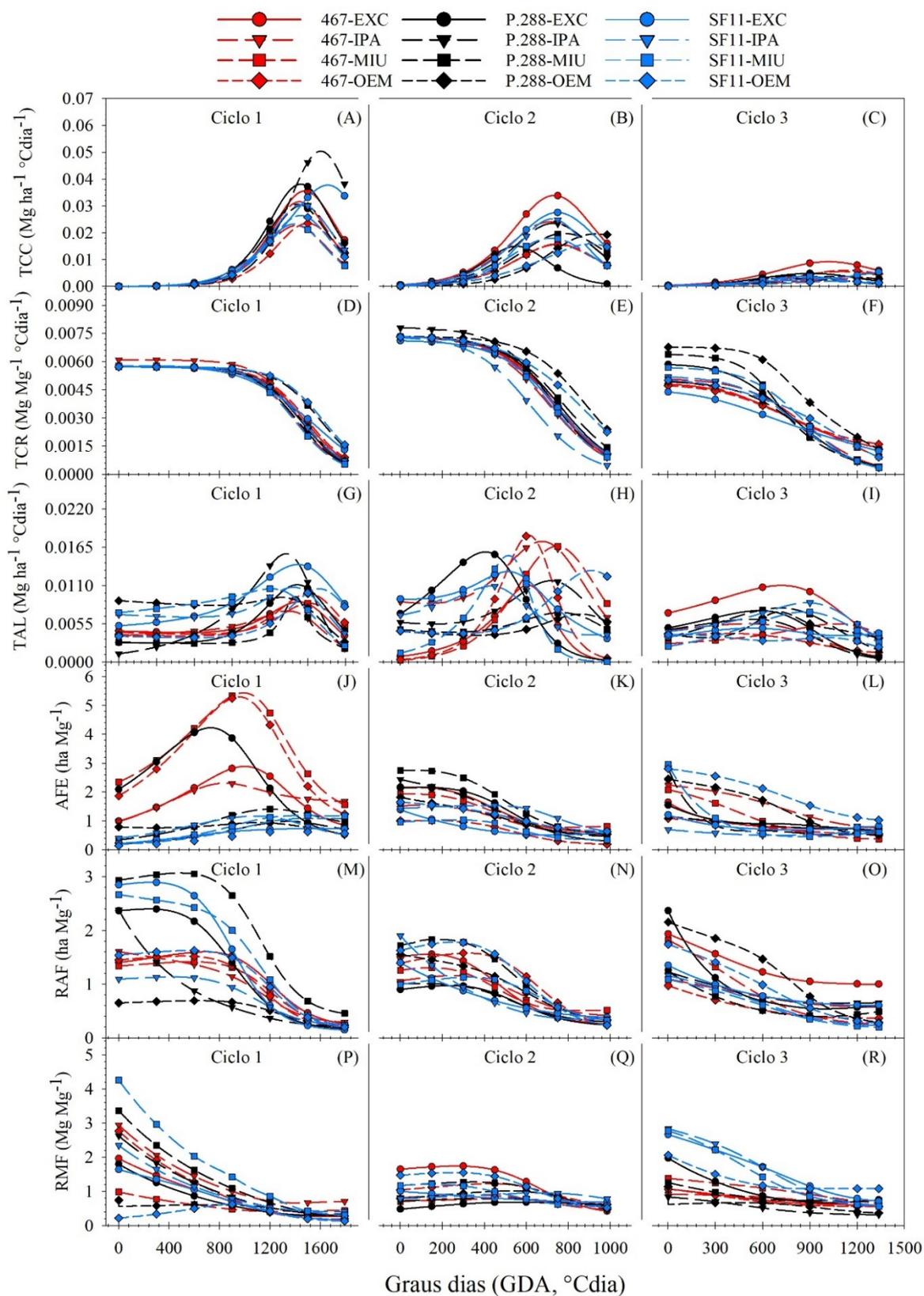


428
 429 **Figura 5.** Índices morfofisiológicos da palma forrageira consorciada com sorgo, sob diferentes
 430 densidades de plantio sob diferentes espaçamentos entre linhas. TCA – Taxa de crescimento
 431 absoluto (A); TCR – Taxa de crescimento relativo (B); TAL – Taxa de assimilação líquida (C);
 432 ACE – Área do cladódio específica (D).

433 3.1.2 Cultivares de sorgo

434 Para as diferentes cultivares de sorgo o comportamento das taxas morfofisiológicas
 435 variou em função da configuração de cultivo e do ciclo da cultura (Figura 6). Observa-se que a
 436 taxa de crescimento da cultura (TCA – Figura 6A, 6B e 6C) teve três fases bem definidas, para
 437 os três ciclos da cultura e configurações, onde no primeiro momento apresentou um acúmulo
 438 lento de matéria seca, a segunda fase caracterizada pelo rápido crescimento e a terceira redução,
 439 com maiores valores observados nas configurações com as cultivares 467 e P.288, e redução
 440 em suas taxas com o passar dos ciclos, independentemente da configuração. Para TCR (Figura
 441 6D, 6E e 6F), a taxa foi máxima na fase inicial de cada ciclo, com redução em seus valores
 442 aproximadamente aos 900, 420 e 600 °Cdia (56, 26 e 37 dias, nessa ordem), para os ciclos 1, 2
 443 e 3, respectivamente. A TAL (Figura 6G, 6H e 6I) apresentou comportamento com duas fases
 444 bem definidas, a primeira com aumento gradativo em seus valores e a segunda redução dos
 445 mesmos. A área foliar específica (AFE – Figura 6J, 6K e 6L) demonstrou comportamento
 446 diferenciado nos diferentes ciclos da cultura, no primeiro ciclo houve um aumento gradativo

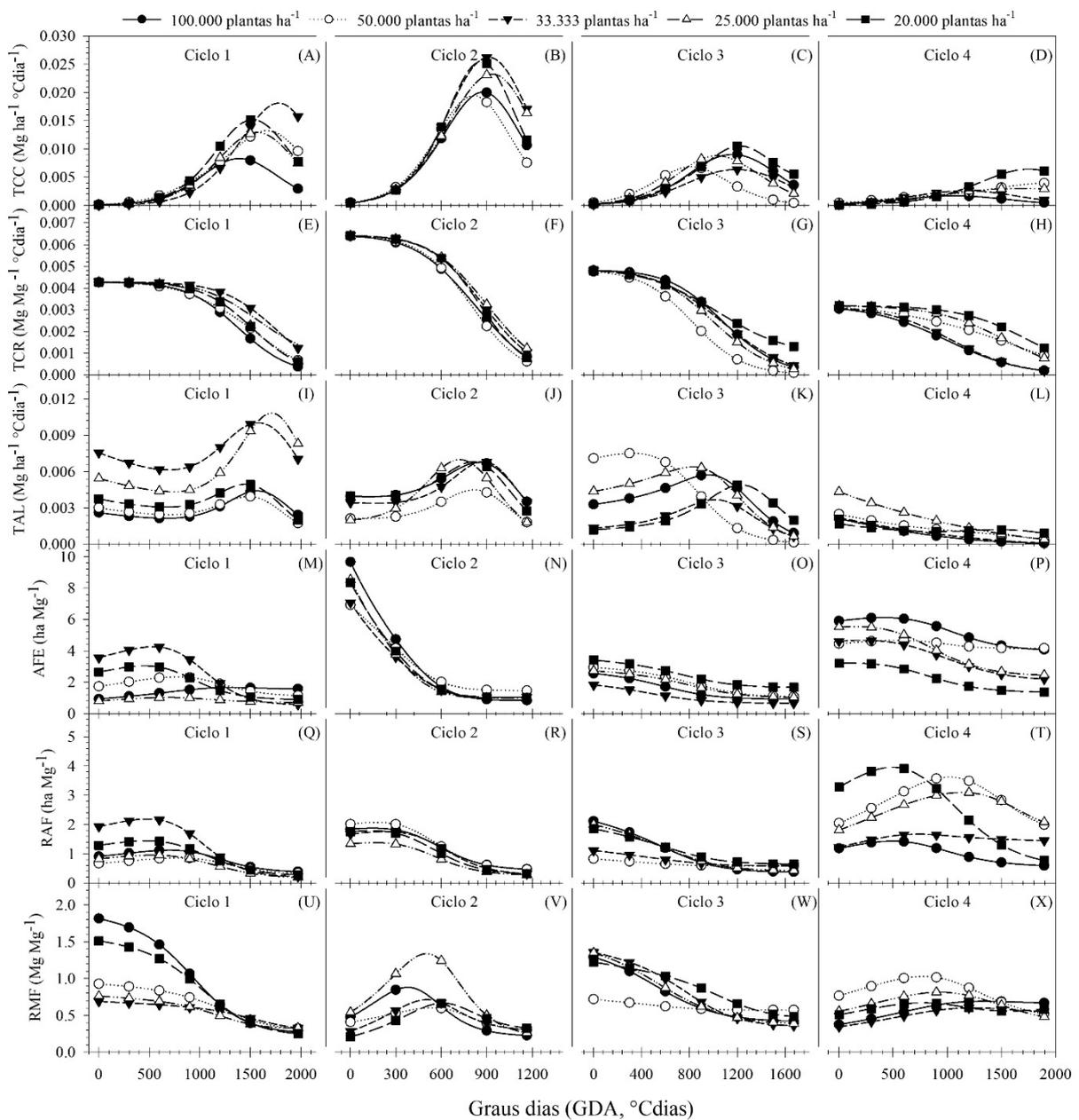
447 em seus valores, principalmente para as configurações 467-MIU e 467-OEM, com redução em
448 seus valores aproximadamente aos 980 °Cdia (61 dias), em contraste os ciclos 2 e 3
449 apresentaram comportamento semelhante, caracterizada por um decréscimo contínuo em seus
450 valores. A razão de área foliar (RAF – Figura 6M, 6N e 6O) para o ciclo 1 e 2 apresentou
451 tendência de aumento na fase inicial do ciclo, com redução ocorrida aos 430 °Cdia (27 dias),
452 no caso do ciclo 3, o comportamento foi de redução contínua em seus valores desde o início do
453 ciclo. No que se refere a razão de massa foliar (RMF – Figura 6P, 6Q e 6R), verificou-se redução
454 em seus valores ao longo do ciclo 1 e 3, para o ciclo 2 os valores mantiveram-se constantes até
455 420 °Cdia (26 dias), com redução logo após.



456
457
458
459
460
461

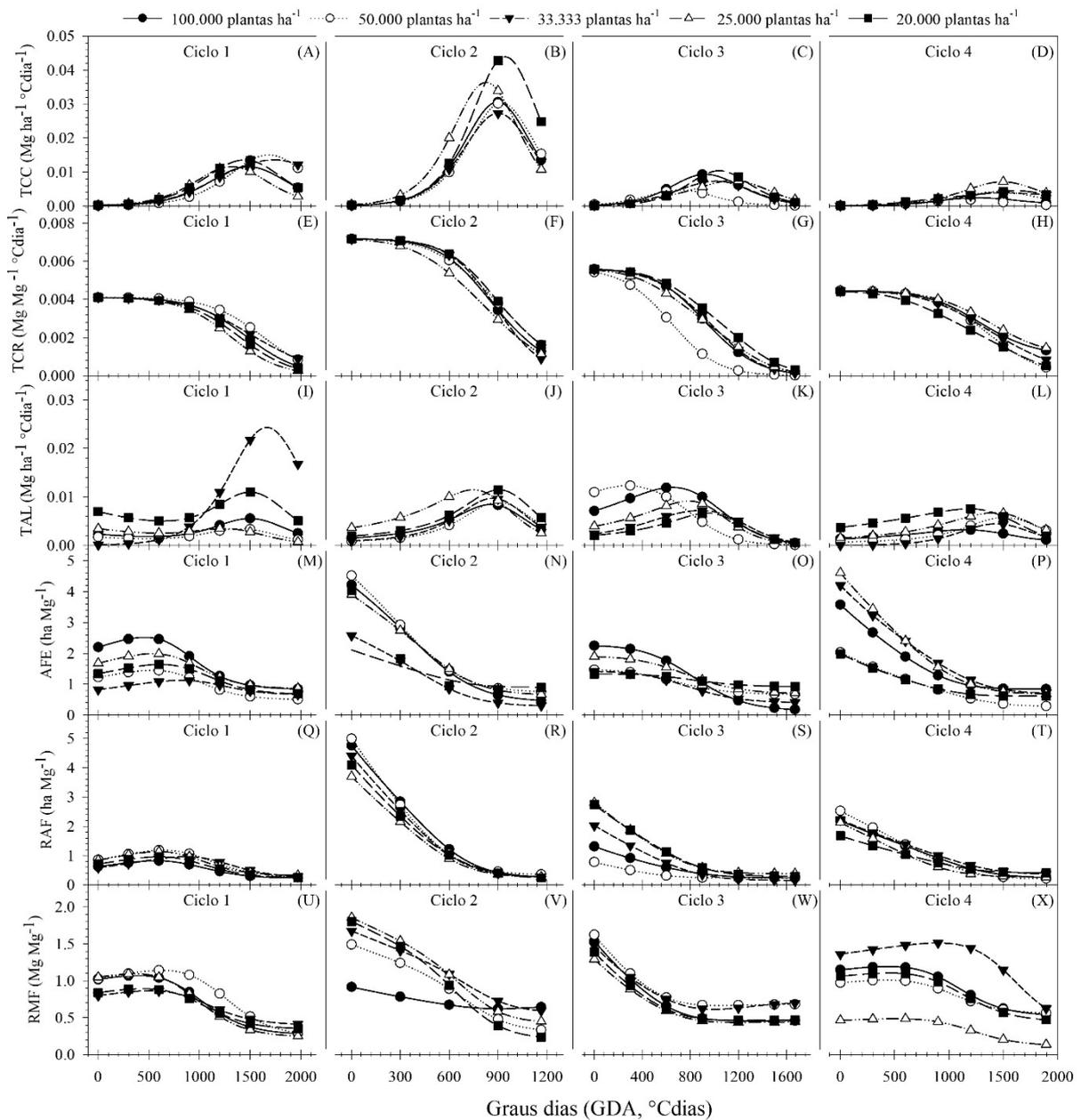
Figura 6. Índices morfofisiológicos dos três ciclos de cultivares de sorgo (467, SF11 e P.288) submetidas a diferentes configurações de cultivo. TCC – Taxa de crescimento da cultura (A, B e C); TCR – Taxa de crescimento relativo (D, E e F); TAL – Taxa de assimilação líquida (G, H e I); AFE – Área foliar específica (J, K e L); RAF – Razão de área foliar (M, N e O); RMF – Razão de massa foliar (P, Q e R).

462 Quando o sorgo foi submetido a consórcio com a palma forrageira cultivados em
463 orientação de cultivo Leste-Oeste, constatou-se que os índices variaram em função do ciclo da
464 cultura, com comportamento semelhante entre os tratamento de densidade aplicados para a a
465 palma forrageira (Figura 7). A TCA (Figura 7A, 7B, 7C e 7D) apresentou três fases bem
466 definidas, onde a primeira fase é caracterizada pelo acúmulo lento de matéria seca, a segunda
467 representada pelo rápido acúmulo e a terceira redução em seus valores. Os maiores valores para
468 TCR (Figura 7E, 7F, 7G e 7H) foram constatados na fase inicial da cultura, com redução em seus
469 valores após determinado período térmico, a depender do ciclo da cultura, com comportamento
470 semelhante para os tratamentos. Para TAL (Figura 7I, 7J, 7K e 7L) os três primeiros ciclos
471 apresentaram crescimento inicial em seus valores, com redução gradativa logo após o pico, em
472 contrapartida, o quarto ciclo foi caracterizada por redução contínua dos valores ao longo do
473 período. A AFE (Figura 7M, 7N, 7O e 7P) apresentou comportamento distinto para os
474 diferentes ciclos avaliados, com aumento inicial nos valores do ciclo 1 e redução
475 aproximadamente aos 700 °Cdia (44 dias), em contraste para os demais ciclos apresentaram
476 redução gradativa nos valores desde o início de cada ciclo. A RAF (Figura 7Q, 7R, 7S e 7T) e
477 RMF (Figura 7U, 7V, 7W e 7X) apresentaram comportamentos semelhantes, onde os ciclos 1,
478 2 e 4 apresentara, tendência de crescimento em seus valores, com redução gradativa logo após
479 certo período de tempo, para o ciclo 3 o comportamento foi de redução contínua desde fase
480 inicial do ciclo
481



482
 483 **Figura 7.** Índices morfofisiológicos dos quatro ciclos do sorgo sob orientação de cultivo Leste-
 484 Oeste em sistema consorciado com a palma forrageira submetida a diferentes densidades de
 485 plantio. TCC – Taxa de crescimento da cultura (A, B, C e D); TCR – Taxa de crescimento
 486 relativo (E, F, G e H); TAL – Taxa de assimilação líquida (I, J, K e L); AFE – Área foliar
 487 específica (M, N, O e P); RAF – Razão de área foliar (Q, R, S e T); RMF – Razão de massa
 488 foliar (U, V, W e X).

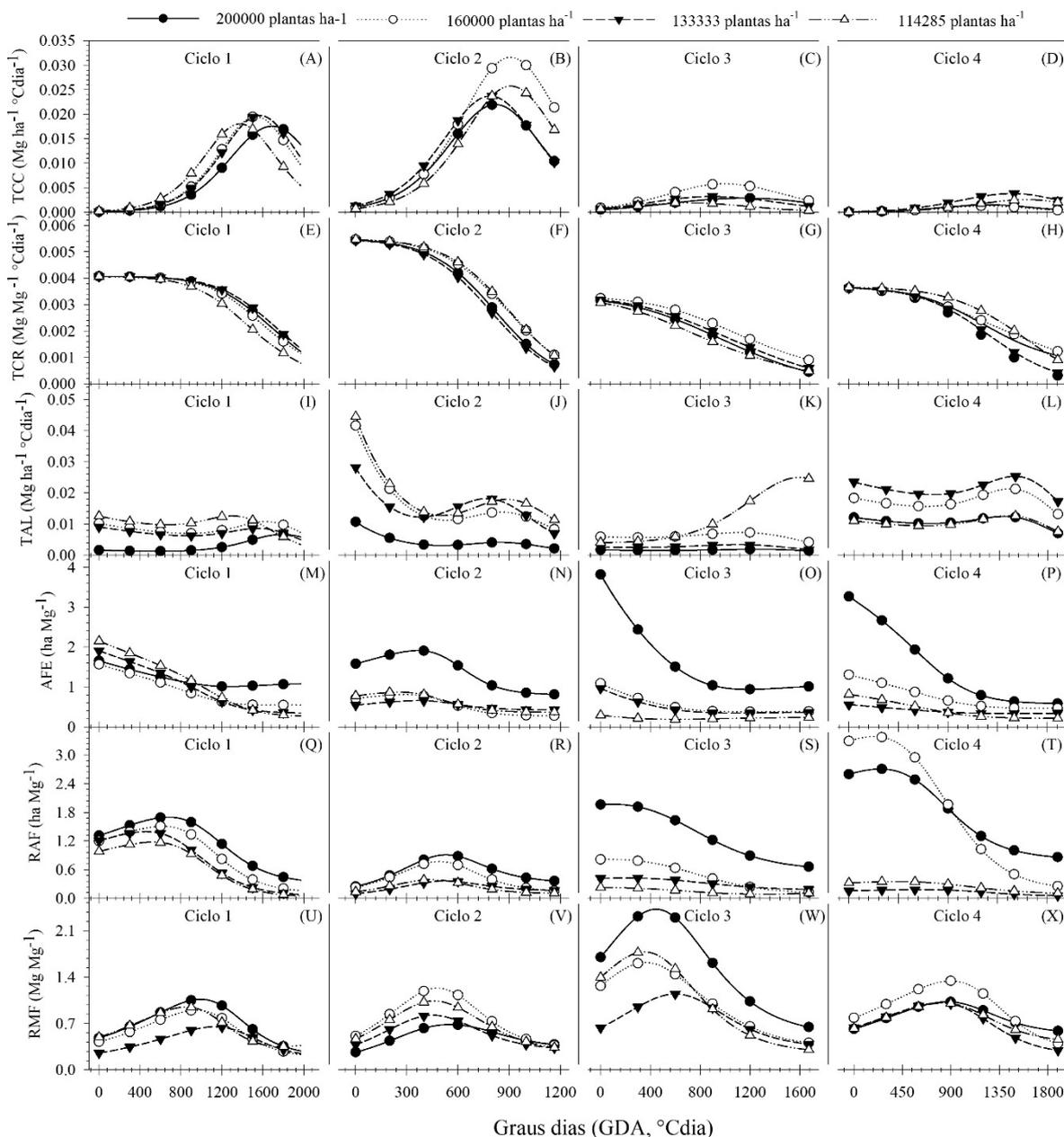
489 Os índices morfofisiológicos para o sorgo cultivado em sistema consorciado com palma
 490 forrageira, sob orientação de cultivo Norte-Sul (Figura 8) apresentaram comportamento
 491 semelhante aos encontrados para o cultivo sob orientação Leste-Oeste, descrito anteriormente,
 492 com diferença nos valores observados. Logo, os valores variam em função do ciclo avaliado e
 493 dos tratamentos impostos, onde verificou que em relação aos ciclos avaliados os maiores
 494 valores para a maioria das variáveis foram constatados no segundo ciclo.



495
 496 **Figura 8.** Índices morfofisiológicos dos quatro ciclos do sorgo sob orientação de cultivo
 497 Norte-Sul em sistema consorciado com a palma forrageira submetida a diferentes densidades
 498 de plantio. TCC – Taxa de crescimento da cultura (A, B, C e D); TCR – Taxa de crescimento
 499 relativo (E, F, G e H); TAL – Taxa de assimilação líquida (I, J, K e L); AFE – Área foliar
 500 específica (M, N, O e P); RAF – Razão de área foliar (Q, R, S e T); RMF – Razão de massa
 501 foliar (U, V, W e X).

502 Na Figura 9 estão apresentados o comportamento dos índices morfofisiológico dos
 503 quatro ciclos do sorgo sob modificação na densidade populacional em consórcio com a palma
 504 forrageira. Verifica-se que para cada ciclo avaliado o comportamento dos índices foi
 505 semelhante entre os tratamentos, os quais apresentaram comportamento similar ao ocorrido nas
 506 áreas experimentais 2 e 3, com diferença nos valores obtidos para as taxas avaliadas. Foi
 507 possível observar que para AFE, RAF e RMF, a densidade de 200.000 plantas ha⁻¹ promoveu

508 os maiores valores para todos os ciclos estudados, com exceção da RAF ciclo 4 e RMF ciclo 2
 509 e 4, onde os maiores valores foram constatados na densidade de 160.000 plantas ha⁻¹.

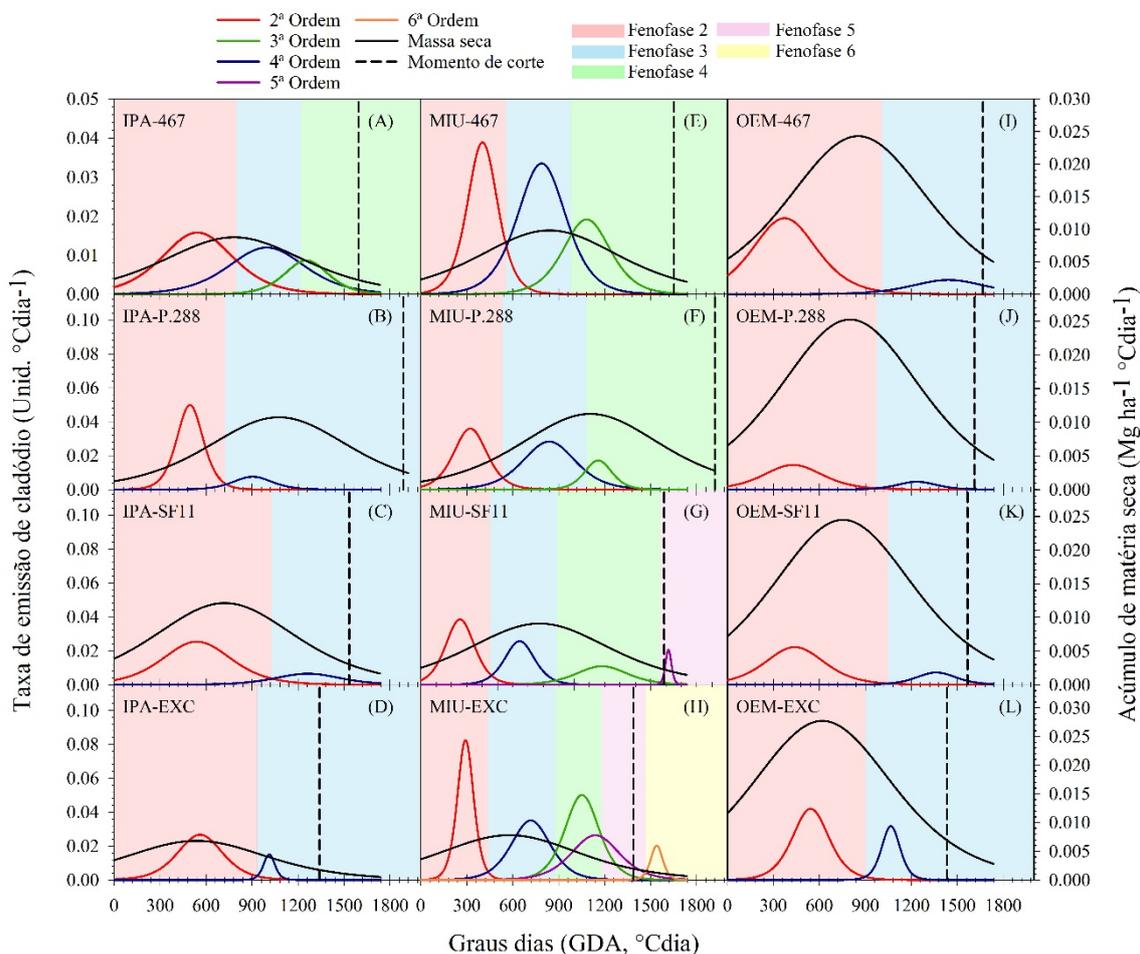


510
 511 **Figura 9.** Índices morfofisiológicos dos quatro ciclos do sorgo em consórcio com a palma
 512 forrageira sob diferentes densidades de plantio. TCC – Taxa de crescimento da cultura (A, B,
 513 C e D); TCR – Taxa de crescimento relativo (E, F, G e H); TAL – Taxa de assimilação líquida
 514 (I, J, K e L); AFE – Área foliar específica (M, N, O e P); RAF – Razão de área foliar (Q, R, S
 515 e T); RMF – Razão de massa foliar (U, V, W e X).

516
 517 **3.2 Fenofase e momento de corte da palma forrageira**

518 Na Figura 10, verifica-se que o número e a duração das fenofases da palma forrageira,
 519 assim como o a taxa de acúmulo de massa seca e momento de ideal de corte, com base nos
 520 graus dias acumulados, variam com a modificação na configuração de cultivo empregada. No

521 entanto, observa-se que independente da configuração utilizada a taxa de emissão de cladódio
522 de segunda ordem foi superior as demais.



523

524 **Figura 10.** Fenofase vegetativa e momento de corte de clones de palma forrageira (IPA – IPA
525 Sertânia; MIU – Miúda; OEM – Orelha de Elefante Mexicana) submetidas a sistema de cultivo
526 exclusivo (EXC) e consorciado com cultivares de sorgo (467; SF11; P.288 – Progenitor 288),
527 em função dos graus dias acumulados (GDA, °Cdia).

528 Para todas as configurações foi verificado a ocorrência da fenofase 2 e 3, caracterizadas
529 pela emissão de cladódios secundários e terciários, respectivamente. A variação na duração e
530 taxa máxima de emissão ocorreu em decorrência do clone de palma forrageira utilizada e do
531 sistema de cultivo a qual estava submetida. A ocorrência da fenofases 4 (i.e., emissão de
532 cladódios de quarta ordem) foi verificada em todas as configurações que continham o clone
533 MIU (Figura 10E, 10F, 10G e 10H) e a configuração IPA-467 (Figura 10A). Por sua vez, a
534 ocorrência de fenofases superiores foram evidenciadas apenas nas configurações com presença
535 do clone MIL. A fenofase 5, representada pela emissão de cladódios de quinta ordem, foi
536 verificada nas configurações MIU-SF11 e MIU-EXC (Figura 10G e 10H), havendo fenofase 6,

537 definida pela emissão de cladódios de sexta ordem, apenas na configuração MIU-EXC (Figura
538 10H).

539

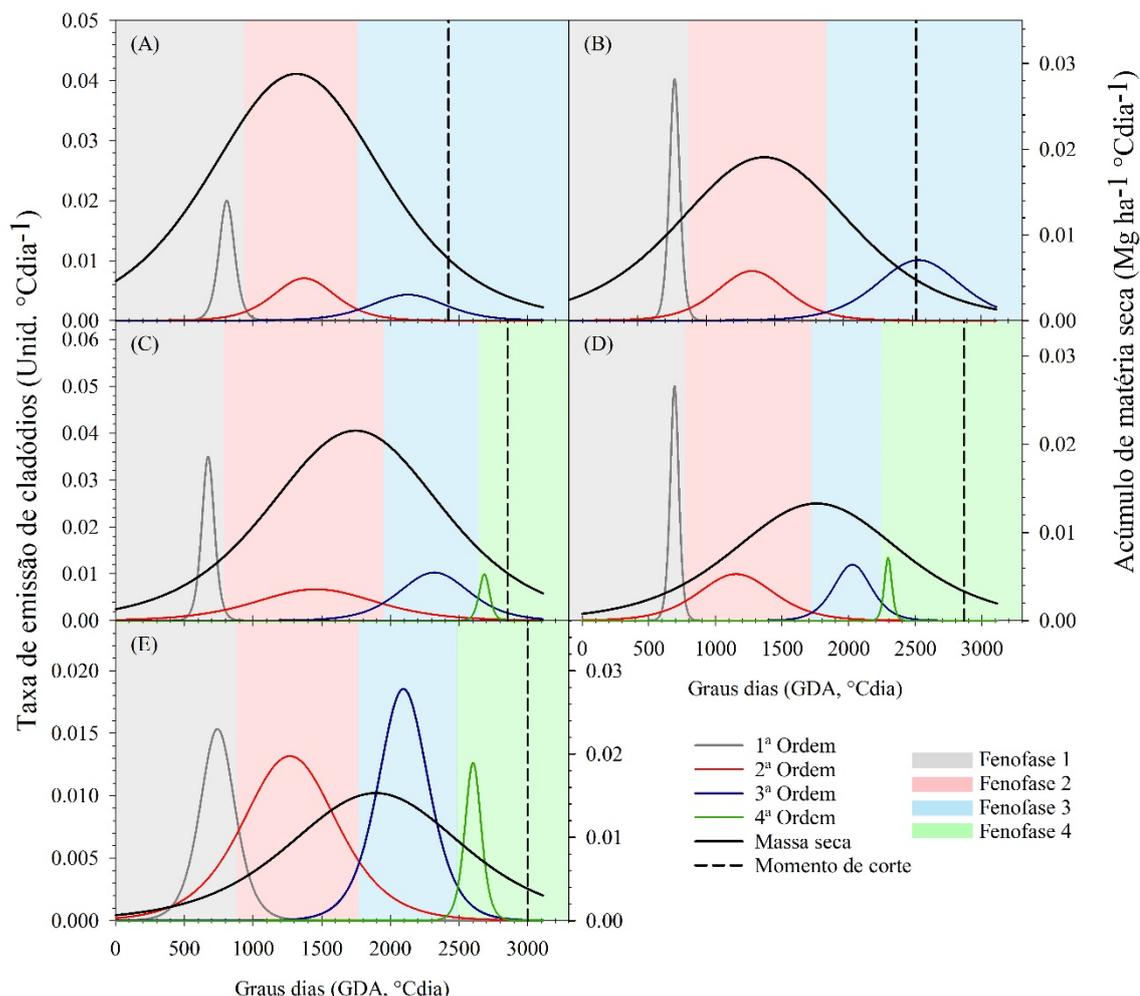
540 A duração da segunda fase foi maior quando a configuração continha o clone OEM
541 (Figura 10I, 10J, 10K e 10L), com duração média em torno de 995 °Cdia (249 dias), seguido
542 das configurações com o clone IPA (~874 °Cdia – 219 dias) e menor duração para as
543 configurações com o clone MIU, com duração média de 500 °Cdia (125 dias).

544 Em relação ao momento de corte, observa-se que o acúmulo de matéria seca variou em
545 função dos clones e das configurações utilizada (Figura 10). Em geral, as configurações com
546 OEM em sua constituição apresentaram as maiores taxas de acúmulo de matéria seca (Figura
547 10I, 10J, 10K e 10L), com média de 0,025 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹ e máximo acúmulo ocorrido em
548 média aos 785°Cdias (196 dias). Para todos os clones, a configuração com a cultivar de sorgo
549 P.288 (Figura 10B, 10F e 10J) promoveu uma maior necessidade em acumulação térmica
550 (média de ~1806 °Cdias – 451 dias) para realização da colheita, ou seja, um retardo na colheita
551 da palma forrageira. Por outro lado, quando os clones estavam em sistema exclusivo (Figura
552 10D, 10H e 10L), há uma antecipação no momento de corte em relação aos demais tratamentos,
553 com corte podendo ser realizado aos 1387 °Cdia (346 dias), em média.

554 Outro fator que influenciou na variação do número e duração das fenofases da palma
555 forrageira, juntamente no acúmulo de matéria seca e momento de corte é a densidade de plantio
556 (Figura 11, 12 e 13).

557 A palma cultivada sob diferentes densidades e orientação de cultivo Leste-Oeste (Figura
558 11), apresentou em todas as densidades a ocorrência das fenofases 1, 2 e 3, definida como a
559 emissão de cladódios de primeira, segunda e terceira ordem, respectivamente. A fenofase 4,
560 caracterizada pela emissão de cladódios de quarta ordem, foi evidenciado nas densidades de
561 33.333, 25.000 e 20.000 plantas ha⁻¹. No entanto, a taxa máxima de emissão de cladódios de
562 quarta ordem foi superior as demais na menor densidade de plantio (20.000 plantas ha⁻¹).

563 Por outro lado, a taxa máxima de acúmulo de matéria seca foi encontrado na maior
564 densidade de plantio (Figura 11A, 100.000 plantas ha⁻¹), com valor de 0,030 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹,
565 ocorrendo aos 1350 °Cdia. A maior densidade de plantio (Figura 11A, 100.000 plantas ha⁻¹)
566 também favoreceu uma antecipação no momento de corte, podendo ser realizado a colheita aos
567 2424 °Cdias (606 dias), já a menor densidade (Figura 11E, 20.000 plantas ha⁻¹) promoveu um
568 retardo na colheita da palma forrageira, sendo seu corte realizado aos 3000 °Cdias (750 dias).



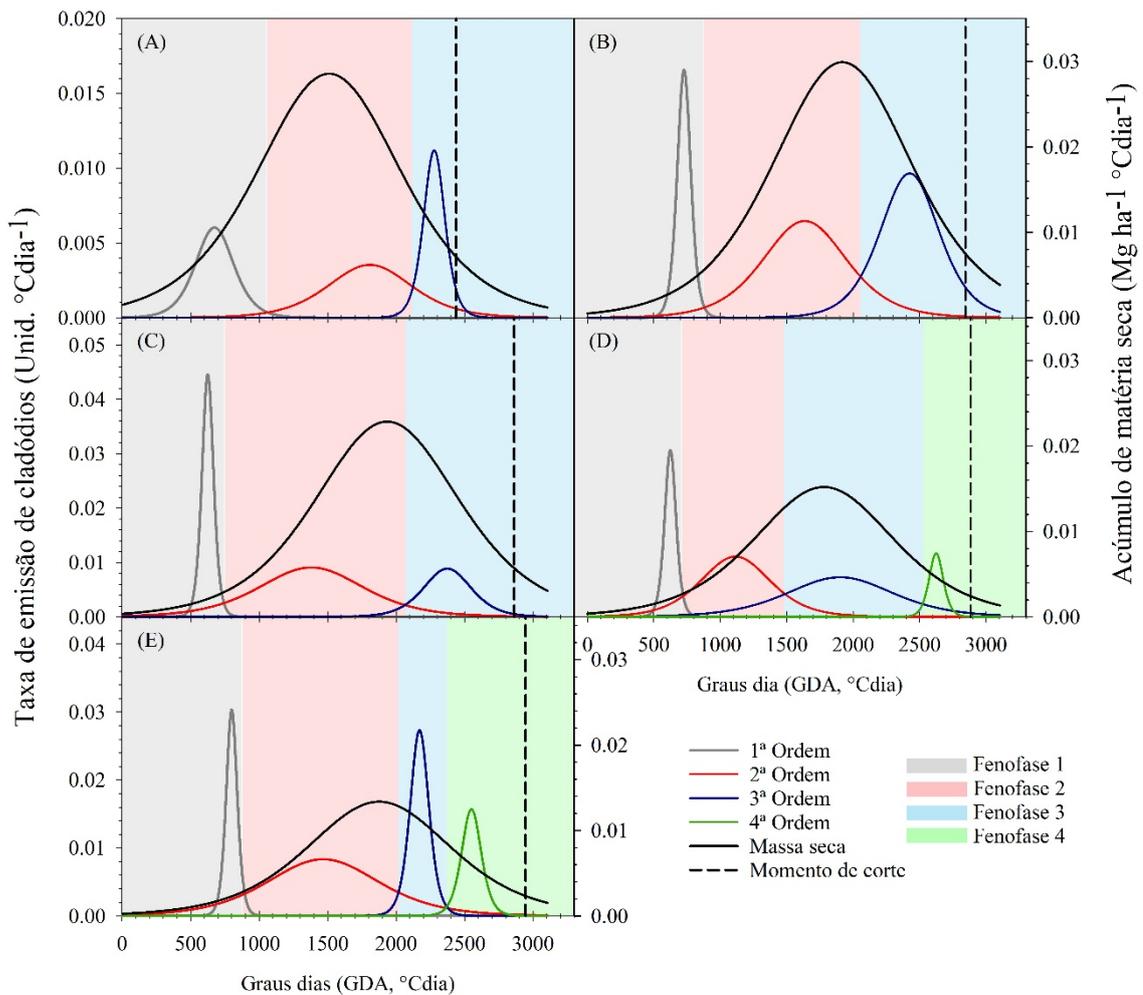
569
 570 **Figura 11.** Fenofase vegetativa e momento de corte da palma forrageira cultivada em
 571 orientação de cultivo Leste-Oeste em consórcio com sorgo cv. 467, sob diferentes densidades
 572 de plantio. A – 1000.000 plantas ha⁻¹; B – 50.000 plantas ha⁻¹; C – 33.333 plantas ha⁻¹; D –
 573 25.000 plantas ha⁻¹; E – 20.000 plantas ha⁻¹.

574 Em relação a palma cultivada sob orientação de cultivo Norte-Sul, submetida a
 575 diferentes densidades de plantio (Figura 12), observa-se comportamento semelhante ao
 576 ocorrido no cultivo Leste-Oeste (Figura 11), com diferença nos valores encontrados, no número
 577 e duração das fenofases ocorridas.

578 Desse modo, sob orientação Norte-Sul, a palma forrageira apresentou fenofase 4 apenas
 579 para as densidades de 25.000 e 20.000 plantas ha⁻¹ (Figura 12D e 12E). Com uma duração maior
 580 na menor densidade estudada (Figura 8E, 20.000 plantas ha⁻¹), com duração de 773 °Cdia (193
 581 dias).

582 No caso do acúmulo de matéria seca, a taxa máxima foi encontrada para as densidades
 583 de 100.000 e 50.000 plantas ha⁻¹ (Figura 12A e 12B, nessa ordem) com valor médio igual a
 584 0,030 Mg há⁻¹ °Cdia⁻¹, ocorrido aos 1500 e 1700 °Cdias (375 e 425 dias), respectivamente.

585 Assim como no cultivo Leste-Oeste, a maior densidade (Figura 12A) promoveu uma
 586 antecipação na colheita da cultura, e retardo para a menor densidade aplicada (Figura 12E), com
 587 corte podendo ser realizado aos 2846 e 2945 °Cdias (711 e 736 dias), nessa ordem.
 588
 589

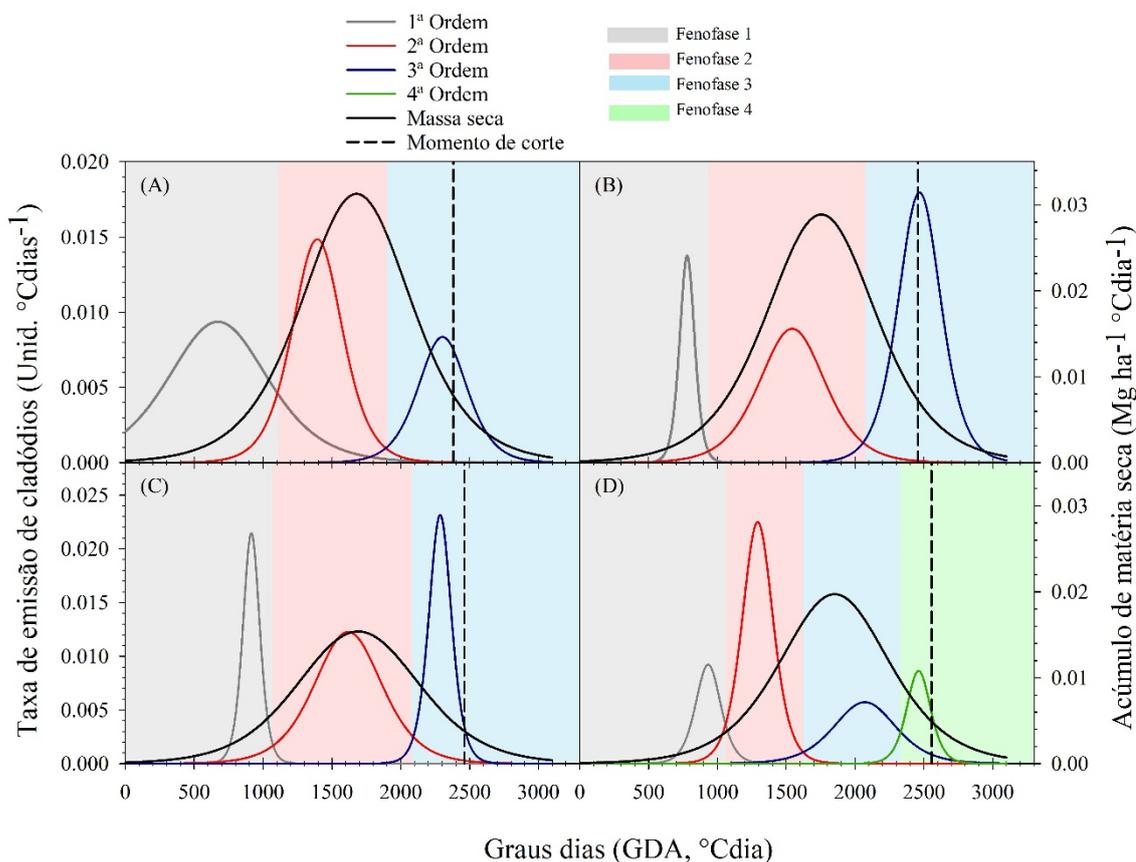


590
 591 **Figura 12.** Fenofase vegetativa e momento de corte da palma forrageira cultivada em
 592 orientação de cultivo Norte-Sul em consórcio com sorgo cv. 467, sob diferentes densidades de
 593 plantio. A – 1000.000 plantas ha⁻¹; B – 50.000 plantas ha⁻¹; C – 33.333 plantas ha⁻¹; D –
 594 25.000 plantas ha⁻¹; E – 20.000 plantas ha⁻¹.

595 Na Figura 13 é ilustrado o número e a duração das fenofases, juntamente com a taxa de
 596 acúmulo de matéria seca e momento de corte da palma forrageira cultivada sob diferentes
 597 densidades de plantio, por meio da modificação no espaçamento entre linhas. Verifica-se que a
 598 duração e número de fases é dependente da densidade a qual a cultura está submetida. Observa-
 599 se que houve a ocorrência de três fenofase (i.e., 1,2 e 3) para todas as densidades estudadas,
 600 com acréscimo da fenofase 4 para a menor densidade de plantio (Figura 13D, 28.570 plantas
 601 ha⁻¹).

602 A duração da fenofase 1, apresentou semelhança entre os tratamentos aplicados, com
 603 duração média de 1043 °Cdia (260 dias). Para a segunda fase a duração foi inferior na menor
 604 densidade de plantio (Figura 13D), quando comparada as demais densidades, com média de
 605 560 °Cdias (140 dias), mesmo apresentando a maior taxa de emissão de cladódios.

606 O acúmulo de matéria seca variou em função da densidade de plantio aplicada (Figura
 607 13). A taxa máxima de acúmulo foi observada na densidade de 50.000 plantas ha⁻¹ (Figura 9A),
 608 com valor igual a 0,032 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹, ocorrido aos 1600 °Cdia (400 dias). Por sua vez, o
 609 momento de corte foi antecipado na maior densidade (Figura 9A, 50.000 plantas ha⁻¹) quando
 610 comparada as demais, com colheita podendo ser realizada aos 2382 °Cdia (595 dias),
 611 diferentemente da menor densidade (Figura 9D, 28.570 plantas ha⁻¹) onde o momento de corte
 612 foi retardado, com corte aos 2555 °Cdia (638 dias).



613 **Figura 13.** Fenofase vegetativa e momento de corte da palma forrageira consorciada com sorgo
 614 cv. 467, sob diferentes densidades de plantio por meio da modificação no espaçamento entre
 615 linhas. A – 50.000 plantas ha⁻¹; B – 40.000 plantas ha⁻¹; C – 33.333 plantas ha⁻¹; D – 28.571
 616 plantas ha⁻¹.
 617

618
 619

620 **4 Discussão**

621

622 *4.1 Índices morfofisiológicos da palma forrageira*

623

624

625 A variação nas características morfofisiológicas entre os clones está associada as
626 adaptações de cada genótipo, refletida em sua morfologia (NUNES et al., 2020). Onde, tais
627 características são dependentes da espécie vegetal (AMANI et al., 2019). Além disso, a
628 dinâmica no crescimento da palma forrageira é dependente de fatores como idade do cultivo,
629 regime hídrico e variáveis meteorológicas, principalmente a temperatura do ar (SCALISI et al.,
2016).

630

631 A taxa de crescimento da cultura (TCA) representa a variação ou incremento no
632 crescimento da cultura entre amostragens, ao longo do tempo (MEDEIROS et al., 2007; ZUFFO
633 et al., 2016). De modo geral a TCA é a capacidade em acumular matéria seca no espaço e no
634 tempo (i.e., por unidade de área e no tempo) (NUNES et al., 2020). Os maiores valores obtidos
635 nas configurações composto pelo clone OEM está associado as características das espécies,
636 quando comparadas as demais, onde apresenta grande área de cladódio, favorecendo elevação
637 na eficiência no uso dos recursos, principalmente interceptação luminosa, promovendo
638 incremento no acúmulo de matéria seca. Silva et al. (2015), estudando os clones de palma
639 forrageira, observaram que o OEM se destacou em relação à área do cladódio quando
640 comparada aos clones IPA e MIU. Além disso, os clones IPA e MIU apresentam alta
641 mortalidade, diferentemente do clone OEM (JARDIM et al., 2021), dificultando assim acúmulo
642 de massa seca por unidade de área, uma vez que o estande das culturas com mortalidade elevada
643 é reduzido. No caso das cultivares de sorgo, as maiores taxas foram observadas para as
644 cultivares 467 e P.288, isso se deve a maior capacidade dessas culturas em acumular matéria
645 seca, em comparação a cultivar SF11. No entanto, verifica-se uma redução nessa taxa com o
646 passar dos ciclos, independente do tratamento impostos e da área experimental avaliada, sendo
647 reflexo da redução do vigor produtivo das culturas com os sucessivos cortes realizado na
colheita (SILVA et al., 2012).

648

649 Por sua vez, os maiores valores na palma, nas orientações de cultivo Leste-Oeste e
650 Norte-Sul, está associado a um maior acúmulo de matéria seca por unidade de área. Cavalcante
651 et al. (2014) e Silva et al. (2014b), estudaram o cultivo da palma forrageira sob diferentes
652 densidades, e evidenciaram que à medida que se elevou a densidade houve influência na
653 morfometria dos genótipos, onde a elevação da densidade promoveu redução na emissão de
654 cladódios, comprimento e largura dos cladódios, assim como, aumento na produtividade da
cultura, promovendo maior acúmulo de nutrientes e matéria seca.

655 A ausência de diferença na taxa de crescimento absoluto (TCA) do sorgo quando
656 cultivadas em sentido Leste-Oeste e Norte-Sul, está associado ao fato de que apenas a palma
657 estava submetida a diferentes densidades de plantio. Diferentemente do ocorrido quando o
658 sorgo sofre alteração em suas densidades (Figura 9), onde é perceptível que a densidade
659 influenciou na capacidade de acúmulo de massa seca. Silva et al. (2010) observaram que a
660 modificação no espaçamento entre linhas no sistema de produção influencia a taxa de
661 crescimento absoluto. A diferença nos valores de TCA sob diferentes densidades de plantio,
662 está associado a competição, principalmente associada a captação luminosa, uma vez que a
663 quantidade de radiação solar incidente é determinante para modificação nos valores de TCA
664 (TERRA et al., 2011).

665 A taxa de crescimento relativo (TCR) indica o aumento de matéria seca em relação a
666 quantidade de matéria seca pré-existente em determinado período de tempo (QUEIROZ et al.,
667 2015). Os maiores valores encontrados na fase inicial do ciclo da cultura são em decorrência
668 do crescimento e desenvolvimento celular para composição de novos tecidos, promovendo
669 aumento na área foliar (TERRA et al., 2011). Por sua vez, a diminuição nos valores de TCR à
670 medida que a cultura cresce, está relacionada a elevação na necessidade de fotoassimilados na
671 manutenção de outros órgãos já formados (i.e., folhas, caule, flores e frutos) (SILVA et al.,
672 2010; GOMES et al., 2018). Além disso a redução nos valores de TCR ao longo do tempo está
673 associado ao alto sombreamento das culturas e diminuição no incremento da área
674 fotossinteticamente ativa ao decorrer do ciclo do vegetal (SILVA et al., 2009).

675 Em geral, a TCR evidencia o crescimento do vegetal, o qual é dependente do material
676 acumulado, de modo que, sua redução além de estar associado aos fatores elencados
677 anteriormente, é em virtude da produção de órgãos não fotossintetizantes (TEXEIRA et al.,
678 2015). Esses autores ainda ressaltam que as cultivares mais produtivas apresentam um
679 crescimento mais acelerado e, geralmente tem desenvolvimento rápido do índice de área foliar.

680 A taxa de assimilação líquida (TAL) evidencia a correlação entre a área foliar e a
681 produção de massa seca (QUEIROZ et al., 2015), refletindo a eficiência fotossintética dos
682 órgãos (ZUFFO et al., 2016). Esse índice indica a eficiência dos órgãos fotossintetizantes para
683 produção de biomassa (DANTAS et al., 2009). A ocorrência de aumento da TAL ao passo que
684 a cultura cresce, pode estar associado ao investimento inicial em área foliar, bem como pela
685 capacidade fotossintética da espécie (CÂMARA et al., 2017). Esse índice representa o balanço
686 entre o produto da fotossíntese e o material perdido na respiração, havendo assim diminuição

687 ao final do ciclo (SILVA et al., 2009), para casos onde próximo ao final do ciclo há um
688 acréscimo nos valores, está associado a um retardamento no aumento da área foliar.

689 No caso da palma forrageira a redução da TAL é ocasionada pela emissão de cladódios
690 de novas ordem, os quais em sua fase jovem apresentam baixa capacidade fotossintética, em
691 comparação aos mais maduros (QUEIROZ et al., 2015). Pinheiro et al. (2014), relatam que a
692 interação entre a cultura e o ambiente condiciona a produção, de tal forma que fatores como
693 habito de crescimento, ângulo de inserção foliar/cladódio e a disposição do dossel influência
694 no aproveitamento no uso da energia solar, com transformação pelos órgãos em energia química
695 no processo de fotossíntese. Ramos et al. (2017), estudando a palma forrageira submetida a
696 diferentes espaçamentos, verificaram que o aumento na densidade de plantio promoveu um
697 incremento na área do cladódio e índice de área do cladódio, favorecendo uma maior área
698 fotossinteticamente ativa. Onde o aumento da densidade promove modificação na espessura,
699 no número e índices de área do cladódio da palma forrageira (DONATO et al., 2014). No
700 entanto, o aumento no sombreamento reduz a capacidade fotossintética, com incremento no
701 sombreamento realizado pela cultura consorte.

702 A área do cladódio específico (ACE) exprime a relação entre a produção de matéria seca
703 e o índice de área do cladódio, quantificando a distribuição de matéria seca nos órgãos
704 fotossintetizantes (QUEIROZ et al., 2015). A tendência deste índice é reduzir com o passar do
705 tempo, mesmo após estabilização da área de cladódio, havendo aumento nos tecidos condutores
706 e, conseqüentemente acúmulo de matéria seca (NUNES et al., 2020). Para as configurações
707 com o clone OEM os maiores valores em comparação as demais com IPA e MIU, está
708 relacionado com a maior área de cladódio para este clone (SILVA et al., 2015). Por sua vez,
709 altas densidade de plantio faz com que a cultura apresente redução no número e
710 desenvolvimento dos cladódios, reflexo da sobreposição (CAVALCANTE et al., 2014).

711 A área foliar específica (AFE) representa a razão entre a área foliar da cultura e a massa
712 seca das folhas. Onde a área foliar é um componente morfofisiológico e a massa é anatômico
713 (i.e., número e tamanho das células) (DANTAS et al., 2009). O aumento desse índice está
714 associado ao maior investimento em fotoassimilados por parte da planta, refletindo em aumento
715 na área foliar e redução na densidade de massa nas folhas (GOBBI et al., 2011). De maneira
716 geral, a elevação na AFE ocorre em decorrência do mecanismo de compensação, que permite a
717 planta aumentar a área foliar, com redução na espessura foliar, permitindo maior absorção de
718 radiação incidente (SCHMIDT et al., 2017). Dessa forma, o aumento encontrado na fase inicial
719 do sorgo em tratamentos aplicados no presente estudo, está associado ao mecanismo da cultura

720 em aumentar sua área foliar, a fim de aumentar sua área fotossintética, apresentando uma
721 resposta de fuga em relação ao sombreamento. Por sua vez, a diminuição no AFE é um
722 indicativo que houve aumento na massa foliar em função de sua área (FAYAD et al., 2001).

723 A razão de área foliar (RAF) representa a área foliar útil para a fotossíntese, ou seja, é a
724 relação entre a área foliar responsável pela interceptação luminosa e CO₂ e a massa seca total
725 da planta, sendo assim o investimento da cultura em produção fotossintética (PINTO et al.,
726 2016). A tendência de crescimento nos valores de RAF na fase inicial indica que durante esse
727 período os vegetais convertem a produção fotossintética em área foliar (SILVA et al., 2009),
728 favorecendo maior área de captação luminosa, elevando assim o acúmulo em matéria seca na
729 cultura. Sua redução com o crescimento da cultura ocorre devido a menor área foliar útil por
730 meio do auto sombreamento em decorrência da interferência de folhas superiores sobre
731 incidência luminosa nas inferiores (SILVA et al., 2005). Os maiores valores para as maiores
732 densidade de plantio está associado ao investimento da cultura em área foliar, possibilitando
733 um aumento na interceptação luminosa, refletindo em acréscimo na massa seca da cultura.

734 Por sua vez, a razão de massa foliar (RMF) exprime a relação entre a matéria seca das
735 folhas e a massa seca total da planta (ZUFFO et al., 2016). Sua redução contínua ao longo de
736 cada ciclo do sorgo, se deve a maior conversão de fotoassimilados em produção de folhas no
737 período inicial de cada ciclo, promovendo aumento na eficiência de interceptação luminosa,
738 assim como produção de estruturas drenos subsequentemente (SILVA et al., 2009). Os maiores
739 valores de RAF e RMF nas maiores densidades estão associadas a maior produção de massa
740 seca das folhas a partir da fotossíntese (TERRA et al., 2011). Isso se deve a um maior
741 investimento em produção de folhas quando comparado aos demais órgãos da planta, como
742 mecanismo de fuga ao sombreamento.

743 *4.2 Fenofase e momento de corte da palma forrageira*

744 A delimitação fenológica é importante ferramenta no auxílio da tomada de decisão e
745 planejamento no sistema de produção. Para a palma forrageira a delimitação fenológica pode
746 ser determinada pela taxa de emissão de cladódios por ordem de surgimento (1^a ordem, 2^a ordem
747 e, assim sucessivamente), auxiliando os produtores, uma vez que, é de fácil entendimento
748 (AMORIM et al., 2017). A duração e o número de fases fenológicas são dependentes das
749 espécies e condição de cultivo empregada. Sabe-se que as características morfológicas da palma
750 forrageira são diretamente influenciadas pelo genótipo e manejo de cultivo empregado (SILVA
751 et al., 2019). A maior quantidade de fenofase encontrada nas configurações constituída do clone
752 MIU, está associado a características do clone, onde o mesmo apresenta dimensão dos cladódios
753 (i.e., altura e largura) menores quando comparados aos demais clone (PEREIRA et al., 2015),

754 necessitando assim de uma menor quantidade de energia para emissão de novos cladódios. Silva
755 et al. (2015) observaram que o clone MIU apresentou maior emissão de cladódios,
756 principalmente devido a cladódios de ordem superior (i.e., 3^a e 4^a ordem), no entanto, o índice
757 de área do cladódio foi inferior aos demais, justamente pelo tamanho reduzido de seus
758 cladódios. Essa característica na emissão de cladódios é intrínseca do clone MIU (ARAÚJO
759 JÚNIOR et al., 2021). Assim como a menor quantidade de fenofases e maior duração da
760 fenofases 2 para os clones OEM e IPA, estão associados a características estruturais desses
761 genótipos. Nunes et al. (2020) estudando esses clones, constataram que a distribuição dos
762 cladódios na planta é superior para os cladódios de primeira e segunda ordem, diferentemente
763 do clone MIU, o qual apresenta maior distribuição de cladódios de ordem superior (>2^a ordem).

764 Por sua vez, a escolha na densidade de plantio promove alteração nas características
765 morfológicas e fisiológicas das culturas (ROSA et al., 2020). O maior número de fenofases foi
766 encontrado nas menores densidade devido a menor competição intraespecífica pelos recursos
767 disponíveis (i.e., água, luz e nutrientes) se comparada as plantas mais adensadas. Além disso,
768 no cultivo menos adensada houve mais emissão de cladódios de ordem superior, em
769 comparação aos com maior densidade (dados não mostrados). Silva et al. (2014), estudando
770 genótipos do gênero *Opuntia*, observaram que ao passo que se aumentou a densidade de plantio
771 houve uma redução no número de cladódios.

772 Alteração na duração e número de fenofases, por meio da modificação no sistema de
773 produção, influenciaram na taxa de acúmulo de matéria seca e, conseqüentemente no tempo
774 para realização do corte da palma forrageira. Silva et al. (2020) afirmam que o índice de área
775 do cladódio e o número de cladódios influenciam as características produtivas. Jardim et al.
776 (2020) constataram que o comprimento, largura, perímetro e área do cladódio, assim como o
777 gênero da espécie vegetal, são fatores determinantes no acúmulo de fitomassa da palma
778 forrageira. Dessa forma, a máxima taxa de acúmulo de massa seca no clone OEM em
779 comparação aos clones IPA e MIU está relacionado aos elevados valores de área de cladódio,
780 favorecendo acúmulo de água e maior área fotossintética, além da elevada capacidade em
781 acúmulo de massa e alta eficiência o uso da água (SILVA et al., 2014; ARAÚJO JÚNIOR et
782 al., 2021).

783 Por outro lado, o aumento na densidade de plantio promove um acréscimo na
784 produtividade das culturas, possibilitando maior acúmulo de massa seca, pelo aumento na
785 eficiência fotossintética devido a elevação no índice de área do cladódio (SOUZA et al., 2017).
786 Com a elevação no acúmulo de matéria seca, devido as características citadas anteriormente,

787 há modificação no momento de corte, onde a cultura tende a ter sua colheita antecipada,
788 diferentemente das que apresentam menores taxas de acúmulo. Os resultados quanto o retardo
789 na colheita quando consorciado com a cultivar P.288, por exemplo, está associado a maior
790 competição entre as culturas consorte, em comparação as demais configurações, uma vez que
791 essa cultivar apresenta uma maior área foliar quando comparadas as demais (dados não
792 mostrados), promovendo assim maior área fotossintetizante, além de promover um maior
793 sombreamento na palma forrageira. Os vegetais necessitam da luz solar, quando sombreadas
794 reduzem a interceptação luminosa, influenciando diretamente em características determinantes
795 para a produtividade do cultivo (PACIULLO et al., 2008). Sistemas de cultivo consorciado,
796 podem modificar o microclima do cultivo, principalmente em relação a luminosidade recebidas
797 pelas culturas (WANG et al., 2021). Araújo et al. (2015) estudando sistema consorciado,
798 observaram que o consórcio promove diminuição na incidência de radiação. A interceptação
799 luminosa é crucial para a produtividade do cultivo, e em consórcio há a presença de espécies
800 de porte alto e baixo, certa quantidade de luz passa pela copa da cultura de maior porte,
801 influenciando na produtividade da planta menor (GONG et al., 2020). Dessa maneira, quando
802 a palma é sombreada ela reduz a captação luminosa e, conseqüentemente sua taxa de acúmulo
803 de matéria seca, com reflexo direto na determinação do momento de corte. Em contrapartida,
804 as configurações de forma exclusiva, apresentam uma antecipação em sua colheita, uma vez
805 que estão a sol pleno, favorecendo a interceptação luminosa e convertendo-a em matéria seca.
806

807 **5 Conclusões**

808 As características morfofisiológicas variam em função do sistema de cultivo empregado.
809 Com maiores taxas nas configurações contendo o clone de palma Orelha de Elefante Mexicana
810 – OEM, assim como nas maiores densidade estudadas (50.000 e 100.000 plantas ha⁻¹). Por sua
811 vez, o sorgo apresenta variação em seus valores quanto a configuração de cultivo e densidade
812 de plantio utilizada, com redução em suas taxas com o passar dos ciclos.

813 A configuração de cultivo e a densidade de plantio promovem variação na duração e
814 número de fenofases da palma forrageira, bem como no momento de corte. A configuração
815 MIU-EXC apresentou maior número de fases, em contrapartida as configurações constituídas
816 pelo clone OEM tiveram menor número de fases, no entanto, apresentaram maior acúmulo de
817 matéria seca, assim como evidenciado nas maiores densidades de plantio estudada (50.000 e
818 100.000 plantas ha⁻¹), possibilitando antecipação no momento de corte.

819 Portanto, recomenda-se o uso do clone OEM em consórcio com o sorgo forrageiro,
820 assim como o cultivo nas maiores densidades estudadas (50.000 e 100.000 plantas ha⁻¹), com a

821 finalidade de maior acúmulo de matéria seca por unidade de área e antecipação na colheita.
822 Sugere-se o desenvolvimento de pesquisas voltadas ao consórcio da palma e outras plantas
823 forrageiras sob diferentes sistemas de produção e irrigação com água salina, com intuito de
824 melhoria no entendimento do crescimento e desenvolvimento das culturas

825

826 **6 Referências**

827

828 ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements.

829 FAO. **Irrigation and Drainage Paper**, v. 56, 1998.

830 ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische**

831 **Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

832 ALVES, C. P. et al. Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação: balanço de água no solo
833 e coeficientes da cultura. **Agrometeoros**, v. 27, n. 2, p. 347–356, 2019.

834 AMANI, E. et al. Morphological variability of prickly pear cultivars (*Opuntia* spp.)

835 established in ex-situ collection in Tunisia. **Scientia Horticulturae**, v. 248, n. December

836 2018, p. 163–175, 2019.

837 AMORIM, D. M. et al. Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and

838 cropping systems. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 1, p. 62–71, 2017.

839 ARAÚJO JÚNIOR, G. N. et al. Productivity, bromatological composition and economic

840 benefits of using irrigation in the forage cactus under regulated deficit irrigation in a semiarid

841 environment. **Bragantia**, p. 1–12, 2021.

842 ARAÚJO JÚNIOR, G.N. et al. Temperatura base da palma forrageira em sistema de cultivo

843 consorciado com o sorgo. In: XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia V Simpósio de

844 Mudanças Climáticas e Desertificação do Semiárido Brasileiro, 2017, **Anais...** Juazeiro-

845 BA/Petrolina-PE: SBAGRO, 2017.

846 ARAÚJO, A. V. et al. Microclima e crescimento vegetativo do café conilon consorciado com

847 bananeiras. **Coffee Science**, v. 10, n. 2, p. 214–222, 2015.

848 BANDEIRA, A. H. et al. Temperatura base inferior e exigência térmica de genótipos de sorgo

849 sacarino. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 240-250, 2016.

- 850 BARBOSA, M. L. et al. Environmental variables influencing the expression of morphological
851 characteristics in clones of the forage cactus. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 49, n. 3, p.
852 399–408, 2018.
- 853 CÂMARA, F. A. A. et al. Crescimento de cultivares de Ipomoea batatas oriundas de rebentos
854 produzidas de forma convencional e in vitro. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 2, p.
855 363–372, 2017.
- 856 CARVALHO, A. A. DE et al. Soil moisture in forage cactus plantations with improvement
857 practices for their resilience. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.
858 21, n. 7, p. 481–487, 2017.
- 859 CAVALCANTE, L. A. D. et al. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes
860 densidades de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 4, p. 424–433, 2014.
- 861 DANTAS, B. F. et al. Growth rates of catingueira seedlings submitted to different substrates
862 and shading. **Revista Arvore**, v. 33, n. 3, p. 413–423, 2009.
- 863 DINIZ, W. J. DA S. et al. Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water
864 depths in the Brazilian Semiarid Region. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 52, n. 9, p.
865 724–733, 2017.
- 866 DONATO, P. E. R. et al. Morfometria e rendimento da palma forrageira “Gigante” sob
867 diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciências**
868 **Agrarias**, v. 9, n. 1, p. 151–158, 2014.
- 869 FAYAD, J. A. et al. Crescimento e produção do tomateiro cultivado sob condições de campo
870 e de ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 19, n. 3, p. 365–370, 2001.
- 871 GOBBI, K. F. et al. Área Foliar Específica E Anatomia Foliar Quantitativa Do Capim-
872 Braquíria E Do Amendoim-Forageiro Submetidos a Sombreamento. **Revista Brasileira de**
873 **Zootecnia**, v. 40, n. 7, p. 1436–1444, 2011.
- 874 GOMES, F. H. F. et al. Análise De Crescimento Do Milho Safrinha Em Diferentes Épocas De
875 Aplicação De Zinco. **Nativa**, v. 6, n. 6, p. 557, 2018.
- 876 GONG, X. et al. Boosting proso millet yield by altering canopy light distribution in proso
877 millet/mung bean intercropping systems. **Crop Journal**, v. 8, n. 2, p. 365–377, 2020.

878 HOU, X. et al. Effects of planting density on potato growth, yield, and water use efficiency
879 during years with variable rainfall on the Loess Plateau, China. **Agricultural Water**
880 **Management**, v. 230, 2020.

881 JARDIM, A. M. DA R. F. et al. Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid
882 environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific
883 complementarity. **Journal of Arid Environments**, v. 188, 2021.

884 JARDIM, A. M. R. F. et al. Multivariate analysis in the morpho-yield evaluation of forage
885 cactus intercropped with sorghum. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e**
886 **Ambiental**, v. 24, p. 756–761, 2020.

887 LIMA, L. R. et al. Growth, water use and efficiency of forage cactus sorghum intercropping
888 under different water depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.
889 22, n. 2, p. 113–118, 2018a.

890 LIMA, L. R. et al. Productive-economic benefit of forage cactus-sorghum intercropping
891 systems irrigated with saline water. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 191–201, 2018b.

892 MEDEIROS, J. F. DE et al. Crescimento do meloeiro cultivado sob diferentes níveis de
893 salinidade, com e sem cobertura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e**
894 **Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 248–255, 2007.

895 NUNES, J. DA S. L. et al. Índices morfofisiológicos e biofísicos da palma forrageira
896 cultivada sob tecnologias hídricas na bacia do Rio Pajeú. **Journal of Environmental**
897 **Analysis and Progress**, v. 5, n. 1, p. 128–139, 2020.

898 OLIVEIRA, K. M. G. et al. Modelagem para a estimativa da orientação de linhas de plantio
899 de cafeeiros. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 2, p. 293–305, 2012.

900 PACIULLO, D. S. C. et al. Growth of signalgrass influenced by shading levels and season of
901 the year. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 43, n. 7, p. 917–923, 2008.

902 PEREIRA, P. D. C. et al. Morfogênese Da Palma Forrageira Irrigada Por Gotejamento.
903 **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 184–195, 2015.

904 PINHEIRO, K. M. et al. Correlações do índice de área do cladódio com características
905 morfológicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 49, n.
906 12, p. 939–947, 2014.

907 PINHEIRO, K. M. et al. Correlações do índice de área do cladódio com características
908 morfológicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 49, n.
909 12, p. 939–947, 2014.

910 PINTO, J. R. DE S. et al. Crescimento e índices fisiológicos de *Tabebuia aurea*, sob
911 sombreamento no semiárido. **Floresta**, v. 46, n. 4, p. 465–472, 2017.

912 QUEIROZ, M. G. DE et al. Características morfofisiológicas e produtividade da palma
913 forrageira em diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e**
914 **Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 931–938, 2015.

915 QUEIROZ, M. G. DE et al. Relações Hídrico-Econômicas Da Palma Forrageira Cultivada Em
916 Ambiente Semiárido. **Irriga**, v. 1, n. 01, p. 141, 2016.

917 RAMOS, J. P. D. F. et al. Crescimento e Produtividade de *Nopalea Cochenillifera* em função
918 de diferentes densidades de plantio em cultivo com e sem capina. **Revista Electronica de**
919 **Veterinaria**, v. 18, n. 8, p. 1–12, 2017.

920 RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington DC,
921 US Department of Agriculture, 1954. 160 p. (USDA Agricultural Handbook, 60).

922 ROSA, C. P. et al. Influência do espaçamento de semeadura do milho na produtividade de
923 silagem e grãos no Rio Grande do Sul. **Acta Iguazu**, v. 9, n. 4, p. 33–42, 2020.

924 SCALISI, A. et al. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought.
925 **Environmental and Experimental Botany**, v. 122, p. 158–167, 2016.

926 SCHMIDT, D. et al. Morfoanatomia foliar de azevém no sub-bosque de espécies arbóreas em
927 sistemas agroflorestais. **Revista Ceres**, v. 64, n. 4, p. 368–375, 2017.

928 SHIH, S. F.; GASCHO, G. J.; RAHI, G. S. Modeling Biomass Production of Sweet Sorghum
929 1. **Agronomy Journal**, v. 73, n. 6, p. 1027–1032, 1981.

930 SILVA, A. C. et al. Análise de crescimento de *Brachiaria brizantha* submetida a doses
931 reduzidas de fluazifop-p-butyl. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 85–91, 2005.

932 SILVA, A. S. et al. Análise multivariada da palma forrageira: características morfoprodutivas
933 sob correlações canônicas. **Agrarian**, v. 13, n. 47, p. 100–106, 2020.

- 934 SILVA, A. S. et al. Características agronômicas de variedades de *Opuntia cochenillifera* e
935 *Nopalea cochenillifera* sob diferentes densidades de plantio. **Colloquium Agrariae**, v. 15, n.
936 6, p. 88–96, 2019.
- 937 SILVA, L. L. G. G. et al. Produtividade e carboidratos de reserva de pastagens sob
938 intensidades de cortes. **Archivos Latinoamericanos de Produccion Animal**, v. 20, n. 1-2, p.
939 7-16, 2012.
- 940 SILVA, L. M. et al. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de
941 plantio. **Ciencia Rural**, v. 44, n. 11, p. 2064–2071, 2014b.
- 942 SILVA, P. I. B. E et al. Crescimento de pimentão em diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa**
943 **Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 2, p. 132–139, 2010.
- 944 SILVA, T. G. F. DA et al. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no
945 semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 10–18,
946 2015.
- 947 SILVA, T. G. F. et al. Area Do Cladódio De Clones De Palma Forrageira: Modelagem,
948 Análise E Aplicabilidade. **Revista Brasileirade Ciencias Agrarias**, v. 9, n. 4, p. 633–641,
949 2014a.
- 950 SILVA, T. G. F. et al. Crescimento do girassol ornamental cultivado em ambiente protegido
951 sob diferentes níveis de condutividade elétrica de fertirrigação. **Revista Ceres**, v. 56, n. 5, p.
952 602–610, 2009.
- 953 SOUZA, T. C. et al. Productivity and nutrient concentration in spineless cactus under
954 different fertilizations and plant densities. **Revista Brasileirade Ciencias Agrarias**, v. 12, n.
955 4, p. 555–560, 2017.
- 956 TEIXEIRA, G. C.; STONE DA SILVA, L. F.; HEINEMANN, A. B. Eficiência do uso da
957 radiação solar e índices morfofisiológicos em cultivares de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuaria**
958 **Tropical**, v. 45, n. 1, p. 9–17, 2015.
- 959 TERRA, T. G. R. et al. Análise de crescimento em sorgo sob diferentes stands. **Scientia**
960 **Agraria Paranaensis**, v. 10, n. 3, p. 45–57, 2011.
- 961 WANG, C. et al. Responses of photosynthetic characteristics and dry matter formation in
962 waxy sorghum to row ratio configurations in waxy sorghum-soybean intercropping systems.
963 **Field Crops Research**, v. 263, 2021.

- 964 ZHANG, Z. et al. Plant development and solar radiation interception of four annual forage
965 plants in response to sowing date in a semi-arid environment. **Industrial Crops and**
966 **Products**, v. 131, p. 41–53, 2019.
- 967 ZUFFO, A. M. et al. Análise de crescimento em cultivares de alface nas condições do sul do
968 Piauí. **Revista Ceres**, v. 63, n. 2, p. 145–153, 2016.