



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AGRESTE DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL E PASTAGENS
MESTRADO EM CIÊNCIA ANIMAL E PASTAGENS

LUANA MARQUES DOS SANTOS

FRACIONAMENTO DE CARBOIDRATOS E CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO IN VITRO DA PALMA FORRAGEIRA CULTIVADA SOB IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALINA ASSOCIADA À ADUBAÇÃO ORGÂNICA

GARANHUNS

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AGRESTE DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL E PASTAGENS
MESTRADO EM CIÊNCIA ANIMAL E PASTAGENS

LUANA MARQUES DOS SANTOS

FRACIONAMENTO DE CARBOIDRATOS E CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO IN VITRO DA PALMA FORRAGEIRA CULTIVADA SOB IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALINA ASSOCIADA À ADUBAÇÃO ORGÂNICA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens, da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

Orientador: Prof. Dr. Albericio Pereira de Andrade

Coorientador: Prof. Dr. André Luiz Rodrigues Magalhães

Linha de Pesquisa: Forragicultura

GARANHUNS

2023

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

S237f

Santos, Luana Marques dos

Fracionamento de carboidratos e cinética de degradação in vitro da palma forrageira cultivada sob irrigação com água salina associada à adubação orgânica / Luana Marques dos Santos. - 2023.
67 f. : il.

Orientador: Albericio Pereira de Andrade.

Coorientador: Andre Luiz Rodrigues Magalhaes.

Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens, Garanhuns, 2023.

1. Agricultura bioassalada. 2. Cactácea. 3. Degradabilidade. 4. Opuntia stricta. I. Andrade, Albericio Pereira de, orient. II. Magalhaes, Andre Luiz Rodrigues, coorient. III. Título

CDD 636.089

LUANA MARQUES DOS SANTOS

FRACIONAMENTO DE CARBOIDRATOS E CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO IN VITRO DA PALMA FORRAGEIRA CULTIVADA SOB IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALINA ASSOCIADA À ADUBAÇÃO ORGÂNICA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens, da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

Orientador: Prof. Dr. Albericio Pereira de Andrade

Coorientador: Prof. Dr. André Luiz Rodrigues Magalhães

Linha de Pesquisa: Forragicultura

Aprovado em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Dr. Albericio Pereira de Andrade. (Orientador)
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco – UFAPE

Dra. Rayanne Thalita de Almeida Souza (Examinadora externo)
Escola Técnica Estadual Governador Eduardo Campos – São Bento do Uma

Dr. Daniel Barros Cardoso (Examinador externo)
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco - UFAPE

Dedicatória

“Para as pessoas que nunca irão se contentar com menos do que podem ser, fazer,
compartilhar e servir.”

- Tony Robbins

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me concedido saúde e determinação para concluir essa conquista. Aos meus pais, Luiz e Zuleide por sempre apoiarem minhas escolhas, aos meus irmãos, Leide, Mery e Lucas por acreditarem em meus projetos. Ao meu noivo, Joab, que sempre me deu apoio para não desistir.

Aos meus grandes amigos que me ajudaram nessa longa caminhada, sem vocês, eu não teria conseguido: Prof. Dr. André Magalhães, Daniel Bezerra, Priscila Barreto, Túlio Vandeilton, Yara América, Isis Lima, Danilo Pequeno, Maria Luana, Maria Flávia, prof. Dr. Danilo, prof. Dr. Alexandre, Amanda Souza, Rayanne Souza, Daniel Barros.

Ao meu orientador prof. Dr. Alberício Andrade e a banca examinadora, obrigada por todo conhecimento transmitido.

Epígrafe

“Todo desafio carrega consigo a semente de um aprendizado maior ou equivalente.”

(Napoleon Hill, 2016)

RESUMO GERAL

O Semiárido brasileiro caracteriza-se pelo balanço hídrico negativo, atuando, portanto, como fator limitante à produção de forragem, sobretudo, no período seco. Dessa forma, o uso a palma forrageira e a água salina para irrigação apresentam-se como uma estratégia relevante, a fim de garantir a produção de biomassa. Objetivou-se avaliar o efeito da irrigação com água salina e doses de adubo orgânico sobre aspectos de fracionamento de carboidratos, degradabilidade e cinética de fermentação ruminal *in vitro* da palma forrageira Orelha de elefante mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.). O experimento foi conduzido na área de Prospecção e Estudos em Agricultura Bioassalina do campo experimental da caatinga, pertencente à EMBRAPA Semiárido, em Petrolina-PE. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso (DBC), em arranjo fatorial 5x4, composto por cinco lâminas de irrigação com água salina (L0%, L12,5%, L25%, L37,5% e L50% da evapotranspiração de referência - ETo) e quatro doses de adubo orgânico (0, 15, 30 e 45 Mg.ha⁻¹) com quatro repetições. Houve interação entre as lâminas de água salina (LA) e as doses de adubo orgânico (AO), em relação às concentrações de carboidratos totais (CHOT) (P=0,032). A fração A + B1 e B2 foram influenciadas de forma quadrática pela LA (P=0,001) e pela AO (P=0,001). A utilização da LA influenciou de forma quadrática (P=0,001) a fração C demonstrando um ponto de máxima de 57,45 g.kg⁻¹ MS da fração C com a aplicação de 32,27% ETo. A fração solúvel em água aumentou (P<0,001) em função da LA, demonstrando um incremento de 114,28% para a L50 quando comparada a L0. A fração insolúvel em água reduziu (P=0,001) com o aumento da LA, reduzindo em 0,098% a cada 1% de LA com base na ETo aplicada. Houve efeito quadrático da adubação orgânica (P<0,001) sobre as degradabilidades efetivas (DE) a 0,02 h⁻¹ e 0,05 h⁻¹ demonstrando pontos de mínima de 76,64% para a dose de 28,00 Mg.ha⁻¹ e 67,15% para uma dose de AO de 29,33 Mg.ha⁻¹ respectivamente. A produção total de gás apresentou um comportamento quadrático (P=0,025) em função da LA, demonstrando um ponto de mínima de 246,46 mL g⁻¹ MS h⁻¹ para uma LA de 33,86% da ETo. A AO aumentou a produção total de gás (P=0,009) a equação demonstra um acréscimo de 0,35 mL g⁻¹ MS h⁻¹ a cada 1,0 Mg.ha⁻¹ aplicado. A palma forrageira, variedade orelha de elefante mexicana, apresenta sensibilidade à salinidade, ainda que em baixas condutividades elétricas (1,73 ds.m⁻¹) e sodicidade.

Palavras-chave: agricultura bioassalina; cactácea; degradabilidade; *Opuntia stricta*.

GENERAL ABSTRACT

The Brazilian semi-arid region is characterized by a negative water balance, acting, therefore, as a limiting factor for forage production, especially in the dry season. Therefore, the use of cactus pear and saline water for irrigation presents itself as a relevant strategy in order to guarantee the production of biomass. The objective was to evaluate the effect of irrigation with saline water and doses of organic fertilizer on aspects of carbohydrate fractionation, degradability and *in vitro* ruminal fermentation kinetics of the forage cactus Mexican elephant ear (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.). The experiment was conducted in the Prospecting and Studies in Biosaline Agriculture area of the caatinga experimental field, belonging to EMBRAPA Semiárido, in Petrolina-PE. The experimental design used was in randomized blocks (DBC), in a 5x4 factorial arrangement, consisting of five irrigation blades with saline water (0%, 12.5%, 25%, 37.5% and 50% of evapotranspiration reference - ETo) and four doses of organic fertilizer (0, 15, 30 and 45 Mg.ha⁻¹) with four replications. There was an interaction between saline water levels (WB) and doses of organic fertilizer (OF), in relation to total carbohydrate concentrations (TC) (P=0.032). The A+B1 and B2 fraction were quadratically influenced by WB (P=0.001) and AO (P=0.001). The use of WB influenced fraction C quadratically (P=0.001), demonstrating a maximum point of 57.45 g.kg⁻¹ DM of fraction C with the application of 32.27% ETo. The water-soluble fraction increased (P<0.001) as a function of WB, demonstrating an increase of 114.28% for 50% when compared to 0%. The water-insoluble fraction reduced (P=0.001) with increasing WB, reducing by 0.098% for every 1% of WB based on the ETo applied. There was a quadratic effect of organic fertilizer (P<0.001) on effective degradabilities (ED) at 0.02 h⁻¹ and 0.05 h⁻¹, demonstrating minimum points of 76.64% for the dose of 28.00 Mg.ha⁻¹ and 67.15% for an OF dose of 29.33 Mg.ha⁻¹ respectively. Total gas production showed a quadratic behavior (P=0.025) as a function of LA, demonstrating a minimum point of 246.46 mL g⁻¹ MS h⁻¹ for an LA of 33.86% of ETo. OF increased total gas production (P=0.009) the equation demonstrates an increase of 0.35 mL g⁻¹ DM h⁻¹ for every 1.0 Mg.ha⁻¹ applied. The fodder palm, Mexican elephant ear variety, is sensitive to salinity, even at low electrical conductivities (1.73 ds.m⁻¹) and sodicity.

Keywords: biosaline agriculture; cactus; degradability; *Opuntia stricta*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Condições ambientais da área experimental: Temperatura do ar (A) e Precipitação pluviométrica (B).....	45
Figura 2-	Representação esquemática do delineamento experimental.....	48
Figura 3-	Interação de doses de adubo orgânico ($Mg \cdot ha^{-1}$) e de lâminas de água salobra (%ETo) acerca das concentrações de carboidratos totais (CHOT; $g \cdot kg^{-1}$) da palma forrageira, variedade Orelha de Elefante Mexicana (<i>Opuntia stricta</i> (Haw.) Haw.).....	53
Figura 4-	Efeito das lâminas de água salobra (%ETo) (A) e Efeito de doses de adubo orgânico (B) acerca da fração A+B1 da palma forrageira, variedade Orelha de Elefante Mexicana (<i>Opuntia stricta</i> (Haw.) Haw.).....	53
Figura 5-	Efeitos das lâminas de água salobra (%ETo) (A) e de doses de adubo orgânico (B) acerca da fração B2 da palma forrageira, variedade Orelha de Elefante Mexicana (<i>Opuntia stricta</i> (Haw.) Haw.).....	54
Figura 6-	Efeito isolado das lâminas de água salina (%ETo) sobre a fração C da palma forrageira, variedade Orelha de elefante mexicana (<i>Opuntia stricta</i> (Haw.) Haw.).....	54
Figura 7-	Efeito das diferentes lâminas de irrigação com água salobra (%ETo) sobre a fração solúvel em água (a) da palma forrageira, variedade Orelha de Elefante Mexicana (<i>Opuntia stricta</i> (Haw.) Haw.).....	56
Figura 8-	Efeito das lâminas de água salobra (%ETo) sobre a fração insolúvel em água (b) da palma forrageira, variedade Orelha de elefante mexicana (<i>Opuntia stricta</i> (Haw.) Haw.).....	56
Figura 9-	Efeitos do adubo orgânico ($Mg \cdot ha^{-1}$) sobre a degradabilidade efetiva a $0,02 h^{-1}$ (A); das doses de adubo orgânico acerca da degradabilidade efetiva a $0,05 h^{-1}$ (B) e das lâminas de água salina sobre a degradabilidade efetiva a $0,05 h^{-1}$ da palma forrageira, variedade Orelha de Elefante Mexicana (<i>Opuntia stricta</i> (Haw.) Haw.).....	57
Figura 10-	Efeitos das lâminas de água salobra (A) e das doses de adubo orgânico (B) sobre a produção de gás palma forrageira, variedade Orelha de Elefante Mexicana (<i>Opuntia stricta</i> (Haw.) Haw.).....	58

Figura 11-	Efeitos das lâminas de água salobra (A) e das doses de adubo orgânico (B) sobre o volume de gás da fração A+B1 da palma forrageira, variedade Orelha de elefante mexicana (<i>Opuntia stricta</i> (Haw.) Haw.).....	58
Figura 12-	Efeitos das lâminas de água salobra sobre a taxa de degradação dos carboidratos não fibrosos (A) e fibrosos da palma forrageira, variedade Orelha de Elefante Mexicana (<i>Opuntia stricta</i> (Haw.) Haw.).....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Composição químico-bromatológica da palma forrageira, conforme os dados obtidos na literatura.....	21
Tabela 2-	Composição química da água utilizada na irrigação ao longo dos dezoito meses.....	46
Tabela 3-	Composição química das amostras de solo coletadas, na área experimental, antes da implantação do experimento.....	46
Tabela 4-	Análise do adubo orgânico utilizado na área experimental.....	47
Tabela 5-	Quantidade de água precipitada e irrigada (mm) durante o experimento...	48
Tabela 6-	Fracionamento dos carboidratos da palma forrageira variedade Orelha de Elefante Mexicana (<i>Opuntia stricta</i> (Haw.) Haw.) em função das lâminas de irrigação e adubação orgânica.....	52
Tabela 7-	Parâmetros da degradabilidade da palma forrageira variedade Orelha de Elefante Mexicana (<i>Opuntia stricta</i> (Haw.) Haw.) em função das lâminas de irrigação e adubação orgânica.....	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	15
	CAPÍTULO I	
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	CLASSIFICAÇÃO, ORIGEM E DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA, NO BRASIL, DA PALMA FORRAGEIRA	18
2.2	IMPORTÂNCIA DA PALMA FORRAGEIRA PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO	19
2.3	CARACTERIZAÇÃO NUTRITIVA DA PALMA FORRAGEIRA E DOS PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO	21
2.4	PALMA FORRAGEIRA NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL	23
2.5	SALINIDADE E RESPOSTAS DAS PLANTAS AO ESTRESSE SALINO.....	24
2.6	ASSOCIAÇÃO DA IRRIGAÇÃO DE ÁGUA SALINA À ADUBAÇÃO ORGÂNICA NO CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO.....	25
	REFERÊNCIAS	28
3	OBJETIVOS	38
3.1	GERAL.....	38
3.2	ESPECÍFICOS.....	38
	CAPÍTULO II	
	Fracionamento dos carboidratos, degradabilidade e produção de gases in vitro da palma forrageira irrigada com água salina e doses de adubo orgânico	39
	RESUMO	40
	ABSTRACT	41
1	INTRODUÇÃO	42
2	MATERIAL E MÉTODOS	45
2.1	LOCAL	45
	EXPERIMENTO.....	DO
2.2	CARATERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	45
2.3	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	48
2.4	ANÁLISES LABORATORIAIS.....	49
2.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	51
3	RESULTADOS	52
4	DISCUSSÃO	59

5	CONCLUSÕES.....	63
	REFERÊNCIAS.....	64

1 INTRODUÇÃO GERAL

A Região do Semiárido é marcada pela estacionalidade de produção, ou seja, há um período curto do ano com uma grande abundância de forrageiras herbáceas, contudo, há outro período com baixa disponibilidade de alimentos, em vista do fenômeno da irregularidade das chuvas. Entre as culturas forrageiras que apresentam características adaptáveis a essas condições hostis do Semiárido, destaca-se a palma forrageira (CÂNDIDO *et al.*, 2009), atuando como uma fonte de alimento de bom coeficiente de digestibilidade de matéria seca e alta produtividade (SANTOS *et al.*, 1997). Ademais, apresenta alto potencial energético para a alimentação de ruminantes, principalmente no Nordeste Brasileiro (TOSTO *et al.*, 2007).

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) considera a palma forrageira como importante fonte alimentar em regiões áridas e semiáridas, sobretudo, em países em desenvolvimento, contribuindo não só para exploração econômica, mas também para preservação do meio ambiente e para garantir a segurança alimentar (FAO, 2001). Podendo, portanto, contribuir para aumentar a oferta de produtos de origem animal em regiões semiáridas (MUDGAL *et al.*, 2018).

As características dessa forrageira que permitem o uso eficiente da água frente às condições do Semiárido incluem-se a presença de grandes vacúolos, cutícula espessa, baixa frequência de abertura e baixa densidade estomática, células mucilaginosas, folhas modificadas, parênquima clorofiliano e metabolismo ácido das crassuláceas (CAM) (NOBEL e BOBICH, 2002; CUSHMAN *et al.*, 2015; SCALISI *et al.*, 2016). Esses diversos mecanismos permitem que a palma forrageira consiga persistir diante de períodos de seca prolongados, sendo, por conseguinte, uma importante opção alimentar para regiões semiáridas.

Nessa linha, a irregularidade das chuvas e a baixa disponibilidade de água doce nas regiões áridas e semiáridas tornam limitante o desenvolvimento de uma pecuária competitiva e economicamente viável (SILVA, 2017), logo, a utilização das águas de poços subterrâneos surge como alternativa promissora à essa restrição hídrica. Apesar destas fontes de água apresentarem elevados níveis de salinidade, o uso racional e controlado da água salina em culturas adaptadas pode configurar uma alternativa viável para o Semiárido, já que há registros da possibilidade da utilização de água de baixa qualidade para irrigação, com obtenção de elevadas produções de biomassa vegetal, o que representa uma maior probabilidade de oferta de alimento no período de escassez (SILVA, 2017).

A combinação com doses de matéria orgânica pode atuar como uma alternativa viável a fim de obter maior produtividade dos palmais, haja vista que a matéria orgânica melhora as características físico-químicas e biológicas do solo, favorecendo a formação de agregados, a retenção de umidade e nutrientes, bem como reduzir perdas por erosão (MATOS *et al.*, 2008). Nesse sentido, a associação desses recursos - água salina e adubo orgânico - ao cultivo da palma forrageira, no Semiárido, pode melhorar o valor nutricional e os parâmetros de degradabilidade dessa espécie forrageira, com o fito de melhorar os índices produtivos e a eficiência de plantio (CABRAL *et al.*, 2000; DETMANN *et al.*, 2009; MUNIZ *et al.*, 2011; PEREIRA *et al.*, 2001) e, conseqüentemente, o desempenho animal.

Portanto, objetivou-se avaliar o efeito da irrigação com água salina e com diferentes níveis de matéria orgânica em relação aos aspectos de fracionamento de carboidratos, à degradabilidade *in vitro* e à cinética de fermentação ruminal, por meio da técnica *in vitro* de produção de gases da palma forrageira em diferentes fases fenológicas, no Semiárido pernambucano, em ciclo de 18 meses.

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZAÇÃO

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CLASSIFICAÇÃO, ORIGEM E DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA, NO BRASIL, DA PALMA FORRAGEIRA

A palma forrageira é uma planta pertencente à Divisão: *Embryophyta*, Subdivisão: *Angiospermea*, Classe: *Dicotyledoneae*, Subclasse: *Archiclamideae*, Ordem: *Opuntiales* e Família: *Cactaceae*, na qual existem 178 gêneros e em média, 2.000 espécies conhecidas até o momento. Desses 178 gêneros, *Opuntia* e *Nopalea* são os mais utilizados como forrageiras (SILVA e SANTOS, 2007).

As cactáceas são originárias das regiões semiáridas do continente americano, mais especificamente do México, cultivada visando à produção de forragem, frutos e, em alguns países, a alimentação humana (COSTA, 2018), além da produção de cosméticos (YADAV, 2019) e itens medicinais (MORAN-PALACIO, 2019). Apesar de ser originária do México, a palma é considerada uma planta cosmopolita, pois, já foi constatado sua ocorrência em diversas partes do mundo, há relatos de sua ocorrência desde as montanhas do Peru a mais de 4.500 metros de altitude, em países da Europa e até em regiões áridas como em vários países da África e do Oriente Médio em que as temperaturas diurnas ultrapassam os 50°C (NOBEL, 1988).

Apresenta um metabolismo fotossintético diferenciado o MAC (Metabolismo ácido das crassuláceas) que realiza a abertura dos estômatos essencialmente à noite, quando há uma diminuição da temperatura ambiente, com isso as perdas de água por evapotranspiração são menores (TAIZ *et al.*, 2017). Essa característica faz com que a palma se adapte muito bem as condições edafoclimáticas da região Semiárida. Todavia, apesar da sua adaptabilidade, seu crescimento varia com as oscilações das condições climáticas locais (PEREIRA *et al.*, 2015). Quando comparadas a outras forrageiras, a produção de biomassa da palma é mais estável ao longo do tempo, e menos afetada pela irregularidade das chuvas nos anos secos (MENEZES *et al.*, 2005).

Atualmente, o Brasil é o país com maior cultivo da palma forrageira do mundo, com área estimada em 600 mil ha (SILVA, 2012; DUBEUX JR. *et al.*, 2013). Segundo Pessoa (1967) a introdução da palma no Brasil se deu na época da colonização, provavelmente trazida das Ilhas Canárias, sendo estas de origem mexicana. Inicialmente, foi utilizada para a produção de corantes naturais “carmim”, vindo a ser utilizada como forragem somente por volta de 1915. No Nordeste, foi introduzida provavelmente depois de 1900, afirma Duque

(1980). Após a seca de 1932, por ordem do Ministério da Viação, foram plantados do Piauí até a Bahia, diversos campos de demonstração, sendo este o primeiro grande trabalho de difusão da palma no Nordeste.

Domingues (1963) relata que a disseminação da palma forrageira, em Pernambuco teve como fator decisivo um Decreto do Interventor pernambucano, mandando conferir prêmios aos plantadores de palma, que obedecessem a certos requisitos estabelecidos, tais como: espaçamento, alinhamento, ausência de falhas, bom desenvolvimento e bons tratamentos culturais.

A partir da década de 50 é que realmente começaram os estudos de caráter mais aprofundados sobre a espécie, visando assim seu melhor aproveitamento. Entre os anos de 1979 e 1983, durante a estiagem prolongada ocorrida no Nordeste brasileiro, a palma ganhou de vez seu espaço no cenário semiárido, desta data em diante inúmeros estudos voltaram-se para esta forrageira (FIGUEREDO *et al.*, 2010). Atualmente, muito utilizada na região Semiárida, a palma é uma cultura forrageira que apresenta teores de nutrientes bastante consideráveis, principalmente, para essa região que permanece por um longo período de escassez de chuvas, o que impossibilita o cultivo de forrageiras mais exigentes em água.

2.2 IMPORTÂNCIA DA PALMA FORRAGEIRA PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO

O Semiárido brasileiro possui um total de 22 milhões de habitantes, distribuídos por cerca de 1.189 municípios, o qual ocupa 53% da região Nordeste e aproximadamente 18,2% do território nacional (BRASIL, 2017). Caracteriza-se pela irregularidade da disponibilidade hídrica, em decorrência dos curtos ciclos de precipitação, da elevada evapotranspiração, bem como da má distribuição espaço-temporal das chuvas, portanto essas peculiaridades da região configuram-se como um desafio a produção de forragem tanto em quantidade quanto em qualidade para os sistemas produtivos (ANDRADE *et al.*, 2010).

Sob esse aspecto, a palma forrageira destaca-se como um importante recurso forrageiro utilizado em regiões semiáridas, principalmente nos períodos de seca. As características dessa espécie torna-a uma alternativa viável ao desenvolvimento agropecuário no Semiárido brasileiro. Isso decorre da sua fisiologia vegetal, atrelado diretamente ao processo fotossintético (DONATO *et al.*, 2014), o qual classifica a palma forrageira como plantas de metabolismo ácido das crassuláceas (CAM). Este metabolismo permite às plantas armazenar ácido cítrico em suas folhas e utilizá-lo como fonte de carbono durante períodos de estresse hídrico. Além disso, o metabolismo ácido das crassuláceas, que permite às plantas

controlar a abertura e fechamento dos estômatos para minimizar a perda de água. Este tipo de metabolismo ácido é considerado uma adaptação importante para a sobrevivência das crassuláceas em ambientes secos (SMITH, 2010).

Entre as inúmeras vantagens da utilização da palma forrageira no Semiárido, diz respeito ao alto teor de água em sua composição, além disso, essa fonte hídrica é considerada uma fonte de água de qualidade para os animais. Diversos trabalhos demonstram a redução da ingestão voluntária de água por ruminantes, em função da inclusão da palma forrageira na ração, devido ao alto teor de umidade presente nessa forrageira (CAVALCANTI *et al.*, 2008; COSTA *et al.*, 2012; VIEIRA *et al.*, 2008). Por exemplo, no estudo de Vieira *et al.* (2008), com níveis crescentes de palma forrageira na dieta de caprinos, observou-se a redução linear da ingestão de água de bebida com a inclusão em níveis crescente dessa forrageira na dieta. De forma similar, Tegegne *et al.* (2007) constataram esse declive linear no consumo de água, em ovinos, na Etiópia, pela substituição de feno de gramíneas nativas por diferentes níveis de palma forrageira.

Durante a seca de 2012 no Nordeste, as colheitas de palma forrageira foram prejudicadas devido a uma infestação massiva da cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae*). Como resultado, houve enormes perdas na produção dessa cultura, que deveria ter sido utilizada como fonte de alimento durante o período de seca. Essa praga inseriu-se há 11 anos, inicialmente, pelo estado de Pernambuco, entretanto, atualmente, encontra-se por vários municípios do Nordeste, principalmente, em Pernambuco, Paraíba, Ceará e Alagoas (LOPES *et al.*, 2012). Além das diversas técnicas de manejo empregadas para conter essa praga, a utilização de variedades resistentes tem-se apresentado como uma possibilidade promissora (LOPES, 2010), por melhorar o retorno econômico e por ampliar as possibilidades de uso (PEREIRA *et al.*, 2017; SANTIAGO *et al.*, 2018). A exemplo da Orelha de Elefante Mexicana (INÁCIO *et al.*, 2020), palma Miúda (Santos *et al.*, 2013) e IPA-Sertânia (Silva *et al.*, 2015).

A cultivar Gigante era a mais cultivada, por apresentar maior persistência a secas intensas, contudo está propensa à infestação da cochonilha de escamas (SANTOS *et al.*, 2006; SANTOS *et al.*, 2010), como também observado na cultivar Redonda. Esta apresenta hábito de crescimento mais horizontal comparado a Gigante e à Miúda (CARVALHO FILHO *et al.*, 2002), o que dificulta o consórcio com outras culturas e, por isso, tem sido preferida em relação ao plantio de outras cultivares (ROCHA, 2012). Do ponto de vista agrônomo, a palma forrageira *Opuntia* apresenta menor demanda de nutrientes, sendo mais tolerantes as condições de estresse hídrico e também tem apresentado maior produção de matéria seca por

unidade de área (37 Mg de MS/ha/2 ano) que a palma *Nopalea* (21 Mg de MS/ha/2 ano), produzindo mais interesse em sua inserção na alimentação de ruminantes no Semiárido (Inácio *et al.*, 2020).

2.3 CARACTERIZAÇÃO NUTRITIVA DA PALMA FORRAGEIRA E DOS PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO

A caracterização nutritiva varia conforme a idade da planta, a época de colheita, o clima, a espécie, a densidade de plantação, as fases fenológicas, o manejo de adubação, o espaçamento de plantio, entre outros fatores (DUBEUX *et al.*, 2010; SOUZA *et al.*, 2010; ALVES *et al.*, 2016; PESSOA *et al.*, 2020).

Nesse contexto, a palma forrageira possui grande capacidade de produção de fitomassa em regiões semiáridas e apresentam elevados conteúdos de água, carboidratos não fibrosos (CNF), minerais, nutrientes digestíveis totais (NDT) (Tabela 1). Ademais, essa forrageira possui alta persistência à seca, devido a sua alta eficiência no uso da água (FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, *et al.*, 2018) e, geralmente, melhor digestibilidade em relação a outras forragens de clima tropical (BATISTA *et al.*, 2009; MONTEIRO *et al.*, 2018; INÁCIO *et al.*, 2020). Por outro lado, caracteriza-se pelo baixo teor de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), matéria seca (MS) e proteína bruta (PB) (Tabela 1) (MELO *et al.*, 2003; SANTOS *et al.*, 2005; FERREIRA 2005; SILVA *et al.*, 2018; MONTEIRO *et al.*, 2019; PESSOA *et al.*, 2020). No entanto, sua baixa fibra pode afetar negativamente a digestibilidade e a saúde do trato gastrointestinal dos animais se consumida em excesso e sem uma dieta equilibrada.

Tabela 1 - Composição químico-bromatológica da palma forrageira, conforme os dados obtidos na literatura.

Composição química da palma forrageira (g/kg de MS)						
MS	PB	FDN	FDA	EE	CNF	NDT
5-15	2,5-6,7	17,6-26,7	14,3- 23,0	0,84-2,3	55,1	63

Fonte: Adaptada de Melo *et al.* (2003); Santos *et al.* (2005); Ferreira (2005); Batista *et al.* (2009); Silva *et al.* (2018); Monteiro *et al.* (2018); Monteiro *et al.* (2019); Pessoa *et al.* (2020); Inácio *et al.* (2020); MS – Matéria seca; PB – Proteína bruta; FDN – Fibra em detergente neutro; FDA – fibra em detergente ácido; EE – Extrato etéreo; CNF – Carboidratos não fibrosos; NDT – Nutrientes digestíveis totais.

A água é o componente mais abundante nas cactáceas (Tabela 1), o que contribui para minimizar o consumo de água de bebida pelos animais, sobretudo, em ambientes semiáridos. Portanto, esse recurso ofertado pela palma não apenas supre a deficiência hídrica nesses ambientes, mas também contribui para o consumo de água de qualidade (MAGALHÃES *et al.*, 2019).

Em relação aos teores de FDN e FDA (Tabela 1), faz-se necessário a associação com outras fontes, a fim de garantir o mínimo de fibra fisicamente efetiva (FERREIRA *et al.*, 2009). Dessa forma, há necessidade de adicionar, no mínimo, 15 a 20% de uma fonte de fibra fisicamente efetiva na base da MS, com intuito de manter a motilidade ruminal nos níveis adequados, bem como impedir que houvesse alterações no consumo de MS (BATISTA *et al.*, 2013).

A respeito do teor de proteína bruta (PB), é considerado muito baixo (Tabela 1), uma vez que, para haver crescimento e desenvolvimento dos microrganismos ruminais responsáveis pela degradação dos nutrientes oriundos da fração fibrosa da forragem, a dieta deve conter em torno de 6 a 7% de proteína bruta (REIS *et al.*, 2004). Entretanto, a alta concentração de carboidratos solúveis presentes na palma forrageira possibilita adoção de fontes de nitrogênio não proteico (NNP), com o objetivo de fornecer o grupamento amino para que a microbiota fabrique suas próprias proteínas, a partir da sinergia entre esse grupo amino e o esqueleto de carbono, provenientes desses carboidratos solúveis (FERREIRA *et al.*, 2009).

Quanto aos teores de EE, apesar de serem baixos (Tabela 1) Abidi *et al.* (2009) observaram alta concentração de ácidos graxos poli-insaturados (67,7%) do total de ácidos graxos presentes na palma forrageira. Em outro estudo, ao analisarem a composição dos ácidos graxos de três diferentes farinhas dos cladódios da palma forrageira, os ácidos graxos mais abundantes foram o ácido palmítico (C16: 0), o ácido linoleico (C18: 2n6), o ácido linolênico (C18: 3n3) e, o ácido oleico (C18:1n9) (LÓPEZ-CERVANTES *et al.*, 2011).

A palma forrageira é rica em carboidratos, sobretudo, os carboidratos não fibrosos (CNF) (Tabela 1). Para os ruminantes, esse nutriente é disponível de forma indireta, por meio do processo fermentativo, no rúmen-retículo, na forma de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) e, diretamente, pela absorção de seus monômeros constituintes, no trato gastrointestinal desses animais (VAN SOEST, 1994). Dessa maneira, nos sistemas de avaliação de alimentos para ruminantes, faz-se necessário diferenciar as frações que compõem os carboidratos, com o objetivo de possibilitar a predição do crescimento microbiano no rúmen, a degradação ruminal dos alimentos e o desempenho animal (RODRIGUES e VIEIRA, 2006).

Outra técnica muito utilizada, para avaliar a qualidade de forragens utilizadas na nutrição de ruminantes, é a produção de gases, que, segundo Campos *et al.* (2000), oferece rápida estimativa da taxa de digestão e da digestibilidade dos alimentos. A partir da curva de produção de gás obtida pela digestão do alimento, é possível estimar as taxas de degradações das frações solúveis (açúcares solúveis e amido prontamente disponível) e insolúveis (celulose e hemicelulose).

Somada a essas técnicas, que auxiliam na determinação da qualidade das forrageiras, a cinética de degradação é de fundamental importância para maximizar a eficiência microbiana e a degradação dos alimentos, que reduz perdas decorrentes da fermentação ruminal e proporciona aos animais alimentação de menor custo econômico (TONISSI *et al.*, 2010).

2.4 PALMA FORRAGEIRA NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL

A palma apresenta alta produtividade e pode ser utilizada de forma *in natura* a farelos ou emoliente, adicionado a restos culturais, palhadas e subprodutos industriais. Essa forrageira chega a compor cerca de 80% da dieta dos animais, sobretudo, no período de estiagem (SOARES II e SILVA JÚNIOR, 2012). Essa forrageira apresenta alta palatabilidade, havendo, portanto, a necessidade da adoção de estratégias alimentares, a fim de suprir o baixo teor de fibra (SOUZA *et al.*, 2010). Essa estratégia foi analisada por Costa *et al.* (2012), ao propor a substituição de milho pelo farelo de palma (*Opuntia ficus indica*, Mill) na alimentação de borregos Santa Inês. Nesse estudo, observou-se que os regimes alimentares de maior inclusão do farelo de palma (75% e 100%) proporcionaram redução no ganho de peso diário (255 para 210 g.dia⁻¹), isso provavelmente se deve a limitação do consumo pela falta do mínimo de fibra fisicamente efetiva na ração, quando incluíram maiores teores de palma. Contudo, com a inclusão de 50% de palma na dieta, não houve esse efeito negativo ao desempenho animal.

Assim, embora possa haver a redução do consumo de MS (CMS), não se deve considerar uma desvantagem total caso não tenha havido o decréscimo também da digestibilidade, já que, de acordo com Mertens (1994) e Maggioni *et al.* (2009), o aumento do CMS pode aumentar a taxa de passagem da digesta e, por conseguinte, reduzir a digestibilidade. No estudo de Santos *et al.* observaram que a inclusão de até 50% de palma forrageira na dieta não afetou o desempenho dos cordeiros. A partir de 50% de inclusão, no entanto, pode haver redução no ganho de peso e na eficiência alimentar dos animais, principalmente quando a palma forrageira é a principal fonte de alimento dos cordeiros.

Pesquisadores avaliaram o efeito da inclusão de altos níveis de palma forrageira na dieta de ovelhas sobre o consumo, digestibilidade e pH ruminal. Os resultados indicaram que altos níveis de palma forrageira na dieta (acima de 50% da dieta total) podem causar acidose ruminal, levando a uma redução no pH ruminal e na digestibilidade da fibra. Os autores sugerem que é importante considerar a inclusão de fontes de fibra de lenta fermentação na dieta para prevenir a ocorrência de acidose (LÓPEZ, 2018). Outro aspecto bastante relevante na seleção do recurso forrageiro a ser usado diz respeito ao seu custo de utilização.

No estudo de Soares *et al.* (2020), observou-se o custo benefício da introdução de palma Orelha de Elefante Mexicana (OEM) e Miúda, na dieta de cabras da raça Saanen em lactação. Esses autores concluíram que a inclusão de até 35% desses cultivares manteve os níveis de produção de leite e diminuíram os custos de alimentação por kg de matéria seca (\$0,32), bem como menores custos diários de ração (\$0,29/d). Portanto, a palma forrageira é um recurso alimentar essencial, especialmente, na estação seca, uma vez que apresenta elevado valor nutricional e alto conteúdo de água na sua composição, ademais é considerada um recurso alternativo economicamente viável e imprescindível à alimentação dos ruminantes, no Nordeste brasileiro (FERREIRA, 2011).

2.5 SALINIDADE E RESPOSTAS DAS PLANTAS AO ESTRESSE SALINO

A salinidade e a sodicidade ocorrem, principalmente, em áreas áridas e semiáridas. No Brasil, as áreas salinas concentram-se na região Nordeste, sobretudo, nos perímetros irrigados, em que há evaporação da água, concentrando íons no solo (HOLANDA *et al.*, 2007). Nesse contexto, o estresse salino é um problema, especialmente, nas zonas áridas e semiáridas, as quais dependem da irrigação para um suprimento adequado de água para as culturas. Essas áreas irrigadas são suscetíveis à salinização, devido ao uso de água salina e à elevação de lençol freático pelo excesso de rega associado à drenagem insuficiente. Dessa forma, solos salinos ($CE > 4,0$ dS/m) apresentam concentrações de sais suficientes para reduzir o crescimento da maioria das espécies vegetais (MUNNS e TESTER, 2008).

Nessa linha, a redução do crescimento vegetal, em relação à salinidade do solo ou da água, decorre do aumento das forças de retenção de água, oriundo do efeito osmótico, o qual acarreta redução da absorção de água pela planta. Esse acréscimo de pressão osmótica pode, em determinado grau, impedir a sucção de água, inclusive, em solo úmido (DIAS *et al.*, 2016). Além disso, pode haver o acúmulo de sais, em altos níveis, nas células vegetais, tornando-se tóxicos às plantas e, por conseguinte, acarretam redução dos processos

metabólicos vegetais, podendo causar senescência prematura ou morte celular (MUNNS e TESTER, 2008; ROY *et al.*, 2014; ISAYENKOV e MAATHUIS, 2019). Por sua vez, a salinidade no solo ocasiona decréscimo da fertilidade, o que implica na perda de produtividade e de qualidade das culturas (FREIRE, 2012).

Em Pernambuco, as águas salinas superficiais e subterrâneas apresentam altas concentrações dos íons sódio (Na^+) e cloro (Cl^-) (NUNES FILHO *et al.*, 2000). Estes íons, na solução do solo, atuam limitando a absorção e o transporte de elementos essenciais ao desenvolvimento e ao crescimento das plantas, resultando em desequilíbrio nutricional, o qual constitui importante componente do estresse salino. O aumento da concentração de Na^+ , no ambiente radicular, leva a redução da absorção de K^+ , todavia essa concentração varia entre espécies, podendo esse fator estar associado à tolerância vegetal à salinidade (FERREIRA *et al.*, 2001).

A capacidade da planta de sobreviver e desenvolver-se em um ambiente de estresse salino estar relacionada aos mecanismos de tolerância, de escape ou da combinação de ambos (MUNNS e TESTER, 2008). Assim, ao submeter culturas não tolerantes à salinidade a valores de condutividade elétrica (CE) do extrato de saturação entre 2,0 e 4,0 dS/m (25 e 50 mM/L, respectivamente), já se percebem impactos negativos na produtividade dessas culturas, e, quando forem submetidas a valores superiores a 8,0 dS/m (100 mM), há redução dos rendimentos vegetais (PEREIRA, 2008).

No estudo de Costa *et al.* (2018), foram avaliados os efeitos de diferentes níveis de salinidade na solução nutritiva sobre o crescimento da palma forrageira. Os resultados mostraram que o estresse salino afetou negativamente o crescimento da planta, reduzindo a altura, o diâmetro do caule e a produção de biomassa. Além disso, o estresse salino provocou alterações na composição mineral da palma, afetando a absorção de nutrientes essenciais para a sua sobrevivência.

2.6 ASSOCIAÇÃO DA IRRIGAÇÃO DE ÁGUA SALINA À ADUBAÇÃO ORGÂNICA NO CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO

A irregularidade das chuvas associada ao intenso calor acarreta elevadas taxas de evapotranspiração potencial e real, que reduzem a umidade do solo e a quantidade de água armazenada nos reservatórios. A saber, tanto a baixa e a irregularidade da precipitação quanto às altas taxas evapotranspiração, durante o ano, resultam no balanço hídrico negativo (SILVA *et al.*, 2010). Ademais, a curta duração da estação chuvosa é outra limitante à exploração

agrícola no Semiárido, em vista dos fenômenos chamados veranicos. Estes caracterizam-se pela ocorrência de períodos com pouquíssima ou nenhuma chuva durante a estação chuvosa (SEN, 2015; SILVA e RAO, 2002), o que pode prejudicar parcial ou parcialmente a emergência das plantas ou os estádios fenológicos de floração e de formação da produção (SILVA e RAO, 2002).

Dessa forma, a irrigação é um fator decisivo para o sucesso dos empreendimentos agropecuários em regiões semiáridas (COSTA *et al.*, 2011; FAO *et al.*, 2017; SEDET, 2019), que requerem métodos e sistemas de irrigação mais eficientes e cultivos mais responsivos à água e mais rentáveis. Estima-se que, na região Nordeste, há mais de 100 mil poços profundos, com vazões médias em torno de 2 mil litros por hora (SIMÕES *et al.*, 2018). Dessa maneira, a utilização de águas de qualidade marginal, incluindo as águas residuais e salobras, como alternativa para a irrigação ainda é um dilema para a agricultura, entretanto se esse uso for executado de forma correta, pode tornar-se uma ótima alternativa para atividades agropecuárias das regiões semiáridas (CIRILO, 2008; COSTA *et al.*, 2011).

Os solos e as águas das regiões áridas e semiáridas são, normalmente, classificados com alto teor de sais, especialmente cloreto, sulfato e sódio, isso decorre, principalmente, devido à irregularidade das chuvas e à elevada taxa de evaporação, promovendo, portanto, aumento da salinização (ARMAS *et al.*, 2010). Essas particularidades podem resultar em consequências negativas para a produtividade vegetal, por inibir o crescimento das plantas, redução do potencial osmótico do solo e efeito acumulativo de determinados íons, podendo acarretar toxicidade e deficiências nutricionais (MUNNS, 2005). Contudo, esses efeitos negativos às plantas dependem do nível de concentração de sais, do tempo de exposição, do estágio fenológico, das condições ambientais, da resistência da espécie ou do cultivar à salinidade (TOSCANO *et al.*, 2019).

A palma forrageira é relativamente exigente quanto às características físico-químicas do solo (SAMPAIO *et al.*, 2005). Logo, a utilização de água salina deve ser realizada de forma racional, pois aplicação desse recurso de forma desorganizada pode acarretar perda total da cultura, como também pode inviabilizar o uso do solo para outras culturas ou, pior, acelerar um processo de desertificação (SILVA, 2017). Nesse sentido, o solo ser drenável e a irrigação com água salina devem prosseguir até o período chuvoso, haja vista que a chuva contribui para a lixiviação dos sais (SANTOS *et al.*, 2020).

Nesse contexto, uma estratégia, para evitar os efeitos negativos da irrigação salina, no Semiárido, é a incorporação de adubo orgânico no solo, uma vez que a matéria orgânica atua como agente ligante, formando complexos a átomos metálicos (MIRANDA *et al.*, 2011). A

capacidade de quelação da matéria orgânica interfere de maneira positiva nos atributos físicos, aumentando a condutividade hidráulica e a infiltração da água. Em solos salinos e sódicos, como os do Semiárido, os efeitos da matéria orgânica podem ser bastante positivos, ao promover maior agregação às partículas do solo. Isso pode estar relacionado à liberação de CO₂ e ácidos orgânicos, durante a decomposição da matéria orgânica, fornecendo cálcio e magnésio (FREIRE e FREIRE, 2007).

Vários autores têm comprovado a importância da adubação no cultivo da palma forrageira no Semiárido brasileiro (BARROS *et al.*, 2016; PADILHA JUNIOR *et al.*, 2016; PEIXOTO *et al.*, 2018), uma vez que o uso do adubo orgânico proporciona vários benefícios ao solo, tais como: aumento dos estoques de carbono orgânico e nitrogênio total no solo, melhor enraizamento, diminuição dos efeitos tóxicos do alumínio, aumento da atividade microbiana do solo (CORTEZ, 2010) e da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo. Isso determina maior capacidade de reter água e de nutrientes, o que proporciona alta produtividade vegetal. Além disso, a matéria orgânica apresenta benefícios em relação às propriedades físicas do solo, ao melhorar a estrutura do solo, porosidade, densidade do solo, aeração, infiltração e retenção de água (CARDOSO *et al.*, 2013). Em síntese, a adubação orgânica é uma prática fundamental para o cultivo da palma forrageira no Semiárido brasileiro, já que oferece uma série de vantagens para o solo e a planta. Esses benefícios se traduzem em maior capacidade de retenção de água e nutrientes, resultando em alta produtividade vegetal.

REFERÊNCIAS

- ABIDI, S.; SALEM, H. B.; VASTA, V.; PRIOLO, A. Supplementation with barley or spineless cactus (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) cladodes on digestion, growth and intramuscular fatty acid composition in sheep and goats receiving oaten hay. **Small Ruminant Research**, v. 87, n. 1-3, p. 9-16, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.09.004>
- ALVES, F. A. L.; ANDRADE, A. P.; BRUNO, R. L. A.; SILVA, M. G. V.; SOUZA, M. F. V.; PESSOA, C.; OLIVEIRA, F. C. E.; BRITO FILHO, S. G.; SANTOS, D. C. Genetic diversity and seasonal chemical profile by ¹H NMR and cytotoxic activity in *Opuntia* and *Nopalea* genres. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 10, n. 40, p. 732-747, 2016. <https://doi.org/10.5897/JMPR2016.6207>
- ANDRADE, A. P.; COSTA, R. G.; SANTOS, E. M.; SILVA, D. S. Produção animal no semiárido: o desafio de disponibilizar forragem, em quantidade e com qualidade, na estação seca. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.4, n.4, p.1-14, 2010.
- ARMAS, C.; PADILLA, F.M.; PUGNAIRE, F.I.; JACKSON, R.B. Hydraulic lift and tolerance to salinity of semiarid species: Consequences for species interactions. **Oecologia**, v.162, n.1, p.11-21, 2010. <https://doi.org/10.1007/s00442-009-1447-1>
- BATISTA, A. M. V.; CARVALHO, F. F. R.; ROCHA FILHO, R. R. A palma forrageira na alimentação de ruminantes no semiárido brasileiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PRODUÇÃO DE RUMINANTES, 2, 2013, Itapetinga. **Anais... Itapetinga: Simpósio Brasileiro de Produção de Ruminantes**. 2013.
- BATISTA, A. M. V.; MUSTAFA, A. F.; SANTOS, G. R. A.; CARVALHO, F. F. R.; DUBEUX JR, J. C.; LIRA, M. A.; BARBOSA, S. B. P. Chemical composition and ruminal dry matter and crude protein degradability of spineless cactus. **Journal of Agronomy and crop Science**, v.189, n.2, p.123-126, 2003. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2003.00008.x>
- BATISTA, A. M. V.; RIBEIRO NETO, A. C.; LUCENA, R. B.; SANTOS, D. C.; DUBEUX JR., J. C. B.; MUSTAFA, A. F. Chemical composition and ruminal degradability of spineless cactus grown in Northeastern Brazil. **Rangeland Ecology & Management**, v.62, n.3, p. 297-301, 2009. <https://doi.org/10.2111/07-099R1.1>
- BARROS, J. L.; DONATO, S. L. R.; GOMES, V, M.; DONATO, P. E. R.; SILVA, J. A.; PADILHA JÚNIOR, M. C. Palma forrageira ‘gigante’ cultivada com adubação orgânica. **Revista Agrotecnologia**, v.7, n.1, p.53-65, 2016. Disponível em: <https://palmaforrageira.com.br/wp-content/uploads/2020/05/Barros-2016-N.pdf>
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Nova delimitação do Semiárido brasileiro. Brasília, DF, 429p. 2017.
- BERCHIELLI, T. T., PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de Ruminantes**. Jaboticabal, Brazil: FUNEP, 2011.

CABRAL, L. S.; VALADARES FILHO, S. C.; MALAFAIA, P. A. M.; LANA, R. P.; SILVA, J. F. C.; VIEIRA, R. A. M.; PEREIRA, E. S. Frações de carboidratos de alimentos volumosos e suas taxas de degradação estimadas pela técnica de produção de gases. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.29, n.6, p.2087-2098, 2000. Disponível em: <https://www.sbz.org.br/revista/artigos/2823.pdf>

CAMPOS, F. P. D.; BOSE, M. L. V.; BOIN, C.; LANNA, D. P. D.; MORAIS, J. P. G. D. Avaliação do sistema de monitoramento computadorizado de digestão in vitro: 3. Desaparecimento da matéria seca e/ou FDN pela produção de gás. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.2, p. 537-544, 2000. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000200030>

CAVALCANTI, M. C.A.; BATISTA, Â. M. V.; GUIM, A.; LIRA, M. A.; RIBEIRO, V. L. RIBEIRO NETO, A. C. Consumo e comportamento ingestivo de caprinos e ovinos alimentados com palma gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill) e palma orelha-de-elefante (*Opuntia* sp.). **Acta Scientiarum. Zootecny**, v.30, n.2, p.173- 179, 2008. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3031/303126492006.pdf>

CÂNDIDO, M. J. D.; DE ARAÚJO, G. G. L, CAVALCANTE, M. A. B. Pastagens no Ecossistema Semiárido brasileiro: atualização e perspectivas Futuras. **Publicado no Núcleo de Ensino e Estudos em Forragicultura** (NEEF), Universidade Federal do Ceará/UFC, 2009.

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A.; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M.; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. S.; NOGUEIRA, M. A. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agricola**, v.70, n.4, p.274-289, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000400009>

CARVALHO FILHO, O. M.; ARAUJO, G.; LANGUIDEY, P.; SÁ, J.; LIMA, V. Produção de Leite no Semiárido do Brasil. Juiz de Fora: **Embrapa**, 2002.

CIRILO, J. A. Políticas públicas de recurso hídricos para o semiárido. **Estudos Avançados**, v.63, n.22, p.61-82, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200005>

CORDEIRO, Ana Gabriela Pombos Celles. **Associação do feno de capim buffel com palma forrageira na alimentação de ovinos da raça Santa Inês**. Areia, 2012. 96 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal da Paraíba – Areia – PB, 2012.

CORTEZ, J.W.M.; CECÍLIO FILHO, A.B.; COUTINHO, E.L.; ALVES, A. Cattle manure and N-urea in radish crop (*Raphanus sativus*). **Ciencia e Investigación Agraria**, v.37, n.1, p.45-53, 2010. Disponível em: <https://encurtador.com.br/qzOWZ>

COSTA, A. C. S.; SANTOS, A. R.; AZEVEDO NETO, A. D.; LACERDA, C. F. Crescimento de palma forrageira sob diferentes níveis de salinidade em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.6, p.400-405, 2018.

COSTA, R. G.; TREVINO, I. H.; MEDEIROS, A. N.; MEDEIROS, A. N.; PINTO, T. F.; OLIVEIRA, R. L. Effects of replacing corn with cactus pear on the performance of Santa Inês lambs. **Small Ruminant Research**. v.102, n.1, p.13-17, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.09.012>

COSTA, R. N. T.; OLIVEIRA, V. R.; ARAÚJO, D. F. **Planejamento, gerenciamento e uso racional de águas em perímetros públicos de irrigação**. In: GHEYI, H. R.; MEDEIROS, S. S.; GALVÃO, C. O. Recursos hídricos em regiões semiáridas. Cruz das Almas: INSA/UFRB, 2011. Cap. 4, p.88-110.

COSTA, G. A.; QUEIROZ, V. A. V.; BORGES, S. V.; SOARES, R.; SILVA, F. A. M.; FIGUEIREDO, R. W. *Opuntia* spp.: characterisation and benefits in human health. **Annals of Applied Biology**, v.172, n.3, p.249-264, 2018.

CUSHMAN, J. C.; DAVIS, S. C.; YANG, X.; BORLAND, A. M. Development and use of bioenergy feedstocks for semi-arid and arid lands. **Journal of Experimental Botany**, v.66, n.14, p.4177-4193, 2015. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv087>

DETMANN, E.; SILVA, J. F. C.; VÁSQUEZ, H. M.; HENRIQUES, L. T.; HADDADE, I. R. Cinética da degradação ruminal dos carboidratos de quatro gramíneas tropicais em diferentes idades de corte e doses de adubação nitrogenada: técnica de produção de gases. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.1, p.149-158, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000100019>

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; SOUSA NETO, O. N.; QUEIROZ, I. S. R. **Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade**. In: GHEYI, R. H.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2016. cap.11, p.151-162.

DOMINGUES, O. Origem e introdução da palma forrageira no Nordeste. Recife: **Instituto Joaquim Nabuco de Pesquisas Sociais**, 1963. 54p.

DONATO, P. E. R.; PIRES, A. J. V.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A.; AQUINO, A. A. Valor nutritivo da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. **Revista Caatinga**, v. 27, n.1, p.163-172, 2014. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/2371/237130153020.pdf>

DUBEUX JR., J. C. B.; SILVA, N. G. M.; SANTOS, M. V. F.; CUNHA, M. V.; SANTOS, D. C.; LIRA, M. A.; MELLO, A. C. L.; PINTO, M.S.C. Organic fertilization and plant population affect shoot and root biomass of forage cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Mill.). **Acta Horticulturae**, v.995, p.221-224, 2013. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.995.25>

DUBEUX JR., J. C. B.; ARAÚJO FILHO, J. T.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C.; PESSOA, R. A. S. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira-Clone IPA-201. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, n.1, p.129-135, 2010. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/1190/119012589021.pdf>

DUQUE, J. G. **O Nordeste e as lavouras xerófilas**. v.193, 3 ed. Mossoró: Coleção Mossoroense, 1980. 265 p.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira. **SEBRAE**, 2001.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.
Land use indicators. 2017.

FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, J. et al. Water Use Efficiency and Drought Tolerance in Forage Palm Trees. In: *Advances in Botanical Research*, v. 85, p. 1-34, 2018.

FERREIRA, M. A. **Palma forrageira na alimentação de bovinos leiteiros.** Recife: UFRPE, Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, p. 68, 2005.

FERREIRA, M. A.; PESSOA, R. A. S.; SILVA, F. M.; BISPO, S. V. (2011). Palma forrageira e ureia na alimentação de vacas leiteiras. Editora UFRPE, Recife.

FERREIRA, M. A.; SILVA, F. M.; BISPO, S. V.; AZEVEDO, M. Estratégias na suplementação de vacas leiteiras no semi-árido do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.1, p.322-329. 2009. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001300032>

FERREIRA, R. G.; TÁVORA, F. J. A.; HERNANDEZ, F. F. Distribuição da matéria seca e composição química das raízes, caule e folhas de goiabeira submetida a estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.1, p.79-88, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000100010>

FIGUEREDO, V. S.; SILVA, E. C.; GOMES FILHO, M. F. Sustentabilidade ambiental para o Semiárido Paraibano: à busca de estratégias para o Município de Juazeirinho-PB. In: **Anais XVI Encontro Nacional dos geógrafos**, Porto Alegre, 2010.

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

FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J. **Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais.** In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, 2007. cap.16, p.929-954.

HOLANDA, A. C.; SANTOS, R. V. dos; SOUTO, J. S.; ALVES, A. R. Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas em ambientes degradados por sais. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.7, n.1, p.39-50, 2007.

INÁCIO, J. G.; CONCEIÇÃO, M. G.; SANTOS, D. C.; OLIVEIRA, J. C. V.; CHAGAS, J. C. C.; MORAES, G. S. O.; SILVA, E. T. S.; FERREIRA, M. A. Nutritional and performance viability of cactus *Opuntia*-based diets with different concentrate levels for Girolando lactating dairy cows. **Asian-Australasian journal of animal sciences**, v.33, n.1, p.35-43, 2020. <https://doi.org/10.5713%2Fajas.18.0916>

ISAYENKOV, S. V.; MAATHUIS, F. J. M. Plant Salinity Stress: Many Unanswered Questions Remain. **Frontiers in plant science**, v.10, n.1, p. 80. 2019. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00080>

LÓPEZ-CARLOS, M. A., SANTOS-RICALDE, R. H., CAMACHO-DÍAZ, L. M., SANDOVAL-CASTRO, C. A., & SOLORIO-SÁNCHEZ, F. J. The effect of high levels of

spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) on intake, digestibility, and ruminal pH in sheep. **Tropical Animal Health and Production**, v.50, n.2, p.361-366, 2018.

LÓPEZ-CERVANTES, J; SÁNCHEZ-MACHADO, D. I.; CAMPAS-BAYPOLI, O. N.; BUENO-SOLANO, C. Functional properties and proximate composition of cactus pear cladodes flours. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.31, n.3, p.654-659, 2011.
<https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000300016>

LOPES, E. B.; BRITO, C. H.; ALBUQUERQUE, I. C.; BATISTA, J. L. Seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) resistentes à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell, 1929) na Paraíba, Brasil. **Engenharia Ambiental**, v.7, n.1, p.204-215, 2010.

LOPES, E. B.; SANTOS, D. C.; VASCONCELOS, M. F. **Cultivo da Palma forrageira**. In: LOPES, E.D. (Org.) Palma forrageira: cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no semiárido nordestino, João Pessoa: EMEPA, 2012. p. 21-60.

LOPES, L. A.; CARDOSO, D. B.; CAMARGO, K. S.; SILVA, T. G. P.; SOUZA, J. S. R.; SILVA, J. R. C.; MORAIS, J. S.; ARAÚJO, T. P. M. Palma forrageira na alimentação de ruminantes. **PUBVET**, v.13, n.2, p.1-10, 2019. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n3a277.1-10>

MAGALHÃES, A. L. R.; SOUSA, D. R.; NASCIMENTO JÚNIOR, J. R. S.; GOIS, G. C.; CAMPOS, F. S.; SANTOS, K. C.; NASCIMENTO, D. B.; OLIVEIRA, L. P. Intake, digestibility and rumen parameters in sheep fed with common bean residue and cactus pear. **Biological Rhythm Research**, v.50, n.1, p.1-10, 2019.
<https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1592351>

MAGGIONI, D.; MARQUES, J. A.; ROTTA, P. P.; ZAWADZKI, F.; ITO, R. H.; PRADO, I. N. Ingestão de alimentos. **Semina: Ciências Agrárias**, v.30, n.4, p.963-974, 2009.
Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744094025.pdf>

MATOS, E. S.; MENDONÇA, E. S.; LEITE, L. F. C.; GALVÃO, J. C. C. Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em Argissolo sob adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.9, p.1221-1230, 2008.
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000900017>

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; NEVES, J. C. L.; MATOS, A. T.; SOUZA, J. A. A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola ambiental**, v.9, n.4, p.603-612, 2005. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000400026>

MELO, A. A. S. D.; FERREIRA, M. D. A.; VERÁS, A. S. C.; LIRA, M. D. A.; LIMA, L. E. D.; VILELA, M. D. S.; ARAÚJO, P. R. B. Substituição parcial do farelo de soja por ureia e palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) em dietas para vacas em lactação: I. Desempenho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.32, n.3, p.727-736, 2003.
<https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000300025>

MENEZES, R.S.C.; SIMOES, D.A.; SAMPAIO, E.V.S.B.(eds). A palma no nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: Ed. **Universitária da UFPE**, 2005.

- MERTENS, D. R. (1994). **Regulation of Forage Intake**. In J. R. Fahey (Ed.), Forage Quality, Evaluation, and Utilization (pp. 450-493). Madison, WI, USA: American Society of Agronomy.
- MIRANDA, M. A.; OLIVEIRA E. E. M.; SANTOS, K. C. F.; FREIRE, M. B. G. S.; ALMEIDA, B. G. Chemical and organic amendments in reclamation of saline-sodic soil in greenhouse. Manejo de Solo, Água e Planta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, p.484-490, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000500008>
- MONTEIRO, C. C. F.; FERREIRA, M. A.; VERAS, A. S. C.; GUIDO, S. I.; ALMEIDA, M.P., SILVA, R.C., INACIO, J. G. A new cactus variety for dairy cows in areas infested with *Dactylopius opuntiae*. **Animal Production Science**, v. 59, n. 3, p. 479-485, 2019. <https://doi.org/10.1071/AN17256>
- MORAN-PALACIO, J. F.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae) as a source of bioactive compounds for health and nutrition. **Journal of Food Science**, p.84, n.9, p.2387-2394, 2019. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14738>
- MUDGAL, V.; MEHTA, M. K.; RANE, A. S. Lentil straw (*Lens culinaris*): an alternative and nutritious feed resource for kids. **Animal Nutrition**, v.4, n.4, p.417-421, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.04.009>
- MUNIZ, E. B.; MIZUBUTI, I. Y.; PEREIRA, E. S.; PIMENTEL, P. G.; RIBEIRO, E. L. A.; ROCHA JÚNIOR, J. N.; CAPELARI, M. G. M.; BRITO, V. M. Cinética de degradação ruminal de carboidratos de volumosos secos e aquosos: técnica de produção de gases. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, n.3, p.1191-1200, 2011. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n3p1191>
- MUNNS, R. Genes and salt tolerance: bringing them together. **New Phytologist**, v.167, n.3, p.45-663, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01487.x>
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annu. Rev. Plant Biol.** v. 59, p. 651-681. 2008.
- NOBEL, P. S.; BOBICH, E. Initial net CO₂ uptake responses and root growth for a CAM community placed in a closed environment. **Annals of Botany**, v.90, n.5, p.593-598, 2002. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf229>
- NUNES FILHO, J.; SOUZA, A. R.; LIMA, V. A.; LIMA, B. P. Relações entre a concentração de íons e a salinidade de águas subterrâneas e superficiais, visando a irrigação, no sertão pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.189-193, 2000. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662000000200010>
- PADILHA JÚNIOR, M. C.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A. da; DONATO, P. E. R.; SOUZA, E. S. Características morfométricas e rendimento da palma forrageira Gigante sob diferentes adubações e configurações de plantio. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v.11, n.1, p.67-72, 2016. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v11i1.3710>

PEIXOTO, M. J. A.; CARNEIRO, M. S. S.; AMORIM, D. S.; EDVAN, R. L.; PEREIRA, E. S.; COSTA, M. R. G. F. Características agrônômicas e composição química da palma forrageira em função de diferentes sistemas de plantio. **Archivos de Zootecnia**, v.67, n.257, 2018, p. 35-39. <https://doi.org/10.21071/az.v67i257.3489>

PEREIRA, E. S.; QUEIROZ, A. C.; PAULINO, M. F.; CECON, P. R.; VALADARES FILHO, S. C.; MIRANDA, L. F.; ARRUDA, A. M. V.; FERNANDES, A. M.; CABRAL, L. S. Fontes nitrogenadas e uso de *Sacharomyces cerevisiae* em dietas à base de cana-de-açúcar para novilhos: consumo, digestibilidade, balanço nitrogenado e parâmetros ruminais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.2, p.563-572, 2001. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982001000200036>

PEREIRA, J. R. Solos afetados por sais. In. CAVALCANTI, F. J. de A.; SANTOS, J. C. P. dos.; PEREIRA, J. R. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação**, 3ª Ed. Recife: Instituto Agrônômico de Pernambuco – IPA, p. 212, 2008.
PEREIRA, P. C.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; MORAIS, J. E. F.; SANTOS, D. C. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. **Revista Caatinga**, v.28, n.32, p. 184-195, 2015. <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n321rc>

PEREIRA, P. de C.; SILVA, T. G. F. da; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S.; SILVA, M. J. Water balance in soil cultivated with forage cactus clones under irrigation. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 3, p. 776-785, 2017. <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n326rc>

PESSOA, A. S. Cultura da palma forrageira. Recife: **SUDENE**. Divisão de Documentação, 1967. 98p. (SUDENE. Agricultura, 5).

PESSOA, D. V.; ANDRADE, A. P.; MAGALHAES, A. L. R.; TEODORO, A. L.; SANTOS, D. C.; ARAÚJO, G. G. L.; MEDEIROS, A. N.; NASCIMENTO, D. B.; VALENÇA, R. L.; CARDOSO, D. B. Forage cactus of the genus *Opuntia* in different with the phenological phase: nutritional value. **Journal of Arid Environments**. v.181, n.1, p.104-243, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104243>

REIS, R. A.; BERTIPAGLIA, L. M. A.; FREITAS, D. et al. Suplementação protéica energética e mineral em sistemas de produção de gado de corte nas águas e nas secas. In.: Pecuária de corte intensiva nos trópicos. 1ª ed. Piracicaba: **FEALQ**, 2004, v1, p. 171- 226.
ROCHA, J. E. S. Palma Forrageira no Nordeste do Brasil: estado da arte. **Embrapa Ovinos e Caprinos**. 2012. (Documentos, 61).

RODRIGUES, M. T.; VIEIRA, R. A. M. Metodologias aplicadas ao fracionamento de alimentos. In: RODRIGUES, M. T.; BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de ruminantes**. Jaboticabal: Funep, 2006. 583 p.

ROY, S. J.; NEGRÃO, S.; TESTER, M. Salt resistant crop plants. **Curr. Opin. Biotechnol.** v.26, p.115–124. 2014.

SAMPAIO, E. V. S. B. et al. A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: **Ed. Universitária da UFPE**, p. 43-56, 2005.

SANTIAGO, E. D.; DOMÍNGUEZ-FERNÁNDEZ, M.; CID, C.; PEÑA, M. P. D. Impact of cooking process on nutritional composition and antioxidants of cactus cladodes (*Opuntia*

ficus-indica). **Food Chemistry**, v.240, n.2, p. 1055-1062, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.039>

SANTOS, D. C.; FARIAS, I.; LIRA, M. A.; FERNANDES, A. P. M.; FREITAS, E. V.; MOREIRO, J. A. A palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill e *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) em Pernambuco: cultivo e utilização. Recife: **Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária**, 1997. 23p.

SANTOS, D.C.; SILVA, M.C.; DUBEUX JR., J.C.B.; LIRA, A. M.; SILVA, R. M. Estratégias para uso de cactáceas em zonas semiáridas: novas cultivares e uso sustentável das espécies nativas. **Revista Científica de Produção Animal**, v.15, n.1, p.111-121, 2013.

<http://dx.doi.org/10.15528/2176-4158/rcpa.v15n2p111-121>

SANTOS, M. R.; DONATO, S. L. R. Irrigação da palma forrageira, **Revista Agrotecnologia**, v.11, n.1, p.75-86, 2020.

SANTOS, M. V. F.; FERREIRA, M. A.; BATISTA, A. M. V. Palma forrageira. Viçosa: UFV, 2010.

SANTOS, D. C. et al. **Níveis de nitrogênio e fósforo em palma forrageira (*Opuntia ficus – indica* Mill) clone IPA -20 sob dois espaçamentos**. In: CONGRESSO NORDESTINO DE PRODUÇÃO ANIMAL, 6., Petrolina. Anais... Petrolina: Embrapa, 2006.

SANTOS, M. V. F.; FERREIRA, M. A.; BATISTA, A. M. V. Valor nutritivo e utilização da palma forrageira na alimentação de ruminantes. In: MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E V. S. B. (Ed.). **A palma no Nordeste do Brasil, conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. 1. ed. Recife: Editora da UFPE, 2005. p. 143-162.

SANTOS, M. V. F.; FERREIRA, M. A.; BATISTA, A. M. V. Valor nutritivo e utilização da palma forrageira, p. 143-162. In: Menezes, R.S.C., Simões, D.A. & Sampaio, E.V.S.B. (ed.). **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Ed. Universitária da UFPE, Recife.

SANTOS, R. C. dos; FERREIRA, M. A.; SILVA, R. R.; ROGERIO, M. C. P.; PIMENTEL, P. G.; PINTO, P. H. N.; RIBEIRO, L. S. Meta-analysis of spineless cactus feeding to meat lambs: performance and development of mathematical models to predict dry matter intake and average daily gain. **Animal**, v. 13, n. 6, p. 1278-1285, 2019.

<https://doi.org/10.1017/S1751731119000326>.

SCALISI, A.; MORANDI, B.; INGLESE, P.; BIANCO, R. L. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. **Environmental and Experimental Botany**, v.122, p.158-167, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.10.003>

Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Trabalho - **SEDET**. Acesso à informação – Perguntas frequentes. 2019.

ŞEN, Z. Regional Wet and Dry Spell Analysis with Heterogeneous Probability Occurrences. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.20, n.9, 2015.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001144](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001144)

SIMÕES, W. L.; BRITO, L. T. L.; SILVA, M. S. L.; MATTHIENSEN, A.; COELHO, E. F.; BARBOSA, R. S.; ARAÚJO, G. G. L.; COMPECHE, D. F. B.; SANTOS, R. D.; MELO, R. F. Eficiência do uso e o abastecimento de água na produção agropecuária. In: SILVA, M. S. L.; MATTHIENSEN, A.; BRITO, L. T. L.; LIMA, J. E. F. W.; CARVALHO, C. J. R. **Água e saneamento: Contribuições da Embrapa**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. p.39-51.

SILVA, C. C. F.; SANTOS, L. C. Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes. **Revista Eletrônica de Veterinária REDVET**, v. 8, n. 05, p. 1-11, 2007. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63617167010>

SILVA, F. A. S. E.; RAO, T. V. R. Regimes pluviais, estação chuvosa e probabilidade de ocorrência de veranicos no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n.3, p. 440-446. 2002. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000300010>

SILVA, J. A. **Palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos e adubações química**. 2012. 78f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2012.

SILVA, R. C.; FERREIRA, M. A.; OLIVEIRA, J. C. V.; SANTOS, D. C.; GAMA, M. A. S.; CHAGAS, J. C. C.; INÁCIO, J. G.; SILVA, E. T. S.; PEREIRA, L. G. R. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* [Haw.] Haw.) spineless cactus as an option in crossbred dairy cattle diet. **South African Journal of Animal Science**, v.48, n.3, p.516-525, 2018. <https://doi.org/10.4314/sajas.v48i3.12>

SILVA, R. H. D. **Crescimento de palma forrageira irrigada com água salina**. 2017. 56f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa – Viçosa-MG, 2017.

SILVA, T. G. F.; PRIMO, J. T. A.; MORAIS, J. E. F.; SILVA DINIZ, W. J.; SOUZA, C. A. A.; CONCEIÇÃO SILVA, M. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v.28, p.10-18, 2015. Disponível em: https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/3630/pdf_241

SILVA, P. C. G. da; MOURA, M. S. B. de; KIILL, L. H. P.; BRITO, L. T. de L.; PEREIRA, L. A.; SA, I. B.; CORREIA, R. C.; TEIXEIRA, A. H. de C.; CUNHA, T. J. F.; GUIMARÃES FILHO, C. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (Ed.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010, cap. 1, p. 18-48.

SMITH, J. The Acid Metabolism of Crassulaceae. *Journal of Plant Biology*, v.45, n.2, p. 123-145, 2010.

SOARES II, J. C.; SILVA JÚNIOR, S. S. Palma forrageira: uma alternativa para sobrevivência no Semiárido. **Revista Cabra & Ovelha**. v.34, n.72, p.4-5, 2012.

SOARES, L. F. P.; CORRÊA, A. M. N.; SOUZA, A. F.; CARVALHO, F. F. R.; MACIEL, M. V. Milk production and the feeding costs of lactating saanen goats fed diets containing spineless cactus. **Revista Caatinga**, v.33, n.2, p.550-554, 2020. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n227rc>

SOUZA, C. M. S.; MEDEIROS, A. N.; FURTADO, D. A.; BATISTA, A. M. V.; PIMENTA FILHO, E. C.; SILVA, D. S. Desempenho de ovelhas nativas em confinamento recebendo palma-forrageira na dieta na região do semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.5, p.1146-1153, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000500028>

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 888p, 2017.

TEGEGNE, F.; KIJORA, C.; PETERS, K.J. Study on the optimal level of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) supplementation to sheep and its contribution as source of water. **Small Ruminant Research**. v.72. n.3,p.157-164, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.10.004>

TONISSI, R. H.; DE GOES, B.; DE SOUZA, K. A.; PATUSSI, R. A.; DA CUNHA CORNELIO, T.; DE OLIVEIRA, E. R.; SILVA BRABES, K. C. Degradabilidade *in situ* de grãos de crumbe, girassol e soja, e de seus coprodutos em ovinos. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.32, n.3, p.271-277, 2010. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v32i3.7913>

TOSCANO, S.; TRIVELLINI, A.; COCETTA, G.; BULGARI, R.; FRANCINI, A.; ROMANO, D.; FERRANTE, A. Effect of preharvest abiotic stresses on the accumulation of bioactive compounds in horticultural produce. **Frontiers in Plant Science**, v.10, n.3, p. 468818, 2019. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01212>

TOSTO, M. S. L., ARAÚJO, G. G. L., OLIVEIRA, R. L., BAGALDO, A. R., DANTAS, F. R., MENEZES, D. R., CHAGAS, E. C. O. Composição química e estimativa de energia da palma forrageira e do resíduo desidratado de vitivinícolas. **Revista Brasileira de Saúde Produção Animal**, v.8, n.3, p. 239-249, 2007.

VAN SOEST, P. J. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed. Ithaca: **Cornel University**, p. 476, 1994.

VASCONCELOS, A. G. V. D.; LIRA, M. D. A.; CAVALCANTI, V. L. B.; SANTOS, M. V. F. D.; WILLADINO, L. Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha do carmim (*Dactylopius* sp.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.5, p.827- 831, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000500007>

VIEIRA, E. L.; BATISTA, Â. M. V.; MUSTAFA, A. F.; ARAÚJO, R. F. S.; SOARES, P. C.; ORTOLANE, E. L.; MORI, C. K. Effects of feeding high levels of cactus (*Opuntia ficus-indica* Mill) cladodes on urinary output and electrolyte excretion in goats. **Livestock Science**, v.114, n.2-3, p.354-357, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.10.011>

YADAV, N., YADAV, R., KHARE, P. K. Formulation and evaluation of Aloe vera and *Opuntia ficus-indica*-based cosmetic cream. **International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research**, v.10, n.5, p.2275-2281, 2019. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.10\(5\).2275-81](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.10(5).2275-81).

3 OBJETIVOS

3.1 GERAL

Avaliar o efeito da irrigação com água salina e doses de matéria orgânica sobre aspectos de fracionamento de carboidratos totais, degradabilidade e cinética de fermentação ruminal, da palma forrageira, no Semiárido pernambucano, em ciclo de 18 meses.

3.2 ESPECÍFICOS

Investigar os efeitos das diferentes doses de matéria orgânica no fracionamento de carboidratos totais da palma forrageira.

Avaliar o impacto da irrigação com água salina nas taxas de degradabilidade da palma forrageira.

Analisar a cinética de fermentação ruminal da palma forrageira e como ela é influenciada pelos tratamentos de irrigação e matéria orgânica.

Verificar como os efeitos dos tratamentos sobre a palma forrageira evoluem ao final de um ciclo de 18 meses.

CAPÍTULO II

Fracionamento dos carboidratos, degradabilidade e produção de gases *in vitro* da palma forrageira irrigada com água salina e doses de adubo orgânico

RESUMO

A irregularidade pluviométrica, no Semiárido brasileiro, é um dos fatores limitantes à produção de forragem. Dessa forma, a utilização de água salina é considerada como uma alternativa viável para cultivo de espécies forrageiras adaptadas às condições semiáridas, a exemplo da palma forrageira. Deste modo, objetivou-se avaliar os efeitos do cultivo da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) com diferentes lâminas de água salina e doses de adubo orgânica sobre o fracionamento de carboidratos, degradabilidade e a cinética de fermentação ruminal *in vitro*. O experimento foi conduzido na área de Prospecção e Estudos em Agricultura Bioessalina, pertencente à EMBRAPA Semiárido, em Petrolina-PE. O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso (DBC) com quatro repetições em esquema fatorial 5x4, composto por cinco lâminas de irrigação com água salina (L0%, L12,5%, L25%, L37,5%, e L50% com base na evapotranspiração de referência - ETo) e quatro doses de adubo orgânico (0, 15, 30 e 45 Mg.ha⁻¹). Após o processamento das amostras e análises laboratoriais os dados foram submetidos a análise de variância e regressão α 0,05 de probabilidade para o erro tipo I. Observou-se interação entre as lâminas de água salina (LA) e as doses de matéria orgânica (AO), em relação às concentrações de carboidratos totais (CHOT) (P=0,032), com maior teor de CHOT em AO de 31,76 Mg.ha⁻¹ e LA de L31,68% ETo. Houve efeito quadrático do fator LA (P=0,001) e AO (P=0,001) sobre a fração A+B1 e a fração B2. A fração C apresentou efeito quadrático quanto à LA (P=0,001), com maiores concentração na lâmina L35,27% ETo. Houve efeito quadrático das AO sobre a degradabilidade efetiva (DE), com a taxa de passagem de 0,02 h⁻¹ e 0,05 h⁻¹ (P<0,001), com menor concentração na dose 29,33 Mg.ha⁻¹. A produção total de gases, sob efeito isolado das LA, apresentou um efeito quadrático (P=0,025), com maior resposta na LA de 33,91% ETo e, sob efeito das AO, observou-se comportamento linear positivo (P=0,009). Quanto ao volume de gás produzido pelas frações A+B1, constatou-se efeito isolado para a LA (P=0,001), com comportamento linear decrescente (183,30mL a 161,87mL). Dessa forma, a palma forrageira, variedade orelha de elefante mexicana, apresenta sensibilidade à salinidade, ainda que em baixas condutividade elétrica (1,73 ds.m⁻¹) e sodicidade.

Palavras-chave: agricultura bioessalina; cactácea; fermentação ruminal; *Opuntia stricta*.

ABSTRACT

Irregular rainfall in the Brazilian semi-arid region is one of the factors limiting forage production. Therefore, the use of saline water is considered a viable alternative for growing forage species adapted to semi-arid conditions, such as cactus pear. In this way, the objective was to evaluate the effects of cultivating the forage cactus Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) with different levels of saline water and doses of organic fertilizer on the fractionation of carbohydrates, degradability and the kinetics of in vitro rumen fermentation. The experiment was conducted in the Prospecting and Studies in Biosaline Agriculture area, belonging to EMBRAPA Semiárido, in Petrolina-PE. The design used was in randomized blocks (DBC) with four replications in a 5x4 factorial scheme, consisting of five irrigation depths with saline water (0%, 12.5%, 25%, 37.5%, and 50% based on in reference evapotranspiration - ETo) and four doses of organic fertilizer (0, 15, 30 and 45 Mg.ha⁻¹). After processing the samples and laboratory analysis, the data were subjected to analysis of variance and regression α 0.05 probability for type I error. An interaction was observed between the saline water blades (WB) and the doses of organic matter (OF), in relation to total carbohydrate concentrations (TC) (P=0.032), with a higher TC content in OF of 31.76 Mg.ha⁻¹ and WB of 31.68% ETo. There was a quadratic effect of the factor WB (P=0.001) and OF (P=0.001) on the A+B1 fraction and the B2 fraction. Fraction C showed a quadratic effect on WB (P=0.001), with higher concentrations in the WB layer, 35.27% ETo. There was a quadratic effect of OF on effective degradability (ED), with a passage rate of 0.02 h⁻¹ and 0.05 h⁻¹ (P<0.001), with a lower concentration at the dose of 29.33 Mg.ha⁻¹. Total gas production, under the isolated effect of WB, showed a quadratic effect (P=0.025), with a greater response in WB of 33.91% ETo and, under the effect of OF, a positive linear behavior was observed (P=0.009). Regarding the volume of gas produced by fractions A+B1, an isolated effect was observed for LA (P=0.001), with a linear decreasing behavior (183.30mL to 161.87mL). Thus, the forage cactus, Mexican elephant ear variety, is sensitive to salinity, even at low electrical conductivity (1.73 ds.m⁻¹) and sodicity.

Keywords: biosaline agriculture; cactus; rumen fermentation; *Opuntia stricta*.

1 INTRODUÇÃO

As regiões áridas e semiáridas são mais comumente afetadas pela baixa disponibilidade de água de boa qualidade, o que ressalta a necessidade do uso de técnicas da irrigação, a fim de promover o desenvolvimento agropecuário. Contudo, surge um dilema entre a utilização da água potável nesse setor e os demais setores da sociedade (AZEVEDO JÚNIOR *et al.*, 2019). Por conseguinte, faz-se necessário dispor de outras fontes alternativas de recurso hídrico para o uso de produção, haja vista que pode utilizar-se de águas de qualidade inferior, impróprias ao consumo humano, nesse setor (OLIVEIRA *et al.*, 2013; REBOUÇAS *et al.*, 2010), a exemplo da água salobra.

Diante desse cenário, o Semiárido brasileiro é marcado pela ocorrência do balanço hídrico negativo (ARAÚJO, 2011), isto é, a taxa de evapotranspiração supera a taxa de precipitação. Essas condições naturais (alta evapotranspiração e baixa precipitação) podem resultar na salinização das águas subterrâneas (WALTER *et al.*, 2018). Ademais, outros aspectos, como drenagem deficiente, manejo do solo, material de origem, elevação do lençol freático e uso excessivo de fertilizantes minerais, podem também contribuir para esse fenômeno (BRAZ, 2018). Nesse sentido, existe uma ampla quantidade de poços perfurados no Semiárido, entretanto boa parte dessa água é inutilizada, por ser salobra, ou seja, apresenta alto teor salino (SANTOS *et al.*, 2020).

Nesse contexto, nas regiões semiáridas, devido ao baixo conteúdo de água nos solos, os minerais primários e secundários passam por processos de degradação química incipientes (intemperismo químico muito lento), a saber, reações de hidrólise, hidratação, carbonatação e oxirredução limitam-se a um curto espaço temporal, com pouca liberação de eletrólitos para a solução do solo. Todavia, com o decurso do tempo, há acumulações de cátions e ânions que, em vista da alta evapotranspiração, tendem a precipitar-se, formando sais (SANTOS *et al.*, 2016).

Níveis elevados de sais, na água de irrigação, acarretam menor diferença de potencial hídrico entre o solo e a planta e, por conseguinte, dificulta a absorção de água pelo sistema radicular, já que torna a solução do solo hipersaturada. Dessa forma, à medida que se aumenta o conteúdo de sais na água, mais difícil torna-se o influxo de água da solução do solo para o sistema radicular das plantas, podendo, em situações mais extremas, ocasionar perda de água da célula para o meio. Além disso, pode causar problemas de fitotoxicidade (toxicidade direta

para vários processos fisiológicos ou desequilíbrios nutricionais) com diferentes níveis de tolerância entre as espécies vegetais (DIAS *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2016).

As condições salinas, portanto, promovem redução do potencial osmótico das células, sem redução de volume, ocorrendo o ajustamento osmótico, o que vincula a plasmólise a situações de salinidade severas ou ao choque osmótico. Entretanto, mesmo em plantas ajustadas osmoticamente, reduz-se o fluxo de água no sistema solo-planta, pois a salinidade afeta a condutividade hidráulica nas raízes, e as plantas tendem a reduzir a abertura estomática e o fluxo transpiratório sob condição de estresse osmótico (SANTOS *et al.*, 2016).

Nesse sentido, a palma forrageira destaca-se frente às particularidades climáticas do Semiárido, haja vista que apresenta momentos cronológicos distintos entre abertura e fechamento dos estômatos (SANTOS *et al.*, 2006), motivo pelo qual são classificadas como plantas de metabolismo ácido das crassuláceas - CAM. Dessa forma, a abertura dos estômatos, à noite, e o fechamento estomático, durante o dia, são uma importante estratégia para o uso eficiente da água sob condições de estresse hídrico, contudo, em relação ao estresse salino, não há ainda um consenso na literatura, embora as plantas CAM não disponham de um mecanismo eficiente para metabolizar o excesso de sais no solo ou na água. Sob esse viés, cada órgão que compõe a palma forrageira, como raízes, folhas, acúleos, flor e fruto, adapta-se bastante ao clima semiárido, no sentido de proporcionar melhor eficiência no uso da água (BORBA *et al.*, 2008).

A adaptação da palma forrageira ao Semiárido contribui para a segurança alimentar dos sistemas pecuários, atuando como suporte alimentar de bovinos, caprinos e ovinos (FARIAS *et al.*, 2005). Essa cactácea requer solos férteis, de forma que a fertilidade do solo é indispensável ao cultivo dessa forrageira (DUBEUX JR. *et al.*, 2006). Contudo, em solos de ambientes áridos e semiáridos, os teores de matéria orgânica, geralmente, são baixos, de forma que a produtividade vegetal depende dos níveis de fertilidade natural, bem como da ciclagem de nutrientes (SAMPAIO *et al.*, 1995).

Outro ponto importante diz respeito à interação entre salinidade e fertilidade do solo, ou seja, altas concentrações de sais solúveis e de sódio trocável nos solos atuam negativamente na fertilidade do solo. A salinidade e a sodicidade adicionam um alto nível de complexidade para a nutrição mineral das culturas, ao alterar a atividade dos íons, em solução, bem como os processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição. Essa complexidade diz respeito às diferenças na concentração e na composição iônica dos meios salinos, em decorrência dos nutrientes essenciais envolvidos e das diferentes respostas das

plantas tanto em relação à salinidade quanto à eficiência na aquisição de nutrientes do solo (SANTOS *et al.*, 2016).

Para Sánchez *et al.* (2014) a adição de matéria orgânica pode ajudar a reduzir o impacto negativo da água salina no solo e nas plantas, devido aos efeitos benéficos da matéria orgânica na melhoria das propriedades físicas e químicas do solo, incluindo a redução da salinidade, aumento da capacidade de retenção de água e melhoria da atividade biológica. Além disso, a matéria orgânica pode aumentar a tolerância das plantas à salinidade, melhorando o desenvolvimento radicular, a atividade fotossintética e a produção de colheitas.

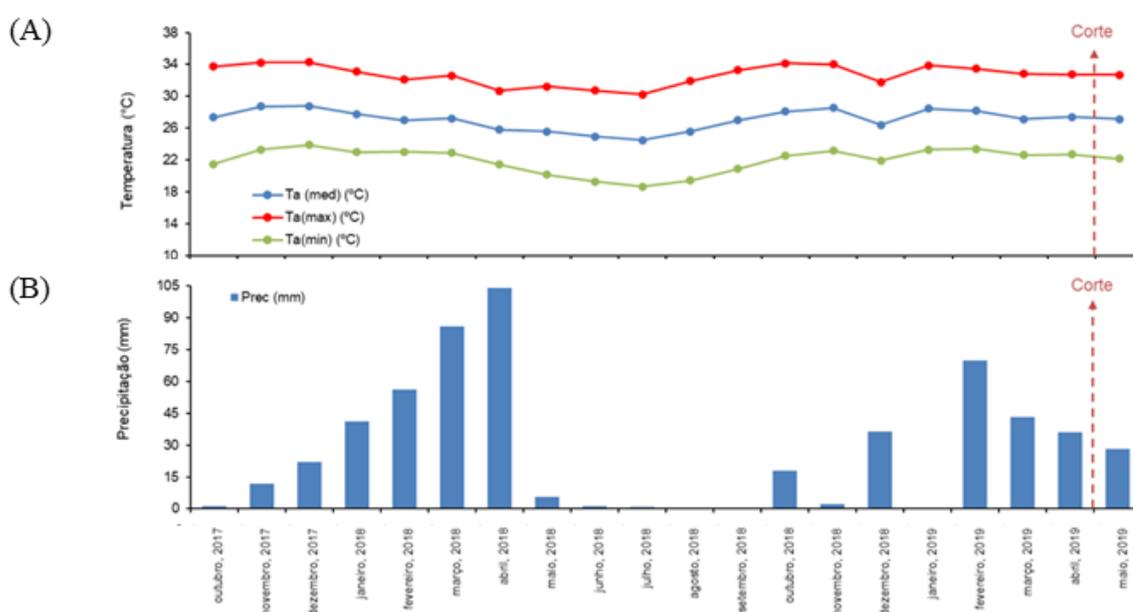
Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos da irrigação com água salina e do uso de adubação orgânica acerca do fracionamento de carboidratos totais, da degradabilidade e da cinética de fermentação ruminal, por meio da técnica *in vitro* de produção de gases da palma forrageira, variedade Orelha de Elefante Mexicana, no Semiárido pernambucano, em ciclo de 18 meses.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido na área de Prospecção e Estudos em Agricultura Bioassalina do campo experimental da caatinga, pertencente à EMBRAPA Semiárido, em Petrolina-PE (latitude 09°04'16,4" Sul, longitude 40°19'5,37" Oeste e altitude de 379 metros de altitude). O Clima da região é classificado, segundo a classificação de Alvares *et al.* (2013) como semiárido do tipo BShw". Durante o período experimental (18 meses) foram observadas as seguintes temperatura e precipitações (Figura 1).

Figura 1- Condições ambientais da área experimental: Temperatura do ar (A) e Precipitação pluviométrica (B).



Fonte: Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Semiárido.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

A água utilizada, no experimento, é classificada como C3S1, de acordo com a classificação de Richards (1954), que indica alta salinidade, teor de sódio baixo e dureza média de 109,76 mg.L⁻¹, considerada como moderada (75-150 mg.L⁻¹), baseado em carbonato de cálcio, oriunda de poço subterrâneo, com vazão aproximada de 1500 L por hora. Mensalmente, coletaram-se amostras para análise físico-química (Tabela 2).

Tabela 2 - Composição química da água utilizada na irrigação ao longo dos dezoito meses.

	Elementos	Descrição	Unidade	Resultados
Cátions	Ca ²⁺	Cálcio	mmol.L ⁻¹	15,14
	Mg ²⁺	Magnésio	mmol.L ⁻¹	6,89
	Na ⁺	Sódio	mmol.L ⁻¹	3,72
	K ⁺	Potássio	mmol.L ⁻¹	0,29
		Soma	mmol.L ⁻¹	30,84
Ânions	CO ₃ ²⁻	Cloretos	mmol.L ⁻¹	3,7
	HCO ₃ ⁻	Bicarbonatos	mmol.L ⁻¹	2,63
	SO ₄ ²⁻	Sulfatos	mmol.L ⁻¹	22,4
		Soma	mmol.L ⁻¹	35,62
	pH	Potencial hidrogeniônico	-	7,38
	CE	Condutividade elétrica	ds.m ⁻¹	1,73
	Sodi.	Sodicidade	-	Baixa

Fonte: Laboratório Agroambiental - Embrapa Semiárido.

Quanto ao tipo de solo da área, classificou-se como Argissolo Amarelo Eutrófico Abruptico Plíntico (EMBRAPA, 2013), situado em relevo plano, com textura média. Realizou-se a análise química do solo, na fase pré-experimental (Tabela 3), no Laboratório de Solos e Tecido Vegetais da Embrapa Semiárido, conforme as metodologias descritas no Manual de Métodos de Análise de Solo (TEIXEIRA *et al.*, 2017). Ademais, procedeu-se a análise química do adubo orgânico aplicado (Tabela 4).

Tabela 3 - Composição química das amostras de solo coletadas, na área experimental, antes da implantação do experimento.

Amostra	pH	C.E	C	N	P	K	Na	Ca	Mg
	-	mS.cm ⁻¹	g.kg ⁻¹		mg.dm ⁻³		Cmol.dm ⁻³		
0-10 cm	6,1	1,06	5,2	0,43	2,97	0,34	0,24	1,5	0,6
10-20 cm	6,0	0,30	4,9	0,43	2,5	0,30	0,21	1,2	0,7
20-40 cm	5,5	0,24	3,7	0,38	0,61	0,18	0,03	1,6	0,6
Amostra	H+Al	SB	CTC	V	Cu	Fe	Mn	Zn	
	Cmol.dm ⁻³			%	mg.dm ⁻³				
0-10 cm	2,1	2,7	4,8	56,3	0,54	12,9	9,6	15,38	
10-20 cm	2,7	2,4	5,1	47	0,5	6,2	20	3,66	
20-40 cm	3	2,4	5,5	44,2	1,06	7,9	8,9	22,34	

Fonte: Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Semiárido. pH – potencial hidrogeniônico; C.E. – condutividade elétrica; C – carbono; N – nitrogênio; P – fósforo; K – potássio; Na – sódio; Ca – cálcio; Mg – magnésio; H+Al – acidez potencial; SB – Somas das bases; CTC – capacidade de troca catiônica; V – saturação por bases; Cu – cobre; Fe – ferro; Mn – manganês; Zn – zinco.

Tabela 4 - Análise do adubo orgânico utilizado na área experimental.

CE	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
mS.cm ⁻¹	-			cmol.dm ⁻³				Mg.dm ⁻³		
12,27	8,3	355,39	243,5	20,3	6,4	2,5	1,45	5,36	58,13	2,43

Fonte: Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Semiárido.

O experimento foi conduzido em uma área já implantada, em abril de 2015, sob espaçamento de 1,6x0,4 m, totalizando 15.625 plantas por hectare. Em setembro de 2017, realizou-se o corte de uniformização, e foram determinados os tratamentos: a parcela principal constituiu-se de cinco lâminas de água (0%; 12,5%; 25%; 37,5% e 50% de ETo); e as subparcelas constituíram-se de quatro níveis de adubo orgânico (0, 15, 30, e 45 T.ha⁻¹) de esterco misto de caprinos e bovinos curtido. Efetuou-se a irrigação (700 mm) em todos os tratamentos até primeiro de outubro de 2017. Após esse período, iniciou-se a irrigação segundo a lâmina determinada para cada tratamento, dando início à fase experimental.

A irrigação foi efetuada por gotejamento superficial, por meio de tubo gotejador com emissores de vazão de 1,5 L.h⁻¹, diâmetro nominal (DN) de 16 mm e espaçamento 0,20 m entre si, com coeficiente de uniformização de 93% e vazão de 0,9 L.h⁻¹, duas vezes na semana, tendo como base a evapotranspiração de acordo com cada tratamento. Os valores da evapotranspiração de referência (ETo) foram determinados mediante a equação original de Penman-Monteith padronizado pela FAO/56 (ALLEN *et al.*, 1998). Os coeficientes da cultura (K_c) foram determinados para cada estágio de desenvolvimento, usando a seguinte relação (BERNARDO *et al.*, 2005):

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o}$$

Em que: ET_c = evapotranspiração da cultura (mm.dia⁻¹);

ET_o = evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹).

Os dados agrometeorológicos necessários, para a determinação de ETo, foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018) e, para a determinação de ET_c, pelo balanço de água do solo. Durante o experimento, mensurou-se a quantidade de água precipitada e irrigada em milímetros (Tabela 5).

Tabela 5 - Quantidade de água precipitada e irrigada (mm) durante o experimento.

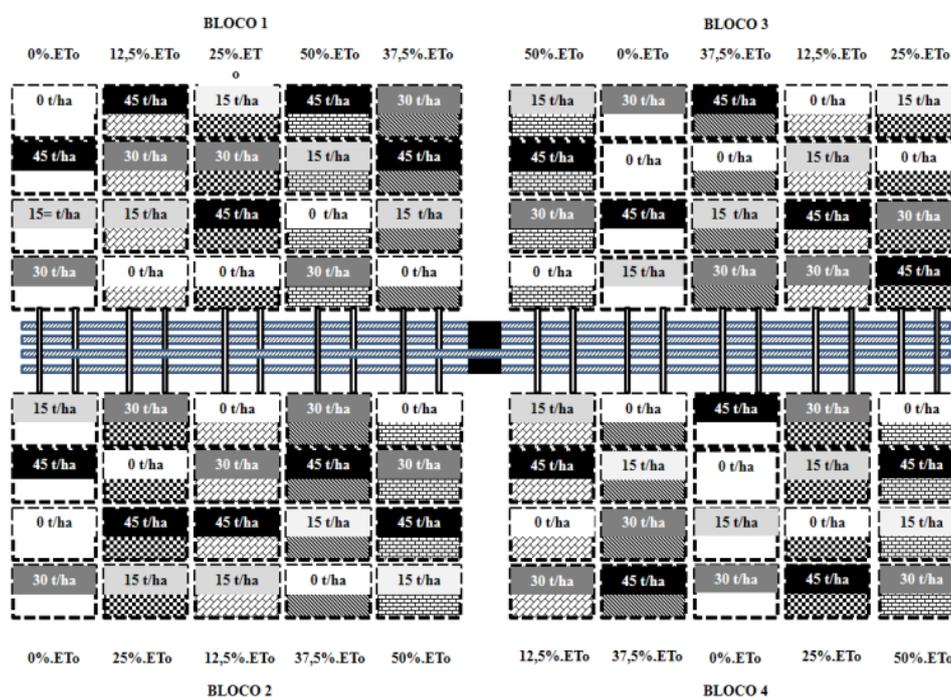
Lâminas	Precipitação (mm)	Irrigação (mm)	Total (mm)
L0% ETo	535,0	0,0	535,0
L12,5% ETo	535,0	88,9	623,9
L25% ETo	535,0	117,8	652,8
L37,5% ETo	535,0	266,7	801,7
L50% ETo	535,0	355,6	890,6

Fonte: Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Semiárido.

2.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso (DBC), em arranjo fatorial 5 x 4, composto por cinco lâminas de irrigação com água salina (L0%, L12,5%, L25%, L37,5%, e L50% de ETo) e quatro doses de adubo orgânico (0, 15, 30 e 45 Mg.ha⁻¹), totalizando 80 parcelas (Figura 2). Cada uma contendo 50 plantas, destas, 32 plantas referentes a bordaduras, permanecendo 18 plantas por parcelas, dentre elas, seis plantas centrais foram utilizadas para avaliações. Cada unidade experimental submetida aos tratamentos de lâminas de água e doses de adubo orgânico possuía 32 m² (8 x 4 m), dos quais 15,36 m² (4,8 x 3,2 m) referiram-se à área útil. Ao longo do ciclo da cultura, foram realizados os tratos culturais necessários para reduzir a incidência de plantas daninhas e de pragas.

Figura 2- Representação esquemática do delineamento experimental.



2.4 ANÁLISES LABORATORIAIS

Os cladódios foram cortados em pequenos pedaços, pré-secos em estufa, com ventilação de ar forçada a 55 °C, até atingir o peso constante. Após, foram moídos em partículas de 2 mm e 1 mm. As análises foram realizadas nos Laboratórios de Nutrição Animal (LANA) e de Produção de Gases, no Centro Laboratorial de Apoio à Pesquisa da Unidade Acadêmica de Garanhuns (CENLAG), da Universidade Federal do Agreste Pernambuco.

Os carboidratos totais (CHOT) foram calculados, conforme a fórmula de Sniffen et al. (1992): $CHOT = 100 - (PB + EE + MM)$.

Os carboidratos não fibrosos (CNF), que correspondem às frações A+B1, foram obtidos pela diferença entre os CHOT e FDN corrigida para cinzas e proteína (FDN_{cp}), realizada de acordo com Van Soest *et al.* (1991), com modificações propostas por Senger *et al.* (2008). Assim, obteve-se FDN_{cp}, após 40 min, a 110°C, na autoclave. A fração C, representada pela FDN indigestível, foi determinada, após 288 horas de incubação *in situ* de um grama de amostra, em sacos F57 da ANKON, em bovino fistulados no rúmen (VALENTE *et al.*, 2011). Quanto à fração B2, esta foi determinada pela diferença entre a FDN_{cp} e a fração C.

A degradabilidade *in vitro* realizou-se de acordo com o primeiro estágio da metodologia de Tilley e Terry (1963), a partir da incubação *in vitro* de 600 mg de amostra seca ao ar, com 60 mL de meio nutritivo (combinação das soluções A + B, em pH 6,8) e 15 mL de inóculo, coletado de bovino fistulado no rúmen, filtrado em quatro camadas de gaze, injetando constantemente CO₂ até o fechamento dos jarros, para manter o meio anaeróbico. Incubou-se o material nos intervalos de 0, 3, 6, 9, 12, 18, 24, 36 e 48 horas; no tempo zero, as amostras passaram apenas por lavagem com água destilada. Nos demais tempos, os materiais foram incubados em estufa com temperatura constante de 39°C.

Ao atingir tempo de incubação, a fermentação foi cessado com banho de gelo e posteriormente, filtrado em cadinhos de vidro com porosidade nº 1, previamente, pesados, com lavagem constante com água destilada. Para estimar os parâmetros a, b e c, foi utilizado o modelo proposto por Orskov e McDonald (1979), com o auxílio do procedimento PROC NLIN do programa estatístico SAS (2002): $148 DP = a + b (1 - e^{-ct})$, em que: **DP** = degradabilidade acumulada do componente nutritivo analisado, após um tempo t; **a** = intervalo da curva de degradabilidade quando t = 0; **b** = potencial de degradabilidade da

fração insolúvel do componente nutritivo analisado; **c** = taxa de degradação por ação fermentativa da fração **b**.

Uma vez calculados os parâmetros **a**, **b** e **c**, estes foram aplicados à equação proposta por Orskov e McDonald (1979): $DE = a + ((b * c) / (c + k))$, em que: **DE** = degradabilidade ruminal efetiva do componente nutritivo analisado; **k** = corresponde à taxa estimada de passagem das partículas no rúmen (0,02 e 0,05%/h).

Para a produção de gases, foi utilizada a técnica *in vitro* semiautomática, com transdutor de pressão, proposta Theodorou *et al.* (1994). As amostras foram incubadas em frascos (160 mL), com 1,0 g de amostra, juntamente, com 90 mL de meio nutritivo de Goering e Van Soest (1970), aos quais foram injetados CO₂ constantemente, e 10 mL de líquido ruminal do mesmo bovino citados anteriormente. Em seguida, os frascos foram vedados, com rolhas de borracha e com lacres de alumínio, e incubados em uma estufa com temperatura constante de 39°C. A produção cumulativa de gases foi estimada, por meio da mensuração da pressão dos gases produzidos, no decorrer do processo fermentativo, utilizando-se transdutor de pressão (LOGGER AG100 - Agricer), por meio de seringas graduadas para volume de gás, nos tempos 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36, 42 e 48h, após incubação.

A partir da equação, foram utilizados os dados observados (psi) para obtenção do volume de gás produzido durante a incubação. Para determinação dos parâmetros, foi utilizado o modelo logístico bicompartimental (SCHOFIELD; PITT; PELL, 1994) com auxílio do PROC NLINMIXED do SAS (2002):

$$Vt = Vf1/1 + e[2-4k1(t-\lambda)] + Vf2/1 + e[2-4k2(t-\lambda)] + \epsilon.$$

Em que: **Vt**= volume total de gases produzido,

Vf1 = volume de gases produzido pela degradação da fração A+B1 do Sistema de Cornell (CNF), de rápida fermentação,

Vf2 = volume de gases produzido pela degradação da fração B2 do Sistema de Cornell (CF), de lenta degradação,

k1 = taxa específica de produção de gases pela degradação da fração A+B1 (CNF),

k2 = taxa específica de produção de gases pela degradação da fração B2 (CF),

t = tempo de fermentação, λ = fase de latência, e = exponencial e ϵ = erro experimental associado a cada observação.

2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As variáveis foram submetidas à análise de variância, para analisar a significância das interações entre os fatores estudados pelo Teste F, a 5% de probabilidade. Quando houve apenas efeito isolado dos fatores, procedeu-se análise de regressão. As interações significativas foram desdobradas em superfície de resposta, e as médias das variáveis respostas foram comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Utilizou-se este modelo estatístico:

$$Y_{ijla} = \mu + Li + Aj + Bl + (LA)_{ij} + e_{ijla}$$

Em que: Y_{ij} = valor observado para a variável resposta obtido para o i -ésimo tratamento em sua j -ésima repetição;

μ = média geral;

Li = efeito do i -ésimo lâmina de irrigação;

Aj = efeito do j -ésimo adubo orgânico;

Bl = efeito do l -ésimo do bloco;

$(LA)_{ij}$ = interação da lâmina de irrigação e adubo orgânico;

e_{ij} = erro experimental associado a cada observação.

3 RESULTADOS

Não houve efeito de interação entre as lâminas de irrigação (LA) e as doses de adubo orgânico (AO) sobre as frações A+B1 (P=0,142); B2 (P=0,141) e C (P= 0,437) (Tabela 6). As doses de adubo orgânico não alteraram (P=0,143) a fração C da palma forrageira (Tabela 6).

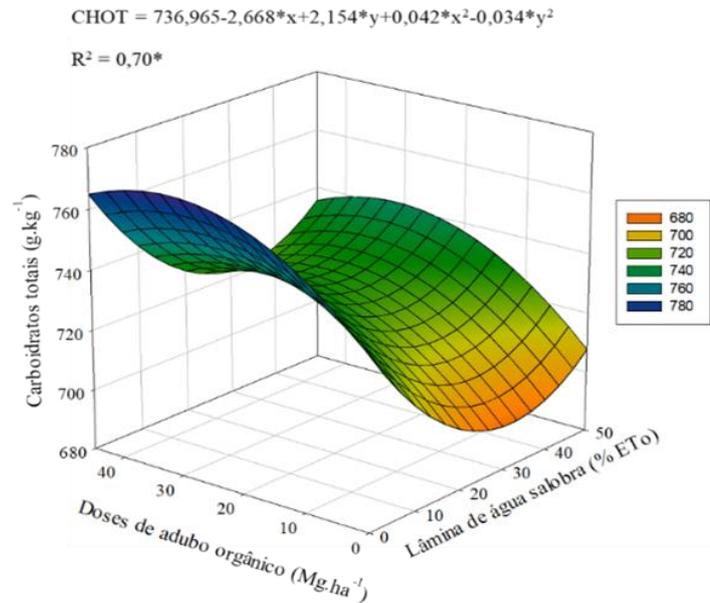
Tabela 6 – Fracionamento dos carboidratos da palma forrageira variedade Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) em função das lâminas de irrigação e adubação orgânica.

Variáveis	Lâmina de água salobra (LA, % ET0)					EPM	Doses de adubo orgânico (AO, Mg.ha ⁻¹)				EPM	P_valor		
	0,0	12,5	25,0	37,5	50,0		0	15	30	45		LA	AO	LxAO
CHOT	762,92	720,77	724,49	719,06	726,97	5,007	707,80	738,21	738,83	738,54	6,776	<0,001	<0,001	0,032
A+B1	745,01	694,58	675,52	667,99	692,92	5,915	728,19	685,47	679,49	687,67	9,150	<0,001	<0,001	0,142
B2	208,72	254,86	265,04	276,56	251,21	5,426	222,92	258,65	265,82	257,72	8,167	<0,001	<0,001	0,141
C	46,27	50,55	59,44	55,44	55,87	1,547	48,88	55,87	54,69	54,61	2,814	<0,001	0,143	0,437

P-valor – probabilidade estatística; LA – lâminas de irrigação; AO – adubação orgânica; LxAO – interação entre as lâminas de irrigação e adubação orgânica; EPM – erro padrão da média; CHOT – carboidratos totais. A+B1 – fração solúvel com rápida degradação ruminal; B2 – fração potencialmente degradável com taxa de degradação mais lenta; C – Fração indigestível.

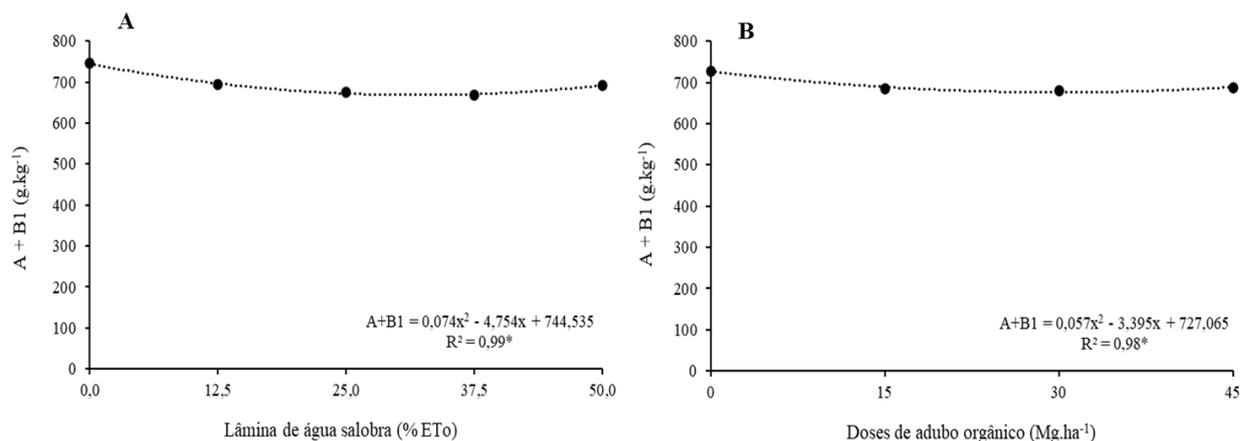
Houve interação entre as lâminas de irrigação e a adubação orgânica (P=0,032) sobre os teores de carboidratos totais (CHOT) da palma forrageira, demonstrando que a associação entre a AO de 31,76 Mg.ha⁻¹ (779,34 g.kg⁻¹ MS) e a lâmina de irrigação 31,68% ETo (771,08 g.kg⁻¹ MS) conferem em maiores concentrações de CHOT na palma forrageira (Figura 3).

Figura 3- Interação de doses de adubo orgânico ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e de lâminas de água salobra (%ETO) acerca das concentrações de carboidratos totais (CHOT; $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) da palma forrageira, variedade Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.).



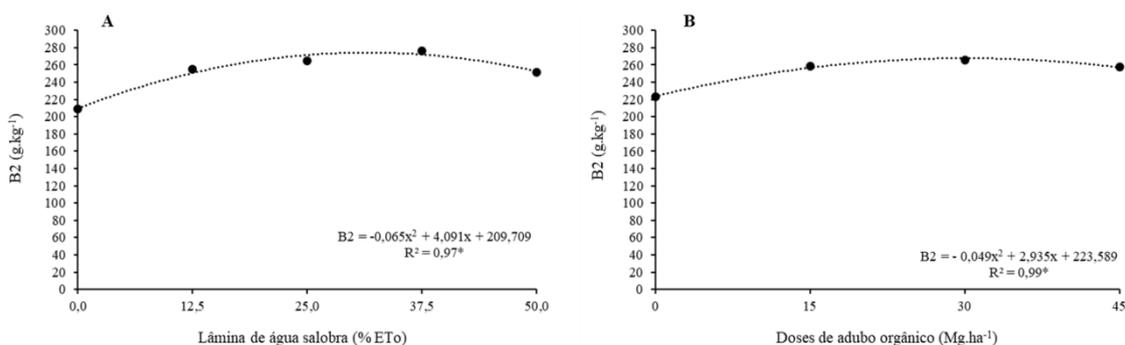
As lâminas de água salobra influenciaram de forma quadrática ($P < 0,001$) a fração A+B1 (carboidratos rapidamente degradáveis) demonstrando um ponto de mínima de $668,32 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ da fração A+B1 ao nível $32,09\%$ ETO (Figura 4A). Houve efeito quadrático ($P < 0,001$) das doses de adubo orgânico sobre a fração A+B1 (Figura 4B) o modelo demonstra um ponto de mínima de $676,51 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de A+B1 quando aplicado $29,78 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de adubo orgânico (Figura 4B).

Figura 4- Efeito das lâminas de água salobra (%ETO) (A) e Efeito de doses de adubo orgânico (B) acerca da fração A+B1 da palma forrageira, variedade Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.).



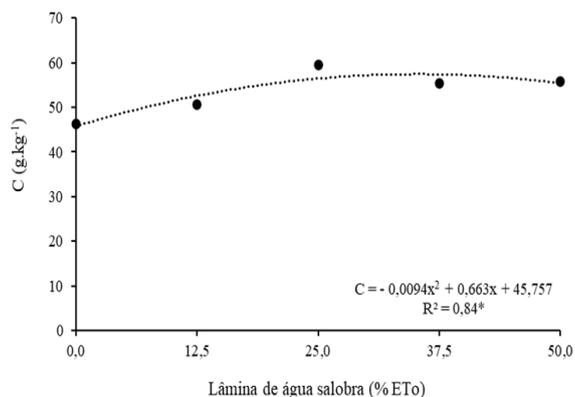
A fração B2 apresentou um comportamento quadrático em função das lâminas de irrigação ($P < 0,001$) demonstrando um ponto de máxima de $274,07 \text{ g.kg}^{-1}$ CHOT da fração B2 para uma aplicação de uma lâmina de $31,46 \%$ da ETo (Figura 5A). Observou-se um ajuste de modelo quadrático ($P < 0,001$) das doses de adubo orgânico sobre a fração B2 da palma forrageira (Tabela 6). O modelo demonstra um ponto de máxima da fração B2 de $267,53 \text{ g.kg}^{-1}$ CHOT quando aplicado $29,94 \text{ Mg.ha}^{-1}$ de adubo orgânico (Figura 5B).

Figura 5- Efeitos das lâminas de água salobra (%ETo) (A) e de doses de adubo orgânico (B) sobre a fração B2 da palma forrageira, variedade Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.).



A aplicação de água salobra influenciou de forma quadrática ($P = 0,001$) a fração C dos carboidratos (Tabela 6), a equação de regressão demonstra um ponto de máxima de $57,45 \text{ g.kg}^{-1}$ CHOT da fração C quando aplicada uma lâmina $35,27 \%$ ETo (Figura 6). Não houve efeito das doses de adubo orgânico ($P = 0,143$) sobre a fração C dos carboidratos (Tabela 6).

Figura 6- Efeito isolado das lâminas de água salina (%ETo) sobre a fração C da palma forrageira, variedade Orelha de elefante mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.).



Não houve efeito de interação entre as lâminas de irrigação e as doses de adubo orgânico (Tabela 7) sobre a fração solúvel em água (a, $P = 0,957$); fração insolúvel

potencialmente degradável (b, $P=0,450$) e a fração não degradável (c, $P=0,693$) (Tabela 7). Não foi observado interação entre as lâminas de irrigação e as doses de adubo orgânico sobre a degradabilidade efetiva (DE) a 0,02 e 0,05 (Tabela 7).

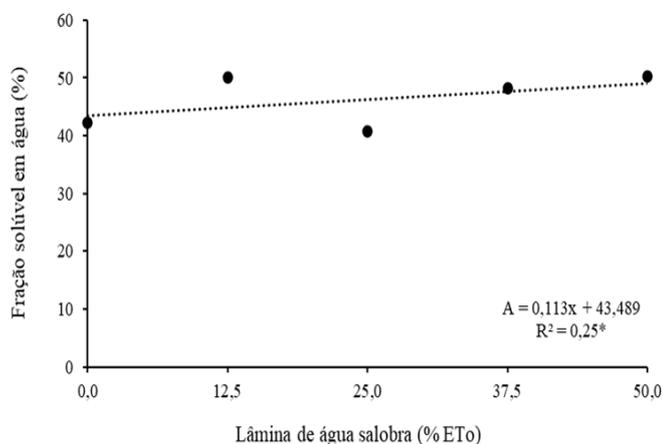
Tabela 7 – Parâmetros da degradabilidade da palma forrageira variedade Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) em função das lâminas de irrigação e adubação orgânica.

Variáveis	Lâmina de água salobra (LA, % ETo)					EPM	Doses de adubo orgânico (AO, Mg.ha ⁻¹)				EPM	P-valor		
	0,0	12,5	25,0	37,5	50,0		0	15	30	45		LA	AO	LxAO
A	42,27	50,01	40,78	48,29	43,83	2,32	50,55	43,75	45,26	40,58	2,08	0,029	0,011	0,957
B	48,78	42,65	52,59	43,31	37,10	2,00	42,13	43,16	46,76	47,49	1,79	0,051	0,102	0,450
C	0,056	0,061	0,061	0,048	0,035	0,005	0,057	0,047	0,052	0,052	0,004	0,052	0,506	0,693
DE 0,02	77,22	81,63	79,51	77,39	68,06	3,25	80,26	73,77	78,31	74,70	2,91	0,490	0,358	0,890
DE 0,05	67,32	72,96	68,92	68,41	59,95	2,93	71,85	64,68	68,56	64,95	2,62	0,440	0,182	0,952

P-valor – probabilidade estatística; LA – lâminas de irrigação; AO – adubação orgânica; LxAO – interação entre as lâminas de irrigação e adubação orgânica; EPM – erro padrão da média; a – fração solúvel em água (%); b – fração insolúvel potencialmente degradável (%); C – fração não degradável (%); DE 0,02 – degradabilidade efetiva (%) com taxa de passagem de 2%/h; DE 0,05 – degradabilidade efetiva (%) com taxa de passagem de 5%/h.

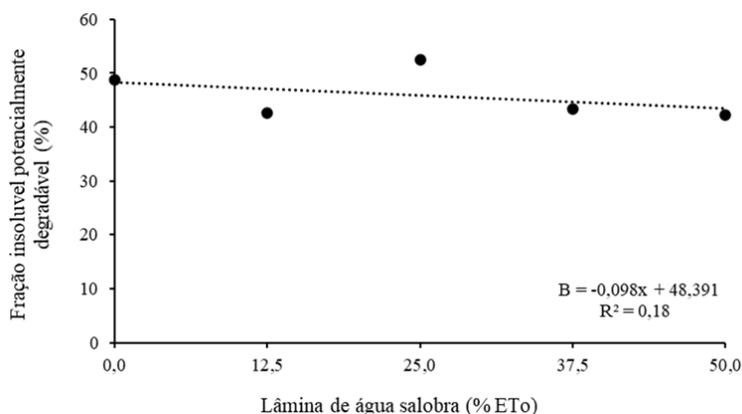
Na fração solúvel em água, verificou-se um comportamento linear crescente ($P<0,001$) em função da lâmina de água salobra (Figura 7), demonstrando um aumento de 0,11% da fração solúvel em água a cada 1% da lâmina de irrigação com água salobra aplicada (Figura 7), o percentual da fração solúvel em água também aumentou, contudo, para as doses de adubo orgânico, não apresentou efeito significativo ($P = 0,029$).

Figura 7- Efeito das diferentes lâminas de irrigação com água salobra (%ETo) sobre a fração solúvel em água (a) da palma forrageira, variedade Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.).



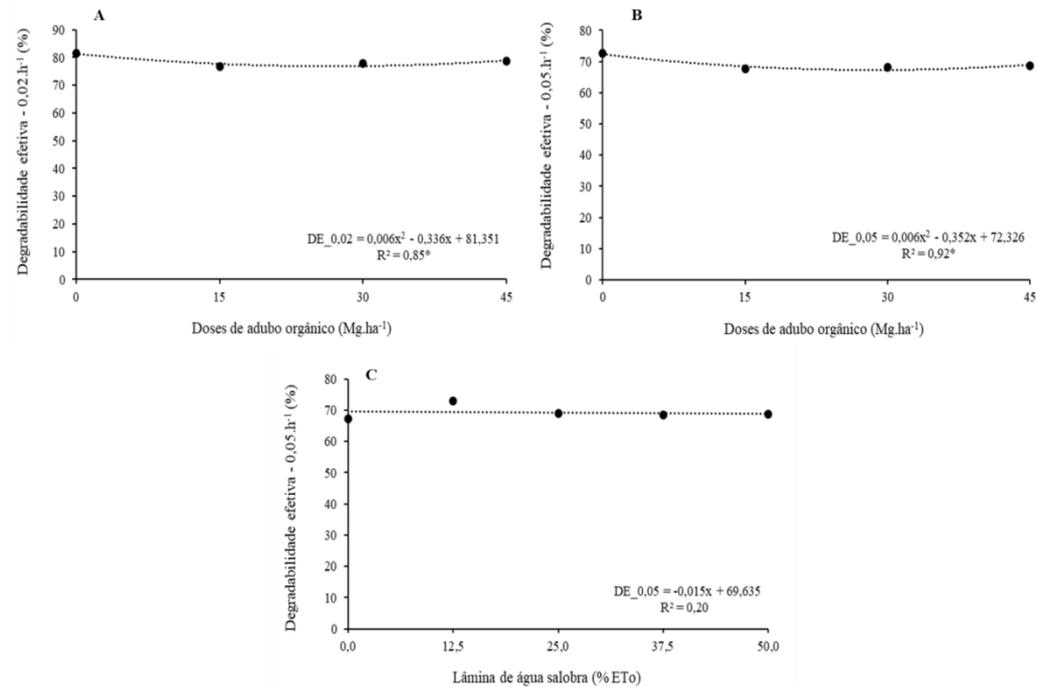
A fração insolúvel potencialmente degradável não foi influenciada pelas lâminas de irrigação ($P=0,080$) (Figura 8), demonstrando um valor médio de 44,88% (Tabela 7).

Figura 8- Efeito das lâminas de água salobra (%ETo) sobre a fração insolúvel em água (b) da palma forrageira, variedade Orelha de elefante mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.).



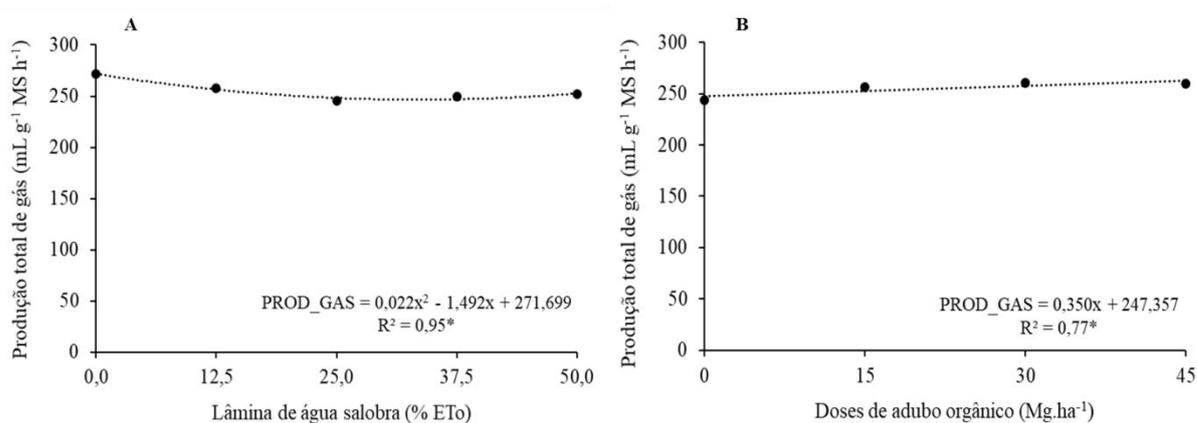
Houve efeito quadrático ($P<0,001$) com ponto de mínima (76,65) das doses de adubo orgânico, em relação à degradabilidade efetiva (DE), tanto conforme a taxa de passagem de $2\% \text{ h}^{-1}$ (Figura 9A) quanto conforme a taxa de passagem de $5\% \text{ h}^{-1}$ ($P<0,001$), com menor concentração no nível $29,33 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Figura 9B). Não houve efeito das lâminas de água salina ($P >0,05$) sobre a degradabilidade efetiva a $0,02 \text{ h}^{-1}$ e $0,05 \text{ h}^{-1}$ da palma forrageira (Figura 9C).

Figura 9- Efeitos do adubo orgânico ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) sobre a degradabilidade efetiva a $0,02\text{ h}^{-1}$ (A); das doses de adubo orgânico acerca da degradabilidade efetiva a $0,05\text{ h}^{-1}$ (B) e das lâminas de água salina acerca da degradabilidade efetiva a $0,05\text{ h}^{-1}$ da palma forrageira, variedade Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.).



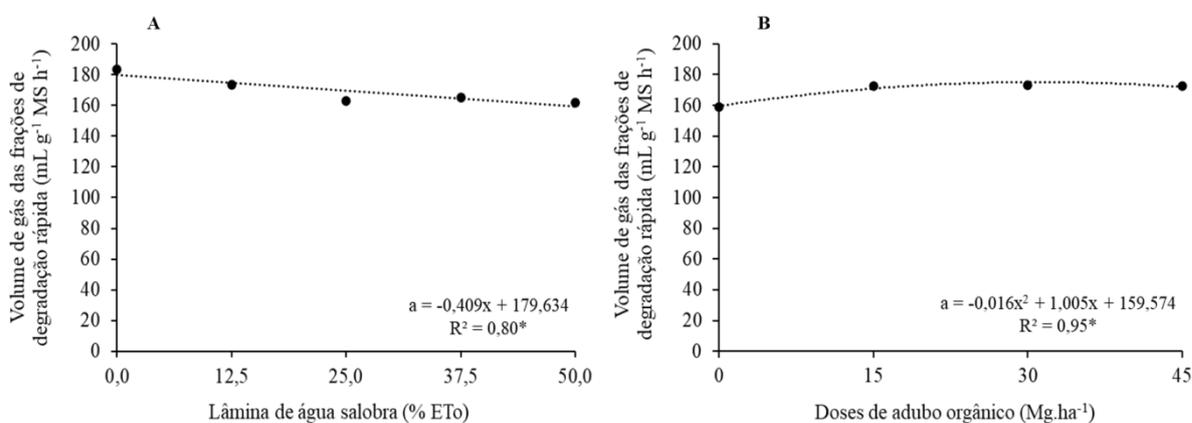
A produção total de gases sob efeito isolado da lâmina de água apresentou um efeito quadrático com ponto de mínima de 246,40 ao nível de 33,91% ETo ($P=0,025$) (Figura 10A). Quanto ao efeito das doses de adubo orgânico, no que se refere à produção total de gases, observou-se comportamento linear positivo ($P=0,009$), variando entre 244,01 mL a 260,12 mL (Figura 10B). Constatou que, ao aplicado dose de $45\text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de adubo orgânico, acarretou maior volume total de gases (260,12 mL), que corresponde ao acréscimo de cerca de 6,6% em comparação à dose de $0\text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de adubo orgânico.

Figura 10- Efeitos das lâminas de água salobra (A) e das doses de adubo orgânico (B) acerca da produção de gás palma forrageira, variedade Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.).



O volume de gás proveniente da fermentação das frações de carboidratos de rápida degradação apresentou efeito isolado para as lâminas de água ($P=0,001$), com comportamento linear negativo (Figura 11A), variando de 183,30 mL a 161,87 mL, que corresponde ao decréscimo de 11,69%. De forma similar, foi observado efeito isolado para as doses de adubo orgânico, contudo apresentou comportamento quadrático com ponto de máxima 175,36 mL no nível 31,41 Mg.ha⁻¹ ($P = 0,001$) (Figura 11B), com pequenas flutuações entre as doses 15, 30 e 45 Mg.ha⁻¹ (172,75 mL; 173,37 mL e 172,52 mL, respectivamente).

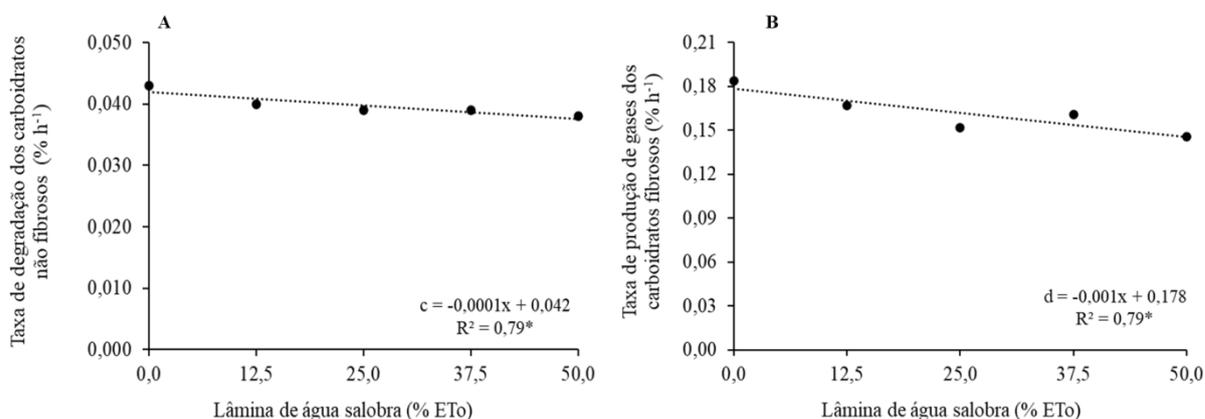
Figura 11- Efeitos das lâminas de água salobra (A) e das doses de adubo orgânico (B) acerca do volume de gás da fração A+B1 da palma forrageira, variedade Orelha de elefante mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.).



Observou-se efeito isolado, linear e negativo, para as lâminas de água salobra, tanto em relação à taxa de degradação dos carboidratos não fibrosos ($P= 0,001$) (0,043 a 0,038 h)

(Figura 12A) quanto em relação à taxa de degradação dos carboidratos fibrosos ($P < 0,001$) (Figura 12B).

Figura 92- Efeitos de lâminas de água salobra sobre a taxa de degradação dos carboidratos não fibrosos (A) e fibrosos da palma forrageira, variedade Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.).



4 DISCUSSÃO

Embora tenha ocorrido interação entre as dosagens de adubo orgânico e as lâminas de água salina em relação às concentrações de carboidratos totais na palma forrageira, o maior teor de CHOT foi observado na dosagem de AO ($31,76 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) e lâmina de água 31,68% ETo (Figura 3), esse efeito deve-se, provavelmente, ao maior aporte de nutrientes disponibilizados no solo, os quais favoreceram os processos metabólicos da palma forrageira, promovendo incremento do seu crescimento vegetal (VIMAL *et al.*, 2017).

Isoladamente a salinidade pode reduzir a concentração de CHOT, este efeito está associado a uma condição de estresse devido a menor capacidade de assimilação de CO_2 e mobilização de reservas direcionadas para o crescimento e manutenção (MAGALHÃES FILHO *et al.* (2008). O menor conteúdo de CHOT, com o aumento da lâmina de irrigação com água salobra, sugere menor tolerância da palma forrageira, variedade orelha de elefante mexicana, em situações de estresse salino, uma vez que níveis elevados de sódio (Na), no solo, inibem a fixação de dióxido de carbono (CO_2) (DUBEUX JR. e SANTOS, 2005) e, por conseguinte, reduzem a taxa fotossintética e a síntese de carboidratos. Nunes (2018) também encontrou diminuição nas concentrações de CHOT e CNF com o aumento das lâminas de irrigação na palma Orelha de elefante mexicana sobre as mesmas condições ambientais da presente pesquisa.

No que se refere às frações de carboidratos, observou-se maior concentração da fração de carboidratos de rápida degradação (A+B1) (Figura 4A), na lâmina 0% ETo, fator esse que possivelmente, ocorreu limitações nas atividades metabólicas da palma forrageira, com o aumento da lâmina de água salobra. Dessa forma, à medida que houve aumento da concentração de sais advindas da água de irrigação, ocorreram alterações nos processos fotossintéticos dessa planta, já que a acumulação de carboidratos solúveis, nos tecidos vegetais, ocorre quando a taxa de formação de glicose, durante a fotossíntese, excede a quantidade necessária ao crescimento e à respiração (NORTON, 1982).

Vale acrescentar ainda que a redução do conteúdo de carboidratos solúveis também pode estar associada à menor abertura dos estômatos, em razão do aumento dos teores de sais na solução do solo, os quais acarretam aumento do potencial osmótico e, por conseguinte, favorece a perda de água da planta para o solo. Esse efeito negativo do aumento dos níveis de sais no solo, via irrigação com água salina, foi observado por Nascimento (2021), ao analisar o uso eficiente de água, constatou uma redução de 0,330 kg MS.ha⁻¹ para cada mm⁻¹ de água salina adicionada.

Neste contexto, a diminuição da abertura dos estômatos pode contribuir para minimizar a taxa de transpiração e manter o status hídrico da planta (TAIZ *et al.*, 2017), o que contribui para uma melhor eficiência do uso da água. No entanto, esse fenômeno também contribui para a redução da assimilação de CO₂ e, conseqüentemente, do crescimento vegetal, ou seja, houve um menor acúmulo de biomassa, nas lâminas de água de maior concentração salina, como verificado por Nascimento (2021), que observou uma menor produção de matéria seca da palma forrageira, variedade orelha de elefante mexicana 18,38 e 19,71 Mg.ha⁻¹ nas lâminas de 37,5% e 50% Eto, respectivamente. Nesse sentido, esses efeitos, provavelmente, relacionam-se às menores concentrações tanto de carboidratos solúveis quanto totais observadas (Figura 2).

Essa redução do fluxo transpiratório também pode limitar a absorção de nutrientes, em consequência do comprometimento da principal via de transporte de água e de nutrientes (apoplástica), de forma passiva, a qual depende, exclusivamente, do gradiente hidráulico gerado pelo processo de transpiração (STEUDLE e PETERSON, 1998), o que pode explicar a ausência de resposta da palma forrageira, em relação à fração A+B1, com acréscimos das doses de adubo orgânico (Figura 4B).

Apesar da digestibilidade da palma forrageira ser, segundo Batista *et al.* (2009), alta, em decorrência das concentrações de carboidratos não fibrosos (CNF), os quais são rapidamente degradados no rúmen (CAVALCANTE *et al.*, 2014). Os resultados demonstram

que o aumento da irrigação com água salina reduziu a produção de gases da fibra da palma forrageira, o que, provavelmente, está associado ao acréscimo do conteúdo de celulose e hemicelulose (Figura 7). Esse efeito foi identificado por Nascimento (2021), que observou aumento da fibra em detergente neutro (FDN), de carboidratos fibrosos (CF) e de hemicelulose, bem como redução dos CNF da palma forrageira, com níveis crescentes de sais.

Embora a palma forrageira apresente alta taxa de digestão ruminal, com extensa e rápida degradação da matéria seca (FARIAS *et al.*, 1989), essa redução da digestibilidade efetiva observada na variedade orelha de elefante mexicana, associado às menores concentrações de carboidratos solúveis, bem como aos acréscimos das frações de carboidratos de lenta degradação (Fração B2) (Figura 4) e das frações B2 e C (Figuras 7 e 8).

As reduções das concentrações da fração C observadas, com o aumento dos níveis de água salina (Figura 5), deveria promover o aumento da digestibilidade efetiva dessa cactácea, já que o menor teor de lignina facilita a fermentação ruminal, pela amenização das ações de encrustamento ou de encobrimento dos nutrientes, ocasionadas pelo alto teor de lignina (VAN SOEST, 1994), contudo, como foi constatado acréscimos lineares da fração B2, representada pelos carboidratos estruturais, como: celulose e hemicelulose, a digestibilidade efetiva foi impactada negativamente, haja vista que esses glicídios estruturais também reduzem a degradabilidade dos nutrientes, em cerca de 2 a 10% por hora, segundo Van Soest (1994).

Portanto, o aumento da salinidade do solo acarreta decréscimos lineares da digestibilidade efetiva da palma forrageira, variedade orelha de elefante mexicana, o que, provavelmente, está diretamente associada tanto à redução das concentrações de carboidratos solúveis quanto ao aumento das frações de carboidratos fibrosos. Além disso, a redução da digestibilidade efetiva ainda pode estar atrelada às menores taxas de fermentação das frações insolúveis potencialmente degradável (b) e não degradável (c) (Figuras 7 e 8).

Os menores volumes de gases, gerados a partir das frações degradáveis de carboidratos solúveis (A+B1) (Figura 11A), de carboidratos não fibrosos (Figura 12A) e fibrosos (Figura 12B), com aumento das lâminas de água salina, demonstra que houve um menor tempo de permanência das frações de carboidratos nas câmaras fermentativas e, conseqüentemente, menor ação dos microrganismos (CORDOVA-TORRES *et al.*, 2015). Logo, esses resultados salientam que houve uma menor degradabilidade de carboidratos, explicando a menor digestibilidade efetiva observada (Figura 9C), à proporção que aumentou os teores de sais no solo.

Por outro lado, o acréscimo das doses de adubo orgânico (Figuras 9A e 9B) promoveu aumento da digestibilidade efetiva, visto que potencializou o aumento da fração de

carboidratos solúveis (A+B1) (Figura 3B), os quais são rapidamente degradados no rúmen (CAVALCANTE *et al.*, 2014), em decorrência da alta taxa de digestão ruminal (FARIAS *et al.*, 1989). Isso, provavelmente, explica o aumento da produção total de gás (Figura 10B) e do volume das frações carboidratos degradáveis (Figura 11B), em razão da alta taxa de passagem pelas câmaras fermentativas.

5 CONCLUSÕES

A palma forrageira variedade orelha de elefante mexicana, apresenta uma sensibilidade à irrigação com água salina efeito esse constatado pela redução das concentrações de carboidratos totais e das frações de carboidratos insolúveis, pelo decréscimo no volume de gás da fração A+B1.

Portanto, a palma forrageira, variedade orelha de elefante mexicana, apresenta sensibilidade à salinidade, ainda que em baixa condutividade elétrica e sodicidade. Já o uso de menores lâminas de água salina associado às doses de adubo orgânico em até 30 megagramas por hectare apresentam bons resultados, sendo recomendados para o cultivo da palma orelha de elefante mexicana na região Semiárida.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements. Rome: **FAO**, 1998. 310p. Irrigation and Drainage, 56.
- ARAÚJO, S. M. S. A REGIÃO SEMIÁRIDA DO NORDESTE DO BRASIL: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos. **Rios Eletrônica- Revista Científica da FASETE**, v.5, n.5, p.90-98, 2011. Disponível em: <https://www.publicacoes.unirios.edu.br/index.php/revistarios/article/view/617/615>
- AZEVEDO JÚNIOR, M. S. A.; NETO, M. F.; MEDEIROS, J. F.; SÁ1, F. V. S.; LIMA, Y. B.; LEMOS, M. Produtividade e teor de nutrientes em palma forrageira irrigada com efluente de esgoto doméstico. **Irriga**, Botucatu, v.24, n.4, p.830-842, 2019. <https://doi.org/10.15809/irriga.2019v24n4p830-842>
- BATISTA, A. M. V.; RIBEIRO NETO, A. C.; LUCENA, R. B.; SANTOS, D. C.; DUBEUX Jr., J. C. B.; MUSTAFA, A. F. Chemical composition and ruminal degradability of spineless cactus grown in northeast Brazil. **Rangeland Ecology and Management**. v.62, n.1, p. 297-301, 2009. <https://doi.org/10.2111/07-099R1.1>
- BRAZ, R. S. **Efeitos da adubação nitrogenada na cultura do milho sob estresse salino em dois solos**. 2018. 125f. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) - Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E.C.; SILVA, D.D.; SOARES, A.A. 2005. **Manual de irrigação**. 9ª ed. Editora UFV, 2019. 545p.
- BORBA, M. A. P.; SILVA, D. S.; ANDRADE, A. P. A palma no Nordeste e seu uso na alimentação animal. In: CONGRESSO NORDESTINO DE PRODUÇÃO ANIMAL. **Anais...** Aracaju, Sergipe, 2008.
- CAVALCANTE, L. A. D.; SANTOS, G. R. A.; SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; SILVA, M. A. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 4, p. 424-433, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632014000400010>
- CORDOVA-TORRES, A. V.; MENDOZA-MENDOZA, J. C.; BERNAL-SANTOS, G.; GASCA, T. G., KAWAS, J.; COSTA, R. G.; MONDRAGON JACOBO, C.; ANDRADEMONTMAYOR, H. Nutritional Composition, in vitro Degradability and Gas Production of *Opuntia ficus indica* and Four Other Wild Cacti Species. **Life Science Journal**, v. 12, n. 2, p. 1-14, 2015.
- DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; SOUSA NETO, O. N.; QUEIROZ, I. S. R. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: GHEYI, R. H.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: **INCTSal**, 2016. cap.11, p.151-162.
- DUBEX JR., J. C. B.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C.; FARIAS, I.; LIMA, L. E.; FERREIRA, R. L. C. Productivity of *Opuntia ficus indica* (L) Miller under

different N and P fertilizations and plant population in north east Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 67, n. 3, p. 357-372, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.02.015>

DUBEUX JR., J.C.B.; SILVA, N.G.M.; SANTOS, M.V.F.; LIRA, M.A.; SANTOS, D.C.; PESSOA, R.A.S. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira Clone IPA-20. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.5, n.1, p.129-135, 2010. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/1190/119012589021.pdf>

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, p.353, 2013.

FARIAS, I.; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C.; FERNANDES, A. P. M.; TAVARES FILHO, J. J.; SANTOS, M. V. F. Efeito da frequência e intensidade de corte em diferentes espaçamentos na cultura da palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill), em consórcio com sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v.6, n. especial, p.169-183, 1989.

FARIAS, I.; SANTOS, D. C.; DUBEUX JR., J. C. B. Estabelecimento e manejo da palma forrageira. In: MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E. V.S.B. (Eds). A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife. Ed. **UFPE**, p. 81–104. 2005.

GOERING, H.K.; VAN SOEST, P.J. **Forage fiber analysis (Apparatus, reagents, procedures and some applications)**. Washington, Agricultural Handbook, 379. DC: USDA, 1970.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Normais climatológicas do Brasil 1981-2010. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 4 nov 2022.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Normais climatológicas do Brasil 1981-2010. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 22 nov 2022.

MAGALHÃES FILHO, J.R.; AMARAL, L.R.; MACHADO, D.F.S.P.; MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranja 'valência' sobre dois tipos de porta-enxerto. **Revista Bragantia**, v.67, n.1, p.75-82, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000100009>

NOBEL, P. S. Biologia Ambiental. In: Barbera, G.; Inglese, P.; Barrios, E.P. (Eds) Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira. João pessoa: **SEBRAE/PB**. 2001. 216 p.

NORTON, B.W. **Differences between species in forrage quality**. In: HACKER, J.B. (ed.). Nutritional limits to animal production from pastures. Farnham Royal: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1982. p.89-110.

NUNES, T.C.M.D. Sistemas biossalinos de produção de palma forrageira recebendo crescentes lâminas de água e doses de matéria orgânica. 46p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina – PE, 2018.

- OLIVEIRA, P. C. P.; GLOAGUEN, T. V.; GONCALVES, R. A. B.; SANTOS, D. L. Produção de moranga irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n 8, p.861-868, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000800010>
- ORSKOV, E. R.; MCDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. **Journal of Agricultural Science**, v. 92, n. 2, p. 499-503, 1979. <https://doi.org/10.1017/S0021859600063048>
- REBOUÇAS, J. R. L.; DIAS, N. S.; GONZAGA, M. I. S.; GHEYI, H. R.; SOUSA NETO, O. N. Crescimento do feijão-caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, p. 97-102, 2010. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237117582015>
- RICHARDS, L.A. (Ed). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. **United States Department of Agriculture**, Washington, 166p. 1954. (Agriculture Handbook n. 60).
- SAMPAIO, E. V. S. Fisiologia da palma. In: MENEZES R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. (Eds). A palma do Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: Ed. **UFPE**, p.43-56, 2005.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, J. H.; SILVA, F. B. R. Fertilidade de Solos do Semiárido do Nordeste. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21, 1995, Petrolina. **Anais...** Petrolina: SBCS, 1995. p.51-71.
- SÁNCHEZ-GARCÍA, M., MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, B., FLORES-BAQUERO, O., FERNÁNDEZ, M. D. Organic matter as a tool to reduce the negative impact of saline water on soil and plants: A review of some recent research. **Agricultural Water Management**, v. 156, n. 4, p. 5-18, 2014.
- SANTOS, D. C.; FARIAS, I.; LIRA, M. A. SANTOS, M. V. F.; ARRUDA, G. P. Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) em Pernambuco. Recife: **IPA**, 2006. 48 p.
- SANTOS, N. S.; SILVA, J. C. S.; PEREIRA, W. S.; MELO, J. L. R.; LIMA, K. V.; LIMA, D. O.; LIMA, K. F.; ALMEIDA, R. S. Crescimento da palma forrageira sob estresse salino e diferentes lâminas de irrigação. **Revista Craibeiras de Agroecologia**. v. 5, n. 1, p. e9452, 2020. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/era/article/view/9452/7115>
- SANTOS, R. V.; CAVALCANTE, L. F.; VITAL, A. F. M.; LACERDA, C. F.; SOUZA, E. R.; LIMA, G. S. **Interação salinidade-fertilidade do solo**. In: GHEYI, R. H.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2016. cap.18, p.277-293.
- SCHOFIELD, P.; PITT, R.E.; PELL, A.N. Kinetics of fiber digestion from *in vitro* gas production. **Journal of Animal Science**, v.72, n.11, p.2980-2991, 1994. <https://doi.org/10.2527/1994.72112980x>
- SENGER, C.C.D.; KOZLOSKI, G.V.; SANCHEZ, L.M.B.; MESQUITA, F.R.; ALVES, T.P.; CASTAGNINO, D.S. Evaluation of autoclave procedures for fibre analysis in forage

and concentrate feedstuffs. **Animal Feed Science and Technology**, v.146, p.169-174, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.12.008>

STEUDLE, E.; PETERSON, C. A. How does water get through roots? **Journal of Experimental Botany**, v. 49, n. 322, p. 775-788, 1998. <https://doi.org/10.1093/jxb/49.322.775>

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2017. 530p.

THEODOROU, M. K.; WILLIAMS, B. A.; DHANOA, M. S.; MCALLAN, A. B.; FRANCE, J. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.48, n. 3-4, p.185-197, 1994. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6)

TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. **Journal British of Grassland Society**, v. 18, n. 2, p. 104-111, 1963. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x>

VALENTE, T. N. P.; DETMAN, E.; QUEIROZ, A. C.; VALADARES FILHO, S. C.; GOMES, D. I.; FIGUEIRAS, J. F. Evaluation of ruminal degradation profiles of forages using bags made from different textiles. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 11, p.2565-2573, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011001100039>

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2ª ed. Cornell University Press. Ithaca. 476 pp. 1994.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)

WALTER, J.; LÜCK, E.; BAURIEGEL, A.; FACKLAM, M.; ZEITZ, J. Seasonal dynamics of soil salinity in peatlands: A geophysical approach. **Geoderma**, v. 310, n. 15, p. 1–11. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.022>

WOLIN, M.J. A theoretical rumen fermentation balance. **Journal of Dairy Science**, v. 43, n. 10, p. 1452–1459, 1960. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(60\)90348-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(60)90348-9)