



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Influência de biofertilizante na dinâmica de crescimento, produção e eficiência do uso dos recursos biofísicos de palma forrageira no semiárido

João Pedro Alves de Souza Santos¹, Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim², Carlos André Alves de Souza³, Jandis Ferreira Nunes de Araújo⁴, Leonardo Francelino de Souza⁴, José Orlando Nunes da Silva⁵, George do Nascimento Araújo Júnior⁶, Renan Matheus Cordeiro Leite⁷, Thieres George Freire da Silva⁸

¹Doutorando em Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, BR 104, SN, Rio Largo 57100-000, Alagoas, Brasil. E-mail: peualves02@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-0804-115X>). ²Doutor em Engenharia Agrícola, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, São Paulo, Brasil. E-mail: alexandremrfj@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-7094-3635>). ³Doutor em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, 52171-900, Pernambuco, Brasil. E-mail: carlosandre08@msn.com (<https://orcid.org/0000-0003-1946-0421>). ⁴Mestrando em Produção Vegetal, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n - Serra Talhada, 56909-535, Pernambuco, Brasil. E-mail: jandis_araujo@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-2397-0731>); leonardo_souza369@hotmail.com (<https://orcid.org/0009-0008-6104-8426>). ⁵Doutorando em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, 52171-900, Pernambuco, Brasil. E-mail: joseorlando.agro@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-7622-5095>). ⁶Doutor em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, BR 104, SN, Rio Largo 57100-000, Alagoas, Brasil. E-mail: georgearaujo.agro@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-9284-4160>). ⁷Bacharel em Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n - Serra Talhada, 56909-535, Pernambuco, Brasil. E-mail: renanmcl@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-8454-8660>). ⁸Docente em Agrometeorologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n - Serra Talhada, 56909-535, Pernambuco, Brasil. E-mail: thieres.silva@ufrpe.br (<https://orcid.org/0000-0002-8355-4935>).

Artigo enviado em 12/08/2024 e aceito em 01/12/2025

RESUMO

O objetivo do estudo foi investigar as características estruturais e a eficiência de utilização dos recursos naturais por diferentes clones de palma forrageira com o uso de bioestimulante a base de esterco caprino. O experimento foi conduzido na Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada. Foram avaliados dois clones: *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck e *Opuntia stricta* (Haw.) Haw. Foi cultivado uma planta por vaso com capacidade de 21L. O delineamento foi inteiramente casualizado (DIC), fatorial 2x5+1, com dois clones submetidos a cinco doses de biofertilizante líquido a base de esterco caprino (BioCapri), com doses de 0, 50, 100, 150 e 200 mL planta⁻¹ mês⁻¹, e mais uma dose de esterco caprino como tratamento adicional. O BioCapri foi constituído por esterco caprino, água, melaço de cana-de-açúcar, leite bovino, cinza vegetal, extrato de fruto de goiaba e pó-de-rocha. Foram mensuradas análises biométricas e de biomassa a fim de determinar o crescimento, desenvolvimento e produtividade final da cultura. Por fim, foram determinados a eficiência do uso da água e da radiação. O BioCapri não teve efeito significativo nas variáveis biométricas dos dois clones, exceto para a altura da planta, comprimento do cladódio e emissão de cladódios de primeira ordem no clone Miúda. O clone OEM apresentou uma produtividade média superior ao clone MIU e, ainda, teve maior interceptação de radiação. Conclui-se que o uso do BioCapri não afetou significativamente o crescimento da palma, ficando evidente que as diferenças vistas, são majoritariamente influenciadas pelas características do cladódio. Palavras-chave: Biofertilização, Produção de forragem, Interceptação de radiação.

Influence of biofertilizer on the dynamics of growth, production and efficiency of the use of biophysical resources of forage palm in the semiarid region

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the structural characteristics and efficiency of use of natural resources by different clones of forage cactus with the use of a biostimulant based on goat manure. The experiment was conducted at the Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada. Two clones were evaluated: *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck and *Opuntia stricta* (Haw.) Haw. One plant was grown per 21-L pot. The design was completely randomized (CRD), 2x5+1 factorial, with two clones subjected to five doses of liquid biofertilizer based on goat manure (BioCapri), with doses of 0, 50, 100, 150 and 200 mL plant⁻¹ month⁻¹, and one more dose of goat manure as an additional treatment. BioCapri consisted of goat manure, water, sugarcane molasses, bovine milk, plant ash, guava

Santos, J. P. A. S., Jardim, A. M. R. F., Souza, C. A. A., Araújo, J. F. N., Souza, L. F., Silva, J. O. N., Júnior, G. N. A., Leite, R. M. C., Silva, T. G. F.

fruit extract and rock powder. Biometric and biomass analyses were measured in order to determine the growth, development and final productivity of the crop. Finally, the efficiency of water and radiation use were determined. BioCapri had no significant effect on the biometric variables of the two clones, except for plant height, cladode length and emission of first-order cladodes in the Miúda clone. The OEM clone showed a higher average productivity than the MIU clone and also had greater radiation interception. It is concluded that the use of BioCapri did not significantly affect the growth of the palm, making it evident that the differences observed are mainly influenced by the characteristics of the cladode.

Keywords: Biofertilization, Forage production, Radiation interception.

Introdução

As mudanças climáticas ocorridas nas últimas décadas, afetam a estabilidade dos ecossistemas, comprometem as atividades agropecuárias e potencializam o aumento da desigualdade socioeconômica, principalmente em regiões de extrema vulnerabilidade como o semiárido brasileiro (Meng et al., 2021; Silva et al., 2021; Toromade et al., 2024). Desta forma, torna-se necessário estudar tecnologias e manejos para a produção sustentável de culturas estrategicamente importantes para essas regiões (Santos et al., 2021). Com o intuito de promover o desenvolvimento humano em áreas economicamente e socialmente vulneráveis (Borba et al., 2023).

As regiões afetadas severamente pelo clima, tende a promover o uso inadequado dos seus recursos naturais (Raj et al., 2024). Um dos principais problemas é o eminente crescimento dos processos destrutivos do solo, causado por variados fatores, como a remoção da camada vegetativa superficial para o cultivo de sucessivos ciclos de monocultura (Popradit et al., 2024). Tornando o solo infértil e promovendo a utilização de fertilizantes sintéticos. Que, quando usado de maneira excessiva, pode levar a emissão de gases do efeito estufa, eutrofização, lixiviação dos nutrientes e toxicidade, causando sequelas danosas a biodiversidade (Mahapatra et al., 2022; Martínez-Dalmau et al., 2021; Penuelas et al., 2023).

Com isso, cresce a necessidade da implementação da agricultura sustentável, que possa associar culturas importantes com manejos sustentáveis que resulte na elevação da produtividade sem prejudicar a qualidade dos recursos naturais (Alves et al., 2022; Halli et al., 2022).

No semiárido, a produção de forragem pode ser uma saída eficiente para atender as necessidades de uma cadeia de produção sustentável, que visa o abastecimento eficiente do manejo animal para importantes atividade pecuárias (Souza et al., 2019; Silva et al., 2020).

Nesse caso, a palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) é uma cactácea muito utilizada na composição de sistemas de cultivos resilientes para a produção de forragem, principalmente em áreas de baixo regime hídrico e elevadas

temperaturas (Santos et al., 2024). Isso é possível devido ao seu metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), que proporciona boa adaptação da cultura em regiões semiáridas. (Jardim et al., 2020a, 2021a).

Outros fatores que credenciam a palma forrageira como uma solução importante na produção de forragem são baixo custo de produção, facilidade no manejo, a alta produtividade e eficiente no uso da água, radiação e nutrientes (Salvador et al., 2021; Santos et al., 2024). Com tudo, a associação da palma a manejos eficientes pode torna-la mais eficaz no fornecimento de forragem (Pinheiro et al., 2021). Dentre os manejos mais eficientes, a adubação orgânica ou mineral impacta de maneira positiva os rendimentos finais dessa cultura (Leite et al., 2022).

O uso de biofertilizantes, como manejo eficiente, pode ser a saída mais sustentável para substituir os fertilizantes sintéticos (El-Bassi et al., 2021). Em relação ao desempenho agrônomo, os benéficos atribuídos aos biofertilizantes são eficiência na disponibilização dos nutrientes para as plantas, otimização na propagação de culturas, fornecimento de biomoléculas promotoras de crescimento e aumento do valor nutricional (Mahapatra e Murthy, 2021; Mahapatra et al., 2022).

Assim, a utilização de um material de origem orgânica em cultivos de palma forrageira pode aumentar o desenvolvimento da cultura, a produção de forragem e o conteúdo de nutricional (i.e. fósforo, nitrogênio, potássio e enxofre) dos cladódios (Donato et al., 2016; Mendoza et al., 2019; Saraiva et al., 2022).

No entanto, poucos estudos foram realizados para avaliar a influência do uso de biofertilizante líquido na dinâmica de crescimento e desenvolvimento, assim como na eficiência do uso dos recursos biofísicos da palma forrageira.

Com isso, o objetivo do estudo foi investigar as características estruturais e a eficiência de utilização dos recursos naturais por diferentes clones de palma forrageira (i.e. Orelha de Elefante Mexicana e Miúda) com o uso de bioestimulante a base de esterco caprino no semiárido brasileiro.

Material e métodos

Área de estudo

O experimento foi conduzido na Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST), município de Serra Talhada, Pernambuco (latitude 7°56'20" Sul; longitude

38°17'31" Oeste e altitude 499 m) (Figura 1). A localidade possui clima do tipo BSh segundo a classificação climática de Köppen (Alvares et al., 2013; Beck et al., 2018), com médias de temperatura do ar variando entre 20,1 a 32,9 °C, irregularidade na distribuição espaço-temporal das chuvas com média de 642,1 mm ano⁻¹, umidade relativa do ar de 62,5% e demanda atmosférica acima de 1.800 mm ano⁻¹ (Silva et al., 2015a).

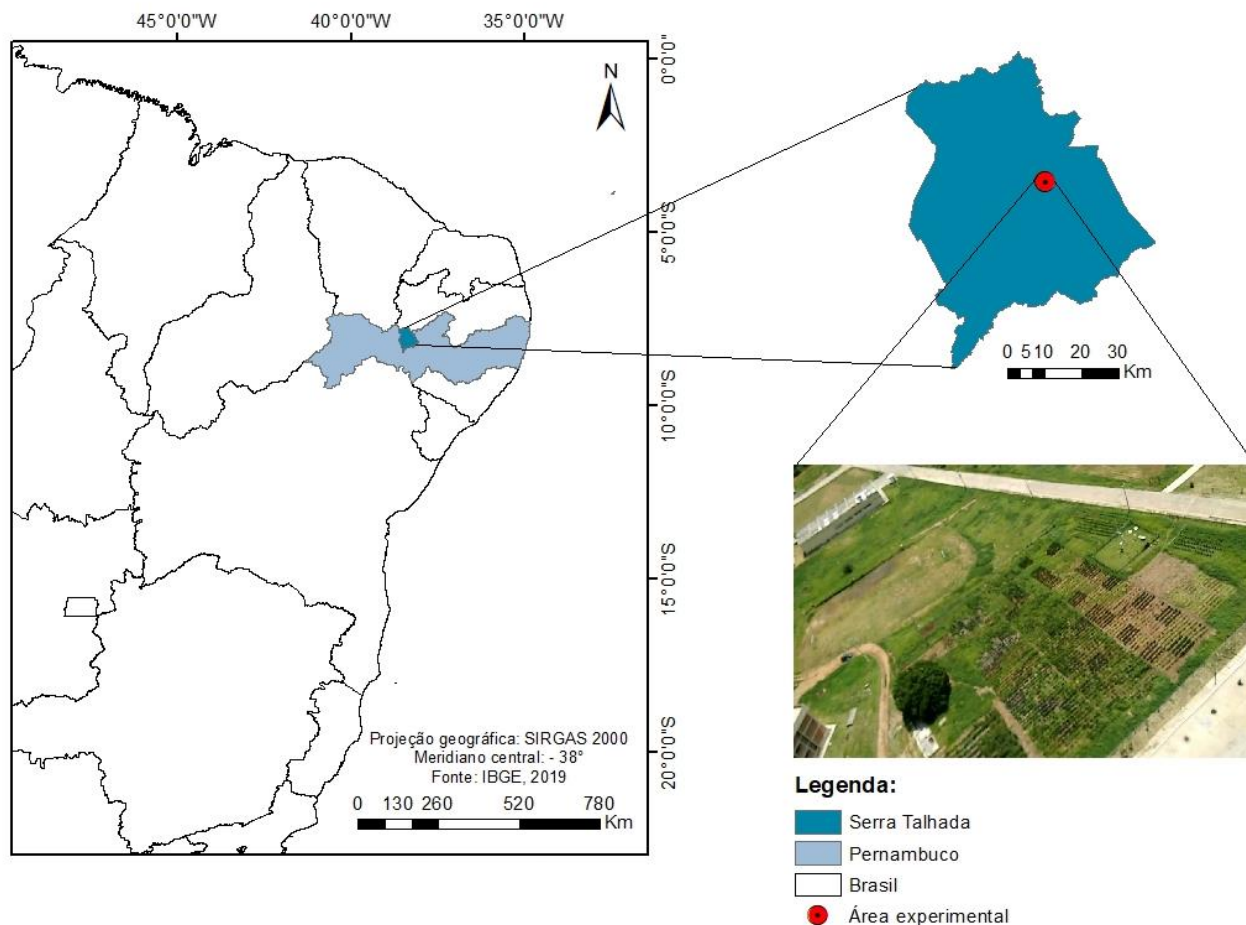


Figura 1. Localização aérea do cultivo de palma forrageira, cultivada em vasos no Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e Outras Plantas Forrageiras (UFRPE/UAST), Serra Talhada-PE.

Foram avaliados dois clones de palma forrageira: Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.). A condução foi em vasos com capacidade de 21 L, sendo uma planta por vaso com 50% do cladódio basal inserido no

solo. O solo utilizado nos vasos foi classificado como Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico, onde foi destorroado e peneirado antes de ser alocado nos vasos (Jardim et al., 2021b) (Tabela 1).

Tabela 1. Propriedades físicas e químicas de Cambissola Háplico na profundidade de 0 – 20 e 20 – 40 cm em Serra Talhada, PE, Brasil.

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

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

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2 x 5 + 1, com dois clones de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana (OEM) e Miúda (MIU) irrigados), submetidos a cinco doses de biofertilizante líquido a base de esterco caprino (BioCapri), sendo 0, 50, 100, 150 e 200 mL planta⁻¹ mês⁻¹, e mais uma dose de esterco caprino (180 cm³ planta⁻¹) como tratamento adicional. Todo experimento foi composto por nove repetições, totalizando 12 tratamentos e 108 unidades experimentais.

Formulação e características químicas do BioCapri

O esterco caprino utilizado para o preparo do BioCapri foi coletado em uma propriedade que cria exclusivamente caprinos em sistema extensivo. O BioCapri foi constituído por esterco caprino (30%), água (65%), melaço de cana-de-açúcar (1%), leite bovino (1%), cinza vegetal (1%), extrato de fruto de goiaba (1%) e pó-de-rocha (1%). A fermentação do produto ocorreu da forma aeróbica (com presença de oxigênio) durante o período de trinta dias, onde o mesmo foi revolvido duas vezes ao dia. A análise química (Tabela 2) do BioCapri foi realizada no Laboratório de Análises Solo e Planta (LASP) no município de Petrolina, Pernambuco.

Tabela 2. Análise química do biofertilizante líquido (BioCapri) aplicado em cultivo de clones de palma forrageira, em Serra Talhada, PE.

M.O	N	P	K	Ca	Mg	C	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	pH
----- (g L-1) -----						----- (mg L-1) -----							
6,4	1,5	0,19	4,0	2,5	0,3	3,7	100	9	100	5	4	240	7,1

O estudo teve duração de dois ciclos de cultivo. O primeiro ciclo iniciou-se em dezembro de 2016 e encerrou-se em novembro de 2017. O segundo ciclo teve início ainda em novembro de 2017 e perdurou até setembro de 2018. O acompanhamento das variáveis meteorológicas foi realizado a partir de uma plataforma de coleta de dados pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (<http://www.inmet.gov.br/portal/>), localizado a 10 m da área experimental. Os dados compreendem medidas horárias de temperatura máxima, mínima e média do ar (°C dia⁻¹); umidade relativa média, máxima e mínima do ar (% dia⁻¹); radiação solar global (MJ m⁻² dia⁻¹); velocidade do vento (m s⁻¹ dia⁻¹) e precipitação pluviométrica (mm dia⁻¹).

O monitoramento da precipitação (P) foi realizado diariamente, para que, em intervalos semanais, fosse definido a quantidade de água a ser irrigada. Foi considerado a ocorrência ou não de eventos de precipitação antes da irrigação, descontando o volume parcial ou total da capacidade de água do vaso (2 L⁻¹ vaso⁻¹). A água utilizada era proveniente de um poço artesiano, sendo classificada como C3 (Richards et al., 1954) e apresentando condutividade elétrica de 1,62 dS m⁻¹.

Monitoramento do crescimento e produtividade da palma forrageira

Foram realizadas avaliações biométricas mensais para quantificar o crescimento e desenvolvimento da palma forrageira. Constituindo-se na mensuração das características

morfológicas da planta e do cladódio com o auxílio de fita métrica e paquímetro. Foi utilizado quatro plantas representativas de cada tratamento para registro da altura da planta (AP), largura da planta (LP), número total de cladódio por planta (NTC), número de cladódio de primeira ordem (NC1), segunda ordem (NC2) e terceira ordem (NC3). A ordem do cladódio foi considerada a partir do surgimento de novos cladódios em relação ao cladódio basal. Além disso, foram mensurados largura (LC), comprimento (CC), perímetro (PC) e espessura (EC) dos cladódios, nas distintas ordens (Jardim et al., 2020b). Finalmente, foi estimada a área dos cladódios (AC) por ordem e o índice de área do cladódio (IAC) de acordo com a metodologia proposta por Silva et al. (2014a) para os clones estudados.

A produtividade da palma forrageira foi obtida no momento da colheita ao final de cada ciclo. Na ocasião do corte foi obtido a massa fresca total, realizando-se a pesagem da planta e de dois cladódios representativos do terço médio. Posteriormente, os cladódios foram fracionados e colocados em saco de papel e alocados em uma estufa de circulação forçada de ar a uma temperatura de 65 °C, até atingir peso seco constante, para a obtenção da massa seca (MS).

Para estabelecer a fenologia da palma forrageira, o início de uma nova fase foi considerado quando a taxa de produção de uma determinada ordem de cladódios foi ultrapassada pela taxa de produção de cladódios da ordem subsequente (Amorim et al., 2017). Os dados obtidos de IAC foram utilizados para definir o momento ideal de corte da palma forrageira, adotando-se o momento quando a taxa de IAC atingisse 25% do pico máximo. Os graus-dia acumulados (GDA, °Cdia), foram calculados pela diferença entre os valores diários de temperatura média do ar (°C) e a temperatura base inferior da cultura (22 °C). Após ajuste, as funções foram derivadas e usadas no cálculo diário das taxas de IAC ($\partial IAC / \partial t$) (Souza et al., 2021).

Eficiência do uso dos recursos biofísicos

A eficiência do uso da água (EUA) foi avaliada por meio da produtividade da água da cultura (PAC). Dado por meio da relação da biomassa e disponibilidade hídrica (precipitação + irrigação) conforme descrito por Silva et al. (2014b) na Equação 1. Tal índice representa a capacidade da cultura em converter os fotoassimilados em biomassa acumulada, por meio da água utilizada ou recebida ao longo do tempo (Fernández et al., 2020).

$$PAC = \left[\frac{MS}{\sum (P + I)} \right] \quad (1)$$

em que, PAC é expressa em kg planta⁻¹ mm⁻¹; MS = rendimento em massa seca da cultura (g planta⁻¹); P+I = precipitação pluviométrica somada a irrigação (mm) ao longo do ciclo da cultura.

A eficiência do uso da radiação (EUR, g MJ⁻¹) foi calculada a partir da regressão entre a biomassa seca e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAi), sendo os valores de RFAi acumulados por clone ao longo do ciclo estimados a partir da equação resultante da Lei de Beer. Equação 2:

$$I/I_0 = ND \cdot 0,44 \cdot Q_g \cdot \exp^{-k \cdot IAC} \quad (2)$$

Em que, I = radiação fotossinteticamente abaixo do dossel (MJ m⁻² dia⁻¹); I₀ = radiação solar a cima do dossel (MJ m⁻² dia⁻¹); ND = número de dias do ciclo; 0,44 = coeficiente angular da regressão linear da biomassa seca em função da radiação fotossinteticamente ativa acumulada; Q_g = radiação solar global incidente (MJ m⁻² dia⁻¹); k = coeficiente de extinção obtido para os clones OEM (0,42) e MIU (0,57); IAC = valor do índice de área do cladódio (m² m⁻²).

Análise estatística

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Bartlett). A análise de variância (ANOVA) dos dados foi realizada por meio do teste F ao nível de 5% de probabilidade. Quando significativo, aplicou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Todas as análises foram feitas com auxílio da ferramenta computacional XLSTAT versão 9.0 (Addinsoft S.A.R.L, 2019; Paris, France).

Resultados

Variáveis ambientais

Na Figura 2A, durante o primeiro ciclo produtivo da palma, a radiação fotossinteticamente ativa acumulada foi 2781 MJ m⁻², com média 8,77 MJ m⁻² dia⁻¹, máximo diário de 12,35 MJ m⁻² dia⁻¹ e o mínimo de 2,66 MJ m⁻² dia⁻¹. As temperaturas máxima e mínima observadas nesse período, foram 37,1 e 14,8 °C, respectivamente, com média diária 25,4 °C. No segundo ciclo, as temperaturas máxima e mínima observadas foram 37,9 e 16,6 °C, respectivamente, e a média diária de

temperatura de 26,1 °C, ligeiramente superior ao ciclo anterior (25,4 °C).

A radiação fotossinteticamente ativa acumulada no segundo ciclo foi de 2993,34 MJ m⁻², onde o acúmulo máximo em um dia foi 12,51 MJ

m⁻² dia⁻¹, e o menor acúmulo diário de 3,07 MJ m⁻² dia⁻¹. A linha tracejada vertical na Figura 2A e 2B corresponde a data de colheita do primeiro ciclo (01/11/2017), dando início ao ciclo subsequente, que teve duração de 329 dias.

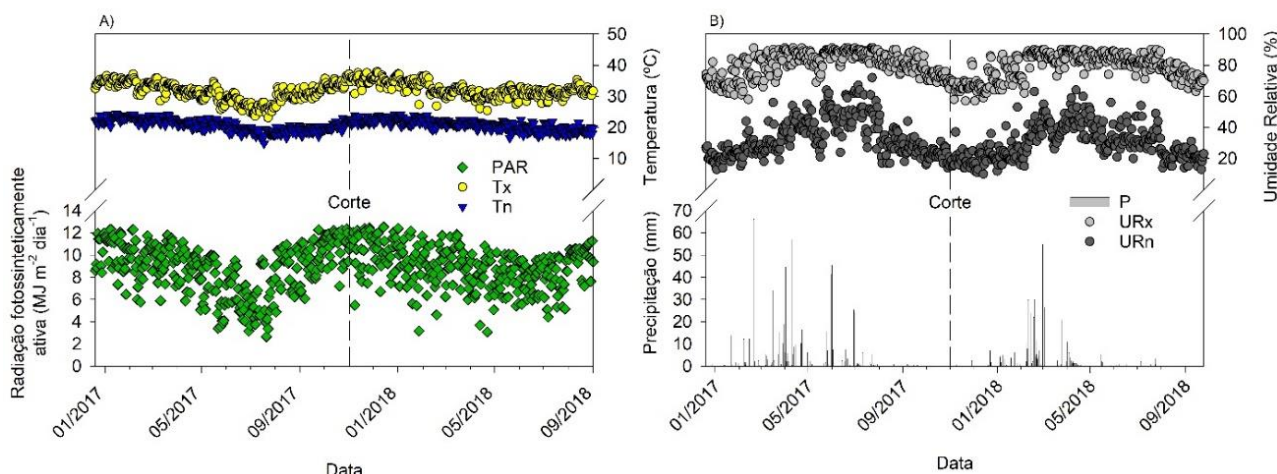


Figura 2. A) Temperatura máxima (Tx), mínima (Tn) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR); B) Umidade relativa máxima (URx), mínima (URn) e precipitação pluvial (P) no período de janeiro de 2017 a setembro de 2018, durante dois ciclos sucessivos de palma forrageira em Serra Talhada, PE, Brasil.

A URx e URn, bem como a precipitação pluvial em dois ciclos sucessivos de palma forrageira são apresentadas na Figura 2B.

Ao longo do período experimental, o total acumulado de chuva foi de 1015,2 mm, com 624,6 mm no primeiro ciclo e 390,6 mm no ciclo subsequente. Foi possível observar os maiores valores (91%) de URx durante os períodos chuvosos. Assim como, os menores valores (10%) de URn se apresentaram no período com menor volume pluviométrico observado.

Variáveis biométricas da palma forrageira

As variáveis biométricas da planta, do cladódio e a AC e IAC do primeiro ciclo de cultivo estão apresentadas na Tabela 3.

Não houve efeito de interação entre os tratamentos. Verificou-se que o esterco e as doses de biofertilizante líquido aplicadas (0, 50, 100, 150 e 200 mL) não afetaram a maioria das variáveis analisadas em ambos os clones, onde apenas as variáveis AP, CC e NC1, para o clone MIU, apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$). Em relação à AP do clone MIU, observou-se que a dosagem de 50 mL (59,70 cm) apresentou diferença estatística em relação as doses de 100 e 150 mL de BioCapri (43,75 e 43,75 cm, respectivamente), no entanto, quando comparada ao esterco e doses de 0 e 200 mL, não houve diferença.

Tabela 3. Variáveis biométricas do primeiro ciclo de palma forrageira, clones Orelha de Elefante Mexicana (OEM) e Miúda (MIU), adubados com esterco caprino e diferentes doses de biofertilizante líquido (BioCapri).

Var.	Clone	Esterco	0 mL	50 mL	100 mL	150 mL	200 mL	CV (%)
AP	MIU	49,25ab	48,50ab	59,70a	43,75b	43,75b	49,05ab	14,52
	OEM	47,25a	45,50a	50,25a	48,50a	51,75a	47,00a	
LP	MIU	43,00a	36,50a	28,75a	38,75a	28,25a	40,75a	26,38
	OEM	41,25a	49,50a	37,75a	38,75a	41,50a	41,75a	
NTC	MIU	9,00a	10,25a	7,75a	11,75a	5,50a	10,75a	37,45
	OEM	5,5a	8,00a	6,00a	6,75a	7,00a	6,50a	
NC1	MIU	3,25ab	4,50ab	2,75ab	5,75a	2,00b	3,75ab	32,38
	OEM	4,25a	5,75a	4,75a	5,75a	6,00a	5,25a	
NC2	MIU	5,25a	4,50a	3,75a	4,50a	2,50a	5,50a	38,13
	OEM	0,50a	1,25a	0,25a	0,00a	0,00a	0,25a	
CC	MIU	19,77ab	16,10b	22,25a	16,70ab	18,27ab	17,22ab	13,16

	OEM	22,40a	21,00a	22,75a	23,97a	23,15a	22,57a	
LC	MIU	9,15a	8,47a	9,10a	8,97a	9,20a	8,40a	9,70
	OEM	21,55a	20,32a	21,77a	20,87a	20,82a	21,80a	
EC	MIU	15,92a	14,27a	19,27a	18,17a	19,10a	15,40a	19,75
	OEM	19,60a	18,27a	18,65a	17,20a	23,12a	20,57a	
PC	MIU	44,52a	37,25a	49,97a	38,47a	42,25a	40,10a	11,96
	OEM	58,97a	57,85a	60,10a	61,05a	60,50a	60,87a	
AC	MIU	389,56a	312,67a	468,25a	314,15a	359,62a	329,60a	22,35
	OEM	818,62a	812,40a	792,20a	710,57a	677,12a	758,57a	
IAC	MIU	0,60a	0,52a	0,60a	0,60a	0,30a	0,55a	28,10
	OEM	0,97a	1,22a	0,95a	1,05a	1,00a	1,10a	

Var.: variável. AP: altura de planta (cm). LP: largura de planta (cm). NTC: número total de cladódios (unidade). NC1: número de cladódios de primeira ordem. NC2: número de cladódios de segunda ordem. CC: comprimento de cladódio (cm). LC: largura de cladódio (cm). EC: espessura de cladódio (mm). PC: perímetro de cladódio (cm). AC: área do cladódio (cm²). IAC: índice de área do cladódio (m² m⁻²). CV: coeficiente de variação (%). As médias seguidas pelas mesmas letras na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O CC dos clones de MIU submetidos à 50 mL de BioCapri (22,25 cm) foi estatisticamente ($p < 0,05$) superior aos clones que não receberam a dose do BioCapri (16,10 cm)

Contudo, não houve diferença significativa quando se compara a dosagem de 50 mL, e as demais doses de 100, 150 e 200 mL de BioCapri, e o esterco. O NC1 apresentou diferença quando se comparou as doses de 100 e 150 mL no clone MIU,

verificando-se que houve uma maior emissão de cladódios de primeira ordem para a dose de 100 mL (5,75 unidades) em relação à dose de 150 mL (2,00 unidades).

As variáveis biométricas da planta, do cladódio, assim como a AC e IAC dos clones de palma não indicaram efeito de interação entre os tratamentos segundo ciclo de cultivo ($p > 0,05$) (Tabela 4).

Tabela 4. Variáveis biométricas do segundo ciclo de palma forrageira, clones Orelha de Elefante Mexicana (OEM) e Miúda (MIU), adubados com esterco caprino e diferentes doses de biofertilizante líquido (BioCapri).

Var.	Clone	Esterco	0 mL	50 mL	100 mL	150 mL	200 mL	CV (%)
AP	MIU	40,77a	38,11a	38,11a	36,22a	36,67a	36,33a	17,48
	OEM	44,22a	42,00a	44,78a	44,78a	42,77a	44,44a	
LP	MIU	28,67a	28,44a	24,89a	27,78a	23,44a	27,00a	22,13
	OEM	38,22a	39,00a	39,22a	38,89a	37,00a	38,11a	
NTC	MIU	7,44a	6,33a	6,33a	7,11a	6,11a	7,78a	35,85
	OEM	7,67a	8,33a	7,67a	7,33a	7,22a	8,22a	
NC1	MIU	4,44a	4,00a	4,22a	5,22a	4,44a	5,78a	38,74
	OEM	6,67a	7,33a	6,67a	6,33a	6,22a	7,22a	
NC2	MIU	2,00a	1,33a	1,00a	0,89a	0,67a	1,00a	61,25
	OEM	0,00a	0,00a	0,00a	0,00a	0,00a	0,00a	
CC	MIU	17,56a	16,78a	17,89a	16,33a	16,89a	15,78a	11,87
	OEM	22,33a	21,89a	22,00a	22,89a	23,22a	21,44a	
LC	MIU	9,11a	10,00a	9,22a	10,11a	10,22a	8,78a	10,56
	OEM	22,67a	22,44a	22,89a	23,33a	22,56a	21,78a	
EC	MIU	21,67a	19,44a	21,33a	22,22a	21,67a	20,33a	18,70
	OEM	21,11a	20,89a	20,11a	21,11a	20,22a	20,56a	
PC	MIU	38,89a	38,22a	39,89a	39,33a	38,44a	35,33a	11,63
	OEM	57,67a	57,78a	57,78a	58,56a	58,11a	54,11a	
AC	MIU	293,33a	284,56a	286,89a	290,67a	271,11a	231,78a	21,37
	OEM	713,44a	692,11a	717,89a	753,00a	748,44a	673,22a	
IAC	MIU	0,11a	0,11a	0,22a	0,11a	0,22a	0,22a	51,19
	OEM	1,00a	1,00a	1,11a	1,11a	1,00a	1,00a	

Var.: variável. AP: altura de planta (cm). LP: largura de planta (cm). NTC: número total de cladódios (unidade). NC1: número de cladódios de primeira ordem. NC2: número de cladódios de segunda ordem. CC: comprimento de cladódio (cm). LC: largura de cladódio (cm). EC: espessura de cladódio (mm). PC: perímetro de cladódio (cm). AC: área do cladódio (cm²). IAC: índice de área do cladódio (m² m⁻²). CV: coeficiente de variação (%). As médias seguidas pelas mesmas letras na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fenologia e momento ideal de corte da palma forrageira

Na Figura 3 é possível observar que apenas o clone MIU, submetido as doses de 50 e 200 mL planta⁻¹ (Figuras 3B e 3E) apresentaram a terceira fase fenológica. Além disso, verificou-se um padrão predominante, onde a taxa máxima de emissão de cladódios de primeira ordem é superior ao de segunda ordem em ambos os clones, com exceção dos tratamentos com OEM fertilizado com esterco (Figura 3L), teve um ápice da taxa de emissão de cladódios de segunda ordem superior aos de primeira ordem. Nos tratamentos de 100 e 150 mL planta⁻¹ com OEM (Figura 3I e 3K), não houve a emissão de cladódios de segunda ordem.

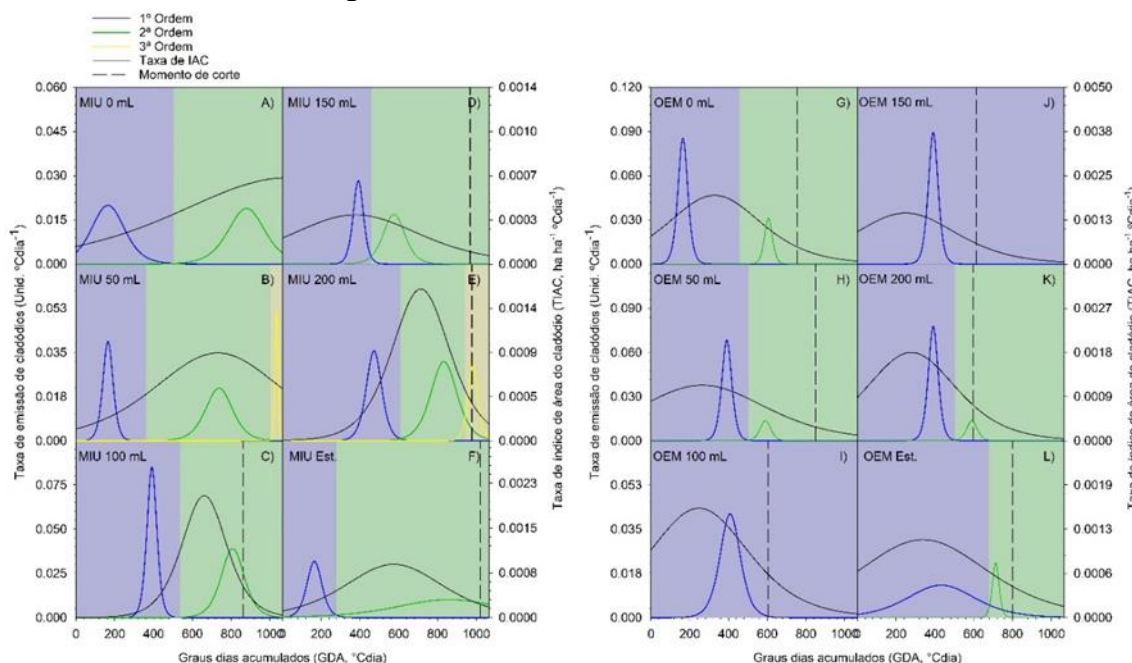


Figura 3. Fases fenológicas e momento de corte do primeiro ciclo dos clones de palma forrageira (Miúda – MIU e Orelha de Elefante Mexicana – OEM), adubadas com esterco caprino e diferentes doses de biofertilizante líquido a base de esterco caprino.

No tratamento de MIU com esterco (Figura 3F), observou-se que a duração da primeira fase foi curta em relação aos outros tratamentos (278 °Cdia), fazendo com que a segunda fase se prolongasse ao longo do ciclo, demonstrando uma taxa de emissão de cladódios de segunda ordem sem variações abruptas. Vale ressaltar nesse tratamento, houve alcance da taxa máxima de forma suave, como também, um prolongamento da mesma. Por outro lado, as plantas de MIU fertilizadas com a maior dose de BioCapri (Figura 3E) demonstra um prolongamento da duração da primeira fase, atingindo a maior taxa de emissão de cladódios em relação a segunda e terceira fase do mesmo tratamento.

Em relação ao momento ideal de corte da palma forrageira, verificou-se que o clone MIU na

A aplicação de 100 mL planta⁻¹ de BioCapri no clone MIU proporcionou uma maior taxa máxima de emissão de cladódio (0,085 unid. °Cdia⁻¹) (Figura 3C). Já para o clone OEM, a maior taxa máxima de emissão de cladódio obtida foi na utilização de 150 mL de BioCapri (0,089 unid. °Cdia⁻¹) (Figura 3J). Na segunda fase, a taxa máxima para cladódios de segunda ordem dos clones MIU e OEM foi 0,038 e 0,031 unid. °Cdia⁻¹, nos tratamentos 100 e 0 mL planta⁻¹, respectivamente. Apenas o clone MIU apresentou a terceira fase, obtendo maior taxa máxima de emissão de cladódio quando submetido a dose de 50 mL (0,05 unid. °Cdia⁻¹).

dose testemunha e a dosagem de 50 mL não atingiram o momento ideal de corte. Visto que a taxa de IAC se manteve superior a 25% (Figura 3A e 3B, respectivamente). Além disso, para o clone MIU, não houve grande variação para o momento de corte, diferentemente do clone OEM, sendo antecipado nas dosagens de 100 e 150 mL (Figura 3I e 3J), respectivamente. As plantas destes tratamentos não atingiram a segunda fase, por outro lado, em geral houve uma tendência de prolongamento do momento de corte nos tratamentos que apresentaram segunda fase para o clone OEM.

Na Figura 4 são apresentados as fases fenológicas e o momento de corte do segundo ciclo dos clones de palma forrageira. Em um primeiro momento, a ausência da segunda fase no clone OEM para todos os tratamentos chama atenção,

visto que, no ciclo anterior, essa fase esteve presente.

Para o clone MIU, apenas as plantas submetidas à 150 mL de BioCapri não apresentaram a fase dois. Tais plantas permaneceram emitindo cladódios de primeira ordem ao passo em que aumentavam a sua área foliar. Apresentando o mesmo comportamento de curva do início ao fim do ciclo.

As plantas que receberam aplicação da dose de 50 mL de biofertilizante, verificou-se a presença da terceira fase ao fim do período de cultivo. Neste caso, a taxa de emissão de cladódios de terceira superou a taxa de emissão dos cladódios de segunda ordem (Figura 4B).

Apenas o tratamento com esterco apresentou um pico de taxa de emissão de cladódios de segunda ordem superior a máxima taxa de emissão de cladódios de primeira ordem (0,04 e 0,01 unid. °Cdia⁻¹, respectivamente) (Figura 4F).

No clone OEM, o maior pico de emissão de cladódios primeira ordem (0,025 unid. °Cdia⁻¹) ocorreu no tratamento testemunha, que não recebeu

doses de BioCapri (Figura 4G). Foi possível notar diferenças no tempo de duração das fases fenológicas em relação as doses aplicadas de BioCapri.

Para a MIU, que apresentou segunda fase, nota-se que nas doses acima de 100 mL, o máximo pico da primeira fase ocorreu no meio ciclo, próximo aos 800 °Cdia. As plantas do tratamento testemunha mostrou uma duração de fase semelhante as doses acima de 100 mL. Entretanto, o pico máximo de emissão dos cladódios ocorreu aos 200 °Cdia. Comportamento semelhante as plantas que receberam 50 mL, todavia, com um período de primeira fase inferior.

Vale salientar que a dose de 50 mL antecipou o surgimento da segunda fase, iniciando aos 600 °Cdia durando até os 1200 °Cdia. Essa duração de fase interfere diretamente no momento ideal de corte. Pois, quanto maior é a antecipação da ocorrência de fases novas, mais rápido será o momento da colheita.

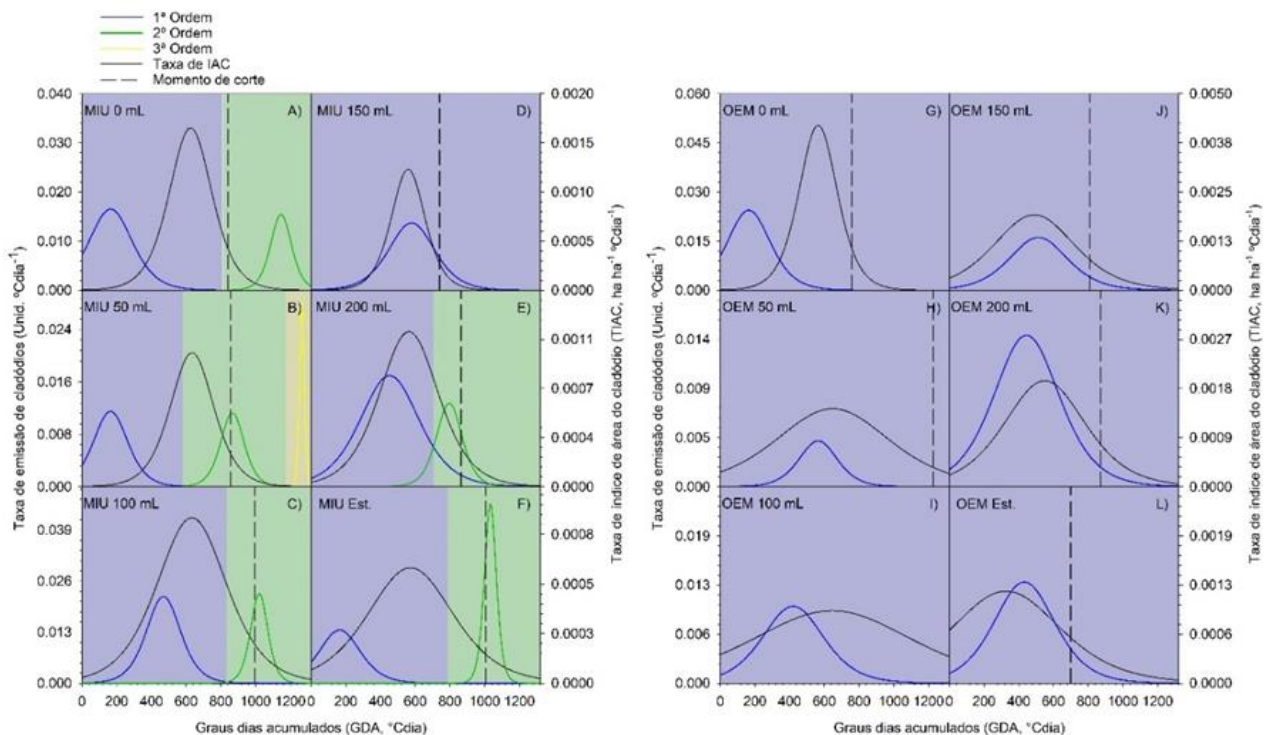


Figura 4. Fases fenológicas e momento de corte do segundo ciclo dos clones de palma forrageira, adubadas com esterco caprino e diferentes doses de biofertilizante líquido a base de esterco caprino.

Em relação ao momento ideal de corte da palma, verificou-se que apenas o clone OEM fertilizado com 100 mL de BioCapri (Figura 4I) não apresentou um momento ideal de corte, isso se deve ao fato de que a projeção de 25% após o ápice do IAC ocorreria somente após a finalização do ciclo. Já o tratamento com 50 mL, teve seu

momento de corte prolongado em relação aos demais tratamentos (1299 °Cdia).

Para o clone MIU, observou-se que o momento de corte foi se prolongando à medida que a dose de biofertilizante foi aumentada, tornando-se suas respostas similares ao tratamento MIU com

esterco (Figura 4F), onde se observou o momento ideal mais prolongado para esse clone.

Rendimento de forragem

Na Tabela 5, estão expostos o rendimento de massa seca, o conteúdo de massa seca dos dois clones de palma forrageira, em ciclos sucessivos, adubados com esterco caprino e diferentes doses de BioCapri.

No primeiro ciclo experimental, a palma forrageira não foi afetada pelos distintos tratamentos quanto ao rendimento de massa seca. No primeiro ciclo, não houve uma grande diferença em relação à MS dos dois clones, onde a OEM produziu em média 224,31 g planta⁻¹ e a MIU 256,80 g planta⁻¹.

No entanto, durante o segundo ciclo verificou-se que o clone OEM apresentou uma produtividade média superior ao clone MIU (226,65 e 118,22 g planta⁻¹, respectivamente) (Tabela 5).

Todavia, quando se compara o CMS, em ambos os ciclos o clone MIU apresentou valores superiores ao OEM, com destaque para o tratamento sem uso de esterco ou biofertilizante no primeiro ciclo, onde atingiu 24% de MS em sua composição, já no segundo ciclo, a dose 200 mL de BioCapri apresentou 17% de MS.

Entretanto, a dose de 100 mL e o tratamento com esterco tiveram resultados, estatisticamente, semelhante ao tratamento testemunha.

As doses de 50, 150 e 200 mL apresentaram resultados estatisticamente semelhantes para o clone MIU (18, 18 e 17%, respectivamente) ($p < 0,05$). Para o segundo ciclo experimental, não se constatou diferença significativa para MS e CMS nos diferentes tratamentos para os dois clones de palma forrageira (Tabela 5).

Tabela 5. Rendimento de massa seca (MS, g planta⁻¹) e conteúdo de massa seca (CMS) da palma forrageira em ciclos sucessivos, clones Orelha de Elefante Mexicana (OEM) e Miúda (MIU), adubados com esterco caprino e diferentes doses de biofertilizante líquido (BioCapri).

1º ciclo experimental								
Variável	Clone	Esterco	0 mL	50 mL	100 mL	150 mL	200 mL	CV (%)
MS	MIU	295,79a	222,86a	270,94a	239,32a	248,43a	263,45a	39,30
	OEM	252,26a	180,50a	248,42a	206,98a	212,69a	245,00a	
CMS	MIU	0,20ab	0,24a	0,18b	0,19ab	0,18b	0,17b	20,87
	OEM	0,18a	0,17a	0,16a	0,16a	0,16a	0,17a	
2º ciclo experimental								
Variável	Clone	Esterco	0 mL	50 mL	100 mL	150 mL	200 mL	CV (%)
MS	MIU	130,43a	104,21a	106,77a	124,82a	118,14a	124,96a	35,57
	OEM	223,46a	246,74a	234,07a	229,44a	195,72a	230,46a	
CMS	MIU	0,14a	0,13a	0,16a	0,14a	0,14a	0,17a	38,42
	OEM	0,12a	0,12a	0,12a	0,11a	0,12a	0,12a	

CV: coeficiente de variação. As médias seguidas pelas mesmas letras na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Eficiência do uso dos recursos biofísicos

É possível observar que na Tabela 6, não se constatou efeito dos biofertilizantes sobre os tratamentos avaliados para RFAi, EUR e EUA em ambos os clones e ciclos. De forma geral, no primeiro ciclo, a média de RFAi pelo clone MIU (439,79 MJ m⁻²) foi inferior a RFAi pelo clone OEM (706,54 MJ m⁻²). Porém, quando verificamos a EUR, encontra-se um comportamento inversamente proporcional, onde o clone MIU apresenta uma melhor capacidade de converter radiação fotossintética em massa seca (0,57 g MJ⁻¹) quando comparado ao clone OEM (0,32 g MJ⁻¹).

No segundo ciclo, o clone OEM também apresentou maior capacidade de interceptação de radiação solar pelo dossel (904,79 MJ m⁻²). Já para o clone MIU (436,12 MJ m⁻²) essa interceptação foi inferior. Ao observar a EUR, notou-se que não houve grandes diferenças entre o clone MIU (0,28 g MJ⁻¹) e o clone OEM (0,27 g MJ⁻¹).

Para a EUA, as médias harmônicas dos clones MIU (2,31 g L⁻¹) e OEM (1,94 g L⁻¹) no primeiro ciclo, também não apresentaram grandes distorções. Já para o segundo ciclo, notou-se que o clone MIU teve uma menor capacidade de converter água em massa seca (1,41 g L⁻¹) e OEM (2,58 g L⁻¹).

Tabela 2. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAi, MJ m⁻²), eficiência do uso da radiação (EUR, g MJ⁻¹) e eficiência do uso da água (EUA, g L⁻¹) da palma forrageira em ciclos sucessivos, adubada com esterco caprino e diferentes doses de biofertilizante líquido a base de esterco caprino.

1º ciclo da cultura				
Clone	Fonte de nutrientes	RFAi	EUR	EUA
MIU	Esterco	496,26a	0,48a	2,09a
	0 mL	430,75a	0,44a	1,89a
	50 mL	441,00a	0,62a	2,51a
	100 mL	476,50a	0,60a	2,70a
	150 mL	341,50a	0,62a	1,93a
	200 mL	452,75a	0,68a	2,76a
OEM	Esterco	679,00a	0,35a	2,10a
	0 mL	670,00a	0,28a	1,03a
	50 mL	625,00a	0,46a	2,33a
	100 mL	756,75a	0,27a	1,94a
	150 mL	737,00a	0,29a	2,00a
	200 mL	771,50a	0,31a	2,24a
2º ciclo da cultura				
Clone	Fonte de nutrientes	RFAi	EUR	EUA
MIU	Esterco	429,50a	0,28a	1,36a
	0 mL	420,50a	0,29a	1,39a
	50 mL	357,75a	0,22a	0,91a
	100 mL	461,75a	0,31a	1,63a
	150 mL	400,25a	0,37a	1,66a
	200 mL	547,00a	0,25a	1,53a
OEM	Esterco	927,25a	0,27a	2,92a
	0 mL	969,75a	0,27a	3,07a
	50 mL	873,00a	0,27a	2,63a
	100 mL	775,00a	0,26a	2,16a
	150 mL	946,50a	0,19a	2,13a
	200 mL	937,25a	0,24a	2,57a

As médias seguidas pelas mesmas letras na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Discussão

Rendimento de forragem

O uso ou não de esterco e as doses de BioCapri não afetaram os parâmetros produtivos da palma forrageira. Costa et al. (2024), estudando o desempenho produtivo da palma forrageira adubada com esterco, determinaram que houve aumento na produção de biomassa. Entretanto, desempenho produtivo visto neste estudo pode estar mais relacionado as características morfoprodutivas dos clones (Santos et al., 2024).

Amorim et al. (2017) explicam que o rendimento produtivo da palma está diretamente ligado ao crescimento e desenvolvimento morfológico.

Em relação a produtividade vista nos dois clones. A literatura indica que o clone OEM, do gênero *Opuntia*, apresenta produtividade de matéria fresca e seca superior ao clone MIU, do gênero *Nopalea*, (Araújo Júnior et al., 2021; Araujo et al., 2024; Santos et al., 2024).

Clones do gênero *Opuntia*, conseguem converter, com mais eficiência o uso dos recursos naturais. Devido ao alto índice de área foliar, possui maior interceptação dos raios solares, tendo maior atividade fotossintética, convertendo em massa fresca (Santos et al., 2024). Outro fator é que plantas desse gênero tendem a desenvolver os cladódios inferiores, o que aumenta gradativamente o rendimento da cultura. Diferentemente das plantas do gênero *Nopalea*, que presam pela emissão de novos cladódios (Pinheiro et al., 2014).

Com relação ao CMS, os valores observados são superiores aos da literatura, onde normalmente encontra-se valores entre 8% e 12% para ambos os clones (Silva et al., 2014c; Alves et al., 2022).

O fato de as plantas apresentarem um elevado CMS, pode ser decorrente da sua eficiência na conversão dos recursos naturais (Araújo Júnior 2021). Devido ao experimento ser conduzido em vasos, o aproveitamento de água, nutrientes e radiação, como também não ter competição

intraespecífica/interespecífica direta, as plantas podem maximizar sua performance de rendimento.

Variáveis biométricas da palma forrageira

Embora os efeitos do esterco e das doses de biofertilizante líquido aplicadas foram mínimos em relação as variáveis analisadas, observou-se que houve uma diferença para cada clone.

O clone OEM se sobressaiu em variáveis como CC, LC, PC, LP, AC e IAF. Isso ocorre, primordialmente, devido às características específicas das plantas do gênero *Opuntia* (Santos et al., 2024). Vários estudos já demonstraram a superioridade do clone OEM sobre outros clones, inclusive MIU, em relação à produtividade, AC e IAC (Pinheiro et al., 2014; Silva et al., 2014a; Silva et al., 2015b).

Silva et al. (2023) indicaram que a utilização de biofertilizante ou adubação orgânica potencializa o crescimento do diâmetro do cladódio quando o clone já possui, por característica morfológica, cladódios com diâmetro grande. E quanto maior for o tamanho do cladódio, maior será o seu desenvolvimento e, por consequência, maior será o seu rendimento.

O IAC demonstra a relação entre a área total dos cladódios e a área ocupada pela planta, que está diretamente ligada à AC. Para o clone OEM, essas variáveis de crescimento do cladódio, como o CC e do PC, são as mais significativas para o aumento da área fotossintetizante da planta, auxiliando na interceptação e conversão de biomassa (Silva et al., 2014a; Santos et al., 2024).

O clone MIU apresenta uma maior quantidade de cladódios que clones do gênero *Opuntia* (Santos et al., 2021). Barbosa et al. (2018), avaliando a influência da morfologia dos cladódios na formação do dossel das plantas de palma forrageira, verificou que o crescimento dos cladódios de segunda e terceira ordem contribuiu de forma mais significativa para a formação do dossel do clone MIU. Já o clone OEM, os cladódios de primeira ordem apresentaram uma maior contribuição na formação do dossel. Esses dados estão de acordo com o comportamento observado no experimento, onde o clone OEM em geral, apresentou uma média de cladódios de primeira ordem superior ao clone MIU. No entanto, o clone MIU em média obteve um maior NC2 (Tabela 3 e 4).

Fenofases e momento ideal de corte da palma forrageira

No primeiro ciclo experimental verificou-se um comportamento padrão na sucessão de aparecimento dos cladódios, onde a taxa de emissão de cladódios de primeira ordem em

relação aos de segunda, e terceira ordem foi superior. No segundo ciclo, não se observou grandes diferenças em relação ao pico da taxa de primeira e de segunda ordem.

Souza et al. (2021), avaliaram o crescimento, fenologia e momento de corte da palma forrageira em campo no semiárido brasileiro, e constataram que a maior taxa observada foi para cladódios de segunda ordem.

A causa de as plantas apresentarem essas características, é decorrente do investimento maior em cladódios de primeira ordem (Santos et al., 2021). Devido ao espaço limitado para o sistema radicular, houve um declínio na emissão de cladódios de segunda e terceira ordem. O Clone OEM, que sofreu com tal declínio, promoveu o desenvolvimento dos cladódios de 1º ordem. Que, conhecidamente para o gênero *Opuntia*, contribui para a formação do dossel das plantas (Barbosa et al., 2018; Santos et al., 2024).

Xavier et al. (2020) mostraram que a interação entre a irrigação e a aplicação de adubação orgânica promove o surgimento de novos cladódios. E como o clone OEM tende a favorecer os cladódios primários, essa influência foi observada na consolidação da primeira fase fenológica. Já para MIU, o favorecimento foi baseado no surgimento de ordens superiores.

De forma geral, tanto para o primeiro quanto para o segundo ciclo experimental, o momento de corte ideal para a palma forrageira foi logo após o pico máximo de emissão de cladódios de segunda ordem. Assim, não seria vantajoso para o agricultor aguardar uma grande emissão de cladódios terciários para fazer a colheita, uma vez que, são os cladódios secundários que contribuem efetivamente no acúmulo de matéria seca (Souza et al., 2021).

Eficiência do uso dos recursos biofísicos pela palma forrageira

Observou-se que em ambos os ciclos, o clone OEM se sobressaiu em relação a RFAi, independente do uso ou não de esterco e biofertilizante. Esse resultado pode estar atrelado às características estruturais da planta, possibilitando uma maior AC e consequentemente uma maior interceptação de radiação solar (Santos et al., 2024; Queiroz et al., 2015).

Visto que a utilização de adubação orgânica ajuda no desenvolvimento foliar através de biomoléculas de crescimento (Mahapatra e Murthy, 2021; Mahapatra et al., 2022). Esse aumento no diâmetro irá proporcionar maior interceptação de radiação. No clone OEM, esse desenvolvimento é revertido no crescimento dos cladódios de primeira ordem (Santos et al., 2021).

Para a miúda, o uso de fertilizantes orgânicos promove maior produção de novos cladódios, aumentando o dossel da planta, e gerando maior interceptação de radiação (Amorim et al., 2017; Xavier et al., 2020).

Ainda, a utilização de adubação orgânica, vai gerar maior disponibilização de macronutrientes para planta, incluindo o potássio (Costa et al., 2024), nutriente essencial em importantes processos fisiológicos (e.g. processo osmótico, síntese proteica, controle de pH, abertura e fechamento estomático), e quando esse nutriente está em deficiência, é possível ocorrer redução no crescimento da palma forrageira (Cirino Júnior et al., 2022).

Vale ressaltar que a utilização de esterco ou biofertilizantes fornece a vários macronutrientes. E o potássio, atuando em conjunto com outros nutrientes como o nitrogênio, possibilita o aumento na produção de biomassa (Santos et al., 2024).

A superioridade do clone MIU na EUR pode ser explicado através do CMS e RFAi. Pois, mesmo a MIU interceptando menos radiação, teve maior capacidade de conversão da radiação em biomassa. Ullah et al. (2019) indicaram que a presença de nitrogênio no tecido vegetal pode interagir positivamente no uso da radiação para produção de biomassa. Uma vez que, esse nutriente, comumente encontrado em insumos orgânicos. É importante nos processos de fotossíntese e divisão celular. Aumentando o surgimento de novos cladódios e, por consequência, elevando a produção de matéria seca (Santos et al., 2024)

Em relação à EUA, não se observou diferença em nenhum ciclo entre os tratamentos avaliados. Silva et al. (2014b) avaliando a eficiência do uso da água de clones de palma forrageira concluiu que a OEM é um clone que se destaca de forma positiva na EUA em relação a clones como IPA Sertânia e MIU quando cultivados em sequeiro. Queiroz et al. (2016), verificou também que a eficiência no uso de água pela palma forrageira diminui à medida que se aumenta a disponibilidade hídrica para a cultura. Por se tratar de uma planta, a palma forrageira quando disponibiliza água, suas respostas são maximizadas, contudo, o excesso de água pode ocasionar estabilidade no uso da água, fazendo que a planta não responda positivamente ao incremento hídrico.

Conclusão

Os resultados do presente estudo indicam que o aporte de biofertilizante, assim como o uso

de esterco caprino não causou efeitos significativos no rendimento de forragem e nas características estruturais da palma.

O momento de corte da palma forrageira ocorre logo após o ápice da taxa de emissão de cladódios de segunda ordem.

O clone OEM possui maior interceptação de radiação devido a sua maior área de cladódios proveniente da arquitetura da mesma. Ainda, é o clone mais eficiente no uso da água.

O clone MIU possui maior capacidade de converter radiação em massa seca.

O desenvolvimento de pesquisas futuras com palma forrageira e suas eficiências dos recursos naturais são essenciais para documentar, e descrever as relações dessa cultura com as condições ambientais e de fertilidade do solo.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Pernambuco — FACEPE (APQ-1159-1.07/14, APQ-1449-5.01/22, APQ-0428-5.01/21, APQ-0783-5.01/22, APQ -0172-5.01/21), pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico — CNPq (421003/2018-9, 309421/2018-7, 402622/2021-9, 309558/2021-2). Agradeço também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — CAPES/FACEPE (Código Financeiro 001) pela concessão de bolsas de pesquisa e estudo.

Referências

- Addinsoft, S. A. R. L. (2019). XLSTAT software, version 2019.1'. Paris, France.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Moraes Gonçalves, J.L., Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Alves, C. P., Jardim, A. M. D. R. F., Júnior, G. D. N. A., de Souza, L. S. B., de Araújo, G. G. L., de Souza, C. A. A., ... & da Silva, T. G. F. (2022). How to enhance the agronomic performance of cactus-sorghum intercropped system: planting configurations, density and orientation. *Industrial Crops and Products*, 184, 115059. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115059>
- Alves, H. K. M. N., Jardim, A. M. D. R. F., Araújo Júnior, G. D. N., Souza, C. A. A., Leite, R. M. C., Silva, G. I. N., ... & Silva, T. G. F. (2022). Uma abordagem sobre práticas agrícolas resilientes para maximização sustentável dos sistemas de produção no Semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(1),

- 373-392.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p373-392>
- Amorim, D. M., Silva, T. G. F. D., Pereira, P. D. C., Souza, L. S. B. D., & Minuzzi, R. B. (2017). Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 47(1), 62-71.
<https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4742746>
- Araújo Júnior, G. D. N., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Souza, M. de S., Araújo, G. G. L., Moura, M. S. B. (2021). Productivity, bromatological composition and economic benefits of using irrigation in the forage cactus under regulated deficit irrigation in a semiarid environment. *Bragantia*, 80, 1-12.
<https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200390>
- Araujo, J. F. N. D., Santos, J. P. A. D. S., Souza, L. S. B. D., Souza, C. A. A. D., Alves, C. P., Jardim, A. M. D. R. F., ... & Silva, T. G. F. D. (2024). Effect of Different Irrigation Programs on Structural Characteristics, Productivity and Water Use Efficiency of Opuntia and Nopalea Forage Cactus Clones. *Grasses*, 3(4), 307-319.
<https://doi.org/10.3390/grasses3040023>
- Barbosa, M. L.; Silva, T. G. F., Zolnier, S., Silva, S. M. S., Neto, A. J. S. (2018). The influence of cladode morphology on the canopy formation of forage cactus plants. *Revista Caatinga*, 31(1), 180-190.
<https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n121rc>
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., Wood, E. F. (2018). Present and future köppen-geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5(1), 1-12.
<https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- Borba, M. C., Ramos, J. E. S., Barros, J. E. M., & Machado, J. A. D. (2023). A difusão de tecnologias no meio agrícola na Caatinga—a região de clima semiárido brasileiro. *Interações (Campo Grande)*, 24(1), 69-93.
<https://doi.org/10.20435/inter.v24i1.3767>
- Costa, F., Silva, T., Da Costa Silva, I., Cruz, R., Formiga, A., Silva, M., Sales, G., Lira, R., Queiroga, R., & De Almeida, F. (2024). Organic fertilization increases yield and affects the postharvest quality of Nopalea cochenillifera cladodes. *Food Science and Technology*, 44.
<https://doi.org/10.5327/fst.00320>
- Cirino Junior, B., Leite, M. L. D. M. V., Silva, F. E. D., Alves, C. P., Oliveira, A. C. D., & Eugênio, D. D. S. (2022). Initial growth of forage cactus clones at different potassium fertilization levels. *Ciência Animal Brasileira*, 23, e70836.
<https://doi.org/10.1590/1809-6891v22e-70836E>
- Donato, P. E. R., Donato, S. L. R., Silva, J. A., Pires, A. J. V., Rosa, R. C. C., Aquino, A. A. (2016). Nutrition and yield of ‘Gigante’ cactus pear cultivated with different spacings and organic fertilizer. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(12), 1083-1088.
<https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n12p1083-1088>
- El-Bassi, L., Azzaz, A. A., Jellali, S., Akrouit, H., Marks, E. A., Ghimbeu, C. M., & Jeguirim, M. (2021). Application of olive mill waste-based biochars in agriculture: Impact on soil properties, enzymatic activities and tomato growth. *Science of the total environment*, 755, 142531.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149990>
- Fernández, J. E., Alcon, F., Diaz-Espejo, A., Hernandez-Santana, V., & Cuevas, M. V. (2020). Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study of a super high density olive tree orchard. *Agricultural water management*, 237, 106074.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106074>
- Halli, H. M., Govindasamy, P., Choudhary, M., Srinivasan, R., Prasad, M., Wasnik, V. K., ... & Pathak, H. (2022). Range grasses to improve soil properties, carbon sustainability, and fodder security in degraded lands of semi-arid regions. *Science of the Total Environment*, 851, 158211.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158211>
- Jardim, A. M. D. R. F., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Araújo Júnior, G. D. N., Alves, H. K. M. N., de Sá Souza, M., ... & Moura, M. S. B. (2021b). Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. *Journal of Arid Environments*, 188, 104464.
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104464>
- Jardim, A. M. R. F., Santos, H. R. B., Alves, H. K. M. N., Ferreira-Silva, S. L., Souza, L. S. B., Araújo Júnior, G. N. (2021a). Genotypic differences relative photochemical activity, inorganic and organic solutes and yield performance in clones of the forage cactus under semi-arid environment. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 421-430.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.011>
- Jardim, A. M. R. F., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Souza, M. S. (2020a). Interaction of

- agroecosystem intercropped with forage cactus-sorghum in the semi-arid environment: a review. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 5(1), 69–87. <https://doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2743.069-087>
- Jardim, A. M. R. F., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Souza, M. D. S., Morais, J. E. F., Araújo Júnior, G. N. (2020b). Multivariate analysis in the morpho-yield evaluation of forage cactus intercropped with sorghum. *Análise multivariada na avaliação morfo-produtiva da palma forrageira consorciada com o sorgo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24(11), 756–761. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n11p756-761>
- Leite, R. M. C., Jardim, A. M. D. R. F., Araújo Júnior, G. N., Alves, C. P., Silva, G. I. N., Rocha, A. K. P., ... & Silva, T. G. F. (2022). Uso biofertilizantes para intensificação sustentável da produção de palma forrageira irrigada e uso indicadores agrometeorológicos para avaliação. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(1), 393–413. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p393-413>
- Mahapatra, D. M., & Murthy, G. S. (2021). Long term evaluation of a pilot scale multimodal algal bioprocess for treatment of municipal wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 311, 127690. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127690>
- Mahapatra, D. M., Satapathy, K. C., & Panda, B. (2022). Biofertilizers and nanofertilizers for sustainable agriculture: Phycoprosects and challenges. *Science of the total environment*, 803, 149990. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149990>
- Martínez-Dalmau, J., Berbel, J., & Ordóñez-Fernández, R. (2021). Adubação nitrogenada. Uma revisão dos riscos associados à ineficiência de seu uso e respostas políticas. *Sustentabilidade*, 13(10), 5625. <https://doi.org/10.3390/su13105625>
- Mendoza, P. V., Sousa, T. C., Santos, M. V. F., Mendoza, O. V. V., Dubeux Junior, J. C. B., Lira, M. A. (2019). Morfología de nopal forrajero cv Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) en sistemas de cultivo del agreste de Pernambuco, Brasil. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 10(3), 756–766. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i3.4386>
- Meng, H., Gao, X., Song, Y., Cao, G., & Li, J. (2021). Biodiversity arks in the Anthropocene. *Regional Sustainability*, 2(2), 109-115. <https://doi.org/10.1016/j.regsus.2021.03.001>
- Penuelas, J., Coello, F., & Sardans, J. (2023). A better use of fertilizers is needed for global food security and environmental sustainability. *Agriculture & Food Security*, 12(1), 1-9. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00409-5>
- Pinheiro, A. G., Souza, L. S. B., Jardim, A. M. R. F., Araújo Júnior, G. N., Alves, C. P., Souza, C. A. A., ... & Silva, T. G. F. (2021). Lacunas de produtividades e estratégias de cultivo na melhoria da produção de forragem para a região semiárida brasileira-Revisão. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(4), 2403-2426. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p2403-2426>
- Pinheiro, K. M., Silva, T. G. F. D., Carvalho, H. F. D. S., Santos, J. E. O., Morais, J. E. F. D., Zolnier, S., & Santos, D. C. D. (2014). Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 49(12), 939–947. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014001200004>
- Popradit, A., Nakhokwik, Y., Robischon, M., Saiki, S. T., Yoshimura, J., Wanasiri, A., & Ishida, A. (2024). Soil degradation and herbicide pollution by repeated cassava monoculture within Thailand's conservation region. *Plos one*, 19(8), e0308284. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0308284>
- Queiroz, M. G., Silva, T. G. F., Zolnier, S., Silva, S. M. S., Lima, L. R., Alves, J. O. (2015). Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(10), 931-938. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p931-938>
- Queiroz, M. G., Silva, T. G. F., Zolnier, S., Silva, S. M. S., Souza, C. A. A., Carvalho, H. F. S. (2016). Relações Hídrico-Econômicas Da Palma Forrageira Cultivada Em Ambiente Semiárido. *Irriga*, 1(1), 141. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n01p141-154>
- Raj, S., Bhuvana, D., Selvin, R., Sucharitha, A., (2024). Natural Resources Depletion. *Journal of Ecology & Natural Resources*, 8 (1) 000367. <https://doi.org/10.23880/jenr-16000367>
- Richards, L. A., Allison, L. E., Bernstein, L., Brower, C. A., Brown, J. W., Fireman, M., Hatcher, J. T., Hayward, H. E., Pearson, G. A., Reeve, R. C., & Wilcox, L. V. (1954).

- Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. *Soil Science Society of America Journal*, 18(3), 348.
- Salvador, K. R. S., Jardim, A. M. D. R. F., Araújo Júnior, G. N., Alves, C. P., Pinheiro, A. G., ... & Silva, T. G. F. (2021). Intensificação de sistemas de produção de palma forrageira por meio de consorciação rotativa com gramíneas, leguminosas e oleaginosas: uma revisão. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(04), 2322-2343. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p2322-2343>
- Santos, J. P. A. S., Araújo Júnior, G. D. N. A., Jardim, A. M. D. R. F., Souza, C. A. A., Silva, J. O. N., Salvador, K. R. S., ... & Silva, T. G. F. (2021). Técnicas de manejo sustentável para o aporte forrageiro da agricultura familiar no semiárido brasileiro: palma forrageira, irrigação e fondren. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(7), 3910-3931. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.7.p3910-3931>
- Santos, J. P. A. S., Oliveira, A. C., Morais, J. E. F., Jardim, A. M. D. R. F., Alves, C. P., Araújo Júnior, G. D. N., ... & Silva, T. G. F. (2024). Morphophysiological responses, water, and nutritional performance of the forage cactus submitted to different doses of nitrogen. *Field Crops Research*, 308, 109273. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109273>
- Saraiva, F. M., Dubeux Jr, J. C. B., Cunha, M. V. D., Menezes, R. S. C., dos Santos, M. V. F., Camelo, D., & Ferraz, I. (2022). Performance of forage cactus intercropped with arboreal legumes and fertilized with different manure sources. *Agronomy*, 12(8), 1887. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081887>
- Silva, G. I. N., Jardim, A. M. R. F., Alves, H. K. M. N., Souza, M. S., Souza, C.A.A., Araújo Junior, G. N., Alves, C. P., Pinheiro, A. G., Salvador, K. R. S., Leite, R. M. C., Costa, S. A. T., Silva, M. J., Silva, T. G. F. (2020). Cultivo de plantas forrageiras de apelo regional para o Semiárido brasileiro sob a perspectiva de técnicas agrometeorológicas para melhoria da resiliência: uma revisão. *Research, Society and Development*, 9(10), e149108291. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8291>
- Silva, L. M., Fagundes, J. L., Viegas, P. A. A., Muniz, E. N., Rangel, J. H. A., Moreira, A. L., & Backers, A. A. (2014c). Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. *Ciência Rural*, 44(11), 2064–2071. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131305>
- Silva, M. V., Pandorfi, H., Almeida, G. L. P., Lima, R. P., Santos, A., Jardim, A. M. R. F., Rolim, M. M., Silva, J. L. B., Batista, P. H. D., Silva, R. A. B. S., Lopes, P. M. O., & Silva, D. C. (2021). Spatio-temporal monitoring of soil and plant indicators under forage cactus cultivation by geoprocessing in Brazilian semi-arid region. *Journal of South American Earth Sciences*, 107, 103155. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103155>
- Silva, M., Nóbrega, J., Santos, C., Costa, F., Abreu, D., Silva, W., Hoshida, A., Gomes, F., Pereira, U., Linné, J., & Scalón, S. (2023). Adubação orgânica com biofertilizante altera as características físicas e químicas de cladódios jovens de *Opuntia stricta* (Haw.) Haw. *Sustentabilidade*, 15(4), 3841. <https://doi.org/10.3390/su15043841>
- Silva, T. G. F., Araújo Primo, J. T., Morais, J. E. F., Diniz, W. J. S., Souza, C. A. A., & Silva, M. C. (2015b). Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. *Revista Caatinga*, 28(2), 10–18.
- Silva, T. G. F., Miranda, K. R., Santos, D. C., Queiroz, M. G., Silva, M. C., Cruz Neto, J. F., & Araújo, J. E. M. (2014a). Area Do Cladódio De Clones De Palma Forrageira: Modelagem, Análise E Aplicabilidade. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 9(4) 633–641. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v9i4a4553>
- Silva, T. G. F., Primo, J. T. A., Moura, M. S. B., Silva, S. M. S., Moraes, J. E. F., Pereira, P. C., & Souza, C. A. A. (2015a). Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50(7), 515–525. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000700001>
- Silva, T. G. F., Primo, J. T. A., Silva, S. M. S., Moura, M. S. B., Santos, D. C., Silva, M. C., & Araújo, J. E. M. (2014b). Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no semiárido Brasileiro. *Bragantia*, 73(2), 184–191. <http://dx.doi.org/10.1590/brag.2014.017>
- Souza, M. S., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Jardim, A. M. R. F., Araújo Júnior, G. N., Alves, H. K. M. N. (2019). Practices for the improvement of the agricultural resilience of the forage production in semiarid environment: a review. *Amazonian Journal of Plant Research*, 3(2), 417–430.
- Souza, M.D.S., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Alves, H. K. M. N., Leite, R. M. C., Souza, C. A. A., Araújo, G. G. L. D., Campos, F. S., Silva,

- M. J. D. & Souza, P. J. D. O. P. (2021). Growth, phenology and harvesting time of cactus-millet intercropping system under biotic mulching. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 68(6), 764–778.
<https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1852553>
- Toromade, A. S., Soyombo, D. A., Kupa, E., & Ijomah, T. I. (2024). Reviewing the impact of climate change on global food security: Challenges and solutions. *International Journal of Applied Research in Social Sciences*, 6(7), 1403-1416.
<https://doi.org/10.51594/ijarss.v6i7.1300>
- Ullah, H., Santiago-Arenas, R., Ferdous, Z., Attia, A., & Datta, A. (2019). Improving water use efficiency, nitrogen use efficiency, and radiation use efficiency in field crops under drought stress: A review. *Advances in agronomy*, 156, 109-157.
<https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.02.002>
- Xavier, M. A., Batista, M. C., Santos, J. P. D. O., da Silva, J. L. C., Cartaxo, P. H. D. A., Reges, R. S., & Pereira, D. D. (2020). Biometric characterization of cladode of *Opuntia stricta* submitted to irrigation slides and organic fertilizer in the Paraíba Semi-arid. *Revista Agrarian*, 13(47), 74-81.
<https://doi.org/10.30612/agrarian.v13i47.9206>