












Composição química e fracionamento de carboidratos da palma forrageira sob diferentes estratégias de irrigação

[Chemical composition and carbohydrate fractionation of forage palm under different irrigation strategies]

Bruno Spindola Garcez*¹ , Paulo César Andrade da Costa¹ , Francisco Mardones Servulo Bezerra² , Claudivan Feitosa de Lacerda² , Karina Dakell Araújo de Macedo¹ , Dávilla Augusta Mota Sousa¹ , Alisson Aurélio Sérvolo¹ , Milena Almeida Caetano¹ 

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Crateús, Ceará, Brasil 

² Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Ceará, Brasil 

*autor correspondente: bruno.garcez@ifce.edu.br

Recebido: 22 de março de 2025. Aceito: 16 de janeiro de 2026. Publicado: 19 de fevereiro de 2026.

Editor: Rondineli P. Barbero

Resumo: Objetivou-se avaliar a composição química e o fracionamento de carboidratos da palma forrageira submetida a diferentes estratégias de irrigação. Adotou-se delineamento em blocos com esquema fatorial de 5 x 2 x 4, sendo 5 lâminas de irrigação (0, 20, 40, 70 e 100 % da irrigação real necessária - IRN) e 2 métodos de estimativa da evapotranspiração (Penman-Monteith e Hargreaves Samani), com 4 repetições. Foi quantificada a composição química e realizado o fracionamento de carboidratos pelo modelo CNCPS. As médias e as interações foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 %. Os componentes fibrosos, proteína bruta e fração lignificada dos carboidratos apresentaram interação ($P < 0,05$) entre os modelos e as lâminas. Os teores de proteína bruta foram mais elevados em lâminas de irrigação menores. Os valores de NDT variaram de 69 a 71 % em todos os tratamentos, não diferindo entre as lâminas. A palma forrageira cultivar orelha de elefante apresenta adequada composição química mesmo quando cultivada em condições de sequeiro, ou em lâminas de irrigação baixas. Recomenda-se o uso de lâmina de irrigação de 20 % da IRN junto modelo proposto por Hargreaves & Samani.

Palavras-chave: cactáceas; evapotranspiração; *Opuntia stricta*; valor nutricional.

Abstract: The objective was to evaluate the chemical composition and carbohydrate fractionation of *Opuntia stricta* submitted to different irrigation strategies. A block design was adopted with a 5 x 2 x 4 factorial scheme, with 5 irrigation depths (0, 20, 40, 70 and 100 % of the real irrigation required - IRN) and 2 methods for estimating evapotranspiration (Penman-Monteith and Hargreaves Samani), with 4 repetitions. The chemical composition was quantified and carbohydrate fractionation was performed using the CNCPS model. Means and interactions were compared using the 5 % Tukey test. The fibrous components, crude protein and lignified fraction of carbohydrates showed interaction ($P < 0.05$) between the equations and the irrigation depths. Crude protein contents were higher in lower irrigation depths. TDN values varied from 69 to 71 % in all treatments, without differing between depths. The fodder palm cultivar elephant ear has an adequate chemical composition even when grown in rainfed conditions, or in low irrigation depths. It is recommended to use an irrigation depth of 20 % of the IRN along with the model proposed by Hargreaves & Samani.

Keywords: cactaceae; evapotranspiration; *Opuntia stricta*; nutritional value.



1. Introdução

Os sistemas de produção de ruminantes no semiárido brasileiro são realizados em sua maioria, de forma extensiva, dependendo predominantemente da disponibilidade da vegetação nativa, a qual está condicionada à regularidade e à distribuição das chuvas na região, interferindo na produção e na qualidade da forragem na maior parte do ano ⁽¹⁾. Nesse sentido, deve-se optar por espécies adaptadas ao clima e ao solo local, de modo a evitar decréscimos na qualidade nutricional, além de apresentar baixo custo de produção, possibilitando maior eficiência produtiva nos períodos de seca ⁽²⁾.

Dentre essas espécies, a palma forrageira *Opuntia stricta* (Haw.) Haw mostra-se como uma excelente alternativa para o cultivo no semiárido por possuir mecanismo fisiológico eficiente, que confere melhor absorção e aproveitamento da água ⁽³⁾, é uma valiosa fonte de alimento para ruminantes, por apresentar bom valor nutritivo ⁽⁴⁾. Caracteriza-se como palma forrageira todas as espécies vegetais pertencentes aos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, os mais utilizados na alimentação animal, contidas na família Cactaceae. Mundialmente, existem aproximadamente 300 espécies do gênero *Opuntia*, distribuídas entre as Américas ⁽⁵⁾. O metabolismo dessas espécies, caracterizado pelo metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), envolve a abertura dos estômatos predominantemente no período noturno, quando a temperatura do ar é mais amena, promovendo maior eficiência no uso da água por meio da redução das perdas por evapotranspiração ⁽⁶⁾. No entanto, existem fatores que podem interferir na sua produtividade, como a disponibilidade hídrica, fertilidade do solo, densidade de plantio e presença de pragas e doenças, que afetam a qualidade dos cladódios ⁽⁷⁾.

Dentre esses manejos, a palma forrageira, mesmo sendo uma cultura tolerante à seca, responde bem à irrigação, de acordo com a frequência e lâmina aplicada. Para um adequado manejo dessa irrigação, é importante a estimativa e conhecimento da evapotranspiração da espécie, visando determinar a quantidade de água para reposição ⁽⁸⁾. Dentre os modelos utilizados para determinação dessa variável, destacam-se o método de Penman-Monteith, que requer dados sobre temperaturas máximas e mínimas do ar, radiação solar, umidade do ar e velocidade do vento, e o proposto por Hargreaves & Samani, que é mais simples, pois se baseia em dados de temperatura máxima e mínima e estimativa da radiação solar a partir de dados locais ⁽⁹⁾. Mesmo sendo o mais utilizado e padronizado pelo boletim FAO-56 ⁽¹⁰⁾, o método de Penman-Monteith necessita de medidas acuradas e de diversas variáveis meteorológicas, que em muitos locais não estão disponíveis gratuitamente, demandando a presença de estações meteorológicas mais completas ⁽¹¹⁾. Nesse sentido, métodos mais simples, como o proposto por Hargreaves & Samani, têm sido utilizados em diferentes contextos produtivos, especialmente em sistemas de produção de ruminantes de pequeno e médio porte.

Além da produtividade, a disponibilidade hídrica também pode afetar a composição química da palma, por influenciar seu desenvolvimento, onde a frequência e intensidade do estresse hídrico são determinantes para a qualidade da forragem ofertada aos animais ⁽¹²⁾. Fatores fisiológicos como a abertura e fechamento dos estômatos, fotossíntese, crescimento e alongamento foliar podem sofrer interferências quando a espécie é submetida a estresse hídrico, podendo ocasionar alterações no metabolismo secundário e deposição de nutrientes.

Parte-se da hipótese de que diferentes lâminas de irrigação, associadas a distintos métodos de estimativa da evapotranspiração, promovem alterações na composição química e no fracionamento de carboidratos da palma forrageira. Assim, objetivou-se avaliar a composição química e o fracionamento de carboidratos da palma forrageira sob diferentes lâminas de irrigação e estimativas de evapotranspiração.

2. Material e métodos

O experimento foi realizado na área experimental da Escola Família Agrícola Dom Fragoso (EFA Dom. Fragoso), no município de Independência, Ceará, Brasil (Figura 1), localizada nas coordenadas geográficas 5°20'00" S e 40°14'21" W. O clima da região, segundo Köppen, é o tipo BSh (tropical semiárido), com precipitação média anual de 760 mm durante o verão.

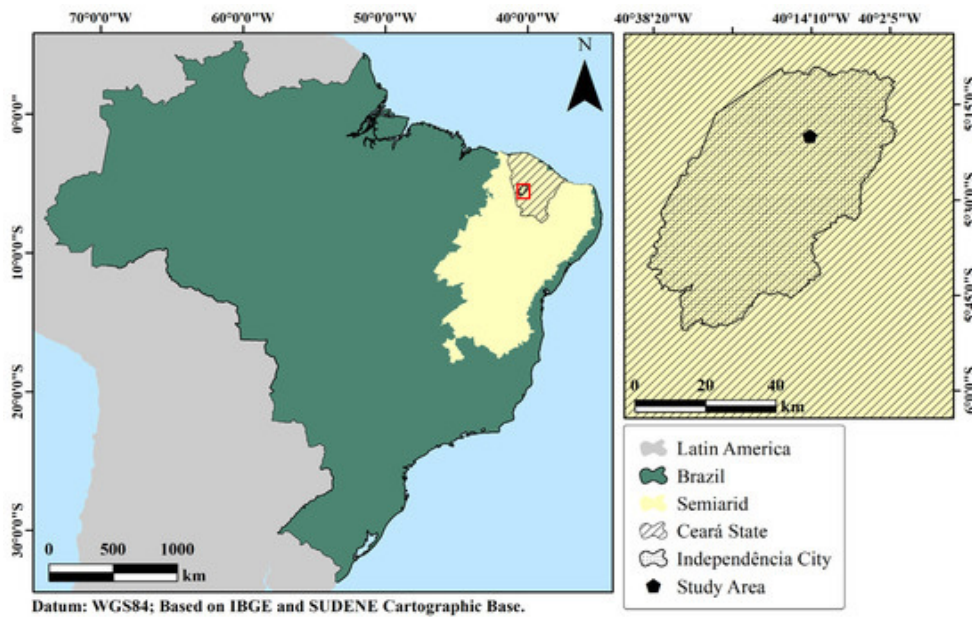


Figura 1. Localização da área experimental, destacando o mapa da região semiárida brasileira, o estado do Ceará, o município da Independência e a localização específica da EFA Dom Fragoso. Fonte: Bezerra et al., 2024 ⁽¹³⁾.

O estabelecimento da cultura ocorreu em novembro de 2020 com aplicação dos tratamentos ocorrendo entre agosto e dezembro de 2021. Para eliminação de plantas daninhas, realizaram-se duas capinas no período chuvoso e duas no período seco (durante a irrigação). Não foi observada a presença de cochonilha em quantidades que justificassem a intervenção com defensivos agrícolas.

O arranjo experimental foi organizado em blocos aleatórios, com quatro repetições em esquema fatorial de 5 x 2, relativo a 5 lâminas de irrigação (0 %, 20 %, 40 %, 70 % e 100 % da irrigação real necessária - IRN) e a 2 métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (Penman- Monteith e Hargreaves Samani). Cada unidade experimental era constituída de 5 linhas de 9 m de comprimento por 0,8 m de espaçamento entre essas, contabilizando uma área de 36 m² e, portanto, uma área experimental total de 1.440 m².

O solo da área experimental apresentou textura franco-arenosa e as seguintes características químicas: pH em água de 6,0; condutividade elétrica do extrato de saturação (CEe) de 0,13 dS m⁻¹; cátions trocáveis (cmolc kg⁻¹) Ca²⁺ = 3,10, Mg²⁺ = 0,40, Na⁺ = 0,07, K⁺ = 0,26, H⁺ + Al³⁺ = 1,16 e Al³⁺ = 0,10; soma de bases de 3,80 cmolc kg⁻¹; capacidade de troca catiônica de 5,00 cmolc kg⁻¹; saturação por bases de 77 %; saturação por alumínio de 3 %;

e porcentagem de sódio trocável de 1 %. Os teores de carbono e nitrogênio foram de 2,64 e 0,27 g kg⁻¹, respectivamente, com relação C/N de 10, matéria orgânica de 4,55 g kg⁻¹ e fósforo assimilável de 2 mg kg⁻¹.

A água utilizada para irrigação foi proveniente de um tanque de criação de tilápias, abastecido por poço profundo com vazão de 1000 L h⁻¹, apresentando caráter salobro. A análise química da água indicou pH de 7,2; condutividade elétrica (CEw) de 1,7 dS m⁻¹; concentrações de Ca²⁺ = 4,5 mmolc L⁻¹, Mg²⁺ = 5,8 mmolc L⁻¹, Na⁺ = 6,1 mmolc L⁻¹, K⁺ = 0,3 mmolc L⁻¹; Cl⁻ = 15,4 mmolc L⁻¹; HCO₃⁻ = 1,2 mmolc L⁻¹; fósforo de 0,58 mg L⁻¹; e razão de adsorção de sódio (RAS) de 1,91.

Durante a quadra chuvosa, compreendida entre janeiro e junho de 2021 e 2022, foram realizados cinco tratamentos de capina física. As irrigações foram conduzidas durante os períodos secos, de julho a dezembro de 2021 e 2022, quando foram realizados três tratamentos de capina. Adicionalmente, no período chuvoso de 2021, foi realizada adubação orgânica com esterco bovino, na dose equivalente a 30 t ha⁻¹, conforme recomendações para plantios adensados de palma forrageira ⁽¹⁴⁾.

A equação de Penman-Monteith envolve um conjunto mais amplo de informações meteorológicas, que foram registradas por estação agrometeorológica disposta no centro da área experimental e considera também aspectos da fisiologia das plantas, descrita abaixo:

$$ET_o = \frac{0,408 * \Delta * (R_n - G) + \left(y * \frac{900}{T_{med} + 273} \right) * v_2 * (e_s - e_a)}{\Delta + Y * (1 + 0,34 * v_2)}$$

Em que: Eto = evapotranspiração de referência em mm dia⁻¹; Rn = radiação líquida total do gramado em MJ m⁻² dia⁻¹; G = densidade do fluxo de calor no solo em MJ m⁻² dia⁻¹; Tmed = temperatura média diária do ar em °C; v2 = a velocidade do vento média diária a 2m de altura; es = pressão de saturação de vapor em kPa; ea = pressão parcial de vapor; Δ = declividade da curva de pressão de vapor em kPa C⁻¹, γ = coeficiente psicrométrico.

Já a equação proposta por Hargreaves Samani estima a ETo utilizando apenas os valores de temperaturas máxima, mínima e média do ar e de radiação no topo da atmosfera, conforme a seguir:

$$ET_o = \alpha * (T_{max} - T_{min})^\beta * (T_{med} + 17,8) * Ra * 0,408$$

Sendo: Eto = evapotranspiração de referência em mm dia⁻¹; Tmax e Tmin, temperatura máxima e mínima respectivamente; α = 0,0023; β = 0,5; Tmed = soma da máxima e mínima dividida por dois; Ra = radiação extraterrestre, expressa em MJ m⁻² dia⁻¹.

Posteriormente, com os valores de ETo estimados foi possível calcular a evapotranspiração da cultura (ETc mm dia⁻¹), multiplicando-a por um valor denominado de coeficiente da cultura (Kc):

$$ET_c = ET_o * K_c$$

Sendo: Etc = evapotranspiração da cultura em mm dia⁻¹; Eto = evapotranspiração de referência em mm dia⁻¹ e Kc = coeficiente da cultura.

As condições meteorológicas monitoradas durante o período experimental resultaram em médias de temperatura máxima e mínima de 34,43 e 22,51 °C, respectivamente, umidade relativa média de 67,41 % e velocidade média do vento de 1,44 m s⁻¹. A evapotranspiração de referência média estimada pelo método de Penman-Monteith foi de 6,32 mm dia⁻¹, com evapotranspiração da cultura correspondente de 3,21 mm dia⁻¹. Pelo método de Hargreaves–

Samani, a evapotranspiração de referência média foi de 5,61 mm dia⁻¹, com evapotranspiração da cultura média de 2,89 mm dia⁻¹. A Figura 2 apresenta a variação da evapotranspiração da cultura (ET_c), da evapotranspiração de referência (ET₀) e das condições meteorológicas, incluindo precipitação e temperatura do ar, ao longo do período de pesquisa.

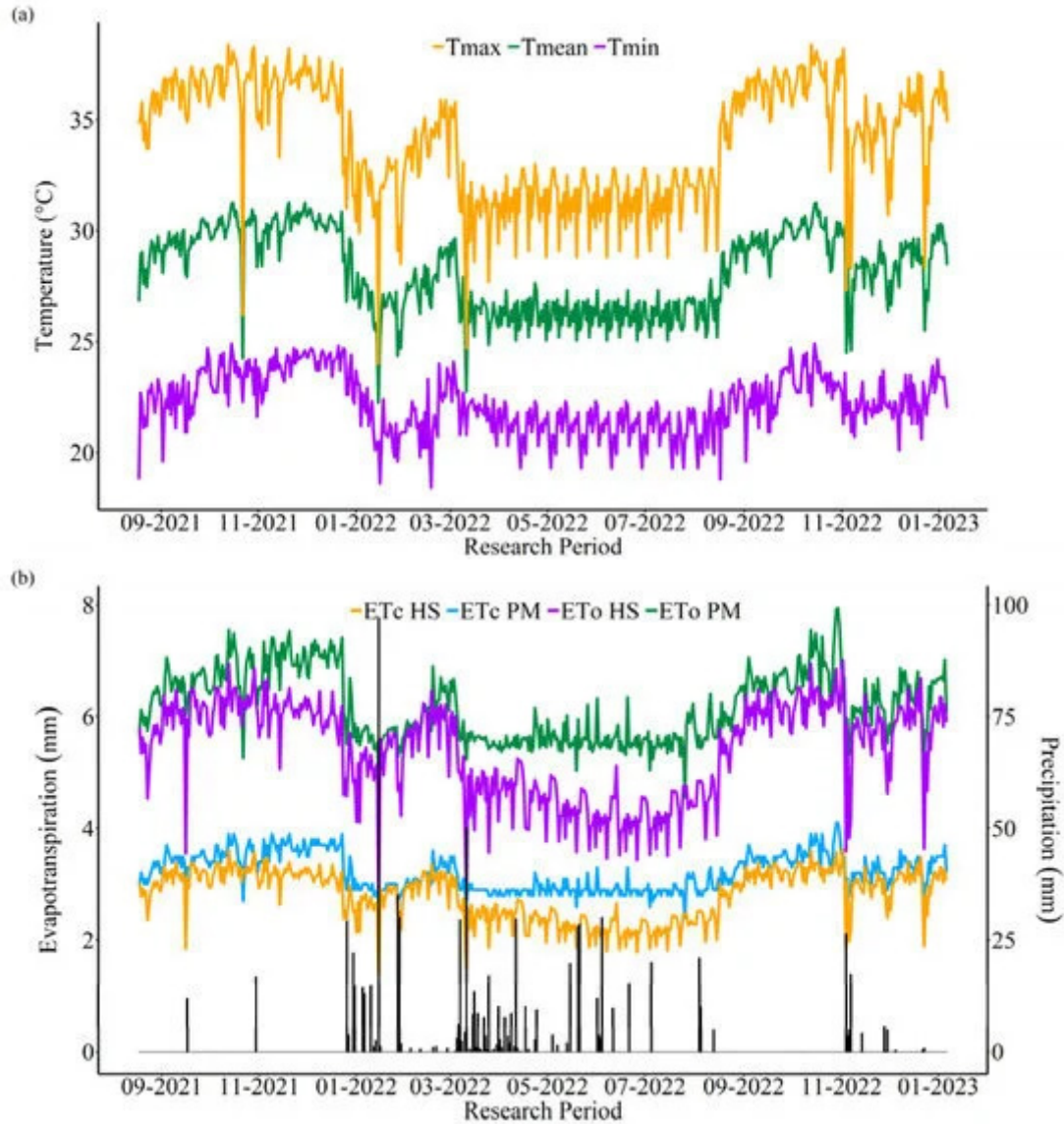


Figura 2. Variação nos valores médios diários das variáveis temperatura mínima (Tmin), temperatura máxima (Tmax) e temperatura média (Tmean) (a); precipitação (P), evapotranspiração de referência estimada pelos métodos de Penman-Monteith (ET₀ PM) e Hargreaves–Samani (ET₀ HS), e evapotranspiração da cultura estimada pelos respectivos métodos (ETc PM e ETc HS) (b), ao longo do período experimental, conduzido na Escola Família Agrícola Dom Fragoso (EFA Dom Fragoso), localizada no município de Independência, CE. Fonte: Bezerra et al., 2024 ⁽¹³⁾

O volume de água de reposição (em milímetros) efetivamente estimado pelas equações de evapotranspiração, em função dos percentuais das lâminas de irrigação e a diferença na quantidade de água utilizada em cada tratamento por meio das duas equações está descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Acumulativo hídrico (em milímetros) efetivamente aplicado nas equações em função dos percentuais de irrigação.

LÂMINAS (%)	EQUAÇÕES		DIFERENÇA (%)
	Penman-Monteith	Hargreaves Samani	
0	46,48 mm*	46,48 mm*	-
20	84,78 mm	65,94 mm	22,22
40	196,56 mm	131,88 mm	32,91
70	296,73 mm	230,79 mm	22,22
100	423,92 mm	329,70 mm	22,23

*Precipitação efetiva entre agosto e dezembro de 2021.

As amostras de palma foram coletadas no horário da manhã, em diferentes parcelas, selecionando os cladódios de primeira ordem. Assim, foram coletadas amostras pela combinação dos respectivos tratamentos experimentais: 02 equações de estimativa da evapotranspiração x 05 lâminas de irrigação x quatro repetições, com um total de 40 amostras enviadas ao laboratório em cada coleta. As amostras tiveram seus espinhos removidos, foram identificadas e desidratadas em condições ambientais, e na sequência foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada a 55°C por 72 horas.

Posteriormente as amostras foram moídas a partículas de 2 mm em moinho de facas tipo Willey e determinou-se, segundo metodologias descritas ⁽¹⁵⁾, os teores de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), matéria orgânica (MO), extrato etéreo (EE) e proteína bruta (PB). Os teores de fibra em detergente neutro (FDN), ácido (FDA) e lignina (LIG) foram obtidos conforme metodologias descritas ⁽¹⁶⁾ adaptadas para utilização em equipamento autoclave (105°C/60 min) ⁽¹⁷⁾. Os teores de hemicelulose (HEM) e celulose (CEL) foram obtidos pelas equações: %HEM = %FDN - %FDA e %CEL = %FDA - %LIG, respectivamente. A estimativa de nutrientes digestíveis totais (NDT) foi obtida pela equação descrita ⁽¹⁸⁾: $NDT = 74,49 - 0,5635 * FDA$.

Os carboidratos totais (CHO) foram estimados com base na equação $CHO = 100 - (\% PB + \% EE + \% MM)$ ⁽¹⁹⁾ e os carboidratos não fibrosos (CNF) pela equação $CNF = 100 - (\% FDN_{cp} + \% PB + \% EE + \% MM)$ ⁽²⁰⁾. Após a quantificação da composição química, os carboidratos foram fracionados conforme metodologia descrita ⁽¹⁹⁾ em: Fração A = Carboidratos solúveis e rapidamente fermentáveis; Fração B1 (amido e pectina) + B2 (celulose e hemicelulose) = Fração de rápida degradação e Fração C = Fração lignificada e indisponível.

As médias foram submetidas à análise de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e de homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene, com análise de variância para determinação da significância e das interações entre lâminas de irrigação e equações de referência. Quando significativas, foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas pelo procedimento PROC ANOVA do software SAS ⁽²¹⁾.

Embora as lâminas de irrigação constituam uma variável quantitativa, optou-se pela aplicação da Análise de Variância (ANOVA) em detrimento da análise de regressão para atender especificamente ao objetivo de comparar os dois métodos de estimativa da evapotranspiração (Penman-Monteith e Hargreaves-Samani). A ANOVA permitiu o desdobramento das interações e a comparação das médias dos métodos dentro de níveis específicos e discretos de irrigação (0,

20, 40, 70 e 100 % da IRN). Essa abordagem viabilizou a identificação de diferenças pontuais entre os métodos em cada cenário de aporte hídrico, o que é fundamental para determinar a viabilidade técnica do uso de modelos simplificados em diferentes estratégias de manejo hídrico no semiárido.

3. Resultados e discussão

Os resultados da análise de variância (ANOVA) demonstraram efeitos significativos para os fatores isolados (Lâminas e Modelos) e suas interações na maioria das variáveis estudadas (Tabela 2). Houve efeito principal das lâminas de irrigação ($P < 0,05$) para todos os parâmetros de composição química, enquanto o efeito do modelo de estimativa de evapotranspiração foi significativo para os teores de proteína bruta e componentes da parede celular. Assim o desdobramento das interações significativas entre os fatores (Lâminas x Modelos) estão apresentadas nas tabelas subseqüentes (Tabelas 3 e 4).

Tabela 2. Resumo da significância (Valores de P) e Coeficientes de Variação (CV) para os componentes químicos e fracionamento de carboidratos da palma forrageira (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw).

Variável	Lâminas (L)	Modelos (M)	Interação (L x M)	CV (%)
Matéria Seca (MS)	0,001*	0,154 ^{ns}	0,089 ^{ns}	2,25
Proteína Bruta (PB)	0,004*	0,012*	0,002*	8,49
FDN	0,001*	0,067 ^{ns}	0,121 ^{ns}	7,37
FDA	0,002*	0,321 ^{ns}	0,245 ^{ns}	9,44
NDT	0,015*	0,451 ^{ns}	0,312 ^{ns}	2,78
Hemicelulose (HEM)	0,001*	0,003*	0,001*	4,63
Celulose (CEL)	0,001*	0,001*	0,001*	5,18
Lignina (LIG)	0,001*	0,002*	0,001*	9,43
Fração A	0,010*	0,211 ^{ns}	0,078 ^{ns}	6,21
Fração B1+B2	0,008*	0,189 ^{ns}	0,154 ^{ns}	8,34
Fração C	0,001*	0,001*	0,001*	9,18

*Significativo ($P < 0,05$); ns: não significativo; CV: coeficiente de variação

Na Tabela 3 estão descritos os valores de composição química da palma forrageira (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) irrigada sob diferentes lâminas de irrigação e evapotranspiração estimada por duas equações de referência.

Tabela 3. Composição química da palma forrageira (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) irrigada sob diferentes lâminas de irrigação e a evapotranspiração estimada por duas equações de referência.

Equação de evapotranspiração de referência (ET _o mm dia ¹)	Lâmina de irrigação (% IRN) ²	Parâmetros ¹												
		MS (%)	MM (%)	MO (%)	FDN (%)	FDA (%)	HEM (%)	CEL (%)	LIG (%)	CHOT (%)	CNF (%)	PB (%)	EE (%)	NDT (%)
Penman-Monteith	0	28,32	12,32 ^c	81,97 ^a	21,17 ^a	5,67 ^b	69,64 ^{aA}	28,91 ^{cC}	1,45 ^b	75,31 ^a	54,13 ^b	8,77 ^{aB}	1,54	71,29 ^a
	20	27,15	16,66 ^b	72,82 ^b	18,39 ^a	8,79 ^a	61,47 ^{abA}	33,21 ^{bcC}	5,32 ^{aA}	67,17 ^b	48,78 ^c	9,18 ^{aA}	1,17	69,67 ^b
	40	20,29	18,22 ^b	72,57 ^{bc}	15,07 ^{ab}	8,99 ^a	58,18 ^b	36,44 ^b	5,38 ^{aA}	68,48 ^b	53,41 ^b	8,93 ^{aB}	1,66	69,42 ^b
	70	28,76	20,04 ^a	71,85 ^{bc}	14,44 ^b	8,54 ^a	55,06 ^b	40,09 ^b	4,85 ^a	72,01 ^a	57,57 ^a	7,81 ^{bC}	1,13	69,67 ^b
	100	29,43	20,05 ^a	70,97 ^{bc}	16,28 ^b	7,91 ^a	45,56 ^c	50,33 ^a	4,11 ^a	73,42 ^a	57,14 ^a	8,36 ^a	1,41	70,08 ^b
Hargreaves Samani	0	29,15	11,63 ^c	80,52 ^a	21,81 ^a	5,71 ^b	55,49 ^{abA}	42,65 ^{Ba}	1,86 ^c	76,97 ^a	55,17 ^a	9,32 ^{aA}	1,87	71,27 ^a
	20	28,35	18,41 ^b	72,48 ^b	18,02 ^b	8,54 ^a	47,7 ^{bC}	48,71 ^{Ab}	3,58 ^{bB}	69,71 ^b	49,69 ^b	6,84 ^{bC}	1,32	69,67 ^b
	40	29,08	16,98 ^b	72,1 ^b	17,94 ^{bc}	8,31 ^a	59,28 ^{aA}	35,79 ^c	4,93 ^{aA}	68,26 ^b	53,32 ^{ab}	7,12 ^{bC}	1,12	69,95 ^b
	70	30,27	23,11 ^a	69,16 ^b	17,18 ^{bc}	8,37 ^a	50,65 ^{bB}	44,29 ^b	5,06 ^a	71,91 ^b	55,46 ^a	8,24 ^{abB}	1,35	69,77 ^b
	100	29,21	23,41 ^a	68,08 ^{bc}	18,26 ^b	7,64 ^a	45,67 ^{cC}	49,09 ^a	5,24 ^a	75,99 ^a	57,72 ^a	7,48 ^{bC}	1,14	70,46 ^{ab}
Equação x Lâmina		ns	ns	ns	ns	ns	**	**	**	ns	ns	**	ns	ns
Coeficiente de variação		2,25	7,36	4,11	7,37	9,44	4,63	5,18	9,43	3,21	6,21	8,49	3,12	2,78

¹MS = Matéria seca; MM = Matéria mineral; MO = Matéria orgânica; FDN = Fibra em detergente neutro; FDA = Fibra em detergente ácido; HEM = Hemicelulose; CEL = Celulose; LIG = Lignina; CHOT = Carboidratos totais; CNF = Carboidratos não fibrosos; PB = Proteína bruta; EE = Extrato etéreo; NDT = Nutrientes digestíveis totais. ²Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Letras minúsculas para lâminas de irrigação e maiúsculas para equações de evapotranspiração.

Quanto aos teores de FDN observou-se redução quando do aumento na irrigação, com maiores valores observados no tratamento 0 %, tanto para equação de Penman-Monteith (21,17 %), quanto para Hargreaves Samani (18,02 %). O inverso foi observado para FDA, neste caso sendo observado um acréscimo médio de 27,11 % na lâmina 100 % em relação ao tratamento com 0 %. Para os dois parâmetros não houve interação entre as equações, não havendo ainda diferença estatística nos volumes 0 %, 40 %, 70 % e 100 %, indicando nesse caso, que a equação proposta por Hargreaves Samani seria mais vantajosa para o manejo no semiárido, por necessitar de menos variáveis meteorológicas quando comparada a equação de Penman-Monteith.

A fração fibrosa da palma forrageira, em geral, é considerada baixa, e, por isso, deve-se sempre a associar com fontes de fibra fisicamente efetiva na dieta. Os valores mais próximos ao recomendado pelo NRC ⁽²²⁾, 25 a 33 % de FDN, foram observados na lâmina de 0 % (21,17 e 21,81 %). Alves et al. ⁽²³⁾, afirmam que teores adequados de fibra na dieta de ruminantes são essenciais para o bom funcionamento do rúmen e, mesmo quando fornecido em pequenas quantidades, auxiliam na manutenção dos microrganismos ruminais, nos seus processos fermentativos e a estabelecer a homeostase no sistema digestivo desses animais.

Em estudo avaliando os efeitos da inclusão da palma forrageira em substituição à silagem de sorgo realizado por Rezende et al. ⁽²⁴⁾, os autores observaram que à medida que ocorria a substituição da silagem por palma, em níveis que variaram de 0 a 800g/kg/dia, houve melhoria na digestibilidade aparente da matéria seca (4,86 %), proteína bruta (3,93 %) e carboidratos não fibrosos (9,58 %), ocorrendo na mesma situação, uma diminuição de 27,66 % no consumo de FDN, demonstrando nesse caso, que o menor consumo de fibra pode ter sido responsável por melhorar o aporte proteico e energético.

Os teores de CHOT também não diferiram ($P < 0,05$) entre os tratamentos 0 % e 100 %. Do ponto de vista fisiológico e bioquímico, o volume hídrico afeta a fotossíntese das plantas em decorrência dos efeitos estomáticos e não estomáticos ⁽²⁵⁾. Em condições de estresse hídrico, as plantas fecham seus estômatos a fim de evitar a perda de água por evapotranspiração e, sob condições favoráveis usam o aporte de hidrogênio molecular para síntese de carboidratos a partir da redução do dióxido de carbono (CO_2), assim como para realizar a hidrólise do amido em açúcares solúveis ⁽¹²⁾, elevando o incremento de CHO na planta. Para os CNF também não foram observadas interação entre as equações.

De acordo com Magalhães et al. ⁽²⁶⁾, elevados teores de carboidratos não fibrosos associados a baixa lignificação da parede celular em espécies forrageiras podem estimular a degradação ruminal e potencializar o aproveitamento das frações mais lentamente degradável da MS, já que os CNF estão prontamente disponíveis para serem fermentados pelos microrganismos ruminais, favorecendo assim seu crescimento, por consequência, melhorando o suprimento energético, podendo ainda, aumentar a digestibilidade total da MS e MO ⁽²⁷⁾.

Os maiores valores para CEL (50,33 e 49,09 % para equações de Penman-Monteith e Hargreaves Samani, respectivamente) e menores para HEM (45,56 e 45,67 %) foram obtidos na lâmina de 100 %, diferindo ($P > 0,05$) em relação aos demais tratamentos. Em relação à LIG os menores valores (1,45 e 1,86 %) foram observados na lâmina controle, mas quando se elevou a oferta hídrica acima de 40 %, houve aumento acima de 4 %. Segundo Valente et al. ⁽²⁸⁾, cada tecido vegetal possui composição química relacionada à estrutura da planta e dentre estes, os tecidos de sustentação devem ser densamente agrupados, espessos e lignificados. Nesse sentido, o aumento nos teores de CEL e LIG e redução da HEM quando da maior oferta hídrica, pode

estar relacionado ao desenvolvimento da cultura, que investiu mais em tecidos de sustentação e menos nos tecidos especializados, além de justificar o aumento nos teores de FDA observados na pesquisa.

A PB apresentou interação entre as equações ($P < 0,05$). Na primeira equação (Penman-Monteith), somente a lâmina de 70 % (7,81 % PB) diferiu estatisticamente ($P < 0,05$) das demais, observando-se maior valor (9,18 %) na lâmina de 20 %. Já na segunda equação (Hargreaves Samani), foi observado maior valor (9,32 %) na lâmina de 0 %, com médias de 6,84, 7,17 e 7,48 % para lâminas de 20, 40 e 100 %, respectivamente. A proteína bruta é estimada a partir do valor total de nitrogênio (N) e por esse nutriente possuir elevada mobilidade no solo ⁽²⁹⁾, pode não estar disponível uniformemente na área para absorção pelas plantas, influenciando os teores de PB, o que explica a diferença obtida entre as equações.

O baixo teor de proteína bruta é uma característica comum das espécies que compõem o grupo das cactáceas, apresentando em média 7,4 % no gênero *Opuntia* ⁽²⁶⁾. Contudo, esse déficit proteico pode ser melhorado associando-a a ingredientes concentrados com maior teor de proteína ou fontes de nitrogênio não proteico (NNP) como a ureia, além do uso de estratégias no manejo, como a adubação nitrogenada parcelada, que venham a acrescentar esse nutriente à composição da espécie forrageira.

Sobre os teores de matéria mineral (MM), observou-se um aumento de aproximadamente 9,20 % a cada elevação na oferta hídrica, em relação a lâmina controle (0 %), o que pode estar ligado à composição da água utilizada na irrigação da cultura, advinda de água de reuso. No entanto, independente do gênero, a palma forrageira apresenta quantidades elevadas de minerais em sua composição, o que de acordo Silva et al. ⁽³⁰⁾, se deve à alta concentração de macrominerais, principalmente cálcio, potássio e magnésio, que variam conforme a espécie, cultivo, idade do cladódio e época do ano. Resultados semelhantes a este estudo foram encontrados por DuToit, Wit e Hugo ⁽³¹⁾, ao analisarem os nutrientes de diferentes cultivares de palma do gênero *opuntia*, encontraram de 16,8 a 18,8 % de MM.

Os maiores valores de NDT (71,28 %) foram observados no tratamento controle, entretanto, os valores obtidos nas demais lâminas de irrigação também foram satisfatórios, acima de 69 %, caracterizando a palma forrageira como uma importante fonte de volumoso, especialmente por conter níveis em energia próximos aos encontrados em alimentos concentrados como farelo de trigo (74,28 %) e farelo de algodão (67,75 %) ⁽³²⁾, servindo assim como alternativa para baratear os custos de produção. Não foi identificada interação entre as equações de irrigação para esse parâmetro.

Os elevados teores de NDT também podem ser explicados através dos valores obtidos para o FDA, uma vez que foram estimados de acordo com esse nutriente ($NDT = 99,39 - 0,7641 * FDA$). Portanto, quanto menor o teor de FDA, maior a proporção de NDT estimada, o que eleva a digestibilidade da forrageira e resulta em um maior aporte energético potencial advindo da forragem. Além disso, os valores encontrados para NDT tem correlação com os carboidratos presente na planta, especialmente os não fibrosos, que são carboidratos de rápida digestão e contém, principalmente, amido e pectina em sua composição.

Na tabela 4, são encontrados os valores das frações A, B1+B2 e C, referentes ao fracionamento dos carboidratos totais da palma forrageira (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) sob diferentes lâminas de irrigação e evapotranspiração estimada por duas equações de referência.

Dos carboidratos totais, mais de 85 % estão presentes nas frações A e B1+B2, apontando que a maior parte está prontamente disponível para aproveitamento pelos microrganismos ruminais, reduzindo-os a açúcares simples e ácidos graxos de cadeia curta, gerando ATP para crescimento microbiano, o que pode incrementar o aproveitamento da fração fibrosa estrutural ⁽³³⁾.

Tabela 4. Fracionamento dos carboidratos (% FDN) da palma forrageira (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) sob diferentes lâminas de irrigação e evapotranspiração estimada por duas equações de referência.

Equação de evapotranspiração de referência (ETo mm dia ⁻¹)	Lâmina de Irrigação (% IRN) ²	Fracionamento dos carboidratos ¹		
		Fração A	Fração B1+B2	Fração C
Penman-Monteith	0	55,14 ^a	41,31 ^{ab}	3,55 ^{cC}
	20	45,27 ^b	45,92 ^a	8,81 ^{bB}
	40	50,16 ^{ab}	39,41 ^b	10,43 ^{aAB}
	70	55,57 ^a	33,82 ^c	10,61 ^{aAB}
	100	55,14 ^a	34,98 ^c	9,88 ^{abB}
Hargreaves Samani	0	55,17 ^a	40,42 ^{ab}	4,41 ^{cC}
	20	49,69 ^b	41,82 ^a	8,49 ^{bB}
	40	53,32 ^{ab}	35,07 ^{bc}	11,61 ^{aA}
	70	55,76 ^a	32,08 ^c	12,16 ^{aA}
	100	57,62 ^a	31,02 ^c	11,36 ^{aA}
Equação x Lâmina		ns	ns	**
Coeficiente de variação		6,21	8,34	9,18

¹Fração A = Carboidratos solúveis e rapidamente fermentáveis; Fração B1+B2 = Fração de rápida degradação; Fração C = Fração lignificada e indisponível. ²Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância. Letras minúsculas para lâminas e maiúsculas para equações de evapotranspiração de referência.

Para fração A, não foi observada diferença ($P>0,05$) nos valores correspondentes a 0, 40, 70 e 100 % da irrigação, com teores acima dos 50 % em todos os tratamentos, o que representa um bom indicativo para inclusão em dietas, pois os carboidratos encontrados nessa fração são açúcares solúveis de estrutura mais simples, e por esse motivo, de degradação mais rápida pelos microrganismos ruminais e melhor aproveitamento para atendimento das demandas energéticas, o que pode reduzir, assim, a necessidade de ingredientes concentrados em grandes quantidades.

Houve redução nas frações B1 e B2, quando do aumento no volume na irrigação e, não foi observado interação entre as equações de evapotranspiração, assim como na fração A, demonstrando que a substituição da equação de Penman-Monteith pela de Hargreaves Samani não interfere sob os teores das frações de carboidratos rapidamente e potencialmente digestíveis.

Na fração B1 são encontrados em maior quantidade amido e pectina, enquanto a fração B2 corresponde à parte fibrosa potencialmente degradada pelos microrganismos, porém mais lenta quando comparada às frações A e B1, auxiliando assim, na manutenção da taxa de passagem e, conseqüentemente, a digestibilidade do alimento. Por conta disso, os componentes da fração B são importantes por serem um indicativo da qualidade dos carboidratos presentes nas plantas forrageiras. Os resultados obtidos corroboram com os encontrados por Magalhães et

al. ⁽²⁶⁾, ao analisar o fracionamento de carboidratos de genótipos de palma forrageira, encontrando na cultivar orelha de elefante mexicana, os teores 79,54 %, 13,79 % e 6,67 %, nas frações A + B1, B2 e C, respectivamente.

As diferentes estimativas das equações de irrigação, impactaram a fração C dos carboidratos, que representa aproximadamente, 15 % dos carboidratos totais. Os menores teores foram observados nas lâminas 0 % (3,55 % e 4,41 %) e 20 % (8,81 % e 8,49 %), para as equações de Penman-Monteith e Hargreaves Samani, respectivamente. Esse efeito pode estar relacionado aos teores de lignina da forragem (Tabela 2), uma vez que a fração é estimada através da mesma, e, pelo maior aporte hídrico disponível para a plantas, que necessitaram investir em componentes estruturais à medida que acumula água em seu interior. A fração C apresenta característica de indigestibilidade, pois é constituída de complexos de tanino-proteínas e lignina associada a proteína, sendo que estes geralmente não são degradados no rúmen.

Os resultados obtidos para a fração C estão de acordo com os de Pessoa et al. ⁽³⁴⁾, que analisando o valor nutricional de palma do gênero *Opuntia* em diferentes fases fenológicas observaram para a cultivar orelha de elefante teores de 5,46 %, 6,41 % e 11,65 %, nas fases jovem, intermediária e madura, respectivamente. Valente et al. ⁽²⁸⁾, relatam que conforme o avanço da idade da planta, ocorre um aumento dos tecidos de sustentação, que são mais espessos e lignificados, ocasionando em menor contribuição dos carboidratos solúveis pelas plantas.

Em regiões semiáridas, com temperaturas elevadas predominantes em grande parte do ano, espera-se que forrageiras apresentem uma menor quantidade de carboidratos solúveis em virtude da maior proporção de estruturas protetoras (parede celular), mecanismo de defesa usado contra pragas e radiação, ocorrendo, com isso, o aumento da lignificação. Para essa ferramenta de proteção, as plantas C3, C4 e CAM respondem de modos diferentes, visto que, realizam a fotossíntese de maneiras distintas, utilizando dióxido de carbono e água para a síntese de carboidratos. Desta maneira, o volume de água ofertado às plantas pode também influenciar a quantidade de carboidratos presente na composição de sua parede celular.

4. Conclusão

A composição química e o fracionamento de carboidratos da palma forrageira (*Opuntia stricta*) são influenciados pela interação entre as lâminas de irrigação e os modelos de estimativa da evapotranspiração, especialmente sobre os componentes fibrosos e a proteína bruta. O cultivo sob condições de sequeiro ou lâminas de irrigação reduzidas não compromete o valor nutritivo da cultura, favorecendo a concentração de proteína bruta e mantendo altos teores de nutrientes digestíveis totais (NDT). O uso da estratégia de irrigação com lâmina de 20 % da irrigação real necessária associada ao modelo de Hargreaves-Samani, demonstra ser uma prática de manejo eficiente para essa cultura. Essa estratégia otimiza o uso da água, recurso escasso na região, e garante a oferta de uma forragem de alta qualidade para os sistemas de produção de ruminantes, mitigando os impactos das secas prolongadas. Assim, diante dos cenários de irregularidade climática e escassez hídrica característicos do semiárido, a palma consolida-se como um recurso estratégico de alta resiliência, capaz de manter sua integridade nutricional mesmo com aporte hídrico mínimo.

Declaração de conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflitos de interesses.

Declaração de disponibilidade de dados

O conjunto completo de dados que suporta os resultados deste estudo foi publicado no próprio artigo.

Contribuições do autor

Conceituação: Bezerra, F.M.S. e Lacerda, C.F. Curadoria de dados: Garcez, B.S.; Bezerra, F.M.S. e Lacerda, C.F. Análise formal: Garcez, B.S.; Bezerra, F.M.S., Lacerda, C.F. e Costa, P.C.A. Metodologia: Bezerra, F.M.S. e Lacerda, C.F. Supervisão: Garcez, B.S.; Bezerra, F.M.S. e Lacerda, C.F. Validação: Garcez, B.S.; Costa, P.C.A.; Macedo, K.D.A.; Sousa, D.A.M.; Sérvulo, A.A. e Caetano, M.A. Redação (rascunho original): Garcez, B.S.; Costa, P.C.A.; Macedo, K.D.A.; Sousa, D.A.M.; Sérvulo, A.A. e Caetano, M.A. Redação (revisão e edição): Caetano, M.A.

Declaração de uso de IA generativa

Os autores não utilizaram ferramentas ou tecnologias de inteligência artificial generativa na criação ou edição de qualquer parte deste manuscrito.

Referências

1. Cândido MJD, Gomes GMF, Lopes MN, Ximenes LJF. Cultivo de palma forrageira para mitigar a escassez de forragem em regiões semiáridas. Informe Rural ETENE, Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil/ETENE; 2013;7(3):1-7. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/922>
2. Souza RA, Carvalho RG, Pimentel AJB, Inácio JG, Lima Silva J. Desempenho produtivo e qualidade nutricional de forrageiras do gênero *Urochloa* no Oeste da Bahia. Agrarian. 2021 Dec 15;14(54):392-403. Disponível em: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v14i54.14841>
3. Silva LM, Fagundes JL, Viegas PAA, Muniz EN, Albuquerque Rangel JH, Moreira AL, et al. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. Ciência Rural. 2014 Nov;44(11):2064-2071. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131305>
4. Tosto MSL, Araújo GGLD, Oliveira RL, Bagaldo AR, Dantas FR, Menezes DR, et al. Composição química e estimativa de energia da palma forrageira e do resíduo desidratado de vitivinícolas. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal. 2007 Jul-Sep;8(3):239-249. Disponível em: <https://revbaianaenferm.ufba.br/index.php/rbspa/article/view/39527>
5. Valdez CAF. Produccion industrializacion y comercialización del nopal como verdura en México. 18th ed. Chapingo: Violeta Hernández Quintero; 1994. 23 p.
6. Ferreira MA, Pessoa RAS, Silva FM. Utilização da palma forrageira na alimentação de ruminantes. In: I Congresso Brasileiro de Nutrição Animal; 2008; Anais. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8630807.pdf>
7. Matos LV, Donato SLR, Kondo MK, Lani JL. Sistemas tradicionais de produção de palma forrageira 'Gigante' em agroecossistemas do Semiárido Baiano. Revista Brasileira de Geografia Física. 2021;14(2):554-590. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p554-590>
8. Cascone S, Coma J, Gagliano A, Pérez G. The evapotranspiration process in green roofs: a review. Building and Environment. 2019 Jan;147:337-355. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.024>
9. Fernandes DS, Heinemann AB, Paz RL, Amorim AO. Evapotranspiração: uma revisão sobre os métodos empíricos. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão; 2010 Dec. 44 p. (Documentos, 263). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/879913>
10. Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO; 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).
11. Paredes P, Pereira LS, Almorox J, Darouich H. Reference grass evapotranspiration with reduced data sets: parameterization of the FAO Penman–Monteith temperature approach and the Hargreaves–Samani equation using local climatic variables. Agricultural Water Management. 2020 Oct;240:106210. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106210>
12. Araújo Júnior GDN, Gomes FT, Silva MJ, Jardim AMFR, Simões VJLP, Izidro JLPS, et al. Estresse hídrico em plantas forrageiras: uma revisão. Pubvet. 2019 Jan;13(1):1-10. Disponível em: <https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n01a241.1-10>
13. Bezerra FMS, Lacerda CF, Giroldo AB, Cavalcante ES, Michelon N, Pennisi G, et al. Deficit irrigation of forage cactus (*Opuntia stricta*) with brackish water: impacts on growth, productivity, and economic viability under evapotranspiration-based management. Agronomy. 2024;14(7):1445. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy14071445>

14. Saraiva FM. Desenvolvimento e acúmulo de nutrientes de palma forrageira (*Nopalea*) em diferentes sistemas de cultivo [dissertação]. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco; 2014. 104 f. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/7023>
15. Association of Analytical Communities (AOAC) International. Official methods of analysis of AOAC International. 19th ed. Gaithersburg (MD): Association of Analytical Communities; 2012. 2610 p.
16. Mertens DR. Análise da fibra e sua utilização na avaliação de alimentos e formulação de rações. In: Simpósio Internacional de Ruminantes; 1992; Lavras. Anais. Lavras: SBZ-ESAL; 1992. p. 188 -219. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63612750006.pdf>
17. Barbosa MM, Detmann E, Rocha GC, Franco MDO, Filho SDCV. Evaluation of laboratory procedures to quantify the neutral detergent fiber content in forage, concentrate, and ruminant feces. Journal of AOAC International. 2015;98(4):883-889. Disponível em: <https://doi.org/10.5740/jaoacint.14-156>
18. Cappelle ER, Valadares Filho SDC, Silva JFCD, Cecon PR. Estimativas do valor energético a partir de características químicas e bromatológicas dos alimentos. Revista Brasileira de Zootecnia. 2001;30(6):1837-1856. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982001000700022>
19. Sniffen CJ, O'Connor JD, Van Soest PJ, Fox DG, Russell JB. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. Journal of Animal Science. 1992 Nov 1;70(11):3562-3577. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/1992.70113562x>
20. Hall MB. Calculation of non-structural carbohydrate content of feeds that contain non-protein nitrogen. Gainesville: University of Florida; 2000. 25 p. (Bulletin 339). Disponível em: <https://ufdcimages.uflib.ufl.edu/IR/00/00/16/13/00001/AN08700.pdf>
21. SAS, Statistical Analysis System. Software, version 9.0. Cary: SAS Institute, 2000.
22. National Research Council (NRC). Nutrient requirements of beef cattle. Washington (DC): National Academy Press; 2001.
23. Alves AR, Pascoal LAF, Cambuí GB, Silva Trajano J, Silva CM, Gois GC. Fibra para ruminantes: aspecto nutricional, metodológico e funcional. Pubvet. 2016 Jul;10(7):568-579. Disponível em: <https://doi.org/10.22256/pubvet.v10n7.568-579>
24. Rezende FM, Vêras ASC, Siqueira MCB, Conceição MG, Lima CL, Almeida MP, et al. Nutritional effects of using cactus cladodes (*Opuntia stricta* Haw.) to replace sorghum silage in sheep diet. Tropical Animal Health and Production. 2020 Jan 18;52(4):1875-1880. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02213-w>
25. Araújo SAC, Vasquez HM, Campostrini E, Netto AT, Deminicis BB, Lima ESL. Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.) em estresse hídrico. Acta Scientiarum. Animal Sciences. 2010 Mar 31;32(1):1-7. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v32i1.8961>
26. Magalhães ALR, Teodoro ALT, Oliveira LP, Gois GC, Campos FS, Andrade AP, et al. Chemical composition, fractionation of carbohydrates and nitrogen compounds, ruminal degradation kinetics, and in vitro gas production of cactus pear genotypes. Ciência Animal Brasileira. 2021 Oct 25;22:e69338. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-6891v22e-69338>
27. Munhame JA, Batista ÂMV, Monnerat JPIS, Maciel MV, Lopes LA, Silva TGP, et al. Intake, digestibility, ingestive behavior and performance of goats fed spineless cactus genotypes resistant to carmine cochineal. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia. 2021 Oct;73(5):1209-1216. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-12381>
28. Valente TNP, Lima EDS, Henriques LTD, Machado Neto OR, Gomes DÍ, Sampaio CB, Costa VAC. Anatomia de plantas forrageiras e a disponibilidade de nutrientes para ruminantes. Veterinária e Zootecnia. 2011;18(3):347-358. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/141104>
29. Palhares JCP, Roman ADJ. Balanço de nitrogênio e fósforo de propriedades pecuárias de uma microbacia hidrográfica. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente. 2021 Dec 1;14(2):1-13. Disponível em: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14supl.2.e8860>
30. Silva APG, Souza CCE, Ribeiro JES, Santos MCG, Souza Pontes AL, Madruga MS. Características físicas, químicas e bromatológicas de palma gigante (*Opuntia ficus-indica*) e miúda (*Nopalea cochenillifera*) oriundas do estado da Paraíba. Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial. 2015 Dec 10;9(2):1810-1820. Disponível em: <https://doi.org/10.3895/rbta.v9n2.1616>
31. Du Toit A, Wit M, Hugo A. Cultivar and harvest month influence the nutrient content of *Opuntia* spp. cactus pear cladode mucilage extracts. Molecules. 2018 Apr 16;23(4):916. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules23040916>

32. Rocha Júnior VR, Valadares Filho SDC, Borges ÁM, Magalhães KA, Ferreira CCB, Valadares RFD, et al. Determinação do valor energético de alimentos para ruminantes pelo sistema de equações. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2003 Apr;32(2):473-479. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000200028>
33. Silva AL, Sousa DB, Amorim DS, Santos MS, Silva KB, Nascimento RR. Carboidratos de plantas forrageiras para ruminantes: uma revisão. *Nucleus Animalium*. 2019 May 30;11(1):1-12. Disponível em: <https://doi.org/10.3738/21751463.2945>
34. Pessoa DV, Andrade AP, Magalhães ALR, Teodoro AL, Santos DC, Araujo GGL, et al. Forage nutritional differences within the genus *Opuntia*. *Journal of Arid Environments*. 2020 Oct;181:104243. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104243>