



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

RUTE MARIA ROCHA RIBEIRO

**SISTEMAS DE PRODUÇÃO CONSORCIADOS DE PALMA FORRAGEIRA E
CUNHÃ SOB REGIMES DE SEQUEIRO E IRRIGADO COM ÁGUA SALOBRA NO
SEMIÁRIDO**

FORTALEZA
2023

RUTE MARIA ROCHA RIBEIRO

SISTEMAS DE PRODUÇÃO CONSORCIADOS DE PALMA FORRAGEIRA E CUNHÃ
SOB REGIMES DE SEQUEIRO E IRRIGADO COM ÁGUA SALOBRA NO SEMIÁRIDO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R372Á Ribeiro, Rute Maria Rocha.
Sistemas de produção consorciados de palma forrageira e cunhã sob regimes de sequeiro e irrigado com água salobra no semiárido/ Rute Maria Rocha Ribeiro. – 2023.
143 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda.

1. Irrigação suplementar. 2. Forragem. 3. Agricultura bioassalada. I.

CDD 320.6

RUTE MARIA ROCHA RIBEIRO

SISTEMAS DE PRODUÇÃO CONSORCIADOS DE PALMA FORRAGEIRA E CUNHÃ
SOB REGIMES DE SEQUEIRO E IRRIGADO COM ÁGUA SALOBRA NO SEMIÁRIDO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovada em 28/11/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Márcio José Alves Peixoto
Secretaria de Desenvolvimento Agrário do Estado do Ceará (SDA)

Dra. Aiala Vieira Amorim
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Eduardo Santos Cavalcante
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, a minha irmã e amigos.

AGRADECIMENTOS

Ao bom Deus, que é minha força e proteção. Além do dom da vida, o Senhor me destes garra para lutar pelos meus sonhos e alcançar mais um grau em minha formação.

A minha mãe, mulher exemplar, que sozinha me criou e me ensinou tudo que sei. Obrigada por suas orações e por todo seu esforço para que eu me tornasse alguém. A minha irmã, agradeço pelo companheirismo e amizade, por todos os conselhos.

Ao meu namorado Lucas, por todo acolhimento, amor e compreensão nesta jornada. Aos meus amigos de graduação e pós-graduação Antonio Fabio, Jonnathan Rícheds, Andreza Barbosa e José Marcelo, obrigada pelas noites de reflexão e por toda ajuda durante este processo.

Aos meus colegas do grupo Relação solo-água-planta Jonnathan Rícheds, Márcio Freire, Carla Ingrid, Juliette Freitas, Eduardo Cavalcante; Leila Neves, Ivan, Wembley, Ivo e Josué, agradeço pelo auxílio na condução experimental e nas análises laboratoriais. Agradeço também por todo companheirismo.

Ao Secretário de Agricultura de General Sampaio - CE, Gerardo Menezes da Silva Filho, por conceder a área experimental utilizada e todo aporte para a execução deste projeto.

Ao meu orientador Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda, agradeço pela excelente orientação. Por toda paciência, dedicação e ensinamentos a mim confiados.

Aos participantes da banca examinadora Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa, Dr. José Alves Peixoto, Dra. Aiala Vieira Amorim e Dr. Eduardo Santos Cavalcante pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões. Obrigada pela contribuição direta na execução desta pesquisa.

Aos técnicos de laboratório Senhor Franzé, Senhor Antonio José, Dona Fátima (Departamento de Ciências do Solo) e Dona Rose (Departamento de Zootecnia), por me acolherem e me auxiliarem durante a condução desta pesquisa.

Aos colegas da turma de mestrado, a toda equipe de funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola.

“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível e de repente você estará fazendo o impossível.” (São Francisco de Assis).

RESUMO

A irrigação (plena ou suplementar) pode diminuir as perdas da agricultura de sequeiro mesmo quando são utilizadas águas salobras. Além disso, o cultivo de forrageiras adaptadas às regiões semiáridas e com baixa exigência hídrica, pode viabilizar maior rentabilidade na atividade agropecuária do semiárido brasileiro. O uso de águas salobras na irrigação ou suplementação de forrageiras de baixa demanda hídrica pode incrementar a produção de forragem e uso eficiente da água nessas regiões. Nesse contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da irrigação com água salobra e de diferentes cenários hídricos e sistemas de produção de biomassa sobre a produtividade, acúmulo de proteína, eficiência no uso da água, teor de elementos minerais, índices fisiológicos e morfologia das culturas palma forrageira e cunhã. O experimento foi conduzido no município de General Sampaio – CE, nos anos de 2022 e 2023. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com quatro blocos. As parcelas foram referentes a dois cenários hídricos: sequeiro e irrigado; as subparcelas foram formadas por quatro sistemas de produção compostos pelas forrageiras cunhã (*Clitoria ternatea* L.) e palma forrageira (*Opuntia stricta* (Haw) Haw): Sistema 1 – palma forrageira em monocultivo (P) (2,0 x 0,1m); Sistema 2 – cunhã em monocultivo (C) (1,0 x 0,1m); Sistema 3 – palma forrageira consorciada (2,0 x 0,1m) com uma linha de cunhã (P+1C) (1,0 x 0,1m); Sistema 4 – palma forrageira (3,0 x 0,1m) consorciada com duas linhas de cunhã (P+2C) (1,0 x 0,1m). Durante o estudo o valor médio da salinidade da água de irrigação (mistura 1:1 das duas fontes hídricas) foi de 3,0 e 4,0 dS m⁻¹, respectivamente para a irrigação da cunhã e da palma forrageira. A cultura da cunhã recebeu irrigação suplementar entre os meses de fevereiro e agosto durante a ocorrência de veranicos, enquanto a palma forrageira foi irrigada apenas durante a estação seca (julho a dezembro), em um turno de rega de sete dias. Durante os dois anos do estudo foram mensuradas as seguintes variáveis: Produtividade de biomassa fresca e seca, produtividade de sementes (cunhã), produtividade física da água, produtividade de proteína bruta, índices morfofisiológicos (palma forrageira), trocas gasosas (cunhã), teor de elementos minerais nos tecidos vegetais, pH do solo e a condutividade elétrica do solo pelo método 1:1. O uso de irrigação suplementar com água salobra durante os veranicos na cultura da cunhã favorece maior a produção de biomassa e de sementes, bem como eleva o teor de proteína bruta do sistema em monocultivo, mitiga os efeitos do estresse hídrico sobre a condutância estomática, fotossíntese, transpiração, concentração interna de CO₂, sendo benéfica ao desempenho agrônômico de *Clitoria ternatea* L. O uso de irrigação suplementar com água salobra nos sistemas consorciados gerou acréscimos na condutância estomática e na

taxa fotossintética e reduções nos teores de sódio nas plantas de cunhã, o sistema P+2C quando suplementado aumentou a assimilação de N e P pela cultura. A irrigação com água salobra na estação seca na cultura da palma forrageira reduz os efeitos negativos do estresse hídrico e beneficia a produção de biomassa fresca e seca, o teor de proteína bruta, a produtividade física da água e o crescimento dos cladódios, como também proporcionou maiores teores de Na⁺ nos cladódios da palma forrageira. O sistema consorciado P+1C em relação ao monocultivo de palma forrageira mostrou-se o mais vantajoso quanto ao crescimento, produção de biomassa, de proteína bruta e eficiência no uso da água, mostrando-se uma alternativa para a produção de forragem no semiárido brasileiro. A irrigação suplementar ou sazonal com água salobra não salinizou o solo, visto que as chuvas propiciaram a lixiviação dos sais aportados no solo, representando poucos riscos para solos arenosos e de boa drenagem natural, como o que foi utilizado no presente estudo.

Palavras-chave: irrigação suplementar; forragem; agricultura bioassalada.

ABSTRACT

Irrigation (full or supplemental) can reduce losses from rainfed agriculture even when brackish waters are used. Furthermore, the cultivation of forage crops adapted to semi-arid regions with low water requirements can enable greater profitability in agricultural activities in the Brazilian semi-arid region. The use of brackish waters in irrigation or supplementation of forages with low water demands can increase forage production and efficient use of water in these regions. In this context, the objective of the present study was to evaluate the effect of irrigation with brackish water and different water scenarios and biomass production systems on productivity, protein accumulation, water use efficiency, mineral element content, physiological responses and crop morphology. forage cactus and butterfly pea. The experiment was conducted in the municipality of General Sampaio – CE, in the years 2022 and 2023. The experimental design was in randomized blocks, in subdivided plots, with four blocks. The plots referred to two water scenarios: rainfed and irrigated; the subplots were formed by four production systems composed of the forage plants butterfly pea (*Clitoria ternatea* L.) and forage cactus (*Opuntia stricta* (Haw) Haw): System 1 – forage cactus in monoculture (P) (2,0 x 0,1m); System 2 – butterfly pea in monoculture (C) (1,0 x 0,1m); System 3 – intercropped forage cactus (2,0 x 0,1m) with a butterfly pea line (P+1C) (1,0 x 0,1m); System 4 – forage cactus (3,0 x 0,1m) combined with two butterfly pea lines (P+2C) (1,0 x 0,1m). During the study, the average salinity value of irrigation water (1:1 mixture of the two water sources) was 3,0 and 4,0 dS m⁻¹, respectively for the irrigation of butterfly pea and forage cactus. The butterfly pea crop received supplementary irrigation between the months of February and August during the dry spells, while the forage cactus was irrigated only during the dry season (July to December), in a seven-day irrigation shift. During the two years of the study, the following variables were measured: Fresh and dry biomass productivity, seed productivity (butterfly pea), physical water productivity, crude protein productivity, morphophysiological indices (forage cactus), gas exchange (butterfly pea), concentration of mineral elements in plant tissues, soil pH and soil electrical conductivity using the 1:1 method. The use of supplementary irrigation with brackish water during the summer in butterfly pea culture favors greater biomass and seed production, as well as increasing the crude protein content of the system in monoculture, mitigating the effects of water stress on stomatal conductance, photosynthesis, transpiration, internal concentration of CO₂, being beneficial to the agronomic performance of *Clitoria ternatea* L. The use of supplementary irrigation with brackish water in intercropped systems generated increases in stomatal conductance and photosynthetic rate and reductions in sodium concentration in

butterfly pea plants, which P+2C system when supplemented increased the assimilation of N and P by the crop. Irrigation with brackish water in the dry season in forage cactus cultivation reduces the negative effects of water stress and benefits the production of fresh and dry biomass, crude protein content, physical water productivity and cladode growth, as well as providing higher Na^+ concentration in cactus cladodes. The P+1C intercropping system in relation to forage cactus monoculture proved to be the most advantageous in terms of growth, biomass production, crude protein and water use efficiency, proving to be an alternative for forage production in the Brazilian semi-arid region. Supplemental or seasonal irrigation with brackish water did not salinize the soil, as the rain allowed the leaching of salts contributed to the soil, posing little risk for sandy soils with good natural drainage, such as the one used in the present study.

Keywords: supplemental irrigation; forage; biosaline agriculture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Delimitação do Semiárido brasileiro no ano de 2017.....	20
Figura 2 -	Localização da área experimental na cidade de General Sampaio, Ceará, Nordeste do Brasil.....	35
Figura 3 -	Condições climáticas durante a condução do experimento.....	36
Figura 4 -	Croqui da área experimental.....	37
Figura 5 -	Plantio da palma forrageira cv “Orelha de elefante mexicana”(A) e cunhã (B).....	38
Figura 6 -	Adubação orgânica da palma forrageira (A e B)	39
Figura 7 -	Adubação mineral na cultura da cunhã (A e B)	40
Figura 8 -	Disponibilidade hídrica via precipitação e irrigação durante o período experimental para a comunidade de Riacho das pedras no município de General Sampaio -CE, Brasil.....	42
Figura 9 -	Corte (A) e pesagem (B) da palma forrageira para obtenção da produtividade.....	43
Figura 10 -	Corte (A) e pesagem (B) de biomassa verde da cunhã para obtenção de produtividade	43
Figura 11 -	Coleta (A) e análise (B) de solo utilizado na experimentação.....	46
Figura 12 -	Produtividade de biomassa seca (1º corte) de <i>Clitória ternatea</i> L. °(A) e produtividade de sementes (B).....	56
Figura 13 -	Estimativa de produtividade de biomassa fresca anual de sistemas de produção consorciados de palma forrageira e cunhã sob irrigação suplementar com água salobra em diferentes cenários hídricos de região semiárida.....	60
Figura 14 -	Porcentagem de proteína bruta de <i>Clitória ternatea</i> L. em sistemas de produção com palma forrageira em dois cenários hídricos.....	64
Figura 15 -	Estimativa de produtividade de proteína bruta de sistemas de produção com palma forrageira e cunhã em dois cenários hídricos.....	66

Figura 16 -	Produtividade física da água na cultura da cunhã (A) e estimativa de produtividade física da água em sistemas de produção consorciados de palma forrageira e cunhã em dois cenários hídricos (B).....	69
Figura 17 -	Condições climáticas durante a condução do experimento, de março a dezembro de 2022.....	77
Figura 18 -	Disponibilidade hídrica via precipitação e irrigação para a cultura da palma forrageira durante o período experimental na comunidade de Riacho das pedras, município de General Sampaio -CE, Brasil.....	80
Figura 19 -	Análise biométrica da palma forrageira (A e B)	81
Figura 20 -	Moagem (A), digestão (B), destilação (C) e titulação (D) de amostras para determinação de nitrogênio.....	83
Figura 21 -	Mufla usada na incineração das amostras (A), determinação de Na ⁺ e K ⁺ por fotometria de chama (B) e obtenção do teor de P por espectrofotometria com azul de molibdênio (C, D)	84
Figura 22 -	Determinação do cloro por titulometria do nitrato de prata.....	84
Figura 23 -	Taxa de crescimento da palma forrageira em sistemas de produção com cunhã e sob suplementação com água salobra dos 120 aos 291 dias após o plantio.....	85
Figura 24 -	Largura (A), comprimento (B) e espessura do cladódio (C) da palma forrageira em sistemas de produção com cunhã e sob suplementação com água salobra dos 120 aos 291 dias após o plantio.....	87
Figura 25 -	Área (A) e Índice de área do cladódio (B) da palma forrageira em sistemas de produção com cunhã e sob suplementação com água salobra aos 120 aos 291 dias após o plantio.....	90
Figura 26 -	Taxa de assimilação líquida da cultura da palma em sistemas de produção com cunhã e sob suplementação com água salobra no período de 171 dias (dos 120 até os 291 dias após o plantio)	92

Figura 27 -	Teor de cálcio (A) e magnésio (B) na palma forrageira em sistemas consorciado com cunhã e sob irrigação com água salobra.....	95
Figura 28 -	Teor de sódio na palma forrageira em sistemas consorciado com cunhã e sob irrigação com água salobra.....	96
Figura 29 -	Condições climáticas durante a condução do experimento no primeiro (A) e segundo ciclo (B) da cunhã.....	102
Figura 30 -	Disponibilidade hídrica via precipitação e suplementação para a cultura da cunhã durante seu primeiro (A) e segundo (B) ciclo na comunidade de Riacho das pedras, no município de General Sampaio -CE, Brasil.....	104
Figura 31 -	Análise de trocas gasosas na cultura da cunha.....	105
Figura 32 -	Condutância estomática de plantas de cunhã em sistemas de produção com palma forrageira e sob suplementação com água salobra antes do 1º corte da cultura no ano de 2022 (A) e 2023 (B) e Taxa fotossintética (C) de plantas de cunhã em sistemas de produção consorciados com palma forrageira e sob suplementação com água salobra antes do 1º corte no ano de 2023.....	108
Figura 33 -	Teor de nitrogênio (A) e fósforo (B) na cultura da cunhã em sistemas consorciados com palma forrageira e sob irrigação com água salobra.....	115
Figura 34 -	Teor de magnésio na cultura da cunhã em sistemas consorciados com palma forrageira e sob irrigação com água salobra.....	117
Figura 35 -	Teor de sódio na cultura da cunhã em sistemas consorciados com palma forrageira e sob irrigação com água salobra.....	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Características químicas e granulométricas do solo utilizado.....	37
Tabela 2 -	Análise química das águas utilizadas no experimento.....	40
Tabela 3 -	Condutividade elétrica da pasta saturada na proporção 1:1 e potencial hidrogeniônico de solo cultivado com palma forrageira sob consórcio com cunhã e irrigação suplementar com água salobra.....	47
Tabela 4 -	Condutividade elétrica da pasta saturada na proporção 1:1 e potencial hidrogeniônico de solo cultivado com cunhã sob consórcio com palma forrageira e irrigação suplementar com água salobra.....	49
Tabela 5 -	Análise de variância da produtividade de biomassa fresca (PBF) e seca (PBS) da cultura da palma forrageira em sistemas de monocultivo e consorciado com cunhã e sob irrigação com água salobra.....	50
Tabela 6 -	Análise de variância das produtividades de biomassa fresca total (PBFT), seca total (PBST) e de sementes (PS) da cultura da cunhã em sistemas de produção com palma forrageira sob irrigação suplementar com água salobra em diferentes cenários hídricos de região semiárida.....	54
Tabela 7 -	Análise de variância da estimativa de produtividade de biomassa fresca (EPBF) e seca (EPBS) anual em sistemas de produção consorciado de palma forrageira e cunhã sob irrigação suplementar com água salobra em diferentes cenários hídricos de região semiárida.....	58
Tabela 8 -	Teor de proteína bruta (%PB) e estimativa de produtividade de proteína bruta anual (PPB) em biomassa seca de sistemas de produção com palma forrageira e cunhã sob irrigação com água salobra em diferentes cenários hídricos de região semiárida.....	62

Tabela 9 -	Análise de variância da produtividade física da água (PFA) em sistemas de produção consorciado de palma forrageira e cunhã sob irrigação suplementar com água salobra em diferentes cenários hídricos de região semiárida.....	67
Tabela 10 -	Eficiência da irrigação em sistemas de produção consorciado de palma forrageira e cunhã sob irrigação suplementar com água salobra.....	71
Tabela 11 -	Análise química das águas utilizadas na irrigação da palma forrageira na estação seca do ano de 2022.....	79
Tabela 12 -	Análise de variância da taxa de assimilação líquida (TAL) da palma forrageira de 120 a 291 DAP, em sistema consorciado com cunhã e sob irrigação suplementar com água salobra.....	91
Tabela 13 -	Análise de variância dos teores de nutrientes da palma forrageira em sistemas consorciado com cunhã e sob irrigação com água salobra.....	93
Tabela 14 -	Análise de variância das trocas gasosas da cunhã em sistema consorciado com palma forrageira e sob irrigação suplementar com água salobra no primeiro ciclo e segundo ciclo antes do 1º corte.....	106
Tabela 15 -	Análise de variância das trocas gasosas da cunhã em sistema consorciado com palma forrageira e sob irrigação suplementar com água salobra antes do 2º corte.....	111
Tabela 16 -	Análise de variância dos teores de nutrientes da cunhã em sistemas consorciado com palma forrageira e sob suplementação com água salobra.....	114

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	HIPOTESE	18
3	OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3.1	Objetivo geral	18
3.2	Objetivos específicos	18
4.	REVISÃO DE LITERATURA	20
4.1	Manejo da irrigação no semiárido	20
<i>4.1.1</i>	<i>Veranicos</i>	22
<i>4.1.2</i>	<i>Irrigação suplementar como alternativa aos impactos negativos dos veranicos na agricultura</i>	23
4.2	Agricultura bioassalada	25
4.3	Palma forrageira	27
<i>4.3.1</i>	<i>Origem, classificação botânica e aspectos gerais</i>	29
<i>4.3.2</i>	<i>Tolerância da palma forrageira à salinidade</i>	29
4.4	Cunhã	29
<i>4.4.1</i>	<i>Origem, classificação botânica e aspectos gerais</i>	29
<i>4.4.2</i>	<i>Tolerância da cunhã à salinidade</i>	30
5	CAPÍTULO 1: PRODUTIVIDADE E ACÚMULO DE PROTEÍNA EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO CONSORCIADOS DE PALMA FORRAGEIRA E CUNHÃ SOB IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR COM ÁGUA SALOBRA	32
5.1	Introdução	35
5.2	Material e métodos	36
5.3	Resultados e discussão	48
5.4	Conclusões	74
6	CAPÍTULO 2: MORFOFISIOLOGIA E TEORES DE ELEMENTOS MINERAIS DA PALMA FORRAGEIRA EM SISTEMA CONSORCIADO COM CUNHÃ E SOB IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALOBRA	75
6.1	Introdução	76
6.2	Material e métodos	78

6.3	Resultados e discussão.....	84
6.4	Conclusões.....	97
7	CAPÍTULO 3: TROCAS GASOSAS FOLIARES E TEORES DE ELEMENTOS MINERAIS DA CUNHÃ EM SISTEMA CONSORCIADO COM PALMA FORRAGEIRA E SOB IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR COM ÁGUA SALOBRA.....	98
7.1	Introdução.....	100
7.2	Material e métodos.....	101
7.3	Resultados e discussão.....	105
7.4	Conclusões.....	117
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	118
	REFERÊNCIAS.....	119

1. INTRODUÇÃO

A região semiárida brasileira é composta por oito estados e ocupa uma área equivalente a 13% do território brasileiro, sendo a menos estudada para antecipar soluções agrícolas às pressões antrópicas e de aumento de temperatura devido às mudanças climáticas (NUNES *et al.*, 2018), bem como soluções aos problemas inerentes à escassez e à qualidade dos recursos hídricos para irrigação.

A ocorrência de fontes de águas salobras é comum no semiárido brasileiro, predominantemente com condutividade elétrica entre 0,8 e 6,0 dS m⁻¹, baixas concentrações de sulfato e altas concentrações de cloreto e sódio (SILVA JÚNIOR *et al.*, 1999). A utilização contínua dessa água para irrigação pode acarretar redução na produtividade das culturas agrícolas e degradação do solo (CAVALCANTE *et al.*, 2021).

Diante desta conjuntura estudos surgiram com o objetivo de viabilizar o uso da água de baixa qualidade na agricultura irrigada. Algumas pesquisas com culturas anuais apontam que o uso dessa água em curtos períodos na irrigação não acarreta reduções significativas ao rendimento das plantas e os impactos sobre os solos são mínimos (FONSECA *et al.*, 2022; CAVALCANTE *et al.*, 2021; NEVES *et al.*, 2015; TERCEIRO NETO *et al.*, 2021).

No contexto da agricultura bioessalina, a irrigação suplementar pode diminuir as perdas da agricultura de sequeiro, especialmente em períodos de veranicos. Vários estudos mostram que a irrigação suplementar poderia reduzir as perdas de rendimento das colheitas em áreas secas, particularmente em regiões semiáridas (CAVALCANTE *et al.*, 2021; CHAUHAN *et al.*, 2008; OSTER; GRATAN, 2002). Ademais, a irrigação suplementar possibilita um aumento na oferta de grãos e forragem com uso de menor quantidade de água por meio do aproveitamento de águas residuárias e salobras.

Por outro lado, para cultivos perenes pressupõe-se a utilização de culturas com baixa demanda hídrica, como a palma forrageira (*Opuntia ficus indica* M.), para as quais o total de irrigação anual não deve ultrapassar 200 mm, de modo a reduzir a carga de sais aplicada ao solo. Outra forrageira com baixa demanda hídrica é a cunhã (*Clitoria ternatea* L.); as raízes dessa leguminosa são profundas no solo, além de possuir tolerância à seca e suportar bem regimes pluviométricos de 380 mm por ano (BARROS *et al.*, 2004).

A preocupação em reduzir a carga de sais aplicada ao solo é maior em anos de seca, quando a lavagem do solo é reduzida, podendo ocorrer salinização e degradação ambiental. Nos períodos de seca no semiárido brasileiro, visando minimizar os custos para a produção animal,

tem-se utilizado forragens nativas e/ou adaptadas à região para a produção de feno e ração. A popularização do cultivo de forrageiras adaptadas ao semiárido tropical e com baixa exigência hídrica, pode viabilizar maior rentabilidade na atividade pecuária no semiárido brasileiro.

Os sistemas de produção envolvendo a cultura da palma forrageira e a cunhã juntamente à utilização de irrigação com água de qualidade marginal, podem contribuir para a expansão da área agrícola, garantindo menores perdas em épocas de veranicos, aumentando a produtividade da água de irrigação e a produtividade de proteína por hectare por ano.

Porém, as baixas vazões dos poços com águas salobras, particularmente em áreas do embasamento cristalino (FEITOSA; DINIZ, 2011; SILVA *et al.*, 2007), indicam maiores potencialidades para agricultores familiares (LESSA *et al.*, 2023). Portanto, há necessidade de estudos que busquem avaliar esses sistemas em condições reais do semiárido brasileiro, levando-se em conta os cenários edafoclimáticos reais desta região.

2. HIPÓTESE

Os sistemas de produção irrigados e suplementados com água salobra irão promover maior crescimento, melhor performance fisiológica e absorção de nutrientes pelas culturas e deste modo alcançarão maiores produtividades por hectare (biomassa e proteína), sem acarretar a salinização do solo.

3. OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar respostas fisiológicas, produtividade de biomassa e de proteínas em sistemas de produção consorciados de cunhã e palma forrageira com uso de águas salobras na irrigação, sob condições edafoclimáticas reais do semiárido brasileiro.

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar a produtividade de biomassa e produtividade de proteína em quatro sistemas de produção composto pelas culturas cunhã e palma forrageira.
- Averiguar a tolerância da palma forrageira e da cunhã à irrigação com água salobra e ao estresse hídrico.

- Verificar a influência dos diferentes sistemas de produção e da irrigação com águas salobras sobre a absorção de nutrientes e a fisiologia da palma e da cunhã.
- Avaliar as variações na salinidade do solo nos diferentes sistemas de produção.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Manejo da irrigação no semiárido

As regiões semiáridas são caracterizadas por apresentarem elevada variabilidade espaço-temporal da precipitação pluvial, com média anual inferior a 800 mm, demanda evaporativa superior a 2000 mm ano⁻¹, índice de aridez de Thornthwaite $\leq 0,50$, déficit hídrico anual $\geq 60\%$, com ocorrência de secas periódicas, o que resulta em déficit hídrico na maior parte do ano (SILVA *et al.*, 2021; MEDEIROS *et al.*, 2020; SUDENE, 2017).

No mundo, as regiões áridas e semiáridas ocupam cerca de 55% do território (HUSSAIN *et al.*, 2018). Já no Brasil, o Semiárido está localizado na região Nordeste e em parte do Sudeste do país, com 1.128.697 km² de extensão, comportando 1.262 municípios e população de 27.870.242 habitantes, sendo a região semiárida mais populosa do mundo (SUDENE, 2017) (Figura 1). O Nordeste apresenta 56,46% de seu território na porção Semiárida e o Estado do Ceará 95,1% do seu território, o que corresponde a 175 municípios estão inseridos na área do semiárido (INSA, 2012; SUDENE, 2017).

Figura 1. Delimitação do Semiárido brasileiro no ano de 2017.



Fonte: Sudene (2021).

A provável intensificação de secas extremas tem demandado medidas proativas para aumentar a resiliência da população aos impactos esperados das secas (MARENGO *et al.*, 2017). A precipitação reduzida e irregular e as altas taxas evapotranspirativas durante o ano resultam em um balanço hídrico negativo (SILVA *et al.*, 2010). Outra adversidade climática afeta as regiões semiáridas no tocante à exploração agrícola, os veranicos. Os veranicos podem ser definidos como a ocorrência de períodos com pouquíssima ou nenhuma chuva durante a estação chuvosa, o que pode gerar estresse hídrico às plantas.

O estresse hídrico pode ocorrer através da falta de água (déficit hídrico), ou por excesso de água (inundação), sendo o primeiro mais recorrente nas regiões semiáridas (JACINTO JÚNIOR *et al.*, 2019). A irrigação, em muitas situações, é o recurso determinante à produção agrícola com segurança, principalmente em regiões tropicais de clima quente e seco, como é o caso do semiárido do Nordeste brasileiro (HOLANDA *et al.*, 2016).

Na agricultura irrigada é preciso conhecer os fatores determinantes no manejo da irrigação que interferem diretamente no maior ou menor consumo de água, no armazenamento da umidade do solo (LOPES *et al.*, 2011; AZEVEDO *et al.*, 2014), bem como na evapotranspiração das culturas que varia em função da disponibilidade de água no solo. Com intuito de aumentar a eficiência do uso da água e manter a produtividade das culturas surgiram estratégias de irrigação com déficit hídrico controlado.

As estratégias de irrigação com déficit hídrico controlado têm como princípio básico que a diminuição no rendimento das culturas não é significativa em comparação com a economia de água obtida (CANTORE *et al.*, 2016). Uma dessas alternativas é a chamada irrigação suplementar, sendo uma estratégia para reduzir os efeitos de veranicos em regiões semiáridas com a utilização de águas residuárias na irrigação (OLIVEIRA *et al.*, 2020). Nessa estratégia, pequenas quantidades de água são adicionadas às culturas que são essencialmente de sequeiro, nos períodos de veranicos para manter a umidade do solo, estabilizando a produtividade e economizando ainda mais água.

A variabilidade espaço-temporal, juntamente com a baixa precipitação durante as estações de cultivo, sugere que a agricultura de sequeiro necessite de uma irrigação suplementar que possa reduzir o estresse hídrico sofrido durante os estádios de crescimento das culturas e aumentar e estabilizar a produtividade agrícola (ALI *et al.*, 2015). A irrigação suplementar é, portanto, uma estratégia adicional para aumentar de forma substancial a produção agrícola e a produtividade da água.

4.1.1 Veranicos

Conhecido pelas fortes secas e ações de veranicos, o Brasil necessita de uma excelente otimização do uso racional de seus recursos hídricos (MAGALHÃES *et al.*, 2019). As áreas semiáridas do Nordeste brasileiro apresentam variabilidades climáticas e geográficas espaciais que podem ocasionar escassez hídrica e vulnerabilidade dos recursos naturais (FERNANDES, 2014). Localizado na região semiárida do Nordeste brasileiro, o Estado do Ceará apresenta clima predominante semiárido e o seu regime de precipitação é bastante irregular (ROCHA *et al.*, 2021).

A sua precipitação concentra-se nos primeiros meses do ano e seus valores da precipitação média do estado podem ficar em torno de 500 mm/ano em algumas regiões do Sertão do Inhamuns, mais de 1.400 mm/ano na região litoral de Fortaleza, acima de 1800 mm/ano em regiões da Serra da Ibiapaba e em torno de 1.000 mm/ano na Chapada do Araripe (COUTINHO *et al.*, 2017). No Nordeste brasileiro é comum a ocorrência de veranicos durante a quadra chuvosa.

De acordo com Rocha *et al.* (2021) os veranicos são caracterizados por um período de dias consecutivos com ausência de precipitação na estação chuvosa, sendo uma das principais adversidades climáticas que ocasionam perdas nas safras. A ocorrência desse evento meteorológico é influenciada por massas estacionárias de ar quente, gerando uma alta pressão atmosférica, que impedem a formação de nuvens e a ocorrência de precipitação.

Os veranicos podem ser classificados baseando-se no grau de intensidade, frequência e tempo de duração. Essa classificação também dependerá da metodologia utilizada nos estudos sobre esse fenômeno. Para Martins (2017), veranico consiste em cinco dias seguidos sem pluviometria ou com precipitação inferior a necessidade de irrigação da cultura ao longo da estação chuvosa, já para Menezes, Brito e Lima (2010) esse evento ocorre quando a precipitação é inferior a dois milímetros.

A duração e a quantidade de eventos de veranicos variam de acordo com as condições atmosféricas e oceânicas, condições essas que definem a distribuição e as intensidades anuais das precipitações como anos de El Niño e La Niña e das fases positivas ou negativas do Dipolo de anomalias de Temperatura da Superfície do Mar do Atlântico, ou seja, em anos em que essas condições desfavorecem a ocorrência de chuvas no Nordeste brasileiro os veranicos são mais presentes, nesse sentido a ocorrência de veranicos tende a ser distinta de um ano para o outro (RODRIGUES *et al.*, 2011).

O conhecimento sobre os eventos climatológicos e a previsão de duração dos veranicos é essencial para o desenvolvimento da agricultura de sequeiro, deste modo os

agricultores podem buscar alternativas para mitigar os efeitos negativos dessa estiagem sobre a produção agrícola, como o uso da irrigação suplementar. A agricultura de sequeiro é de extrema importância para a segurança alimentar da população nordestina brasileira e para as suas atividades ocupacionais, especialmente para os municípios que possuem grande parte da população vivendo na área rural submetida às recorrentes secas. Esse sistema, sem irrigação, utilizado em regiões de clima com baixa pluviometria, torna a agricultura uma atividade de risco e altamente dependente do ritmo climático (RODRIGUES *et al.*, 2022).

Os veranicos se constituem em um sério problema, pois quando se estendem por longo período de tempo, podem atingir a emergência das plantas ou os estádios fenológicos de floração e de formação da produção, causando frustração parcial ou total da safra (SILVA, RAO, 2002). A ocorrência de déficit hídrico nos estádios fenológicos de maior sensibilidade da cultura pode ocasionar drásticas perdas de produção. Sugiro colocar no subtópico de veranicos.

Os veranicos afetam a água disponível no solo de modo que quanto maior a durabilidade dos fenômenos menor é a umidade, a falta de água gera interferências nas atividades metabólicas da planta e no seu potencial produtivo (FERNANDES *et al.*, 2015). Ademais, a redução das trocas gasosas foliares sob escassez de água restringe o crescimento das plantas e conseqüentemente produtividade de culturas sob cultivo de sequeiro em regiões semiáridas tropicais. No entanto, tais efeitos deletérios dependem do grau de intensidade do estresse e da espécie cultivada, tendo em vista a tolerância e adaptação de algumas espécies ao estresse hídrico, minimizando assim os prejuízos.

Em espécies forrageiras como a palma (*Opuntia ficus-indica* M.) e a cunhã (*Clitória ternatea* L.) que possuem baixa demanda hídrica, os efeitos negativos dos veranicos podem ser menos deletérios ao rendimento. Nas cactáceas, em especial na palma forrageira, é possível observar mecanismos fisiológicos peculiares, como o metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), o que lhe confere um alto rendimento em condições de déficit hídrico (ARAÚJO JÚNIOR *et al.*, 2019). Já a cunhã possui adaptabilidade e resiliência sob condições de seca, com potencial de regeneração logo após o início do período chuvoso (ABREU *et al.*, 2014).

4.1.2 Irrigação suplementar como alternativa aos impactos negativos dos veranicos na agricultura.

A irrigação suplementar é uma alternativa para a manutenção da produção agrícola em longos períodos de veranicos, mesmo quando a água utilizada é salobra. Todavia, as fontes

hídricas de boa qualidade são insuficientes para suprir a irrigação suplementar, deste modo as águas de qualidade inferior como as salobras tornam-se relevantes para fins de suplementação.

Silva *et al.* (2020) avaliando o efeito da irrigação suplementar na produtividade e eficiência no uso de água da Palma forrageira observaram maior eficiência no uso da água no tratamento sequeiro, sem suplementação. Por outro lado, maiores lucros foram obtidos por Silva *et al.* (2022) ao estudarem a rentabilidade do uso da irrigação no consórcio palma-sorgo para agricultores em ambiente semiárido, com base em indicadores econômicos, a adoção de lâminas de irrigação (25, 50, 75 e 100% ETo) promoveu lucros para os sistemas (solteiro e consorciado) a partir do segundo ano de implantação.

Algumas pesquisas demonstraram incremento no rendimento, biomassa e trocas gasosas com a utilização da irrigação suplementar em outras culturas como o girassol e algodão, respectivamente (CARVALHO *et al.*, 2020; ARAÚJO *et al.*, 2020, OLIVEIRA *et al.*, 2020). Cavalvante *et al.* (2021) analisando o efeito da irrigação suplementar com água salobra na cultura do milho na região tropical semiárida do Brasil observaram que os tratamentos suplementados com água salobra tiveram um maior rendimento e foram economicamente mais vantajosos.

Rocha *et al.* (2021) avaliando os indicadores de veranicos e de distribuição de chuva no Ceará e os impactos na agricultura de sequeiro observaram para as culturas de milho e feijão que quanto maior a frequência de eventos de veranicos maior a perda de safra. Rodrigues (2016) observou ligação entre veranicos e produtividade agrícola, a correlação foi positiva entre rendimento e veranicos de curta duração (5 a 10 dias) e negativa com veranicos de longa duração (> 15 dias).

Portanto, a exploração de águas salobras para suplementação mostra-se uma alternativa aos veranicos e a produção de forragem no semiárido nordestino. Com a crescente procura por fontes alimentares alternativas para o suprimento animal, surge a necessidade de explorar as fontes hídricas encontradas no semiárido e as culturas adaptadas a essa região.

4.2 Agricultura bioessalina

A salinidade da água e do solo é um problema presente em todos os continentes, impactando ecossistemas e atividades agrícolas, notadamente em regiões áridas e semiáridas (FAO, 2021). A convivência com esse problema em regiões semiáridas pressupõe a busca de genótipos tolerantes e o emprego de estratégias de manejo que reduzam os impactos

sobre as plantas e o ambiente (LACERDA *et al.*, 2016). Diante do cenário de escassez da água na agricultura, o uso de água de qualidade inferior, como águas salobras, apresenta-se com uma alternativa importante (NEVES *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2019), principalmente para irrigação suplementar.

Agricultura bioassalada é um termo amplo usado para descrever a agricultura sob uma variedade de níveis de salinidade nas águas subterrâneas, solos, ou uma combinação de ambos (MASTERS *et al.*, 2007). Alguns autores também denominam essa atividade de agricultura salina, que de acordo com Negacz *et al.* (2022) consiste no uso de solos salinos para a produção com a utilização de culturas tolerantes aos sais. O uso desse tipo de agricultura pode garantir a produção agrícola em ambientes afetados pela salinidade da água e/ou do solo (GHEYI *et al.*, 2023).

A produção de forragem em regiões semiáridas pode ser incrementada com o uso da agricultura bioassalada, no entanto, um dos principais determinantes da produção pecuária na agricultura bioassalada é a quantidade de biomassa comestível produzida, tendo em vista os efeitos negativos da salinidade (MASTERS *et al.*, 2007). Os sais presentes na água e no solo constituem num grande obstáculo ao crescimento e ao sistema de produção (GUEDES FILHO *et al.*, 2015; SOUSA *et al.*, 2018).

De acordo com Lessa *et al.* (2023) a expansão da agricultura bioassalada na região semiárida tropical não é definida apenas pela tolerância da cultura ao sal, mas também pela disponibilidade hídrica. De acordo com os autores supracitados a solução está relacionada à busca de sistemas de produção mais promissores, devido à sua elevada capacidade de tolerar níveis de salinidade da água, menor demanda de água, ou ambos.

No Estado do Ceará, os poços possuem baixas vazões o que impossibilita a irrigação plena das culturas com água salobra, todavia a irrigação suplementar mostra-se viável (LESSA *et al.*, 2023). Para a irrigação suplementar de culturas anuais, os limites de salinidade são mais elevados do que para a irrigação total, devido à possibilidade de lixiviação de parte dos sais pela água da chuva (CAVALCANTE *et al.*, 2022). Portanto, a busca de sistemas de produção que envolvam plantas tolerantes aos sais e com baixa demanda hídrica, podem impulsionar a agricultura bioassalada e a produção de forragem.

Lessa *et al.* (2023) notaram maior potencial irrigável no sistema de produção composto pela palma forrageira, sugerindo que esta deve ser irrigada apenas na estação seca. Porém, a diversificação do sistema produtivo faz-se necessária para garantir a sustentabilidade da agricultura bioassalada. Outras culturas podem ser utilizadas a fim de maximizar a produção em uma determinada área, otimizando os recursos disponíveis. Em culturas de ciclo mais curto,

a irrigação suplementar pode ainda ser praticada durante a estação chuvosa no semiárido brasileiro (LESSA *et al.*, 2023).

No semiárido brasileiro, a qualidade da água oscila em determinadas épocas do ano, assim como o posicionamento geográfico, em relação à zona árida (SOUSA *et al.*, 2018), na quadra chuvosa a qualidade da água melhora pela diluição dos sais contidos na água de irrigação, bem como os sais contidos e ou aplicados no solo podem ser lixiviados. Para evitar o acúmulo de sais no solo, a água deve ser manejada em quantidades recomendadas, e os solos devem apresentar alta permeabilidade (SILVA *et al.*, 2021).

Os sais contidos na água de irrigação e no solo podem inibir o crescimento das plantas por diferentes razões: pelo efeito osmótico, pelos efeitos de íons específicos, pela dificuldade de absorção de nutrientes, dentro outros (PARIHAR *et al.*, 2015; ISAYENKOV, MAATHUIS, 2019). O estresse salino ocorre em duas fases nas plantas, sendo elas a fase osmótica e a fase iônica. A fase osmótica acontece quando o acúmulo de sais no solo reduz o seu potencial osmótico, restringindo a absorção de água e nutrientes pela planta e conseqüentemente resultando no fechamento estomático e aumento da temperatura foliar. A fase iônica ocorre devido ao acúmulo de íons de sais nos tecidos vegetais, que danifica os tecidos e promove a senescência e perda das folhas e ramos (MUNNS, TESTER, 2008).

A toxicidade é causada pela presença dos íons cloreto, sódio e boro na água de irrigação ou no solo e o desbalanço da concentração desses íons na planta. Problemas de toxicidade surgem quando os íons na água de irrigação ou no solo se acumulam excessivamente no tecido da planta de tal forma que causam reduções no rendimento, independentemente da concentração total de sais (DIAS *et al.*, 2016). Os efeitos deletérios da salinidade podem restringir ainda a absorção de água e de nutrientes minerais pelas plantas, afetando o metabolismo, a expansão celular e a produção de fotoassimilados, que resultam em menor crescimento e decréscimo na produtividade das culturas agrícolas (TAIZ *et al.*, 2017; SOUSA *et al.*, 2020).

Ressalta-se que o estresse salino, promove o fechamento dos estômatos foliares e a redução na transpiração, e, conseqüentemente, diminuição na absorção de água e nutrientes pelas plantas (DIAS *et al.*, 2017). Em resposta ao estresse salino algumas plantas desenvolvem mecanismos, como por exemplo o ajustamento osmótico afim de retornar à absorção de água pelas raízes. Esse ajustamento ocorre pelo acúmulo de prolina, carboidratos solúveis, entre outros compostos solúveis compatíveis no tecido vegetal (RODRÍGUEZ *et al.*, 2010).

Vale salientar que a realização do ajuste osmótico demanda um gasto energético alto às plantas. Outra forma de resposta das plantas ao estresse salino é por meio do fechamento

estomático, que por diminuir a transpiração mantém o status hídrico da planta (TAIZ *et al.*, 2017). A tolerância e a sensibilidade das plantas à salinidade dependem, sobretudo, do tipo de sal, do método, da frequência de irrigação e das condições climáticas (RHOADES *et al.*, 2000).

Quanto à tolerância a salinidade, as plantas são divididas em dois grupos: halófitas e glicófitas; e em quatro classes: sensível, moderadamente sensível, moderadamente tolerante e tolerante (ELGALLAL *et al.*, 2016). As plantas halófitas possuem mecanismos para contornar a salinidade, como o ajuste osmótico e a presença de vacúolos para retenção de sais. Já as plantas glicófitas, que são a maioria das plantas cultiváveis do mundo, não apresentam esses mecanismos, porém sua tolerância à salinidade pode variar.

4.3 Palma forrageira

A palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* M.) é considerada uma planta xerofílica e está adaptada à dureza das regiões semiáridas (FONSECA *et al.*, 2019). Seu potencial tem sido avaliado para diversos usos como alimentação animal (MAYER, CUSHMAN, 2019) e humana, bem como para o combate a desertificação (NEFZAOU *et al.*, 2002). Na alimentação animal mostra-se como importante fonte energética por possuir alto teor de carboidratos, nutrientes digestíveis totais e água.

4.3.1 Origem, classificação botânica e aspectos gerais

A palma forrageira não é uma espécie nativa do Brasil, foi introduzida por volta de 1880, em Pernambuco, através de material importado do Texas - Estados Unidos (SILVA *et al.*, 2007; GALVÃO JÚNIOR *et al.*, 2014). De origem mexicana, adaptou-se ao semiárido nordestino por sua rusticidade e resistência ao estresse hídrico. Com metabolismo ácido das crassuláceas (MAC) sua abertura estomática e fixação de CO₂ é noturna, reduzindo a perda de água e aumentando a eficiência no seu uso.

A palma forrageira é pertencente à Divisão: Embryophyta, Subdivisão: Angiospermea, Classe: Dicotyledoneae, Subclasse: Archiclamideae, Ordem: Opuntiales e família das Cactáceas (SILVA, SANTOS, 2006). De modo geral, a palma, é um cacto suculento de crescimento arbustivo, com altura variando de 1,5 a 5 m de altura, com caule de 60 a 150 cm de largura. Seus ramos são clorofilados achatados, de cor verde-acinzentada, variando de

muito espinhosos até desprovidos de espinhos (inermes) (GOIS *et al.*, 2013).

Um cladódio plantado, responsável por propagação via clonal, o enraizamento e suporte de planta, é denominado “cladódio basal”, enquanto, os cladódios de primeira ordem são aqueles com maior disponibilidade de superfície assimiladora e, como tal, são os principais responsáveis pela sustentação da planta e distribuição de nutrientes e água para os demais órgãos (QUEIROZ *et al.*, 2015; PESSOA *et al.*, 2022).

No Nordeste brasileiro, são cultivadas predominantemente duas espécies, a *Opuntia ficus indica* Mill e a *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck, principalmente as variedades redonda, gigante e miúda, as quais são variedades sem espinhos (GALVÃO JÚNIOR *et al.*, 2014). A palma Orelha de Elefante Mexicana é uma cultivar resistente à praga da cochonilha-do-carmim (LOPES *et al.*, 2010), sendo menos exigente em nutrientes, apresentando espinhos o que pode dificultar seu manejo como forrageira.

O emprego de tecnologias nos sistemas de produção da palma são escassos, o que justifica as pequenas populações de palma dispersas pelo globo. Vale salientar que o espaçamento de plantio na cultura da palma pode afetar a interceptação de luz e eficiência fotossintética, influenciando seu desenvolvimento e rendimento (FONSECA *et al.*, 2020). Embora demonstre um grande potencial produtivo, a produtividade da palma forrageira ainda é considerada baixa, com melhorias nos últimos anos (BARROS *et al.*, 2016).

O conhecimento sobre a demanda hídrica da palma forrageira é insuficiente, principalmente quando cultivada em condições semiáridas (FONSECA *et al.*, 2019). Com a escassez de água de boa qualidade, faz-se imprescindível o emprego de águas salobras para manutenção da agricultura irrigada e da produção agrícola. A irrigação utilizada de forma complementar à precipitação pluvial, torna o cultivo de palma forrageira mais estável ao longo do ciclo, uma vez que não é atingido pelos eventos de irregularidade climática e estiagem prolongada (SANTOS, DONATO, COTRIM JUNIOR, 2020).

Apesar da tolerância que a palma forrageira apresenta ao déficit hídrico, alguns estudos têm demonstrado incremento na produtividade com uso da irrigação (DUBEUX *et al.*, 2015; LEMOS *et al.*, 2021; PEREIRA *et al.*, 2015). Em condições irrigadas, a palma forrageira (*Opuntia spp.* e *Nopalea spp.*) pode produzir entre 50 e 60 vezes mais forragem por hectare em comparação à Caatinga (DUBEUX *et al.*, 2015). Um bom manejo da palma forrageira é de suma importância para o desenvolvimento satisfatório e obter altas produções do palmal (SILVA *et al.*, 2019).

4.3.2 Tolerância da palma forrageira à salinidade

A palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) apresenta satisfatório rendimento de biomassa em condições salinas (SILVA *et al.*, 2022). Segundo Ayers e Westcot (1991), a tolerância da palma forrageira à salinidade da água é de 3,6 dS m⁻¹. Rendimentos positivos foram observados por Diniz *et al.* (2017) e Fonseca *et al.* (2019) nas cultivares de palma forrageira ‘Orelha de elefante’ e ‘Gigante’ com o uso de condutividade elétrica da água de 2,5 e 3,6 dS m⁻¹, respectivamente. De acordo com Nadaf *et al.* (2018) não houve redução na produtividade da palma forrageira até a condutividade elétrica da água de 14,75 dS m⁻¹.

Todavia, Silva *et al.* (2021) observaram que altos níveis salinos ocasionaram efeitos deletérios no crescimento e produção da palma forrageira, onde as cultivares ‘Miúda’ e ‘Orelha de Elefante Mexicana’ apresentaram redução no crescimento das plantas em 60,5% e 36,5%, respectivamente quando submetidos à condutividade elétrica da água de 20 dS m⁻¹.

4.4 Cunhã

A cunhã (*Clitoria ternatea* L.) é uma leguminosa forrageira tropical, de ciclo perene resistente a estiagem. Recentemente, atraiu muito interesse, pois tem aplicações potenciais tanto na medicina moderna, na agricultura como forragem e como fonte de corantes e antioxidantes naturais para alimentos (OGUIS *et al.*, 2019).

4.4.1 Origem, classificação botânica e aspectos gerais

A cunhã (*Clitoria ternatea* L.) é da família das fabaceae e nativa da Ásia Tropical Equatorial, mas foi introduzida na África, Austrália e está presente na Américas Central e do Sul e no Caribe (MARTINS *et al.*, 2012). É pertencente à família Fabaceae (leguminosas), subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, e subtribo Clitoriinae (ABREU *et al.*, 2014). Apresenta folhas pinadas com 5 ou 7 folíolos, com pecíolos de 1,5 a 3 cm de comprimento. As flores são axilares, simples ou emparelhadas, com cor variando de branco, malva, azul-claro à azul-escuro (COOK *et al.*, 2020).

Segundo Abreu *et al.* (2014), a *C. ternatea* produz forragem com valor nutritivo comparável às culturas de leguminosas forrageiras tradicionalmente cultivadas como a alfafa e o trevo. Tem demonstrado grande potencial de cultivo na região semiárida, tanto para feno, adubação verde, pastejo, banco de proteína ou forragem verde, além de consórcios com

gramíneas e outras espécies. Por ser uma leguminosa forrageira, a cunhã possui a capacidade de fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico, além de elevado valor nutritivo, que pode ser essencial para aumentar a produtividade (TAMBARA *et al.*, 2017).

As raízes dessa leguminosa são profundas no solo e sua propagação ocorre por sementes, além de possuir tolerância à seca e suportar bem regimes pluviométricos de 380 mm por ano (BARROS *et al.*, 2004). Todavia, Salgado *et al.* (2010) observaram em seu estudo que o fator de produção água é limitante à produção da cunhã. Um dos problemas que dificultam a semeadura e podem limitar o estabelecimento da cunhã é a baixa germinação das sementes (MISTURA *et al.*, 2010), isto porque seu tegumento possui impermeabilidade, gerando dormência em suas sementes. Antes da semeadura indica-se que as sementes de cunhã sejam submetidas à quebra de dormência, ou por escarificação mecânica ou por imersão em água morna por 12 horas.

4.4.2 Tolerância da cunhã à salinidade

Clitoria ternatea L. possui grande potencial de cultivo no semiárido brasileiro, devido à sua tolerância à seca, pastejo, pisoteio e estresse hídrico (MISTURA *et al.*, 2010), tornando-a uma planta ideal para uso em sistema de rotação de culturas e consórcios promissores para alimentação animal. Além disso, *Clitoria ternatea* L. tem se mostrado moderadamente tolerante ao estresse salino (BHARGAVA *et al.*, 2016). De acordo com Nasim *et al.* (2021) a cunhã tolera até 250 mM(milhões molar) de NaCl.

Keating *et al.* (1986) descrevem a cunhã como uma cultura de baixa a moderada tolerância à salinidade do solo, podendo alcançar até 50% de crescimento máximo com uso da condutividade elétrica do extrato de saturação de 6,4 dS m⁻¹. Martins *et al.* (2012) estudando a morfofisiologia da cunhã cultivada sob estresse salino observaram que o incremento da condutividade elétrica da água (0; 2; 4; 6; 8; 10 e 12 dS m⁻¹) afetou negativamente todas as variáveis morfofisiológicas analisadas. Mistura *et al.* (2011) notaram que a salinidade da água de 2,0 dS m⁻¹ afeta negativamente os parâmetros de germinação e vigor, bem como o desenvolvimento das plântulas de cunhã.

5. CAPÍTULO 1: PRODUTIVIDADE E ACÚMULO DE PROTEÍNA EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO CONSORCIADOS DE PALMA FORRAGEIRA E CUNHÃ SOB IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR COM ÁGUA SALOBRA

RESUMO: A irrigação suplementar com água salobra pode diminuir as perdas da agricultura de sequeiro e viabilizar maior produção de forragem, especialmente em períodos de veranicos. O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da irrigação com água salobra sobre a produtividade de biomassa e de proteínas em diferentes sistemas de produção com as culturas da palma forrageira e cunhã. O experimento foi conduzido no município de General Sampaio – CE, nos anos de 2022 a 2023. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com quatro blocos. As parcelas foram referentes a dois cenários hídricos: sequeiro e irrigado; as subparcelas foram formadas por quatro sistemas de produção compostos pelas forrageiras cunhã (*Clitória ternatea* L.) e palma forrageira (*Opuntia stricta* (Haw) Haw): Sistema 1 – palma forrageira em monocultivo (P) (2,0 x 0,1m), sistema 2 – cunhã em monocultivo(C) (1,0 x 0,1m), sistema 3 – palma consorciada (2,0 x 0,1m) com uma linha de cunhã (P+1C) (1,0 x 0,1m), sistema 4 – palma (3,0 x 0,1m) consorciada com duas linhas de cunhã (P+2C) (1,0 x 0,1m). O valor médio da salinidade da água de irrigação (mistura 1:1 de duas fontes hídricas) foi de 3,0 e 4,0 dS m⁻¹, respectivamente para a irrigação da cunhã e da palma forrageira. A cultura da cunhã recebeu irrigação suplementar entre os meses de fevereiro e agosto durante a ocorrência de veranicos, enquanto a palma forrageira foi irrigada apenas durante a estação seca (julho a dezembro), em um turno de rega de sete dias. Aos 291 e 473 dias após o plantio (DAP) foi realizado o corte da palma forrageira; para a cultura da cunhã foram feitos dois cortes aos 120 e 180 DAP. Foram avaliadas as seguintes variáveis: Produtividade de biomassa fresca e seca, produtividade de sementes (cunhã), produtividade de proteína bruta e produtividade física da água. O pH e a condutividade elétrica do solo foram avaliados aos 128, 226, 291 e 495 DAP. O uso de irrigação suplementar com água salobra durante os veranicos na cultura da cunhã favorece maior a produção de biomassa e de sementes, bem como eleva o teor de proteína bruta do sistema em monocultivo. A irrigação com água salobra na estação seca na cultura da palma forrageira reduz os efeitos negativos do estresse hídrico e beneficia a produção de biomassa fresca e seca, o teor de proteína bruta e a produtividade física da água. O sistema consorciado P+1C em relação ao monocultivo mostrou-se o mais vantajoso quanto a produção de biomassa, de proteína bruta e eficiência no uso da água, mostrando-se uma alternativa para a produção de forragem no semiárido brasileiro. A

irrigação suplementar ou sazonal com água salobra não salinizou o solo, visto que as chuvas propiciaram a lixiviação dos sais aportados no solo, representando poucos riscos para solos arenosos e de boa drenagem natural, como o que foi utilizado no presente estudo.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura bioassalada; consórcio; semiárido; produção de forragem.

ABSTRACT: Supplemental irrigation with brackish water can reduce losses from rainfed agriculture and enable greater forage production, especially during summer periods. The objective of the present study was to evaluate the effect of irrigation with brackish water on biomass and protein productivity in different production systems with forage cactus and butterfly pea crops. The experiment was conducted in the municipality of General Sampaio – CE, in the years 2022 to 2023. The experimental design was in randomized blocks, in subdivided plots, with four blocks. The plots referred to two water scenarios: rainfed and irrigated; the subplots were formed by four production systems composed of the forage plants butterfly pea (*Clitoria ternatea* L.) and forage palm (*Opuntia stricta* (Haw) Haw): System 1 – forage palm in monoculture (P) (2,0 x 0,1m), system 2 – butterfly pea in monoculture (C) (1,0 x 0,1m), system 3 – intercropped forage palm (2,0 x 0,1m) with a butterfly pea line (P+1C) (1,0 x 0,1m), system 4 – forage palm (3,0 x 0,1m) combined with two butterfly pea lines (P+2C) (1,0 x 0,1m). The average salinity value of irrigation water (1:1 mixture of two water sources) was 3,0 and 4,0 dS m⁻¹, respectively for the irrigation of butterfly pea and forage palm. The butterfly pea crop received supplementary irrigation between the months of February and August during the dry spells, while the cactus was irrigated only during the dry season (July to December), in a seven-day irrigation shift. At 291 and 473 days after planting (DAP), the cactus was cut; for the butterfly pea culture, two cuts were made at 120 and 180 DAP. The following variables were evaluated: Fresh and dry biomass productivity, seed productivity (butterfly pea), crude protein productivity and physical water productivity. Soil pH and electrical conductivity were evaluated at 128, 226, 291 and 495 DAP. The use of supplementary irrigation with brackish water during the summer in butterfly pea cultivation favors greater biomass and seed production, as well as increasing the crude protein content of the monoculture system. Irrigation with brackish water in the dry season in cactus cultivation reduces the negative effects of water stress and benefits the production of fresh and dry biomass, crude protein content and physical water productivity. The P+1C consortium system in relation to monoculture proved to be the most advantageous in terms of biomass production, crude protein and water use efficiency, proving to be an alternative for forage production in the Brazilian semi-arid region.

Supplemental or seasonal irrigation with brackish water did not salinize the soil, as the rain allowed the leaching of salts contributed to the soil, posing little risk for sandy soils with good natural drainage, such as the one used in the present study.

KEYWORDS: biosaline agriculture; intercropping; semi-arid; forage production.

5.1 Introdução

Agricultura irrigada é fundamental para a produção agrícola e pecuária nas regiões áridas e semiáridas. A expansão da agricultura irrigada é comprometida pela escassez hídrica nessas regiões decorrente da má distribuição geográfica e espacial da precipitação ao longo do ano (RIBEIRO *et al.*, 2022). Outro fator que inviabiliza sua expansão é a salinidade do solo e da água presentes na região semiárida brasileira. Como consequência, nessas regiões ocorrem irregularidades na oferta de forragem em razão da sazonalidade climática (SANTOS *et al.*, 2023).

Diante dessa conjuntura surgem alternativas para garantir a produção agrícola e pecuária nessas regiões, como a utilização de culturas tolerantes ao déficit hídrico e a irrigação suplementar com água salobra (CAVALCANTE *et al.*, 2022). Araújo *et al.* (2022) observaram acréscimo na produtividade do algodão com a utilização de irrigação suplementar no semiárido brasileiro, de modo similar Cavalcante *et al.* (2021) notaram que a irrigação suplementar com água salobra durante os períodos de seca reduziu as perdas no rendimento do milho.

Adaptada às condições áridas e semiáridas, a palma forrageira (*Opuntia* sp. e *Nopalea cochenillifera*) é uma importante fonte para suprimento alimentício dos rebanhos mesmo em épocas com grandes estiagens, possuindo boa produtividade, rica em água, alto teor de minerais e um bom desempenho quanto à palatabilidade (ALVES *et al.*, 2020). Contudo, a alimentação somente com palma forrageira não é suficiente para suprir a demanda requerida pelos animais, sendo necessário associá-la com outros alimentos de maiores teores de fibras e proteínas, como gramíneas e leguminosas (SANTOS *et al.*, 2023).

A cunhã (*Clitória ternatea* L.) é uma leguminosa forrageira com baixa exigência hídrica e que possui tolerância à seca (BARROS *et al.*, 2004). Essa espécie apresenta alto teor proteico e pode ser ofertada na forma in natura ou feno e possui múltiplos usos, tendo potencial para pastejos rotativos, banco de proteína, forragem verde, consórcios com gramíneas e adubação verde, caracterizando-se como uma planta versátil de alta palatabilidade em todos os grupos de ruminantes, além de excelentes qualidades nutricionais (MACHADO *et al.*, 2021).

O uso de espécies tolerantes ao estresse hídrico e salino cultivadas de forma consorciada pode ser uma solução para a escassez de água nas regiões semiáridas (LIU *et al.*, 2018; JARDIM *et al.*, 2021a). Praticar o consórcio aumenta a produtividade e o rendimento em áreas secas, devido ao aumento da densidade de plantas, otimizando o uso da terra (HARIPO *et al.*, 2023), principalmente pelo uso complementar mais efetivo dos recursos disponíveis (LI *et al.*, 2014).

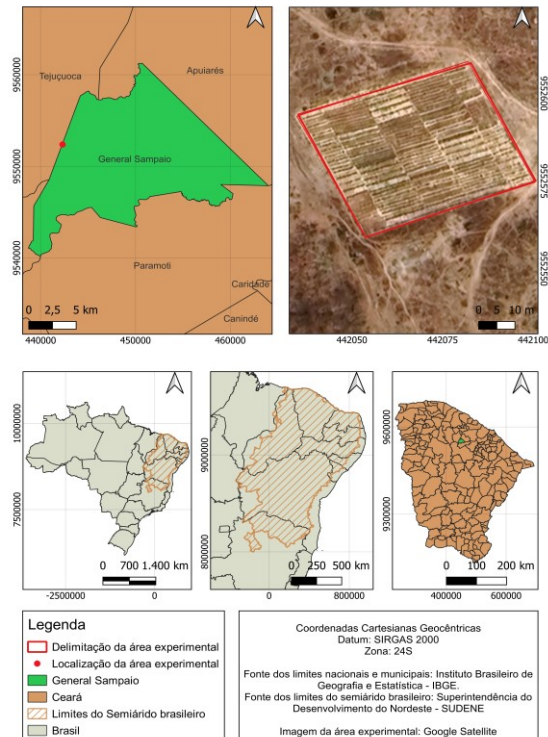
Entretanto, estudos envolvendo sistemas consorciados de cactáceas com leguminosas, como a cunhã (*Clitoria ternatea* L.) sob irrigação suplementar com água de baixa qualidade, ainda são escassos na literatura, uma vez que não existem pesquisas que investiguem a influência do consórcio e da utilização de irrigação (plena ou suplementar) sob a produtividade dessas culturas. Como hipótese, pressupõe-se que os sistemas de produção irrigados e suplementados com água salobra alcançarão maior produtividade de biomassa fresca e seca, produtividade física da água e produtividade de proteína por hectare por ano.

Portanto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da irrigação com água salobra sobre a produtividade de biomassa e de proteínas em diferentes sistemas de produção com as culturas da palma forrageira e cunhã.

5.2 Material e métodos

O experimento foi realizado de fevereiro de 2022 a agosto de 2023, na localidade de Riacho das Pedras pertencente ao município de General Sampaio localizado no Estado do Ceará, Brasil, com coordenadas de latitude 4° 03' 10" Sul; longitude 39° 27' 16" Oeste e altitude de 93 metros (Figura 2). O clima da região é caracterizado como tropical quente semiárido brando, com chuvas predominantes nos meses de janeiro a abril e temperatura média de 26 a 28°C (Instituto de Pesquisas Econômicas do Ceará – IPECE, 2017).

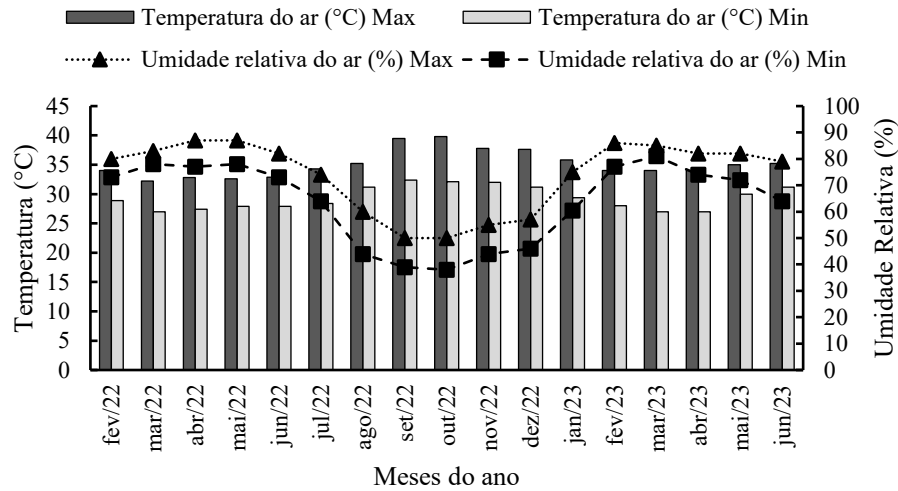
Figura 2. Localização da área experimental na cidade de General Sampaio, Ceará, Nordeste do Brasil.



Fonte: (Lessa, 2023).

Os dados meteorológicos durante o período de condução do experimento encontram-se na Figura 3. Os dados são provenientes da estação meteorológica da Fazenda Experimental Vale do Curu da Universidade Federal do Ceará, em Pentecoste – CE, próximo a General Sampaio – CE. Ambos municípios fazem parte da microrregião do Vale do Curu, Ceará, Brasil.

Figura 3. Condições climáticas durante a condução do experimento.



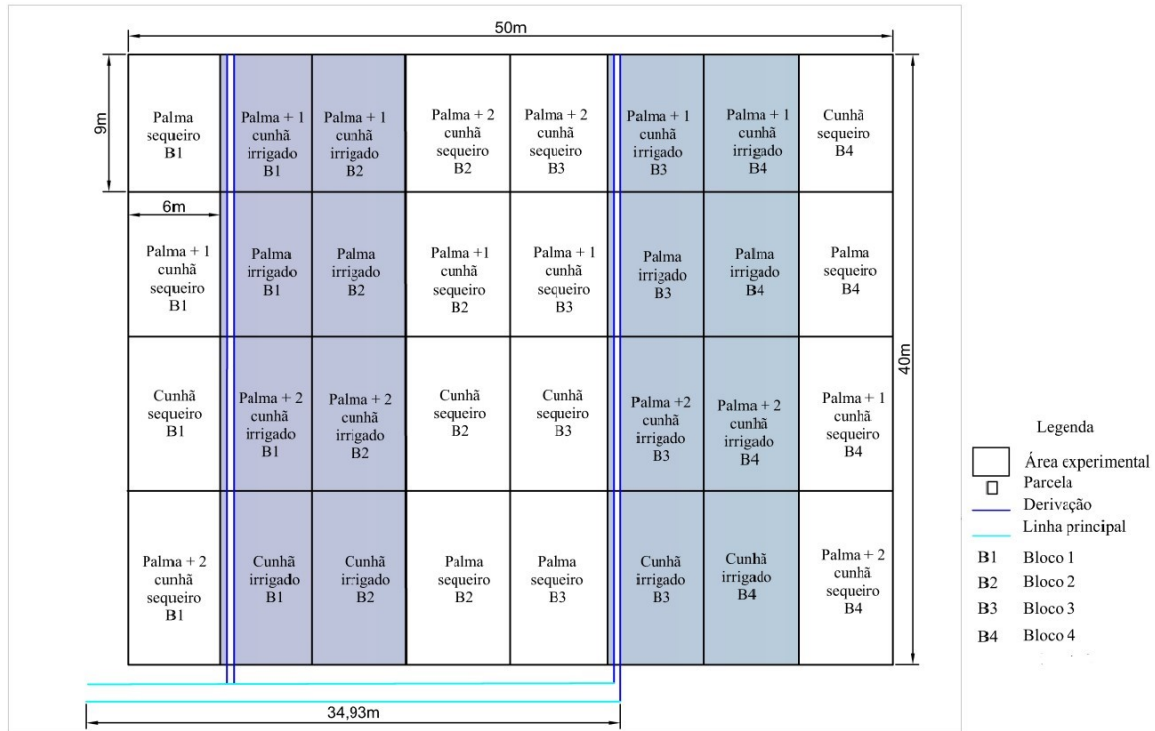
Fonte: Adaptado dos dados da Estação meteorológica Vale do Curu, da Universidade Federal do Ceará, Pentecoste - CE (2022, 2023).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com quatro blocos. As parcelas foram referentes a dois regimes hídricos: sequeiro e irrigado; já as subparcelas foram formadas por quatro sistemas de produção de biomassa: Sistema 1 – palma forrageira em monocultivo (P) (2,0 x 0,1m); Sistema 2 – cunhã em monocultivo (C) (1,0 x 0,1m); Sistema 3 – palma forrageira consorciada (2,0 x 0,1m) com uma linha de cunhã (P+1C) (1,0 x 0,1m); Sistema 4 – palma forrageira (3,0 x 0,1m) consorciada com duas linhas de cunhã (P+2C) (1,0 x 0,1m).

O estande de plantas de cada sistema de produção foi assim definido: Sistema 1 (P) – palma forrageira em monocultivo (50.000 plantas ha⁻¹); Sistema 2 (C) – cunhã em monocultivo (100.000 plantas ha⁻¹); Sistema 3 (P+1C) – palma forrageira consorciada (50.000 plantas ha⁻¹) com uma linha de cunhã (50.000 plantas ha⁻¹); Sistema 4 (P+2C) – palma forrageira (33.333 plantas ha⁻¹) consorciada com duas linhas de cunhã (66.666 plantas ha⁻¹).

No experimento, foram adotados quatro blocos (repetições), onde cada bloco foi formado por oito subparcelas, totalizando trinta e duas subparcelas experimentais. Cada subparcela experimental tinha uma área de aproximadamente 54 m², com área experimental total de 0,2 hectares. Na Figura 4 encontra-se o croqui da área experimental.

Figura 4. Croqui da área experimental.



Fonte: Autora (2023).

Previamente foram coletadas amostras de solo da camada de 0-0,20 m e de 0-0,40 m para análise química e granulométrica do solo, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do solo utilizado.

Prof.	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	H+Al	P	pH	CEes
Cm	cmol _c dm ⁻³				mg kg ⁻¹		H ₂ O	(dS m ⁻¹)
0-20	0,22	0,51	0,27	0,19	0,8	3,1	5,67	0,29
20-40	0,1	0,15	0,38	0,17	0,95	2,1	5,2	0,16
Prof.	Areia		Silte		Argila		Classe textural	
Cm			(%)					
0-20	85,37		8,5		6,13		Areia franca	
20-40	85,42		7,98		6,6		Areia franca	

¹Potencial hidrogeniônico (pH), ²Condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), ³Sódio (Na⁺), ⁴Potássio (K⁺), ⁵Cálcio (Ca²⁺), ⁶Magnésio (Mg²⁺), ⁷Hidrogênio+ alumínio (H+Al), ⁸Fósforo (P), ⁹Porcentagem de sódio trocável (PST), ¹⁰Profundidade (Prof.).

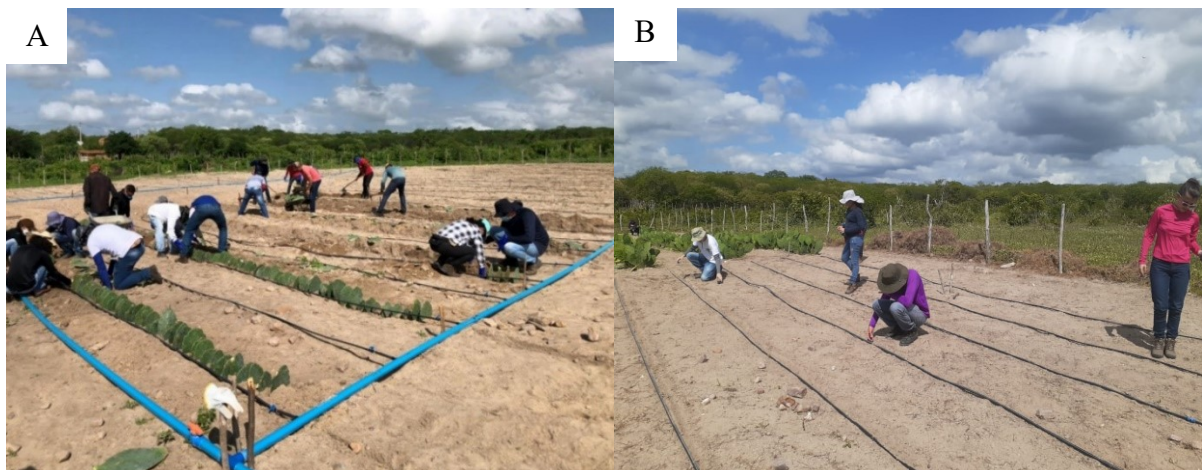
Visando elevar o pH do solo a nível satisfatório de modo a propiciar um melhor desenvolvimento das culturas e corrigir deficiências de cálcio e magnésio, foi realizada a calagem do solo no mês de janeiro de 2022. A necessidade de calcário (NC) foi mensurada pelo

método do cálcio + magnésio trocáveis de acordo com Fernandes (1993), observando-se uma NC de 2,82 t ha⁻¹. O calcário dolomítico foi aplicado a lanço, sobre a superfície do solo úmido, em seguida foi incorporado ao solo por meio de gradagem, a uma profundidade de 0,20 m.

As culturas utilizadas foram a palma forrageira (*Opuntia stricta* (Haw) Haw), cultivar ‘‘Orelha de Elefante’’, e a leguminosa forrageira cunhã (*Clitoria ternatea* L.). Para o plantio do palmar cladódios sementes da cv. ‘Orelha de elefante’ foram fornecidos pela Secretaria de Desenvolvimento Agrário do Estado do Ceará, sendo oriundos do Sítio Lagoa de São Miguel, município de Quixeramobim – CE, a propriedade tem registro nacional de sementes e mudas junto ao Ministério de Agricultura e Pecuária. No plantio da cunhã foram utilizadas sementes provenientes do germoplasma do Laboratório de Sementes da Universidade Federal do Ceará.

No plantio da palma, os cladódios foram imersos dois terços no solo para garantir firmeza e melhor desenvolvimento (Figura 5A). Antes da semeadura da cunhã, as sementes passaram por escarificação mecânica com lixa e imersão em água morna a 80°C por 12 horas para quebra de dormência, sendo utilizadas três sementes por cova (Figura 5B). Uma semana após a semeadura foi realizado desbaste na cultura da cunhã, deixando apenas uma planta por cova.

Figura 5. Plantio da palma forrageira cv. ‘‘Orelha de elefante mexicana’’(A) e cunhã (B).



Fonte: Autora (2023).

As práticas de adubação foram realizadas de maneira uniforme para todos os sistemas de produção, respeitando-se as recomendações técnicas de Santos *et al.* (2006) para a cultura da palma forrageira e de Salgado *et al.* (2010) e Martins *et al.*, (2012) para a cultura da cunhã. A cultura da palma recebeu adubação orgânica tendo como fonte esterco bovino, já na cultura da cunhã foi aplicada adubação mineral. Na adubação orgânica da palma foi utilizado

30 toneladas por hectare de esterco bovino, conforme recomendação de Santos *et al.* (2006). A adubação do palmar foi realizada em aplicação única, em cobertura ao lado das fileiras de plantas, no início do período chuvoso dos anos de 2022 e 2023(Figura 6A e 6B).

Figura 6. Adubação orgânica da palma forrageira (A e B).



Fonte: Autora (2023).

Na cultura da cunhã, aos 30 dias após a semeadura, foi realizada a adubação fosfatada com superfostato simples em única aplicação de 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 de acordo com Martins *et al.* (2012) (Figura 7A). A adubação potássica foi fracionada em três aplicações aos trinta, sessenta e noventa dias após a semeadura, utilizando como fonte o cloreto de potássio na dose de 60 kg ha^{-1} de K_2O , conforme recomendação de Salgado *et al.* (2010) (Figura 7B). Não foi realizada adubação nitrogenada por se tratar de uma leguminosa.

Figura 7. Adubação mineral na cultura da cunhã (A e B).



Fonte: Autora (2023).

A água utilizada na irrigação e suplementação foi proveniente da mistura de águas de um poço profundo (70 m de profundidade e vazão 504 L h⁻¹) e um poço Amazonas (cacimbão). O valor médio da salinidade da água de irrigação (mistura 1:1 das duas fontes hídricas) foi de 3,0 e 4,0 dS m⁻¹, respectivamente para a irrigação da cunhã e da palma forrageira. Na Tabela 2 encontra-se a análise química das águas utilizadas neste estudo no ano de 2022. As duas fontes hídricas foram classificadas como C4S1, conforme Ayers e Westcot (1991), apresentando baixos riscos de sodicidade e alto risco de salinidade.

Tabela 2. Análise química das águas utilizadas no experimento na estação seca do ano de 2022.

Laudo da água do poço, General Sampaio – CE							
pH	CE (dS m ⁻¹)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}
				mmol _c L ⁻¹			
8,43	5	35,7	0,33	14,27	14,41	42,87	9,44
Laudo da água do cacimbão, General Sampaio – CE							
pH	CE (dS m ⁻¹)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}
				mmol _c L ⁻¹			
8,19	3	12,76	0,102	9,69	9,85	18,92	4,10

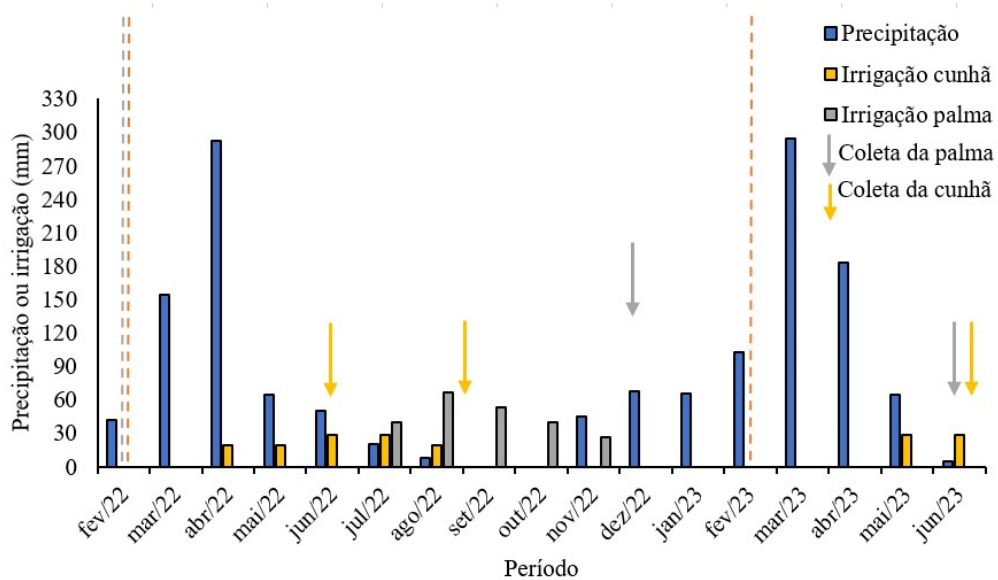
¹Potencial hidrogeniônico (pH), ²Condutividade elétrica (CE), ³Sódio (Na⁺), ⁴Potássio (K⁺), ⁵Cálcio (Ca²⁺), ⁶Fósforo (P).

Os tratamentos irrigados foram abastecidos por um sistema de irrigação localizada tipo gotejamento, com uma linha de irrigação por fileira de plantas, sendo utilizadas fitas gotejadoras de polietileno flexível, com vazão de $1,7 \text{ L h}^{-1}$ por emissor, espaçamento entre emissores de 0,20 m, pressão de serviço de 101,32 kPa e coeficiente de uniformidade de distribuição 90%. Em cada evento de irrigação e para cada cultura foi aplicado 4500 litros da mistura de águas, sendo $2,67 \text{ L planta}^{-1}$ para palma forrageira e $1,85 \text{ L planta}^{-1}$ para cunhã. A cultura da cunhã recebeu irrigação suplementar entre os meses de fevereiro e agosto, enquanto a palma forrageira foi irrigada apenas durante a estação seca (julho a dezembro).

Na estação chuvosa, a necessidade de irrigação foi dada por pelo menos cinco dias sem chuvas (veranicos), conforme Cavalcante *et al.*, (2021). Foram realizados treze eventos de suplementação na cultura da cunhã durante seu primeiro ciclo (quatro antes do 1º corte e nove após) e apenas doze eventos (três antes do 1º corte e nove após) em seu segundo ciclo. A lâmina de água total aplicada na cultura da cunhã durante seu primeiro ciclo foi de 121,87 mm, sendo 37,48 mm até o 1º corte e 84,33 mm até o 2º corte, já no segundo ciclo a lâmina total de água aplicada foi de 112,49 mm, com 28,11 mm até o 1º corte e 84,33 até o 2º corte.

Na cultura da palma a irrigação deu-se na estação seca, sendo adotado um turno de rega de sete dias, totalizando 20 eventos de irrigação, com lâmina de água total de 267,85 mm. Na Figura 8 encontra-se a disponibilidade hídrica via precipitação e irrigação durante o período experimental para a comunidade de Riacho das Pedras, no município de General Sampaio -CE. Os dados de precipitação foram obtidos em pluviômetro instalado adjacente à área experimental.

Figura 8. Disponibilidade hídrica via precipitação e irrigação durante o período experimental para a comunidade de Riacho das pedras no município de General Sampaio -CE, Brasil. Nota: A linha cinza tracejada indica o início do cultivo da palma, já a linha tracejada laranja é referente ao início do cultivo da cunhã.



Fonte: Autora (2023).

Aos 291 e 473 DAP foi avaliada a produtividade da palma forrageira. Para quantificação da produção de biomassa da palma forrageira foi realizado o primeiro corte em dezembro de 2022 (291 DAP) e posterior corte em junho de 2023 (473 DAP) (Figura 9A), em amostras independentes. O corte foi feito deixando-se apenas o cladódio basal de cada planta, posteriormente os cladódios coletados foram separados em primários, secundários e terciários e foram pesados por tratamento com o auxílio de uma balança de precisão para obtenção de biomassa verde (Figura 9B).

A produtividade de biomassa fresca da forragem do palmal foi obtida considerando a massa de um número amostral de plantas multiplicado pelo número de plantas por hectare. Em seguida um cladódio de cada ordem foi armazenado em saco de papel, previamente identificados por tratamento e foram submetidos à secagem em estufa de circulação forçada a 65 °C por 72 h, para obtenção do teor de matéria seca, conforme metodologia de Martins *et al.* (2013).

Figura 9. Corte (A) e pesagem (B) da palma forrageira para obtenção da produtividade.



Fonte: Autora (2023).

Para obtenção da produção de biomassa fresca e seca da cunhã foi realizado o corte de um número amostral de plantas, com altura de corte a 0,10 m (Figura 10A). O primeiro corte foi feito aos 120 DAP, já o segundo corte foi realizado cerca de 60 dias após o primeiro, nos anos de 2022 e 2023, totalizando dois ciclos dessa cultura. Após o corte, foi mensurada a biomassa fresca total das plantas em balança de precisão (10B). As amostras foram acondicionadas em sacos de papel, identificadas e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada a 65 °C, por 72 h para determinação do teor de matéria seca. A partir dos dados de biomassa fresca e seca foi mensurada a produtividade de biomassa fresca e seca da cunhã considerando a biomassa de um número amostral de plantas multiplicado pelo número de plantas ha^{-1} .

Figura 10. Corte (A) e pesagem (B) de biomassa verde da cunhã para obtenção de produtividade.



Fonte: Autora (2023).

Para obtenção do teor de proteína bruta e produtividade de proteína bruta de cada sistema de produção, uma amostra de cada tratamento foi retirada para determinação da porcentagem de proteína bruta na planta, sendo realizado primeiramente a determinação do teor de nitrogênio pelo método semimicro Kjeldhal (MENEGHETTI, 2018). Posteriormente, a porcentagem de proteína bruta foi calculada conforme metodologia de Detmann *et al.* (2012), como mostra a equação abaixo. A produtividade de proteína bruta foi mensurada multiplicando-se os teores de proteína encontrados de cada amostra pelo rendimento de biomassa seca em kg ha⁻¹.

$$\%PB = \frac{\text{teor de N}}{10} \times 6,25 \quad (1)$$

Onde: teor de N é equivalente ao valor em g/kg do teor de nitrogênio, sendo 6,25 o fator de transformação para o teor de proteína.

A eficiência do uso da água foi avaliada por meio do indicador produtividade física da água (PFA, kg m⁻³). De acordo com Frizzone *et al.* (2021) nos sistemas de produção agrícola, a produtividade física da água é usada para definir a relação entre a produção comercial de culturas e a quantidade de água consumida nesta produção, e tem servido como indicador para quantificar o impacto dos calendários de irrigação em relação à gestão da água. Para determinação da PFA foi considerada a relação entre o rendimento e o volume de água (irrigação + precipitação) aplicado ao longo do tempo, como mostra a equação 2:

$$PFA(\text{kg}/\text{m}^3) = \frac{\text{Rendimento comercializável da colheita (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Volume de irrigação+Precipitação (m}^3\text{ ha}^{-1}\text{)}} \quad (2)$$

A eficiência da irrigação da palma forrageira (EUA₁) foi estimada pela relação entre o incremento de biomassa e volume de água aplicado durante a estação seca, conforme equação 3:

$$EUA_1 = \frac{Y_1 - Y \text{ (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Irrigação (m}^3\text{ha}^{-1}\text{)}} \quad (3)$$

Y_I e Y representam as produtividades das parcelas que receberam ou não a irrigação com águas salobras na estação seca, respectivamente.

A eficiência da irrigação suplementar da cunhã (EUA_{IS}) foi estimada pela relação entre o incremento de biomassa e volume de água aplicado nos veranicos, conforme equação 4:

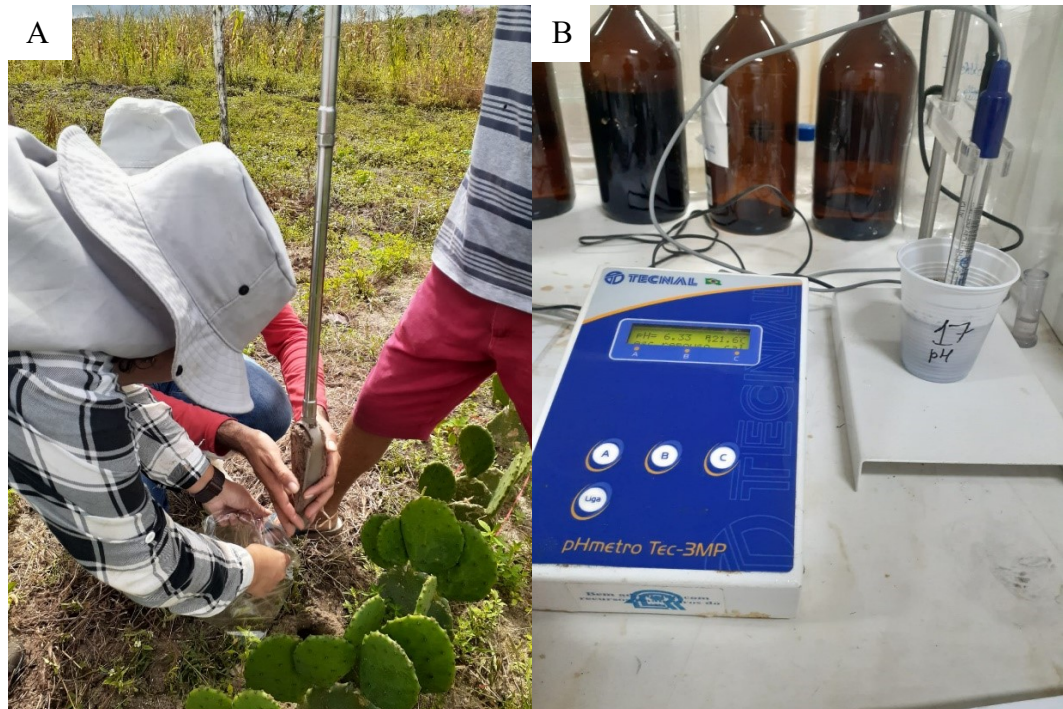
$$EUA_{IS} = \frac{Y_{IS} - Y \text{ (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Irrigação suplementar (m}^3\text{ha}^{-1}\text{)}} \quad (4)$$

Y_{IS} e Y representam as produtividades das parcelas que receberam ou não a irrigação suplementar com águas salobras na estação chuvosa, respectivamente.

Antes e após a experimentação agrícola, foram realizadas coletas do solo da camada de 0-0,20 m com o auxílio de um trado holandês (Figura 11A), em cada tratamento e para as duas culturas. Para a cultura da palma foi realizada a coleta de solo no mês de julho de 2022 antes da aplicação da irrigação com água salobra, durante a aplicação no mês de outubro, no mês de dezembro e após a quadra chuvosa de 2023 no mês de julho. Já para a cultura da cunhã foram coletadas amostras em junho de 2022 (primeiro corte), no mês de setembro de 2022 (segundo corte) e em julho de 2023 após a finalização do segundo ciclo da cultura.

Nas amostras de solo foram avaliadas a condutividade elétrica do extrato solo: água 1:1 ($CE_{1:1}$) e potencial hidrogeniônico (pH) (Figura 11B). As análises foram realizadas de acordo com os métodos descritos por Richards (1954). Foram pesados 100 g de terra fina seca ao ar (TFSA) de cada amostra e adicionados 100 mL de água destilada para a determinação da condutividade elétrica pelo método 1:1. A suspensão foi levada a uma mesa agitadora por 1 hora. Em seguida a suspensão ficou descansando por 24 horas. Posteriormente, foi realizada a leitura da condutividade elétrica das amostras utilizando um Condutímetro (Modelo MA 521, MARCONI). Para determinação do pH foram pesados 25g de TFSA e adicionados 100 mL de água destilada (proporção 1:2,5), sendo feita em seguida a leitura em um pHmetro (Modelo TEC - 3MP, TECNAL).

Figura 11. Coleta (A) e análise (B) de solo utilizado na experimentação.



Fonte: Autora (2023).

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade da distribuição (teste de Shapiro-Wilk) em nível de 5% de probabilidade. Em seguida foi realizada a análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. As análises estatísticas (teste de Shapiro-Wilk e teste de Tukey) foram realizadas utilizando-se o software Assistat versão 7.7 beta (SILVA, AZEVEDO, 2016).

5.3 Resultados e discussão

Salinidade e pH do solo

As medições de salinidade e pH do solo foram realizadas nas proximidades da zona radicular das duas culturas. Para a palma forrageira, o maior acúmulo de sais próximo a zona radicular foi notado nos tratamentos irrigados com água salobra ao final da estação seca aos 291 DAP, onde a maior condutividade elétrica ($CE_{1:1}$) foi observada no sistema P+1C, de 2,04 $dS\ m^{-1}$. Houve incrementos de 2114,28; 1600,0 e 1525,0% na $CE_{1:1}$ do solo aos 291 DAP quando comparado aos valores observados antes da aplicação de irrigação (128 DAP), nos tratamentos P, P+1C e P+2C, respectivamente (Tabela 3). Apesar do alto incremento na condutividade elétrica do solo, os valores observados são baixos. Aos 495 DAP ao final da

experimentação e da quadra chuvosa nota-se que houve a lavagem dos sais acumulados pela irrigação com água salobra, visto que os valores de $CE_{1:1}$ reduziram e alcançaram valores próximos aos encontrados antes da aplicação de irrigação e da realização do ensaio experimental (Tabela 1). Os valores observados após a quadra chuvosa aos 495 DAP nos tratamentos irrigados, foram 3,44; 48,27 e 34,48% menores em relação aos observados antes da experimentação ($0,29 \text{ dS m}^{-1}$, camada 0-20cm), nos sistemas P, P+1C e P+2C, respectivamente.

O potencial hidrogeniônico nas linhas de plantio da palma forrageira teve uma resposta crescente até os 291 DAP em todos os tratamentos, aos 495 DAP houve reduções no pH do solo, com menores valores observados nos sistemas irrigados com água salobra (Tabela 3). Observou-se pouca variação do pH do solo antes da irrigação com água salobra (128 DAP) e após a quadra chuvosa de 2023 (495 DAP), com incrementos de apenas 6,69; 1,65 e 0,53% nos sistemas P, P+1C e P+2C, respectivamente. A lixiviação dos sais do solo por meio das lâminas de precipitação pode ter acarretado a redução do pH pela perda de bases do solo e conseqüentemente de OH^- . Félix *et al.* (2022) estudando a produção de variedades de palma forrageira sob lâminas de irrigação com águas salobras, identificaram que as chuvas ocorridas entre os ciclos da cultura reduziram a condutividade elétrica do solo justificada pela lixiviação dos sais da zona radicular.

Tabela 3. Condutividade elétrica da pasta saturada na proporção 1:1 e potencial hidrogeniônico de solo cultivado com palma forrageira sob consórcio com cunhã e irrigação suplementar com água salobra.

Período	Após a quadra chuvosa 2022		Durante a irrigação 2022		Final da irrigação 2022		Após a quadra chuvosa 2023	
Tratamentos	$CE_{1:1}$ (dS m^{-1}) 128 DAP		$CE_{1:1}$ (dS m^{-1}) 226 DAP		$CE_{1:1}$ (dS m^{-1}) 291 DAP		$CE_{1:1}$ (dS m^{-1}) 495 DAP	
Camada (0-20 cm)	Média	Erro padrão	Média	Erro padrão	Média	Erro padrão	Média	Erro padrão
PS	0,03	$\pm 0,010$	0,04	$\pm 0,037$	0,13	$\pm 0,003$	0,09	$\pm 0,011$
P+1CS	0,02	$\pm 0,007$	0,10	$\pm 0,022$	0,31	$\pm 0,164$	0,09	$\pm 0,013$
P+2CS	0,01	$\pm 0,017$	0,15	$\pm 0,034$	0,13	$\pm 0,011$	0,06	$\pm 0,014$
PI	0,07	$\pm 0,029$	0,63	$\pm 0,042$	1,55	$\pm 0,457$	0,28	$\pm 0,073$
P+1CI	0,12	$\pm 0,030$	0,45	$\pm 0,055$	2,04	$\pm 0,370$	0,15	$\pm 0,020$
P+2CI	0,08	$\pm 0,010$	0,46	$\pm 0,075$	1,30	$\pm 0,196$	0,19	$\pm 0,041$
Tratamentos	pH 128 DAP		pH 226 DAP		pH 291 DAP		pH 495 DAP	
Camada (0-20 cm)	Média	Erro padrão	Média	Erro padrão	Média	Erro padrão	Média	Erro padrão
PS	5,43	$\pm 0,127$	5,46	$\pm 0,158$	6,31	$\pm 0,111$	6,38	$\pm 0,147$

P+1CS	5,99	±0,175	6,29	±0,461	6,56	±0,212	6,06	±0,117
P+2CS	5,86	±0,054	6,39	±0,136	6,48	±0,088	6,14	±0,057
PI	6,12	±0,086	6,38	±0,149	6,69	±0,077	5,71	±0,273
P+1CI	6,05	±0,300	6,68	±0,162	6,70	±0,122	5,95	±0,138
P+2CI	5,65	±0,300	6,21	±0,111	6,61	±0,095	5,62	±0,228

¹Condutividade elétrica da pasta saturada na proporção 1:1 (CE_{1:1}), ²Potencial hidrogeniônico (pH), ³Palma forrageira em monocultivo (P), ⁴Consócio de uma linha palma mais uma linha de cunhã (P+1C), ⁵Consócio de uma linha palma mais duas linhas de cunhã(P+2C), ⁶Sequeiro (S), ⁷Irrigado (I). Erro padrão da média (n = 4).

Para a cultura da cunhã, observa-se que houve o aumento da CE_{1:1} após o uso de irrigação suplementar com água salobra tanto no primeiro como no segundo ciclo da cultura, indicando que houve acumulação dos sais provenientes da água de irrigação no solo (Tabela 4). Nos sistemas C, P+1C e P+2C constatou-se acréscimos de 333,3; 275,0 e 475% na CE_{1:1} em comparação aos valores observados após o primeiro corte (128 DAP) e o segundo corte (226 DAP) no primeiro ciclo. Ao relacionar a CE_{1:1} encontrada após o 1º corte nos dois ciclos, constatou-se incrementos de 158,33; 75 e 75% no segundo ciclo para os sistemas C, P+1C e P+2C, respectivamente. Entretanto, não se observou diferenças significativas entre a CE_{1:1} observada nos sistemas em monocultivo e os consorciados com palma forrageira.

A CE_{1:1} se correlaciona com a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes), porém os valores são menores por conta da maior quantidade de água adicionada quando comparada à umidade de saturação do solo (SILVA *et al.*, 2020). Para solos arenosos, cuja umidade de saturação é menor, os valores de CE_{1:1} pode ser 4 a 5 vezes menores do que os da CEes, sendo esta última normalmente utilizadas para caracterizar os solos afetados por sais. Apesar dessa diferença, verifica-se que, de modo geral, os valores foram baixos, mesmo quando se manteve a irrigação por cerca de 2 meses após o final da estação chuvosa. Ao comparar os valores de CE_{1:1} do solo dos tratamentos suplementados com água salobra aos 495 DAP com a CE_{1:1} do solo antes da experimentação (Tabela 1), observou-se um acréscimo de 6,89% no sistema C e decréscimos de 27,58 e 51,72% nos sistemas consorciados P+1C e P+2C. Esses resultados demonstram que a irrigação suplementar com águas salobras não resulta em grande acumulação de sais no solo e o processo pode ser facilmente revertido pela lixiviação dos sais na próxima estação de chuvas, conforme relatam Cavalcante *et al.* (2021, 2022).

Não foram observadas alterações significativas no pH do solo ao longo dos períodos avaliados nas linhas de plantio da cunhã, como mostra a Tabela 4. A manutenção do pH do solo pode ter ocorrido por dois motivos; possivelmente por baixos níveis de HCO₃⁻ na água de irrigação e devido aos poucos eventos de suplementação com água salobra, não sendo suficiente

para elevar o pH do solo. De acordo com Tan (1982) quando na composição química da água de irrigação as quantidades de Na^+ e Cl^- são maiores que os valores de HCO_3^- , prevalece a neutralidade do NaCl com relação ao pH, impedindo a hidrólise do Na^+ que pode elevar o pH do solo.

Vale salientar que em solos arenosos, as cargas do solo são reduzidas podendo haver menor adsorção de cátions e ânions como bicarbonatos ao complexo coloidal. Em condições semiáridas, a evaporação constante da água armazenada no solo aumenta a concentração dos íons em solução com posterior precipitação dos íons menos solúveis (SANTOS *et al.*, 2022). Estudos realizados por Sobral *et al.* (2015), avaliando as alterações químicas em Argissolo cultivado com berinjela irrigada com águas salobras, constataram que o pH do solo aumentou em função do aumento da salinidade da água de irrigação até o nível de $4,17 \text{ dS m}^{-1}$.

Tabela 4. Condutividade elétrica da pasta saturada na proporção 1:1 e potencial hidrogeniônico de solo cultivado com cunhã sob consórcio com palma forrageira e irrigação suplementar com água salobra.

Período	Depois do 1º corte 2022		Depois do 2º corte 2022		Depois do 1º corte 2023	
Tratamentos	$\text{CE}_{1:1}$ (dS m^{-1}) 128 DAP		$\text{CE}_{1:1}$ (dS m^{-1}) 226 DAP		$\text{CE}_{1:1}$ (dS m^{-1}) 495 DAP	
Camada (0-20 cm)	Média	Erro padrão	Média	Erro padrão	Média	Erro padrão
CS	0,07	$\pm 0,011$	0,12	$\pm 0,014$	0,08	$\pm 0,041$
P+1CS	0,05	$\pm 0,007$	0,10	$\pm 0,022$	0,08	$\pm 0,017$
P+2CS	0,08	$\pm 0,017$	0,15	$\pm 0,034$	0,10	$\pm 0,016$
CI	0,12	$\pm 0,029$	0,52	$\pm 0,057$	0,31	$\pm 0,020$
P+1CI	0,12	$\pm 0,030$	0,45	$\pm 0,055$	0,21	$\pm 0,050$
P+2CI	0,08	$\pm 0,010$	0,46	$\pm 0,075$	0,14	$\pm 0,023$
Tratamentos	pH 128 DAP		pH 226 DAP		pH 495 DAP	
Camada (0-20 cm)	Média	Erro padrão	Média	Erro padrão	Média	Erro padrão
CS	5,51	$\pm 0,277$	5,73	$\pm 0,17$	6,05	$\pm 0,112$
P+1CS	5,99	$\pm 0,175$	6,29	$\pm 0,46$	6,13	$\pm 0,093$
P+2CS	5,86	$\pm 0,054$	6,59	$\pm 0,13$	6,07	$\pm 0,060$
CI	6,06	$\pm 0,086$	6,77	$\pm 0,31$	6,16	$\pm 0,065$
P+1CI	6,05	$\pm 0,300$	6,68	$\pm 0,16$	6,10	$\pm 0,070$
P+2CI	5,65	$\pm 0,300$	6,21	$\pm 0,11$	6,08	$\pm 0,165$

¹Condutividade elétrica da pasta saturada na proporção 1:1 ($\text{CE}_{1:1}$), ²Potencial hidrogeniônico (pH), ³Cunhã em monocultivo (C), ⁴Consórcio de uma linha palma mais uma linha de cunhã (P+1C), ⁵Consórcio de uma linha palma mais duas linhas de cunhã (P+2C), ⁶Sequeiro (S), ⁷Irrigado (I). Erro padrão da média (n = 4).

Produtividade da palma forrageira

A produtividade de biomassa fresca e seca dos anos de 2022 (ao final da estação seca) e 2023 (após a estação das chuvas) da palma forrageira foram influenciadas pelos diferentes cenários hídricos ($p < 0,05$) e sistemas de produção ($p < 0,01$) de modo isolado, como mostra a tabela 5.

Tabela 5. Análise de variância da produtividade de biomassa fresca (PBF) e seca (PBS) da cultura da palma forrageira em sistemas de monocultivo e consorciado com cunhã e sob irrigação com água salobra.

Fontes de variação	Quadrado Médio			
	PBF 2022	PBF 2023	PBS 2022	PBS 2023
Bloco	19,22 ^{ns}	270,61 ^{ns}	0,38 ^{ns}	2,7 ^{ns}
Cenário hídrico (C)	396,40*	6102,12**	2,95*	61,08**
Resíduo	19,14	125,11	0,17	1,3
Sistemas de produção (S)	329,54**	3742,13**	2,87**	35,24**
Interação (C x S)	24,35 ^{ns}	343,43 ^{ns}	0,16 ^{ns}	3,43 ^{ns}
Resíduo 2	20,72	167,67	0,32	1,65
CV (%) (C)	19,07	14,12	18,44	14,12
CV (%) (S)	19,84	16,35	24,75	16,35
Tratamentos	Mg ha ⁻¹			
Sequeiro	18,88 b	63,26 b	1,93 b	6,32 b
Irigado	27,01 a	95,15 a	2,63 a	9,51 a
(P)	27,17 a	91,90 a	2,69 a	9,19 a
(P+1C)	26,10 a	91,48 a	2,56 a	9,14 a
(P+2C)	15,56 b	54,23 b	1,59 b	5,42 b

¹Coeficiente de variação (CV), ²Produtividade de biomassa fresca (PBF), ³Produtividade de biomassa seca (PBS), ⁴Não significativo (ns), ⁵Significativo a 1% de probabilidade (**), ⁶Significativo a 5% de probabilidade (*).

A irrigação da palma forrageira com água salobra na estação seca propiciou maior produtividade de biomassa fresca em 2022 (27,17 Mg ha⁻¹), comportamento semelhante também ocorreu para a PBF de 2023 com rendimento de 95,15 Mg ha⁻¹ (Tabela 5). A PBF da palma em regime de sequeiro foi 30,39 e 33,51% menor que as submetidas a irrigação, nos anos 2022 e 2023, respectivamente. Esse resultado mostra que o uso de água de baixa qualidade para irrigação da palma pode ser viável. Vale salientar que a PBF do ano de 2023 destacou-se pela

maior idade das plantas de palma, além da interferência da quadra chuvosa, que influenciou diretamente na lixiviação dos sais acumulados no solo durante a irrigação na estação seca.

Similarmente, o maior rendimento de biomassa seca foi observado nos tratamentos irrigados com água salobra durante a estação seca, com acréscimos de 26,61 e 33,54% em relação ao cenário sequeiro nos anos de 2022 e 2023, respectivamente (Tabela 5). Com maior PBF, conseqüentemente os tratamentos com irrigação também produziram maiores quantidades de biomassa seca por unidade de área. A resposta positiva do uso da irrigação com água salobra no desempenho produtivo da palma forrageira, mostra uma alternativa para a produção de forragem na estação seca do semiárido brasileiro.

A mudança observada sob condições de sequeiro é relacionada ao estado de estresse hídrico da planta, o que sugere que a salinidade da água utilizada para a irrigação não foi um fator limitante para a planta (FONSECA *et al.*, 2019). Estudos conduzidos com espécies de palma forrageira demonstram que embora a cultura tolere condições extremas de seca, a aplicação de eventos suplementares de irrigação favorece o desempenho produtivo e, assim, contribui com o aumento da disponibilidade de alimentos, especialmente no período de seca (BARBOSA *et al.*, 2017).

Segundo Lima *et al.* (2015), resultados satisfatórios do uso de águas salobras na irrigação de palma forrageira estão associados à boa drenagem, profundidade e participação de areia (> 75%) nos solos, associada à pequena quantidade de água utilizada e conseqüentemente de sais, que sofrem lavagem anual com a chegada das chuvas. Lima *et al.* (2018b) não observaram redução na produtividade do clone ‘Orelha de Elefante Mexicana’ em virtude da irrigação com água de salinidade igual a 1,6 dS m⁻¹.

No estudo de Lima *et al.* (2018b) a produtividade média da palma forrageira cv. ‘Orelha de elefante’ irrigada com água salobra, foi de 114,5 toneladas de biomassa fresca ha⁻¹ ano⁻¹ e 7,3 toneladas de biomassa seca ha⁻¹ ano⁻¹, demonstrando que a irrigação com água de baixa qualidade não prejudicou a produção de biomassa nesse clone. No presente estudo também foi observado que o uso de água salobra na irrigação da palma cv. ‘Orelha de elefante’ beneficia a produção de biomassa, demonstrando que apesar de ser uma cultura tolerante ao estresse hídrico, a palma tem melhor performance quando irrigada, mesmo com água salobra. Vale ressaltar que a salinidade das águas utilizados no nosso estudo foram superiores às empregadas por Lima *et al.* (2018b), mas foram semelhantes às utilizadas por Félix *et al.* (2022).

De modo correlato, Dantas *et al.* (2023) avaliando os efeitos da irrigação por gotejamento com água salobra (CEa - 0,0; 2,5; 5,0; 7,5; 10,0 dS m⁻¹) como estratégia para a produção de palma forrageira no semiárido brasileiro, observaram rendimentos de matéria

verde da palma forrageira no primeiro ano de 68,75 e 46,63 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, para o maior e menor nível salino utilizado; já no segundo ano os rendimentos foram de 101,77 e 126,64 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, valores semelhantes com os observados no presente estudo. Ressalta-se que a duração desse estudo (2 anos) foi maior que a da presente pesquisa e as condições experimentais envolveram também adubação mineral e o uso de cobertura morta com casca de arroz, fatores que podem ter contribuído para um maior desenvolvimento da cultura.

Os autores supracitados também notaram um efeito negativo dos níveis de salinidade da água durante o primeiro ano sobre o rendimento de biomassa verde e seca, porém no segundo ano de cultivo não houve diferença na produtividade nos diferentes níveis salinos. No primeiro ano de cultivo deste estudo (2022) observou-se menor rendimento de biomassa fresca e seca, em comparação ao segundo ano de cultivo (2023), que pode estar associado possivelmente ao surgimento de mecanismos de adaptabilidade da cultura ao estresse salino e ao maior tempo de cultivo. Vale salientar que apesar do ensaio experimental de Dantas *et al.* (2023) ter sido realizado no semiárido brasileiro e com uso de água salobra, a irrigação ocorreu também na quadra chuvosa nos períodos de veranicos, já no presente estudo a irrigação com água salobra deu-se apenas na estação seca independente da ocorrência de períodos prolongados de estiagem na estação chuvosa. É importante ressaltar que em nenhum dos ensaios o uso de água salobra foi contínuo e as lâminas aplicadas foram pequenas, o que possivelmente influenciou na redução da acumulação de sais na rizosfera.

Segundo Larcher e Assis Prado (2000), espécies vegetais com plasticidade fenotípica desenvolvida geralmente possuem potencial genético para se adaptar a uma determinada gama de estressores ambientais. Em ensaios de campo no semiárido brasileiro, Rêgo *et al.* (2014) relataram rendimentos de matéria seca acima de 20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para a palma forrageira cv. ‘‘ Miúda ‘‘ irrigada com água de poço com salinidade de 5,25 dS m⁻¹, valores superiores aos obtidos neste estudo. Destaca-se que no ensaio de Rego *et al.* (2014) foi avaliada a influência da adubação orgânica (doses 20, 40 e 60 Mg ha⁻¹) e de tipos de corte (deixando apenas o cladódio mãe, todos os primários e todos os secundários) sobre a morfologia e produção de biomassa da palma, fatores que podem ter contribuído para melhor aclimação ao estresse salino. Assim como no presente estudo a irrigação com água salobra deu-se em um turno de rega de sete dias e o estande adotado foi o mesmo dos tratamentos de monocultivo e P+1C (50.000 plantas ha⁻¹). Valores de PBS similares aos observados no presente estudo foram encontrados por Dantas *et al.* (2023) na cultura da palma forrageira cv. ‘‘IPA Sertânia’’ com uso de água com salinidade de 5,0 dS m⁻¹ (6,12 e 6,37 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca no primeiro e segundo ano de cultivo, respectivamente).

O sistema de produção P+2C apresentou menor produtividade de biomassa fresca nos anos de 2022 (15,56 Mg ha⁻¹) e 2023 (54,23 Mg ha⁻¹). O incremento de produtividade de biomassa fresca neste sistema de produção foi de 71,30% de 2022 para 2023 (Tabela 5). No rendimento de biomassa seca a mesma tendência foi observada para o sistema P+2C, com menores valores obtidos no primeiro (1,59 Mg ha⁻¹) e segundo ano (5,49 Mg ha⁻¹) (Tabela 5). No sistema de produção P+2C a redução do estande de plantas de palma para gerar maior número de plantas de cunhã não foi benéfico para produção de biomassa na cultura da palma, visto que a redução do estande de plantas (de 50.000 para 33.333 plantas ha⁻¹) resultou em menor produtividade obtida. No entanto, o consórcio P+1C, que manteve o mesmo estande de plantas da palma em monocultivo e menor número de plantas de cunhã, teve uma produtividade similar ao monocultivo, demonstrando que nesse sistema (P+1C) a presença de *Clitória ternatea* não interferiu no rendimento da palma.

Diniz *et al.* (2017) avaliando o consórcio entre palma forrageira e sorgo sob quatro lâminas de irrigação, observaram que os sistemas consorciados tiveram menor rendimento de biomassa fresca e seca para as culturas da palma e do sorgo, segundo os autores essa redução na produtividade das culturas ocorreu devido a competição entre as culturas avaliadas. Todavia, as maiores reduções foram observadas na cultura do sorgo, tendo a palma consorciada a PBF e PBS média de 25,42 Mg ha⁻¹ e 3,57 Mg ha⁻¹ no primeiro ano de cultivo, respectivamente. No estudo de Diniz *et al.* (2017) a água utilizada na irrigação era salobra com condutividade elétrica entre 1,6 e 2,5 dS m⁻¹, sendo proveniente do açude Saco- PE.

Quando as culturas estão submetidas ao consórcio há ocorrência de competição ou facilitação interespecífica (SALVADOR *et al.*, 2021). Todavia, no presente estudo o sistema consorciado P+1C quando comparado ao monocultivo não demonstrou a ocorrência de competição ou facilitação interespecífica. Para a obtenção de altos rendimentos nos sistemas consorciados, devem-se considerar alguns conceitos básicos, como: a escolha de espécies que se complementam, o arranjo do cultivo, espaçamento e densidade populacional também são de suma importância, para que a cultura persista no sistema produtivo e alcance seu potencial produtivo (OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2016).

Produtividade da cunhã

Houve interação entre os cenários hídricos e os sistemas de produção sobre a produtividade de biomassa seca total do 1º corte, bem como para a produtividade de sementes

de *Clitoria ternatea* L. ($p < 0,01$). A produtividade de biomassa fresca total do 1° e 2° corte, como também a produtividade de biomassa seca do 2° corte foram influenciadas pelos cenários hídricos ($p < 0,05$) e sistemas de produção ($p < 0,01$) de forma isolada. (Tabela 6).

Tabela 6. Análise de variância das produtividades de biomassa fresca total (PBFT), seca total (PBST) e de sementes (PS) da cultura da cunhã em sistemas de produção com palma forrageira sob irrigação suplementar com água salobra em diferentes cenários hídricos de região semiárida.

Fontes de variação	Quadrado médio				
	PBFT 1° corte	PBFT 2° corte	PBST 1° corte	PBST 2° corte	PS
Bloco	0,61 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,051 ^{ns}
Cenário hídrico (C)	14,86*	2,75*	12,92*	0,15*	0,125 ^{ns}
Resíduo 1	1,12	0,27	0,46	0,01	0,017
Sistemas de produção (S)	40,61**	0,43*	6,27**	0,16**	0,012 ^{ns}
Interação (C x S)	2,38 ^{ns}	0,28 ^{ns}	3,84**	0,001 ^{ns}	0,041**
Resíduo 2	1,28	0,08	0,14	0,001	0,005
CV (%) (C)	13,98	22,09	21,43	23,26	30,01
CV (%) (S)	14,94	29,14	17,62	13,19	17,42
Tratamentos	Mg ha ⁻¹				t ha ⁻¹
Sem suplementação	6,80 b	0,65 b	1,44 b	0,23 b	0,36 a
Com suplementação	8,37 a	1,33 a	2,91 a	0,39 a	0,50 a
(C)	10,01 a	1,26 a	3,14 a	0,47 a	0,46 a
(P+1C)	5,55 c	0,83 b	1,41 c	0,24 b	0,39 a
(P+2C)	7,19 b	0,89 ab	1,97 b	0,21 b	0,45 a

¹Coefficiente de variação (CV), ²Produtividade de biomassa fresca total (PBFT), ³Produtividade de biomassa seca total (PBST),

⁴Produtividade de sementes (PS), ⁵Não significativo (ns), ⁶Significativo a 1% de probabilidade (**), ⁷Significativo a 5% de probabilidade (*). Nota: Os valores apresentados nesta tabela representam a média dos dois anos, para cada corte.

No 1° e 2° corte, a produtividade de biomassa fresca foi afetada negativamente pela ausência de suplementação com água salobra, com reduções de 18,75% e 51,12% na produção de biomassa fresca em comparação ao cenário hídrico com irrigação suplementar no 1° e 2° corte, respectivamente (Tabela 6). A redução mais acentuada de biomassa fresca observada no cenário sem suplementação no segundo corte justifica-se pois neste período havia se iniciado a estação seca, que no semiárido brasileiro é caracterizada pela ausência de precipitação, temperaturas elevadas, redução da umidade do ar e aumento da velocidade dos ventos.

Sem a ocorrência de precipitação as plantas cultivadas em sequeiro neste período foram submetidas a um maior estresse hídrico, por outro lado, as plantas suplementadas foram

favorecidas, sobressaindo-se quanto à produção de biomassa. O estresse salino mostrou-se menos prejudicial que o estresse hídrico quanto a produção de biomassa de *Clitória ternatea*. Destaca-se que durante o período experimental na estação chuvosa houve uma boa distribuição de chuvas, de modo que a irrigação suplementar não apresentou grandes impactos sobre a produção de cunhã no 1º corte.

Segundo Queiroz *et al.* (2021) essa redução da biomassa das plantas em condições de baixa disponibilidade de água ocorre devido ao menor potencial hídrico foliar, transpiração e taxa fotossintética, além de alterações na partição assimilada entre as partes da planta. Avaliando o efeito da irrigação suplementar com águas residuárias na cultura do algodão, Araújo *et al.* (2022) constataram que a irrigação suplementar aumentou a produtividade do algodão em todos os três cenários avaliados (normal, seca e seca severa) em aproximadamente 29%, 255% e 251%.

Souza *et al.* (2012) observaram reduções na produção de biomassa verde da cunhã com a utilização da condutividade elétrica da água acima de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ em condições de vaso, como no presente estudo o ensaio foi em campo e em solo arenoso, a água salobra utilizada não teve efeitos deletérios sobre a produção de biomassa da cultura. Ademais, a boa distribuição de chuvas durante o período de estudo, certamente reduziu os impactos negativos da salinidade da água utilizada na suplementação sobre a produção de biomassa da cunhã.

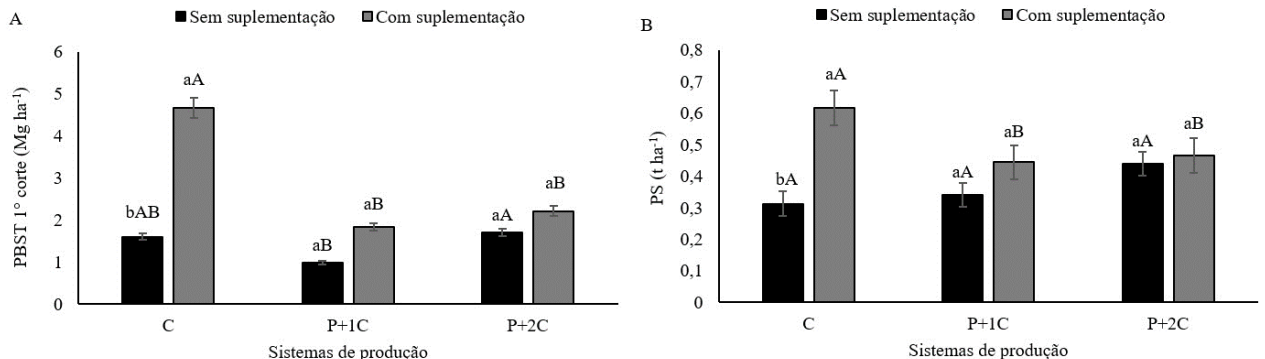
A PBFT no 1º corte da cunhã foi mais elevada no sistema de monocultivo, sendo 44,55 % maior que no sistema P+1C e 28,17% a mais que no sistema P+2C. Já no 2º corte, os sistemas que se destacaram quanto à produção de biomassa fresca foram o de monocultivo (C) e o consórcio de uma linha de palma com duas linhas de cunhã (P+2C), com valores 34,12% e 6,74% maiores que o sistema P+1C, respectivamente (Tabela 6). Vale destacar que no sistema em monocultivo o estande de plantas de cunhã utilizado foi de $100.000 \text{ plantas ha}^{-1}$, já no sistema P+1C foi de $50.000 \text{ plantas ha}^{-1}$ e no sistema P+2C foi $66.666 \text{ plantas ha}^{-1}$. As mudanças quanto a densidade de plantas em cada sistema de produção pode justificar as diferenças nas repostas quanto a produção de biomassa.

Os sistemas C (monocultivo) (1º e 2º corte) e P+2C (apenas no 2º corte) expressaram maior PBF devido ao maior número de plantas por unidade de área nesses sistemas de produção (100.000 e $66.666 \text{ plantas/hectare}$, respectivamente), em relação ao sistema P+1C ($50.000 \text{ plantas ha}^{-1}$). O maior número de folhas nos ramos e a forma que elas estão dispostas na copa melhora a captação da energia luminosa, influenciando diretamente no processo fotossintético promovendo maior crescimento e desenvolvimento da forragem (CALADO *et al.*, 2016).

Teixeira *et al.* (2010) avaliaram diferentes forrageiras herbáceas no nordeste brasileiro e verificaram que a maior produção de matéria verde acumulada de quatro cortes (de 46 Mg ha⁻¹) foi apresentada pela *C. ternatea* L., valores acima dos encontrados no presente estudo devido ao maior número de dias de cultivo, cortes e de acúmulo de biomassa. Neste estudo os cortes foram realizados aos 102, 165, 329 e 432 dias após o transplante, respectivamente.

No 1º corte de *Clitória ternatea* L., a suplementação com água salobra beneficiou a produtividade de biomassa seca (4,67 Mg ha⁻¹) no sistema de produção em monocultivo, com produção 60,81 e 52,46% a mais que os sistemas P+1C e P+2C quando suplementados, respectivamente. Já no cenário hídrico de sequeiro, o sistema P+2C destacou-se com o maior valor de PBS (1,71 Mg ha⁻¹) (Figura 12A).

Figura 12. Produtividade de biomassa seca (1º corte) de *Clitória ternatea* L. (A) e produtividade de sementes (B). Para interação C X S, médias seguidas de letra minúscula na coluna correspondem aos sistemas de produção, já as letras maiúsculas aos cenários hídricos. Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 1% de significância.



Fonte: Autora (2023).

O sistema de monocultivo pode ter se sobressaído dos demais cultivos devido ao seu maior estande de plantas (100.000 plantas ha⁻¹), aliado a influência positiva da suplementação com água salobra nos veranicos sobre o desenvolvimento vegetativo da cunhã. Já na condição sem suplementação o consórcio P+2C pode ter se destacado pela relação interespecífica benéfica da palma com a cunhã, quando submetidas a esse modelo de consórcio, onde a palma possui um maior espaçamento entre linhas.

Incrementos de 64% na produtividade do milho sob irrigação suplementar em diferentes cenários hídricos foram observados por Cavalcante *et al.* (2021). Souza *et al.* (2017) verificaram uma média 3,23 megagramas de matéria seca por hectare de cunhã consorciada

com capim buffel em diferentes sistemas de produção e níveis de sombreamento. Os mesmos autores constataram que o sistema consorciado produziu 8,3, 12,1, 6,58 e 3,5% de matéria seca de cunhã no primeiro, segundo, terceiro e quartos ciclos, respectivamente.

A suplementação com água salobra ocasionou uma maior produtividade de biomassa seca após a rebrota da cultura no primeiro ciclo, com valores obtidos no segundo corte de 0,39 Mg ha⁻¹, 41,02% a mais que o cenário hídrico sem suplementação (Tabela 6). Darapuneni *et al.* (2020) avaliando a influência de regimes de irrigação na produção de matéria seca de alfafa em um ambiente subtropical semiárido, constataram que a alfafa não irrigada produziu menos matéria seca em comparação com qualquer outro tratamento de irrigação suplementar, com produtividade de biomassa seca no primeiro ano de 6,84 Mg ha⁻¹.

A produção de forragem está diretamente relacionada à disponibilidade de água no solo, uma vez que o excesso ou a falta de água pode causar estresse hídrico, influenciando negativamente no seu desenvolvimento (MARCHIORETTO *et al.*, 2018). De acordo com Conway *et al.* (2001) no primeiro ano o rendimento de *C. ternatea* pode alcançar de 0,5 a 4,0 Mg de matéria seca ha⁻¹ corte⁻¹, nos anos subsequentes a produção anual de matéria seca pode variar de 1,5 a 5,0 Mg ha⁻¹ em áreas exclusivas de cunhã.

No 2º corte, os maiores valores de produtividade de biomassa seca foram observados no sistema de monocultivo, com incrementos de 48,93 e 55,31% em comparação aos sistemas consorciados P+1C e P+2C, respectivamente (Tabela 6). A maior produção de biomassa seca está associada ao maior estande de plantas apresentado pelo monocultivo. Já nos sistemas consorciados pode ter ocorrido competição pelos recursos disponíveis. No monocultivo em comparação ao consórcio há apenas a competição intraespecífica por água, luz e nutrientes, o que também pode acarretar o melhor desenvolvimento da planta, em comparação ao consórcio. A competição por recursos entre as plantas no consórcio pode provocar diferentes respostas para as espécies envolvidas (WHIPPLE, 2011).

Elfeel *et al.* (2013) avaliando o efeito das interações interespecíficas do consórcio cunhã-leucena sobre a produtividade da cunhã em região semiárida, constataram que o consórcio resultou em redução de cerca de 40% da produtividade de biomassa seca da forragem, em comparação com o cultivo solteiro. Os autores atribuíram essa redução a maior competição interespecífica da leucena pelos recursos limitados disponíveis resultando em uma colheita reduzida e menor produção de forragem, no entanto, foram relatados efeitos benéficos de *Clitoria ternatea* sob a qualidade da forragem de *Leucaena leucocephalla*. Vale ressaltar que as culturas deste estudo foram irrigadas com água de salinidade de 1,8 dS m⁻¹.

O sistema de produção em monocultivo por possuir uma maior densidade de plantas obteve uma maior produtividade de sementes ($0,6 \text{ t ha}^{-1}$ de sementes) quando suplementado com água salobra, cerca de 27,86% a mais que nos sistemas consorciados quando suplementados (Figura 12B). A cunhã apresenta alta produção de sementes em condições climáticas adversas ao crescimento vegetativo (HEDAYETULLAH; PARVEEN, 2019; OGUIS *et al.*, 2019), deste modo a salinidade da água de irrigação não ocasionou efeitos deletérios a produção de sementes. Vale salientar que a determinação da produção de vagens e sementes na cunhã é sempre subestimada devido à deiscência das vagens que ocorre antes do momento do corte.

De modo semelhante, Oliveira *et al.* (2017) avaliando o desempenho produtivo de girassol consorciado com feijão-caupí em barragem subterrânea com irrigação suplementar encontram maior produtividade de grãos de girassol no sistema solteiro, com uma média de $1,6 \text{ t ha}^{-1}$. Segundo Khalid e Khalil (2020) a utilização de sistemas consorciados pode promover redução no rendimento da cultura, quando comparado a produção de um sistema exclusivo. Essa redução acontece principalmente pela competição intraespecífica entre as espécies por água, luz e nutrientes. Em seu estudo sobre consórcio de sorgo e feijão-caupí irrigado em ambiente semiárido, Cirino Júnior *et al.* (2023) observaram a maior produção de sementes no monocultivo de feijão ($0,72 \text{ t ha}^{-1}$).

Estimativa de produtividade de biomassa anual dos sistemas

A interação dos fatores cenários hídricos e sistemas de produção interferiram na produtividade de biomassa fresca anual ($p < 0,01$), já a produtividade de biomassa seca anual foi influenciada isoladamente pelos diferentes cenários hídricos ($p < 0,01$) e sistemas de produção ($p < 0,05$) (Tabela 7).

Tabela 7. Análise de variância da estimativa de produtividade de biomassa fresca (EPBF) e seca (EPBS) anual em sistemas de produção consorciado de palma forrageira e cunhã sob irrigação suplementar com água salobra em diferentes cenários hídricos de região semiárida.

Fontes de variação	Quadrado médio	
	EPBF	EPBS
Bloco	228,32 ^{ns}	1,96 ^{ns}
Cenário hídrico (C)	5245,45 ^{**}	119,42 ^{**}
Resíduo 1	75,79	0,55
Sistemas de produção (S)	12521,26 ^{**}	98,93 [*]
Interação (C x S)	668,43 ^{**}	4,09 ^{ns}
Resíduo 2	129,14	1,86
CV (%) (C)	13,22	8,85
CV (%) (S)	17,26	16,28
Tratamentos	Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹	
Sequeiro	53,04 b	6,46 b
Irigado	78,65 a	10,32 a
(C)	11,27 c	3,59 c
(P)	91,90 a	10,10 a
(P+1C)	97,87 a	11,72 a
(P+2C)	62,33 b	8,15 b

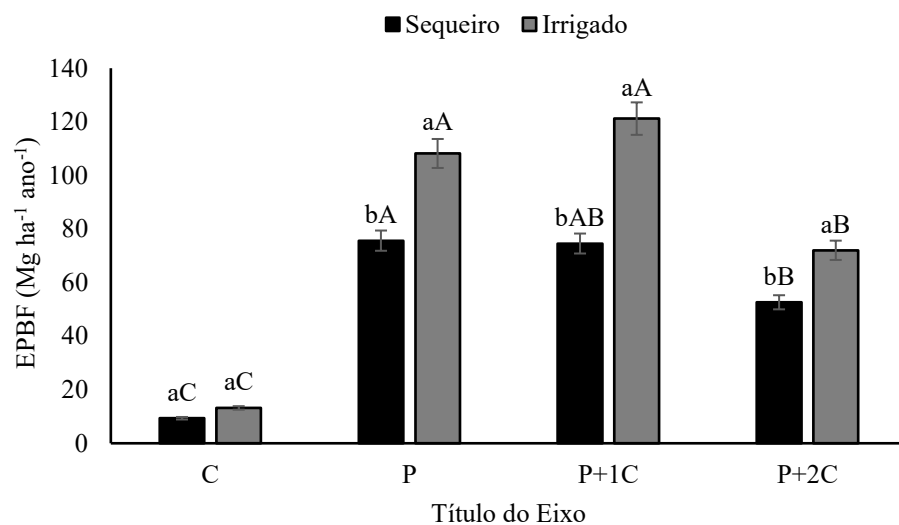
¹Coefficiente de variação (CV), ²Estimativa de produtividade de biomassa fresca anual (EPBF), ³Estimativa de produtividade de biomassa seca anual (EPBS), ⁴Não significativo (ns), ⁵Significativo a 1% de probabilidade (**), ⁶Significativo a 5% de probabilidade (*).

Os sistemas que produziram mais biomassa fresca por ha⁻¹ ano⁻¹ foram os de monocultivo de palma (P) (108,18 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) e o P+1C (121,19 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) irrigados com água salobra, com reduções de 30,08 e 38,47% na EPBF nesses sistemas em relação ao cenário de sequeiro, respectivamente (Figura 13). Vale salientar que, apesar de não diferirem estatisticamente o sistema P+1C produziu 10,73% a mais de biomassa fresca que o monocultivo de palma quando irrigado com água salobra, este acréscimo pode ser atribuído a biomassa produzida pelas duas culturas (palma e cunhã), em comparação a palma em monocultivo.

Destaca-se que no sistema P e P+1C a densidade de plantio é a mesma para palma forrageira em sistema solteiro (50.000 plantas ha⁻¹). Todavia no sistema P+1C foi adicionada uma linha de cunhã entre as linhas de palma, com um estande de plantas de cunhã de 50.000 plantas ha⁻¹. Conforme mostra a figura 12, tanto no cenário hídrico de sequeiro, como no irrigado a produção de biomassa fresca da palma no sistema P+1C não foi prejudicada pelo consórcio com a cultura da cunhã, quando comparado ao sistema de monocultivo de palma. O

sistema P+1C mostra-se viável para produção de biomassa fresca nos diferentes cenários hídricos do semiárido cearense.

Figura 13. Estimativa de produtividade de biomassa fresca anual de sistemas de produção consorciados de palma forrageira e cunhã sob irrigação suplementar com água salobra em diferentes cenários hídricos de região semiárida. Para interação C X S, médias seguidas de letra minúscula na coluna correspondem aos sistemas de produção, já as letras maiúsculas aos cenários hídricos. Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 1% de significância.



Fonte: Autora (2023).

Souza *et al.* (2022) avaliando o efeito do consórcio e da cobertura morta sob a produtividade da palma e do milho irrigado com água de condutividade elétrica de 1,62 dS m⁻¹, observaram que a produtividade de biomassa fresca da palma cv. ‘Orelha de elefante’ não foi prejudicada pelo consórcio com milho. Neste estudo o sistema consorciado foi formado de uma linha de palma intercalada com uma linha de milho, com um estande de plantas para a cultura da palma de 31.250 plantas ha⁻¹ e para o milho de 125.000 plantas ha⁻¹.

De modo similar, Jardim *et al.* (2021a) avaliando o cultivo consorciado de palma forrageira e sorgo irrigados com água de 1,51 dS m⁻¹ em ambiente semiárido, constataram que o sistema de cultivo palma-sorgo que apresentou maior produtividade de matéria fresca foi o da palma cv. ‘Orelha de elefante’ consorciada com cultivar de sorgo ‘467’ (221,73 Mg ha⁻¹). De acordo com Jardim *et al.* (2021a) a adoção a longo prazo da palma cv. ‘Orelha de elefante’ em sistemas consorciados irrigados reduz a sazonalidade da forrageira e garante longevidade à palma, com menores custos para aquisição de cladódios e menor necessidade de o produtor

replantar a área. Ma *et al.* (2023) observaram incrementos no rendimento total do cultivo consorciado milho-alfafa, sendo superior ao monocultivo de milho em 68%, e ao monocultivo de alfafa em 19%.

A irrigação com água salobra favoreceu um maior acúmulo de biomassa seca nas culturas avaliadas, promovendo uma maior produtividade de biomassa seca anual. No cenário irrigado houve acréscimos de 37,40% na EPBS em relação ao cenário de sequeiro (Tabela 7). A salinidade da água de irrigação não prejudicou o desempenho agrônômico da palma e da cunhã, visto que propiciou uma maior produção de matéria seca. No entanto, o estresse hídrico proveniente da ausência de precipitação nos veranicos e na estação seca no cenário de sequeiro, reduziu a produção de matéria seca das culturas. A irrigação com água salobra é uma prática viável para a produção de forragem e aumenta o rendimento das plantas em comparação com os sistemas de sequeiro (LIMA *et al.*, 2014), garantindo a segurança alimentar para a produção animal baseada em forragem, melhorando assim o desempenho animal (CAMPOS *et al.*, 2023).

Dantas *et al.* (2023) avaliando os efeitos de níveis de sais na água de irrigação (0,1; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 dS m⁻¹) sob a produtividade da palma (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck), constataram que o rendimento de matéria seca respondeu negativamente às maiores concentrações de sal na água, durante o primeiro ano de cultivo, mas sem efeitos no segundo ano (7 Mg ha⁻¹ ano⁻¹). Já Lira *et al.* (2020) notaram que o uso de água salobra (1,7 dS m⁻¹) na cultura do milheto em condições de baixa pluviosidade influenciou positivamente na produtividade de biomassa seca, todavia, segundo os mesmos autores a prática de irrigação com água salobra deverá levar em consideração o uso mínimo e sazonal desta água com base no regime hidrológico de cada região como forma de remediar os efeitos do uso destas águas.

De modo semelhante a EPBF, os sistemas de produção P e P+1C apresentaram maior EPBS anual, com valores de 10,10 e 11,72 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente (Tabela 7). Foram observadas reduções de 64,45 e 19,30% na produtividade de biomassa seca anual no sistema C e P+2C em relação ao monocultivo de palma(P); já em relação ao sistema P+1C os sistemas C e P+2C tiveram decréscimos na produtividade de biomassa seca anual de 69,36 e 30,46%. A maior produtividade de biomassa seca nesses sistemas de produção está relacionada à maior produtividade de biomassa fresca obtida.

Jardim *et al.* (2021a) avaliando a produção de forragem em sistemas consorciados de palma cv. Orelha de elefante' e sorgo constataram que a produtividade individual da palma forrageira consorciada não apresentou reduções estatisticamente significativas na produção de matéria fresca e seca quando comparada aos sistemas solteiros. Silva *et al.* (2023) não observaram efeito do consórcio de cunhã e sorgo sob a produtividade de biomassa seca da cunhã,

encontrando valores de 0,99; 0,90; 1,16 e 1,26 Mg ha⁻¹ de biomassa seca na cunhã consorciada com as variedades de sorgo Elephant B, IRI-381, Dwarf Mott, Dwarf Taiwan A-146 2.37, respectivamente.

Teor de proteína bruta e estimativa de produtividade de proteína bruta anual

De acordo com a tabela 8, o teor de proteína bruta da palma forrageira teve efeito isolado para os diferentes cenários hídricos e sistemas de produção (p<0,05). Já para as variáveis teor de proteína bruta da cunhã (p<0,05) e produtividade de proteína bruta (p<0,01) houve interação entre os fatores sistemas de produção e cenários hídricos.

Tabela 8. Teor de proteína bruta (%PB) e estimativa de produtividade de proteína bruta anual (EPPB) em biomassa seca de sistemas de produção com palma forrageira e cunhã sob irrigação com água salobra em diferentes cenários hídricos de região semiárida.

Fontes de variação	Quadrado Médio		
	% PB Palma	% PB Cunhã	EPPB
Bloco	0,14 ^{ns}	7,91 ^{ns}	30745,27 ^{ns}
Cenário hídrico (C)	11,78*	0,18 ^{ns}	3776495,30**
Resíduo	1,15	3,44	6791,66
Sistemas de produção (S)	4,15*	7,77*	1290318,88**
Interação (C x S)	1,13 ^{ns}	8,46*	141809,94*
Resíduo 2	0,72	1,63	35975,61
CV (%) (C)	8,56	8,82	6,75
CV (%) (S)	6,76	6,08	15,54
Tratamentos	%		kg ha ⁻¹
Sequeiro	11,87 b	20,95 a	877,24 b
Irrigado	13,27 a	21,13 a	1564,31 a
(C)	-	20,43 b	724,46 c
(P)	11,88 b	-	1211,91 b
(P+1C)	12,52 ab	20,51 ab	1707,73 a
(P+2C)	13,31 a	22,18 a	1239,02 b

¹Coeficiente de variação (CV), ²Teor de proteína bruta (%PB), ³Produtividade de proteína bruta (PPB), ⁴Não significativo (ns),

⁵Significativo a 1% de probabilidade (**), ⁶Significativo a 5% de probabilidade (*).

A irrigação com água salobra durante a estação seca favoreceu o acréscimo de proteína bruta na cultura da palma forrageira, 10,55% maior que os valores encontrados no cenário hídrico de sequeiro (Tabela 8). Com maior disponibilidade hídrica, nutrientes

absorvidos por fluxo de massa, em especial o nitrogênio, ficaram mais prontamente disponíveis para a assimilação pelas raízes da palma. O teor de proteína está diretamente relacionado ao teor de nitrogênio nos cladódios da palma forrageira, que é função da disponibilidade de nitrogênio no solo (DONATO *et al.*, 2014).

Abidi *et al.* (2009) observaram que a composição química das palmas (*Opuntia ficus indica* f. *inermis* e *Opuntia amyclae*) foi afetada pela estação do ano, a composição química apresentou maiores valores no período chuvoso em relação ao período seco. Na estação chuvosa os autores constataram 7,1 % de PB, já na estação seca apenas 4,28 % de PB. De modo similar, no presente estudo o cenário hídrico de sequeiro onde não houve irrigação durante a estação seca apresentou reduções na percentagem de proteína bruta da palma. No entanto, a irrigação com água salobra durante a estação seca melhorou a composição bromatológica da palma cv. ‘Orelha de elefante’ quanto % de PB.

Ao analisarem a tolerância do capim Murandu a sete níveis de salinidade da água (0,03; 0,55; 1,08; 1,70; 2,62; 3,52 e 5,0 dS m⁻¹), Santos *et al.* (2013) verificaram que o teor de proteína bruta não foi afetado pelos crescentes níveis de sais da água de irrigação. Reges *et al.* (2019) avaliando as características bromatológicas e composição nutricional da palma forrageira (*Cereus hildmannianus* K. Schum) irrigada com proporções de efluentes lácteos (condutividade elétrica de 4,6 dS m⁻¹) e água de abastecimento público, constataram um percentual de 17,57% de proteína bruta no tratamento T4, onde houve irrigação com 30% da dose anual de efluente (de acordo a agência de proteção ambiental) mais água de poço.

Os autores supracitados justificam o aumento do teor de proteína bruta na palma em função da maior absorção de nitrogênio da cultura nesse tratamento, devido ao aporte de nitrogênio contido no efluente (49,33 mg L⁻¹). A diluição do efluente lácteo mais a água de abastecimento pode ter reduzido a salinidade final da água de irrigação, contribuindo para a redução dos efeitos do estresse salino. De acordo com Donato *et al.* (2014) a palma forrageira possui um baixo teor de proteína bruta (4 a 11% de proteína bruta), valores concordantes com os observados no presente estudo.

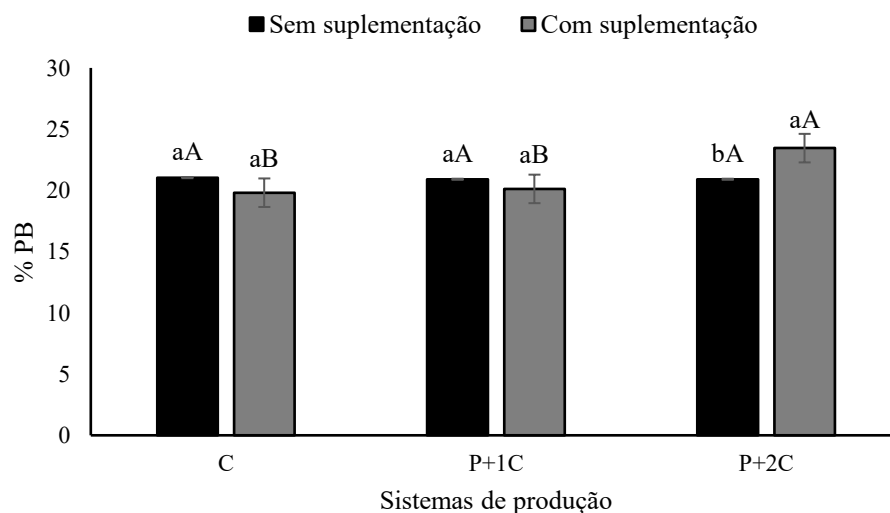
Os sistemas consorciados P+1C (13,31% de PB) e P+2C (12,52% de PB) propiciaram um maior teor de proteína a palma forrageira, 10,74 e 5,11% maiores em relação aos valores obtidos no monocultivo (11,88% de PB), respectivamente (Tabela 8). A associação da palma com a leguminosa cunhã é vantajosa visto que melhora a composição nutricional da palma ao elevar o teor de nitrogênio e o percentual de proteína bruta. De acordo com Saraiva *et al.* (2022) as leguminosas transferem nutrientes para a palma forrageira, especialmente N, por meio de exsudatos radiculares, morte radicular e nódulos. A inclusão da ervilha-borboleta

(*Clitoria ternatea*) em sistemas de produção fornece características positivas, como o aumento do valor nutricional da forragem e a fixação de N no sistema (SILVA *et al.*, 2023).

Jardim *et al.* (2021a) observaram que não houve efeito do consórcio palma-sorgo na qualidade da forragem da palma forrageira, obtendo-se um percentual médio de 4,0% de proteína bruta na cv. ‘Orelha de elefante’. Vale salientar que a cultura do sorgo utilizada no consórcio não é uma leguminosa, o que justifica a menor % PB, embora tenha sido aplicada adubação mineral nas culturas neste estudo. Contudo, Rinduwati e Mujnisa (2020) constataram que o cultivo consorciado do capim *Setaria* com *Clitoria ternatea* promoveu maior teor de proteína bruta ao capim *Setaria* em relação ao consórcio com outras leguminosas, os autores atribuíram essa resposta ao potencial dessa leguminosa em fixar N atmosférico e de melhorar a fertilidade do solo, garantindo também maior produção de biomassa do capim.

Nos sistemas de monocultivo e P+1C o teor de proteína bruta na cultura da cunhã foi maior 5,84 e 3,77% no cenário hídrico de sequeiro em comparação ao cenário hídrico onde houve suplementação, respectivamente. Apenas no sistema P+2C (23,41% de PB) a suplementação com água salobra trouxe incrementos (10,67%) no percentual de proteína bruta, em relação ao cenário sem suplementação (20,91% de PB), sendo esta a maior %PB observada na cunhã entre os sistemas de produção nos diferentes cenários hídricos (Figura 14).

Figura 14. Porcentagem de proteína bruta de *Clitoria ternatea* L. em sistemas de produção com palma forrageira em dois cenários hídricos. Para interação C X S, médias seguidas de letra minúscula na coluna correspondem aos sistemas de produção, já as letras maiúsculas aos cenários hídricos. Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 1% de significância.



Fonte: Autora (2023)

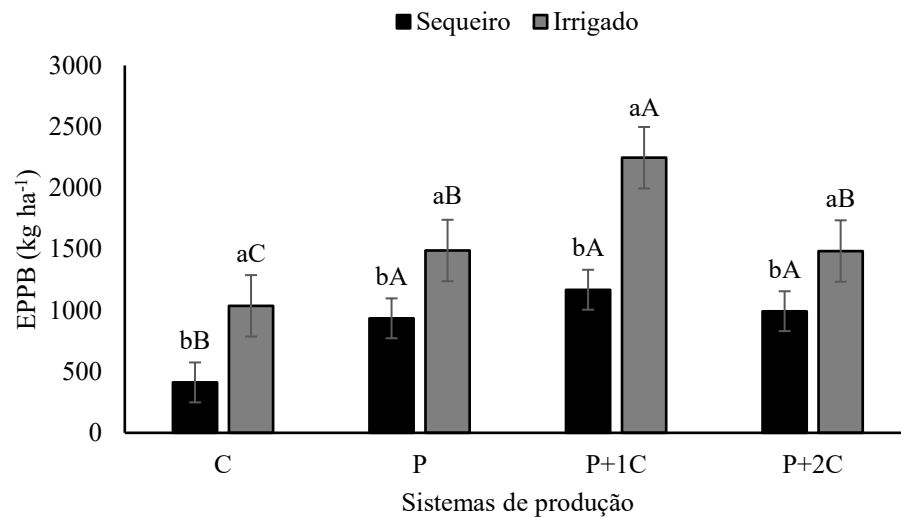
As plantas de cunhã nos sistemas C e P+1C foram afetadas pelos efeitos deletérios do estresse salino, que sobressaiu-se ao hídrico, embora a diferença nos teores de proteína entre os tratamentos seja pequena. O estresse salino pode ter prejudicado a fixação biológica de nitrogênio e conseqüentemente a sua conversão em proteína.

No entanto, a conformação espacial do sistema P+2C pode ter levado a uma melhor utilização de água luz e nutrientes, obtendo melhor resposta quanto ao incremento de proteína bruta mesmo sob suplementação com água salobra. Conforme Machado *et al.* (2021) o teor de proteína bruta na cunhã varia de 23,6% antes da floração a 18% após a produção de sementes. Embora tenha ocorrido diferença nos teores de proteínas entre os cenários hídricos e sistemas de produção, os valores do presente estudo encontram-se na faixa observada na literatura para essa cultura.

Silva *et al.* (2023) estudando o efeito do consórcio cunhã-capim elefante no semiárido pernambucano observaram um teor de proteína bruta de 18% para a cultura da cunhã e 5,3% para o capim elefante, constatando que a consorciação com a cunhã pode compensar o menor valor nutritivo da forragem do capim-elefante. Bhattarai *et al.* (2022) notaram que o teor de proteína bruta de todas as cultivares de alfafa avaliadas em seu estudo aumentaram com o incremento da salinidade da água (0 dS m⁻¹, 4 dS m⁻¹, 8 dS m⁻¹, 12 dS m⁻¹ e 16 dS m⁻¹), em alto estresse salino de 12 dS m⁻¹ a cv. 'Halo' apresentou um percentual de PB de 21,7%, a cv. 'Vernal' 20,0%, a cv. 'Bridgeview' 19,6%, a cv. 'Rugged' 18,7% e cv. 'Rangelander' apresentou 17,2% de PB.

De acordo com a figura 15, o sistema de produção que mais produziu proteína bruta por hectare quando irrigado/suplementado com água salobra foi o consorciado P+1C (2246,7 kg ha⁻¹), com produtividade 53,83; 33,74 e 33,91 % a mais que os sistemas C, P e P+2C, respectivamente. Já no cenário hídrico de sequeiro destacaram-se os sistemas P, P+1C e P+2C com valores de 935,16; 1168,76 e 993,33 kg ha⁻¹ de proteína bruta, respectivamente, não diferindo entre si. Já a menor produtividade de proteína bruta foi observada no sistema de monocultivo de *Clitoria ternatea*, em ambos os cenários hídricos avaliados.

Figura 15. Estimativa de produtividade de proteína bruta de sistemas de produção consorciados de palma forrageira e cunhã em dois cenários hídricos. Para interação C X S, médias seguidas de letra minúscula na coluna correspondem aos sistemas de produção, já as letras maiúsculas aos cenários hídricos. Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.



Fonte: Autora (2023).

Os maiores valores de PPB obtidos no sistema P+1C quando irrigado justifica-se pelo maior do rendimento de biomassa seca nesse sistema de produção, ressalta-se que nesse sistema o consórcio com a cunhã não interferiu no desempenho agrônômico da palma, como também trouxe incrementos aos teores de proteína desse sistema. Silva *et al.* (2023) constataram que consórcio de ervilha-borboleta (*Clitoria ternatea* L.) em sistemas à base de capim aumenta a estabilidade da produção, permitindo a colheita de forragem com bom valor nutritivo. Portanto a utilização de *Clitoria ternatea* L. em consórcio para a produção de forragem no semiárido pode ser vantajosa visto que eleva os níveis proteicos.

Estudando a consorciação de milho com alfafa Xu *et al.* (2022) observaram que o consórcio com milho prejudicou a produção de biomassa seca da alfafa e conseqüentemente seu rendimento de proteína bruta. Hedayati-Firoozabadi *et al.* (2020) avaliando a produtividade e qualidade da forragem em função do estresse salino (níveis salinos 2, 7 e 14 dS m⁻¹) em diferentes proporções do consórcio *Sorghum bicolor* - *Bassia indica*, observaram que o cultivo consorciado com a baixa densidade de outra planta (duas linhas de sorgo mais uma linha de cochia e duas linhas de cochia mais uma de sorgo) levou a maior produtividade e qualidade da forragem quanto ao teor de cinzas, proteína bruta, fibra de detergente ácido e neutro. Estes

autores também notaram que a quantidade de PB na forragem de sorgo apresentou maior sensibilidade ao sal do que a da cochia, de modo que a PB do sorgo foi reduzida nos tratamentos 7 e 14 dS m⁻¹.

Uso eficiente da água

De acordo com a tabela 9, a produtividade física da água na cultura da palma e nos sistemas foi influenciada isoladamente pelos diferentes cenários hídricos ($p < 0,05$) e sistemas de produção ($p < 0,01$). Todavia, a produtividade física da água na cultura da cunhã teve efeito apenas dos sistemas de produção ($p < 0,01$).

Tabela 9. Análise de variância da produtividade física da água (PFA) em sistemas de produção consorciado de palma forrageira e cunhã sob irrigação suplementar com água salobra em diferentes cenários hídricos de região semiárida.

Fontes de variação	Quadrado Médio		
	PFA Palma	PFA Cunhã	EPFA Sistemas
Bloco	0,012 ^{ns}	0,008 ^{ns}	0,09 ^{ns}
Cenário hídrico (C)	0,10*	0,19*	0,42**
Resíduo 1	0,005	0,007	0,003
Sistemas de produção (S)	0,17**	0,15**	0,17**
Interação (C x S)	0,009 ^{ns}	0,069**	0,04*
Resíduo 2	0,008	0,002	0,010
CV (%) (C)	14,26	24,10	8,30
CV (%) (S)	17,00	14,81	15,14
Tratamentos	kg m ⁻³		
Sequeiro	0,47 b	0,26 b	0,55 b
Irigado	0,60 a	0,44 a	0,78 a
(C)	-	0,50 a	0,50 c
(P)	0,62 a	-	0,62 bc
(P+1C)	0,62 a	0,23 c	0,85 a
(P+2C)	0,37 b	0,31 b	0,68 b

¹Coefficiente de variação (CV), ²Produtividade física da água (PFA), ³Estimativa de produtividade física da água nos sistemas (EPFA), ⁴Não significativo (ns), ⁵Significativo a 1% de probabilidade (**), ⁶Significativo a 5% de probabilidade (*).

A irrigação com água salobra na estação seca propiciou uma maior PFA da palma em relação ao cenário hídrico de sequeiro, com incrementos de 21,66% (Tabela 9). Esse incremento pode ser explicado pela maior produção de biomassa nos tratamentos que receberam

irrigação com água salobra na estação seca, contribuindo para uma maior produtividade física da água. Esse resultado indica que os sais contidos na água de irrigação não causaram efeito ou foram pouco significativos para a redução do incremento de biomassa, ademais os efeitos deletérios da salinidade sobre o rendimento podem ter sido reduzidos com a possível lavagem dos sais no solo durante a quadra chuvosa.

Avaliando o efeito da irrigação com água salobra no uso e eficiência da água na cultura da palma, Fonseca *et al.* (2019) notaram que a maior disponibilidade de água salobra proporcionou aumento na produtividade da cultura e, conseqüentemente, maior produtividade da água da palma forrageira cv ‘Gigante’. Araújo *et al.* (2022) constataram que o uso de irrigação suplementar com águas residuárias tratadas promoveu um aumento na produtividade física da água na cultura do algodão nos cenários hídricos normal, seca e seca severa em comparação com os tratamentos sem irrigação suplementar, com incrementos na PFA dos respectivos cenários de 13,1%, 87,9% e 124,0%. No estudo de Fonseca *et al.* (2019) e Araújo *et al.* (2022) a produtividade da água foi calculada por meio da divisão entre o rendimento da cultura e o volume total de água aplicado na irrigação, mais o volume de precipitação durante o ciclo.

Os sistemas de produção que apresentaram maior produtividade física da água na cultura da palma foram os de monocultivo e de palma consorciada com uma linha de cunhã (ambos com PFA de $0,62 \text{ kg m}^{-3}$) (Tabela 9). No entanto, a menor PFA foi observada no sistema P+2C, resultado da menor PBF obtida nesse tratamento, em razão do maior espaçamento entre linhas utilizado na palma (3m) e redução no estande de plantas. O consórcio P+1C não interferiu na produção de biomassa da palma em relação ao monocultivo, por conseguinte a PFA apresentada por esse sistema não diferiu da encontrada no monocultivo.

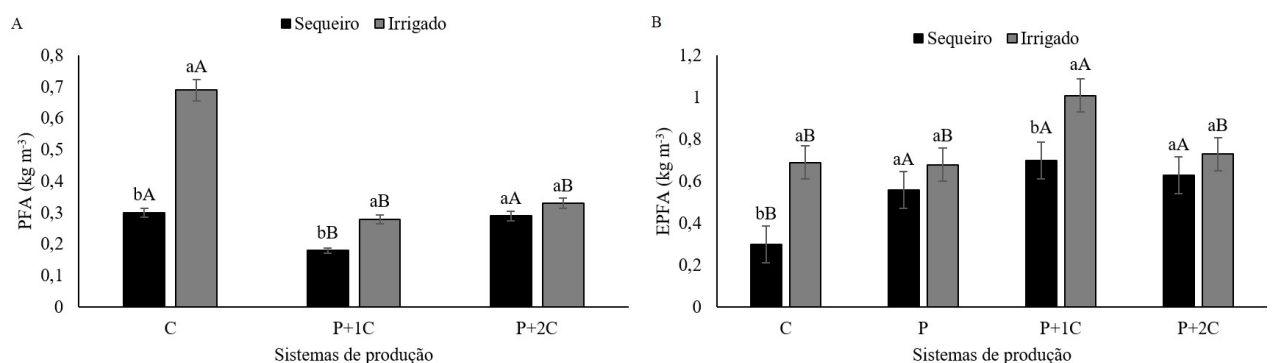
Silva *et al.* (2023) em seu estudo sobre a otimização do uso da água (com condutividade elétrica de $1,62 \text{ dS m}^{-1}$) no consórcio de palma e sorgo em regiões secas, observaram que a utilização do espaçamento entre linhas de 1,5m nessa cultura melhorou a produtividade de água da palma forrageira cv. ‘Orelha de elefante’ consorciada com sorgo ($6,89 \text{ kg m}^{-3}$), onde o consórcio promoveu o maior aumento na produtividade de água (130%), em comparação ao cultivo de palma em monocultivo, pela compensação do uso da água. Segundo estes autores o aumento da produtividade da água nesse sistema deu-se em função dos ganhos de produção em massa de forragem por unidade de área, mesmo com maiores perdas de água por evapotranspiração e menor disponibilidade de água para os sistemas de cultivo.

Os resultados de Silva *et al.* (2023) indicam que mesmo sob fortes restrições sazonais de água, o cultivo consorciado de palma e sorgo pode atingir níveis mais elevados de

eficiência no uso da água do que os sistemas exclusivos de palma forrageira. De modo similar, Lima *et al.* (2018a) notaram que a adoção do consórcio palma-sorgo levou ao incremento da produtividade da água da cultura da palma. Por outro lado, Zalac *et al.* (2022) avaliando a produtividade da água em sistemas consorciados de Trigo Sarraceno e Cevada, encontraram reduções na produtividade da água do trigo e da cevada nos sistemas consorciados no primeiro e segundo ano de produção, respectivamente.

A produtividade física da água da cultura da cunhã atingiu maiores valores no sistema de monocultivo ($1,61 \text{ kg m}^{-3}$) quando suplementado com água salobra, diferindo estatisticamente dos sistemas consorciados P+1C (reduções de 59,42%) e P+2C (reduções de 52,17%) quando suplementados (Figura 16A). A maior PFA no sistema de monocultivo quando suplementado deu-se em resposta a maior produção de biomassa de *Clitória ternatea* L. nesse tratamento em virtude da maior densidade de plantas por unidade de área ($100.000 \text{ plantas ha}^{-1}$) em relação aos outros sistemas, como também pelo uso de água salobra durante os veranicos, que possibilitou maior incremento de biomassa nesse sistema e conseqüentemente contribuiu para que ele alcançasse uma maior produtividade física da água. Os sistemas C e P+1C obtiveram maior PFA na cultura da cunhã quando suplementados, em relação aos mesmos sistemas no cenário de sequeiro.

Figura 16. Produtividade física da água na cultura da cunhã(A) e estimativa de produtividade física da água em sistemas de produção consorciados de palma forrageira e cunhã em dois cenários hídricos(B). Para interação C X S, médias seguidas de letra minúscula na coluna correspondem aos sistemas de produção, já as letras maiúsculas aos cenários hídricos. Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.



Fonte: Autora (2023).

Similarmente, Cavalcante *et al.* (2022) avaliando a influência da irrigação suplementar com água salobra (4,5 dS m⁻¹) sob a eficiência do uso da água no milho em condições de terras secas tropicais observaram que a produtividade física da água relacionada a produção de biomassa do milho foi menor quando não houve irrigação suplementar para cenários normal, seca e seca severa. Os autores supracitados notaram que a suplementação com água salobra homogeneizou a PFA nos diferentes cenários testados, sem diferenças entre eles. De modo concernente ao presente estudo, Souza *et al.* (2011) observaram que a eficiência de uso de água das culturas do milho e do feijão-caupí foi superior no plantio exclusivo em relação ao consorciado. Avaliando a eficiência no uso da água de milho e batata consorciados em região semiárida, Xie *et al.* (2021) observaram maior eficiência do uso da água nos sistemas de monocultivo em comparação ao consórcio no primeiro (2,71 e 4,13 kg m⁻³ para o milho e batata, respectivamente) e segundo (2,52 e 2,21 kg m⁻³) ciclo das culturas.

O sistema de produção que alcançou maior EPFA quando irrigado com água salobra foi o consorciado P+1C (1,01 kg m⁻³), com acréscimos de 31,60; 32,67 e 27,72 % em comparação aos sistemas C, P e P+2C sob irrigação suplementar com água salobra, respectivamente. (Figura 16B). A maior PFA nesse sistema de produção é relativo ao maior incremento de produção de biomassa ocasionado pelos efeitos benéficos do consórcio e da irrigação com água salobra. Este resultado mostra que a irrigação com água salobra foi benéfica para o incremento de biomassa da palma e da cunhã no sistema de produção P+1C, superando o tratamento sequeiro. De acordo com Karam *et al.* (2006), vários fatores podem influenciar o aumento do uso eficiente da água, como o aumento do rendimento das culturas e a diminuição nas perdas por evapotranspiração.

Avaliando o efeito de sistemas consorciados de milho e palma sob a produtividade da água, Souza *et al.* (2023) constataram que os maiores valores foram observados no sistema de consórcio milho e palma, em relação aos monocultivos. Os autores atribuíram esse resultado aos ganhos de produtividade proporcionados pelo consórcio de palma e milho, que aumentaram a produtividade da água nesse sistema de produção. Vale salientar que neste estudo a água utilizada na irrigação possuía condutividade elétrica de 1,62 dS m⁻¹.

Ao considerar apenas a eficiência da irrigação suplementar na cunhã, se observou que os maiores valores foram obtidos no sistema de monocultivo, seguido dos sistemas consorciados P+1C e P+2C. O acréscimo na eficiência da irrigação suplementar no sistema de monocultivo foi de 68,77 e 79,18% em relação aos sistemas P+1C e P+2C, respectivamente (Tabela 10). Os resultados demonstram que os sistemas C e P+1C produziram mais biomassa quando suplementados com água salobra, já o sistema P+2C produziu menos biomassa quando

suplementado, o que indica que a produção de biomassa da cunhã neste sistema foi semelhante a observada no cenário de sequeiro.

Tabela 10. Eficiência da irrigação em sistemas de produção consorciado de palma forrageira e cunhã sob irrigação suplementar com água salobra.

Eficiência da irrigação suplementar (EUA _{IS}) (kg m ⁻³)		
Tratamentos	Cunhã	
	Média	Erro padrão
C	2,69	±0,35
P+1C	0,84	±0,16
P+2C	0,56	±0,29
Eficiência da irrigação (EUA _I) (kg m ⁻³)		
Tratamentos	Palma	
	Média	Erro padrão
P	1,34	±0,27
P+1C	1,83	±0,42
P+2C	0,76	±0,18
Estimativa de eficiência da irrigação nos sistemas (EUA _I) (kg m ⁻³ ano ⁻¹)		
Tratamentos	Sistemas	
	Média	Erro padrão
C	2,69	±0,35
P	1,34	±0,27
P+1C	2,67	±0,28
P+2C	1,32	±0,36

¹Eficiência da irrigação suplementar (EUA_{IS}), ²Eficiência da irrigação (EUA_I), ³Palma forrageira em monocultivo (P), ⁴Consócio de uma linha palma mais uma linha de cunhã (P+1C), ⁵Consócio de uma linha palma mais duas linhas de cunhã(P+2C'), Erro padrão da média (n = 4).

Na cultura da palma, a eficiência da irrigação foi maior no sistema consorciado P+1C (1,83 kg m⁻³), com incrementos de 26,77 e 58,46 % em comparação aos sistemas P (1,34 kg m⁻³) e P+2C (0,76 kg m⁻³) (Tabela 10). Houve uma maior produção de biomassa da palma por m³ de água salobra aplicada no sistema consorciado P+1C, sendo este sistema mais eficiente que o monocultivo de palma quando irrigado com água salobra na estação seca. A conformação do consócio de uma linha de palma com uma linha de cunhã pode ter favorecido uma maior complementaridade hídrica nesse sistema de produção.

A consorciação pode aumentar a eficiência do uso da água das culturas e otimizar o ambiente de umidade do solo para o desenvolvimento das culturas (YIN *et al.*, 2020). Segundo os mesmos autores a disposição razoável das culturas, a distribuição espacial e os regimes

adequados de irrigação e fertilização são importantes para maximizar a vantagem de rendimento da cultura consorciada em comparação com a cultura individual. Similarmente, Hamd-Alla *et al.* (2020) avaliando o efeito de lâminas de irrigação sob sistemas de produção de girassol e feijão, notaram que os maiores valores de WUE_I (0,723 e 0,704 kg m⁻³) foram obtidos no consórcio sob irrigação com 100% ETo em relação aos monocultivos das respectivas culturas.

Quanto a estimativa de eficiência da irrigação nos sistemas de produção, os sistemas que se destacaram foi o monocultivo de cunhã (2,69 kg m⁻³) e o consorciado P+1C (2,67 kg m⁻³), os sistemas de produção P e P+2C tiveram reduções de 50,18; 50,92 e 49,81; 50,56% respectivamente, quando comparados ao C e P+1C (Tabela 10). A maior WUE_I observada no sistema C demonstra que a cultura da cunhã é mais eficiente quanto ao uso de água salobra quando cultivada em monocultivo. Já no sistema P+1C aos maiores valores de WUE_I são devido a maior eficiência da palma, visto que neste sistema a cunhã apresentou reduções na eficiência do uso da água quando comparada ao monocultivo. O sistema P+1C mostrou-se ser tão eficiente quanto o monocultivo de cunhã quando irrigado com água salobra.

Cavalcante *et al.* (2022) observaram que a irrigação suplementar com água salobra de 4,5 dS m⁻¹ trouxeram incrementos a eficiência da irrigação suplementar no milho, onde os maiores valores foram registrados para os cenários normal e seca, tanto para a produção de espiga quanto para a produção de biomassa total. Já Araújo *et al.* (2022) constataram que a irrigação suplementar com águas residuais tratadas resultou em maiores ganhos de produtividade (WUE_{IS}) de 1,0 kg m⁻³ na cultura do algodão, valores bem acima daqueles obtidos com irrigação plena.

5.4 Conclusões

O uso de irrigação suplementar com água salobra durante os veranicos na cultura da cunhã incrementou a produção de biomassa e de sementes, bem como elevou o teor de proteína bruta do sistema em monocultivo.

A irrigação com água salobra na estação seca na cultura da palma forrageira reduz os efeitos negativos do estresse hídrico e beneficia a produção de biomassa fresca e seca, o teor de proteína bruta e a produtividade física da água.

O sistema consorciado P+1C mostrou-se o mais vantajoso quanto à produção de biomassa, de proteína bruta e eficiência no uso da água, mostrando-se uma alternativa para a produção de forragem no semiárido brasileiro.

A irrigação suplementar ou sazonal com água salobra não salinizou o solo, visto que as chuvas propiciaram a lixiviação dos sais aportados no solo, representando poucos riscos para solos arenosos e de boa drenagem natural, como o que foi utilizado no presente estudo.

6. CAPITULO 2: : MORFOFISIOLOGIA E TEORES DE ELEMENTOS MINERAIS DA PALMA FORRAGEIRA EM SISTEMA CONSORCIADO COM CUNHÃ E SOB IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALOBRA

RESUMO: A irrigação suplementar com água salobra e a prática do consórcio pode diminuir os efeitos deletérios do estresse hídrico sob a morfofisiologia e absorção de nutrientes das plantas, especialmente em períodos de veranicos. O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da irrigação com água salobra (CEa média = 4,0 dS m⁻¹) e de diferentes cenários hídricos e sistemas de produção sobre a morfofisiologia, e os teores de elementos minerais na cultura da palma forrageira cv. ‘Orelha de elefante’. O experimento foi conduzido no município de General Sampaio – CE, no ano de 2022. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com quatro blocos. As parcelas foram referentes a dois cenários hídricos: sequeiro e irrigado; as subparcelas foram formadas por três sistemas de produção compostos pelas forrageiras cunhã (*Clitória ternatea* L.) e palma forrageira (*Opuntia stricta* (Haw) Haw): Sistema 1 – palma forrageira em monocultivo (P) (2,0 x 0,1m), Sistema 2– palma forrageira consorciada (2,0 x 0,1m) com uma linha de cunhã (P+1C) (1,0 x 0,1m), Sistema 3 – palma forrageira (3,0 x 0,1m) consorciada com duas linhas de cunhã (P+2C) (1,0 x 0,1m). A palma forrageira foi irrigada apenas durante a estação seca (julho a dezembro), em um turno de rega de sete dias. Dos 120 aos 291 dias após o plantio (DAP) foram avaliadas mensalmente as variáveis de crescimento: largura, comprimento e espessura do cladódio, área e índice de área foliar do cladódio. Aos 120 e 291 DAP foi avaliada a taxa de assimilação líquida. Aos 291 DAP, foram coletadas amostras para determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, Na e Cl nas plantas. A irrigação com água salobra na cultura da palma, atenua os efeitos deletérios do estresse hídrico e possibilita maior crescimento dos cladódios durante a estação seca. A irrigação com águas salobras também proporcionou maiores teores de Na⁺ e redução dos teores de K⁺ e Ca²⁺ nos cladódios da palma forrageira. Entretanto, os teores de sódio foram relativamente baixos, comparados aos observados em outras glicófitas. O sistema consorciado P+1C quando irrigado com água salobra durante a estação seca, propiciou maior comprimento, espessura, área e índice de área do cladódio, bem como incrementos nos teores de N e Na⁺, em relação ao monocultivo. Esse sistema consorciado mostra-se favorável ao desenvolvimento da palma forrageira.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura bioessalina; consórcio; forragem; nutrição de plantas.

ABSTRACT: Supplemental irrigation with brackish water and the practice of intercropping can reduce the harmful effects of water stress on the morphophysiology and nutrient absorption of plants, especially during dry periods. The objective of the present study was to evaluate the effect of irrigation with brackish water (average $ECa = 4,0 \text{ dS m}^{-1}$) and of different water scenarios and production systems on the morphophysiology and the content of mineral elements in the cultivation of forage cactus cv. ‘Elephant ear’. The experiment was conducted in the municipality of General Sampaio – CE, in the year 2022. The experimental design was in randomized blocks, in subdivided plots, with four blocks. The plots referred to two water scenarios: rainfed and irrigated; the subplots were formed by three production systems composed of forage butterfly pea (*Clitoria ternatea* L.) and cactus (*Opuntia stricta* (Haw) Haw): System 1 – forage cactus in monoculture (P) (2,0 x 0,1m) , System 2 – forage cactus intercropped (2,0 x 0,1m) with a butterfly pea line (P+1C) (1,0 x 0,1m), System 3 – forage cactus (3,0 x 0,1m) intercropped with two butterfly pea lines (P+2C) (1,0 x 0,1m). The cactus was irrigated only during the dry season (July to December), in a seven-day irrigation shift. From 120 to 291 days after planting (DAP), growth variables were evaluated monthly: width, length and thickness of the cladode, area and leaf area index of the cladode. At 120 and 291 DAP the net assimilation rate was evaluated. At 291 DAP, samples were collected to determine the levels of N, P, K, Ca, Mg, Na and Cl in the plants. Irrigation with brackish water in palm crops mitigates the harmful effects of water stress and allows for greater growth of cladodes during the dry season. Irrigation with brackish waters also provided higher levels of Na^+ and reduced levels of K^+ and Ca^{2+} in cactus cladodes. However, sodium levels were relatively low, compared to those observed in other glycophytes. The P+1C intercropped system, when irrigated with brackish water during the dry season, provided greater cladode length, thickness, area and area index, as well as increases in N and Na^+ contents, in relation to monoculture. This intercropped system is favorable to the development of cactus pear.

KEYWORDS: biosaline agriculture; intercropping; Forage; plant nutrition.

6.1 Introdução

As cactáceas são importantes recursos forrageiros para regiões áridas e semiáridas (DUBEUX JÚNIOR *et al.*, 2021), em especial a palma forrageira, a qual possui mecanismos fisiológicos peculiares, como o metabolismo ácido das crassuláceas, o que lhe confere um alto

rendimento em condições de déficit hídrico (ARAÚJO JÚNIOR *et al.*, 2019). A palma forrageira é fonte de água e energia para ruminantes e outros tipos de animais, principalmente durante a estação seca do ano (DUBEUX JÚNIOR *et al.*, 2021). Sua produtividade é elevada, o que contribui para seu cultivo por pequenos agricultores e pecuaristas de regiões com menores precipitações anuais em sistema de sequeiro (SILVA *et al.*, 2019).

A agricultura de sequeiro é uma atividade de alto risco em ambientes semiáridos, como observado no Nordeste do Brasil, devido à alta variabilidade interanual e má distribuição das chuvas no espaço e no tempo (MARENCO *et al.*, 2017). Deste modo a agricultura irrigada cumpre um importante papel na manutenção dessa produção e redução do estresse hídrico nas culturas. No entanto, a água utilizada para irrigação nas regiões áridas e semiáridas apresenta muitas vezes altas concentrações de sais, principalmente a de poços construídos no cristalino. A utilização de água salobra na irrigação pode ser benéfica para o semiárido brasileiro, visto o grande número de poços contendo água com concentração moderada de sais (SILVA *et al.*, 2007). Alguns estudos investigaram os efeitos da irrigação com águas salobras sobre o crescimento da palma forrageira, demonstrando certa tolerância dessa cultura aos sais da água de irrigação (FONSECA *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2021).

A irrigação suplementar com água salobra pode diminuir as perdas da agricultura de sequeiro, especialmente em períodos de veranicos, ao passo que, a irrigação suplementar pode reduzir os efeitos negativos dos períodos de seca nas trocas gasosas foliares (CAVALCANTE *et al.*, 2022). O consórcio de culturas promove a melhoria no ambiente do dossel, podendo elevar as taxas fotossintéticas (CHI *et al.*, 2023). Enquanto a melhoria no ambiente da zona radicular ocasionada pelo consórcio pode promover maior absorção de nutrientes e água (GOUDA *et al.*, 2018).

Estudos envolvendo sistemas consorciados de cactáceas com leguminosas, como a palma cv. ‘Orelha de elefante’ (*Opuntia stricta* (Haw) Haw) e a cunhã (*Clitória ternatea* L.) sob irrigação suplementar com água de baixa qualidade ainda são escassos na literatura, uma vez que não existem estudos que investiguem a influência do consórcio e da utilização de irrigação suplementar sob a morfofisiologia e os teores de elementos minerais da palma forrageira. As espécies forrageiras palma (*Opuntia* e *Nopalea*) e cunhã (*Clitória ternatea* L.) possuem baixa exigência hídrica e são resistentes ao estresse hídrico (BARROS *et al.*, 2004; FONSECA *et al.*, 2019). O consórcio dessas culturas pode beneficiar a produção animal em regiões semiáridas, com alimentação alternativa rica em água, carboidratos e proteína bruta.

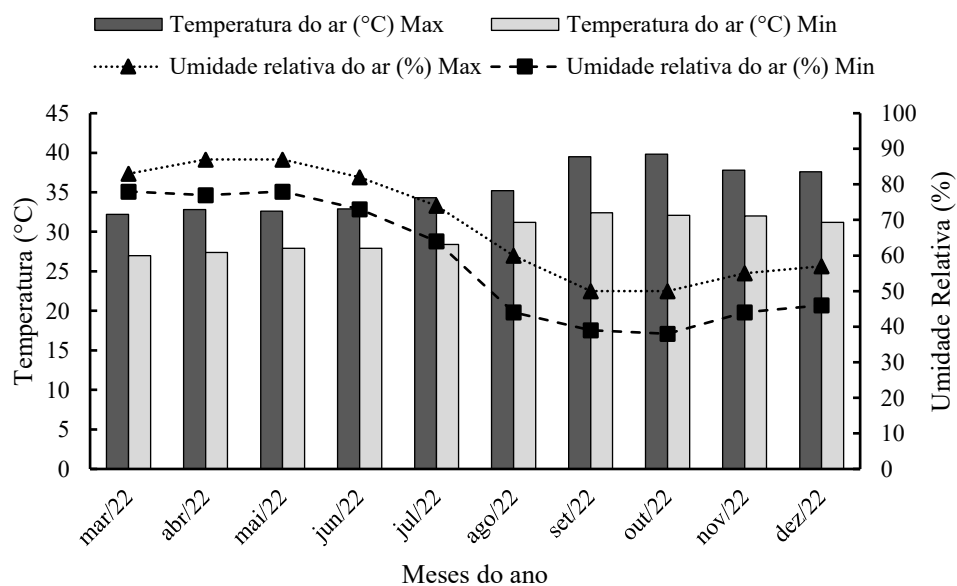
A hipótese desta pesquisa é que os sistemas consorciados e irrigados com água salobra irão promover maior crescimento, melhor performance fisiológica e absorção de

nutrientes pela cultura da palma. Portanto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da irrigação com água salobra e de diferentes sistemas de produção sobre a morfofisiologia e teores de elementos minerais na cultura da palma forrageira.

6.2 Material e métodos

O experimento foi realizado de fevereiro a dezembro de 2022, na localidade de Riacho das Pedras pertencente ao município de General Sampaio localizado no Estado do Ceará, Brasil, com coordenadas de latitude 4° 03' 10" Sul; e longitude 39° 27' 16" Oeste. O clima da região é caracterizado como tropical quente semiárido brando, com chuvas predominantes nos meses de janeiro a abril e temperatura média de 26 a 28°C (Instituto de Pesquisas Econômicas do Ceará – IPECE, 2017). Os dados meteorológicos durante o período de condução do experimento encontram-se na figura 17. Os dados são provenientes da Estação Agrometeorológica da Fazenda Experimental Vale do Curu da Universidade Federal do Ceará, em Pentecoste – CE, próximo a General Sampaio – CE. Ambos os municípios fazem parte da microrregião do Vale do Curu, Ceará, Brasil.

Figura 17. Condições climáticas durante a condução do experimento, de março a dezembro de 2022.



Fonte: Autora (2023).

O solo da área experimental possuía os seguintes atributos químicos: pH 5,67, condutividade elétrica do extrato de saturação 0,29 dS m⁻¹, 0,22, 0,51, 0,27, 0,19, 0,80 cmolc kg⁻¹ de K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e H+Al, respectivamente e o teor de fósforo 3,10 mg kg⁻¹. Quanto a composição granulométrica o solo é constituído por 85,37% de areia, 8,5% de silte e 6,13% de argila, sendo classificado como areia franca. Antes do plantio, o solo foi arado e gradeado e foi realizada a prática da calagem com calcário dolomítico na camada de 0-20cm, conforme com Fernandes (1993), identificou-se uma necessidade de calagem de 2,82 t ha⁻¹.

Os cultivos foram estabelecidos após o início da estação chuvosa, no mês de fevereiro de 2022, em uma área de 0,2 ha. As culturas utilizadas foram a palma forrageira (*Opuntia stricta* (Haw) Haw), cultivar ‘‘Orelha de Elefante’’, e a leguminosa forrageira cunhã (*Clitoria ternatea* L.). Para o plantio do palmar cladódios sementes foram concedidos pela Secretaria de Desenvolvimento Agrário do Estado do Ceará. No plantio da palma, os cladódios foram imersos dois terços no solo para garantir firmeza e melhor desenvolvimento. Já no plantio da cunhã foram utilizadas sementes provenientes do germoplasma do Laboratório de sementes da Universidade Federal do Ceará. A cultura da palma recebeu adubação orgânica, no início do período chuvoso de 2022, tendo como fonte esterco bovino. Na adubação orgânica da palma foi utilizado 30 toneladas por hectare de esterco bovino, conforme recomendação de Santos *et al.* (2006).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com quatro blocos. As parcelas foram referentes a dois regimes hídricos: sequeiro e irrigado; já as subparcelas foram formadas por três sistemas de produção de biomassa: Sistema 1 – palma forrageira em monocultivo (P) (2,0 x 0,1m); Sistema 2 – palma forrageira consorciada (2,0 x 0,1m) com uma linha de cunhã (P+1C) (1,0 x 0,1m); Sistema 3 – palma forrageira (3,0 x 0,1m) consorciada com duas linhas de cunhã (P+2C) (1,0 x 0,1m). Os tratamentos irrigados foram abastecidos por meio do método de irrigação localizada, utilizando-se um sistema por gotejamento, com uma linha de irrigação por fileira de plantas, sendo utilizadas fitas gotejadoras de polietileno flexível, com vazão de 1,7 L h⁻¹ por emissor, espaçamento entre emissores de 0,20 m, pressão de serviço de 101,32 kPa e coeficiente de uniformidade de distribuição 90%.

A água utilizada na irrigação foi proveniente da mistura de águas de um poço profundo (70 m de profundidade e vazão 504 L h⁻¹) e um poço Amazonas (cacimbão). O valor médio da salinidade da água de irrigação na estação seca (mistura 1:1 das duas fontes hídricas) foi de 4,0 dS m⁻¹ para cultura da palma forrageira. Na tabela 11, encontra-se a análise química das águas utilizadas na irrigação da palma forrageira no ano de 2022. As duas fontes hídricas

foram classificadas como C4S1, conforme Richards (1954), apresentando baixos riscos de sodicidade e alto risco de salinidade.

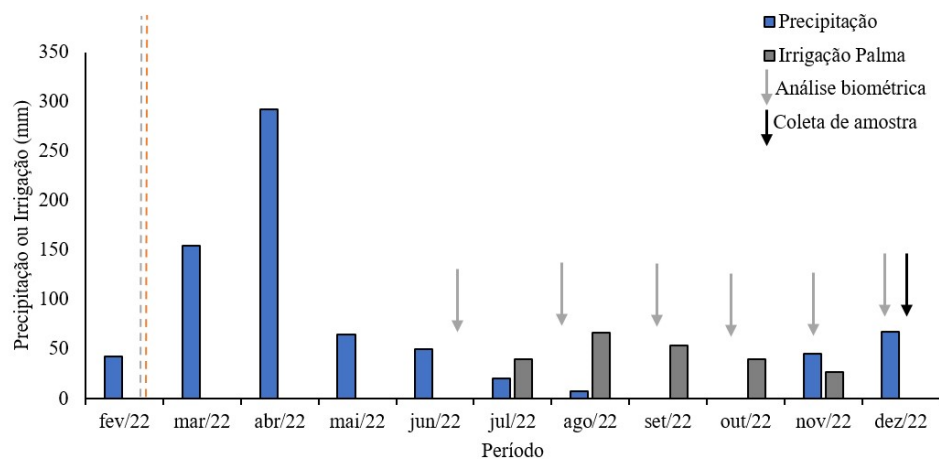
Tabela 11. Análise química das águas utilizadas na irrigação da palma forrageira na estação seca do ano de 2022.

Laudo da água do poço, General Sampaio – CE							
pH	CE (dS m ⁻¹)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}
				mmol _c L ⁻¹			
8,43	5,0	35,7	0,33	14,27	14,41	42,87	9,44
Laudo da água do cacimbão, General Sampaio – CE							
pH	CE (dS m ⁻¹)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}
				mmol _c L ⁻¹			
8,19	3,0	12,76	0,102	9,69	9,85	18,92	4,10

¹Potencial hidrogeniônico (pH), ²Condutividade elétrica (CE), ³Sódio (Na⁺), ⁴Potássio (K⁺), ⁵Cálcio (Ca²⁺), ⁶Fósforo (P).

Na cultura da palma a irrigação deu-se somente na estação seca (julho a dezembro), onde foi aplicado um volume de 4500 L em cada evento de irrigação, sendo 2,67 L planta⁻¹ para palma forrageira e 1,85 L planta⁻¹ para cunhã. Foi adotado um turno de rega de sete dias, totalizando 20 eventos de irrigação, com lâmina total de 267,85 mm. Na Figura 18 encontra-se a disponibilidade hídrica via precipitação e irrigação para a cultura da palma forrageira durante o período experimental para a comunidade de Riacho das Pedras, no município de General Sampaio -CE. Os dados de precipitação foram obtidos em pluviômetro instalado adjacente à área experimental.

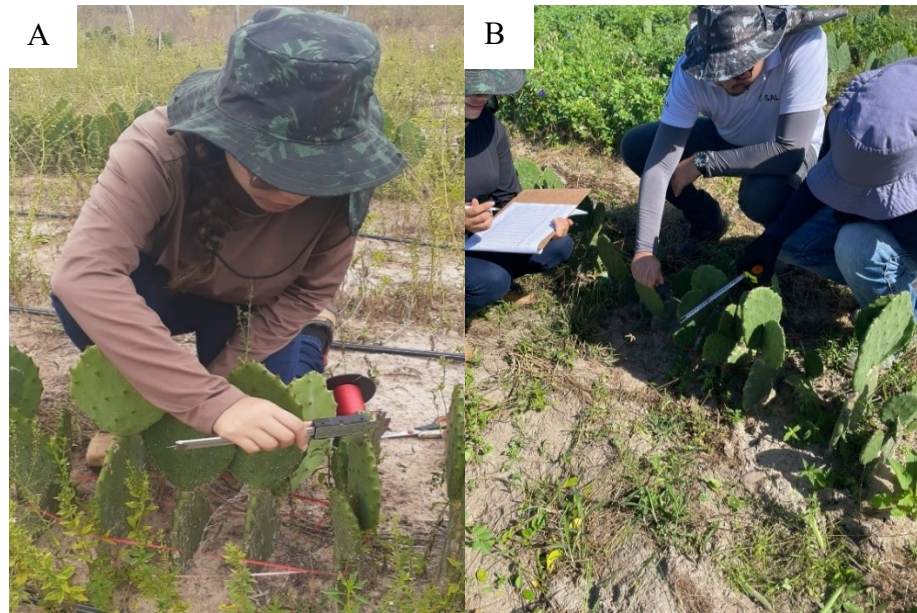
Figura 18. Disponibilidade hídrica via precipitação e irrigação para a cultura da palma forrageira durante o período experimental na comunidade de Riacho das Pedras, município de General Sampaio -CE, Brasil. A linha cinza tracejada indica o início do cultivo da palma, já a linha tracejada laranja é referente ao início do cultivo da cunhã. As setas na cor cinza indicam os momentos em que foram realizadas as análises biométricas, já a seta de cor preta indica quando foi coletada as amostras de cladódios para análise de teores minerais na cultura da palma.



Fonte: Autora (2023).

Na palma forrageira, a análise biométrica dos cladódios foi realizada mensalmente de junho a dezembro de 2022, dos 120 aos 291 DAP, sendo feita a medição da largura e comprimento com auxílio de fita métrica (cm), espessura por meio de um paquímetro digital (cm) (Figura 19A e 19B).

Figura 19. Análise biométrica da palma forrageira (A e B).



Fonte: Autora (2023).

De posse dos dados biométricos foi determinada a área do cladódio (cm²) e o índice de área do cladódio (m² m⁻²). A área do cladódio (AC) foi obtida com base na equação 4 de Silva *et al.* (2014), que estima a área foliar para cultivar ‘Orelha de elefante Mexicana’.

$$AC = \frac{0,7086(1-\exp(-0,000045765 \times CC \times LC))}{0,000045765} \quad (4)$$

Em que: AC - área de cladódio (cm²); CC - comprimento do cladódio (cm); LC - largura do cladódio (cm).

Por meio dos dados de área do cladódio e os espaçamentos (entre fileiras e entre plantas) utilizados nos tratamentos foi determinado o índice de área do cladódio (IAC, m² m⁻²), de acordo com a equação 5.

$$IAC = \frac{\sum_{n=1}^{i=1} AC}{\frac{10000}{E1 \times E2}} \quad (5)$$

Sendo; IAC - índice de área do cladódio (m² m⁻²); 10.000 - fator de conversão de cm² para m²; AC - área de cladódio (cm²); E1×E2 - é o espaçamento entre fileiras e entre plantas.

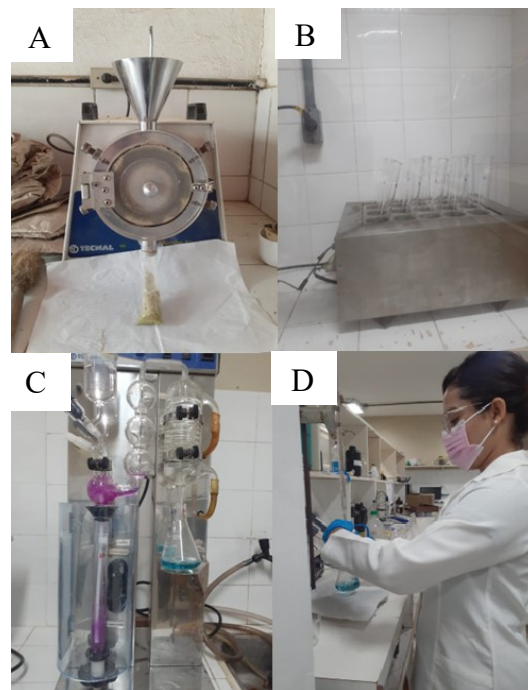
A taxa de crescimento absoluto demonstra a variação do crescimento e produção de massa verde ao longo de amostragens sucessivas durante o ciclo, sendo determinada pela correlação da biomassa verde com o tempo. Amostras foram coletadas mensalmente e pesadas em balança digital para determinação de biomassa verde. Posteriormente as amostras foram levadas para uma estufa de circulação de ar forçado por 72h a 65°C, para determinação do teor de biomassa seca. Por meio da biomassa seca dos cladódios e da área do cladódio foi calculada a taxa de assimilação líquida aos 120 e 291 DAP, de acordo com a metodologia de Queiroz *et al.*, (2015), como mostra a equação 6:

$$TAL = \left\{ \left[\frac{L2-L1}{AC2-AC1} \right] \times \left[\frac{\log AC2 - \log AC1}{T2-T1} \right] \right\} \quad (6)$$

Onde: TAL é a taxa de assimilação líquida em g m⁻² dia⁻¹, L é a biomassa seca em g, AC é a área do cladódio em m², T é o tempo em dias. A numeração 1 e 2 indica amostras sucessivas.

Para determinação do teor dos elementos minerais nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio, cálcio, sódio e cloro, foram coletadas amostras da cultura da palma forrageira em dezembro de 2022. O material vegetal amostrado foi lavado com água destilada e secos em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até peso constante. Após, as amostras foram pesadas, moídas em moinho tipo Willey (Figura 20A) e acondicionadas em recipientes identificados e levadas para análise nos laboratórios de Química e Fertilidade do Solo e Relação Solo-água-planta, da Universidade Federal do Ceará.

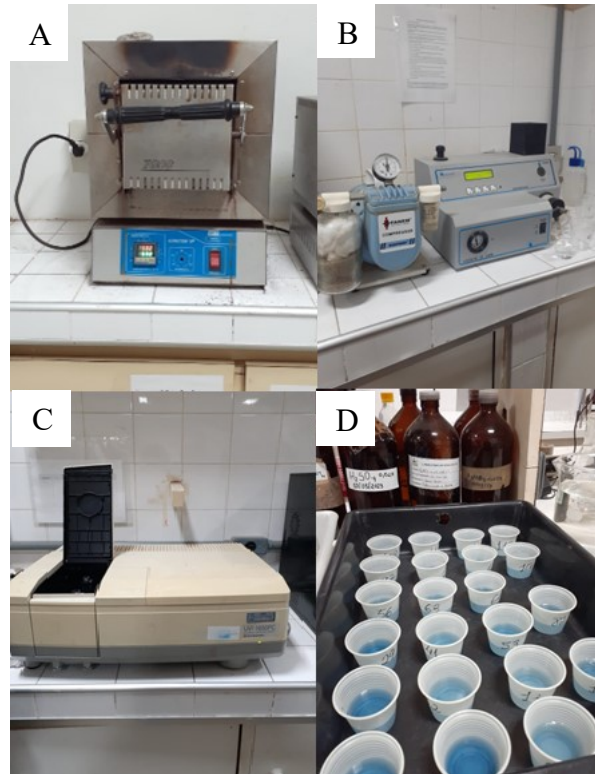
Figura 20. Moagem (A), digestão (B), destilação (C) e titulação (D) de amostras para determinação de nitrogênio.



Fonte: Autora (2023).

A obtenção do nitrogênio ocorreu via digestão úmida com H_2SO_4 (Figura 20B) e determinado por arraste de vapores em destilador semi-micro-Kjeldahl (Figura 20C), sendo a quantificação da NH_4^+ feita por titulação com ácido sulfúrico (MENEGETTI, 2018) (Figura 20D). Os nutrientes (P, K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+), foram determinados através da digestão seca. As amostras foram incineradas na mufla elétrica de 450 a 550 °C (Figura 21A) e a cinza foi dissolvida em solução HCl (1 mol L^{-1}) para a extração.

Figura 21. Mufla usada na incineração das amostras (A), determinação de Na^+ e K^+ por fotometria de chama (B) e obtenção do teor de P por espectrofotometria com azul de molibdênio (C, D).



Fonte: Autora (2023).

As leituras de Na^+ e K^+ foram feitas através de fotometria de chama (Figura 21B) e o P por meio de espectrofotometria com azul de molibdênio (Figuras 21C e 21D). Já os elementos Ca^{2+} e Mg^{2+} foram determinados por meio da espectrometria de absorção atômica (MENEGHETTI, 2018). A determinação do Cl^- foi através de extrato aquoso (Figura 22), por titulometria do nitrato de prata (AgNO_3) na presença de cromato de potássio como indicador (MALAVOLTA, VITTI, OLIVEIRA, 1997).

Figura 22. Determinação do cloro por titulometria do nitrato de prata.



Fonte: Autora (2023).

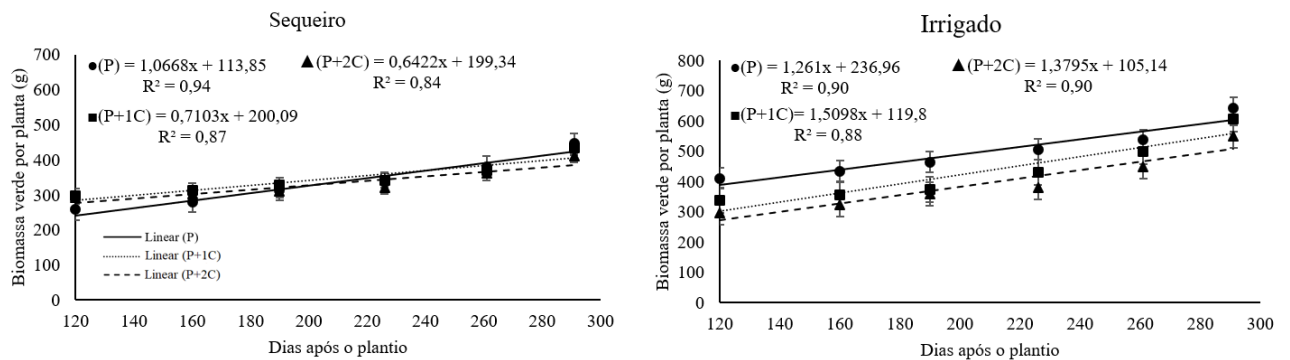
Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade da distribuição (teste de Shapiro-Wilk) em nível de 5% de probabilidade, bem como à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. As análises estatísticas (teste de Shapiro-Wilk e teste de Tukey) foram realizadas utilizando-se o software Assistat versão 7.7 beta (SILVA, AZEVEDO, 2016).

6.3 Resultados e discussão

Morfofisiologia da palma forrageira

A taxa de crescimento da palma forrageira no cenário de sequeiro foi maior no sistema de monocultivo ($1,06 \text{ g dia}^{-1}$), já no cenário irrigado com água salobra a maior taxa de crescimento foi observada no sistema consorciado P+1C ($1,50 \text{ g dia}^{-1}$) (Figura 23). A irrigação com água salobra propiciou um maior incremento diário de biomassa verde na palma forrageira de 15,93; 52,66 e 53,43% nos sistemas P, P+1C e P+2C, respectivamente, em relação aos valores observados nesses sistemas quando não houve irrigação.

Figura 23. Taxa de crescimento da palma forrageira em sistemas de produção com cunhã e sob suplementação com água salobra no período de 120 a 291 dias após o plantio.



Fonte: Autora (2023).

No cenário hídrico de sequeiro, a palma forrageira em monocultivo apresentou um incremento de biomassa total de 182,39 g dos 120 aos 291 DAP, um valor 33,40 e 39,78% maior que os observados na palma forrageira consorciada nos sistemas P+1C e P+2C (121,46 e 109,82 g), respectivamente. Já no cenário irrigado, a palma forrageira cultivada no sistema P+1C (258,18 g) apresentou maior incremento na biomassa total ao longo de 171 dias, sendo este valor 16,46 e 8,63% maior que os encontrados nos sistemas P (215,63 g) e P+2C (235,89 g), respectivamente. Esse resultado demonstra que a palma cv. ‘Orelha de elefante’ responde de forma positiva a irrigação com água salobra de 4,0 dS m⁻¹, no entanto, a palma forrageira consorciada demonstrou maior ganho de biomassa fresca quando irrigada com água salobra, quando comparada ao monocultivo.

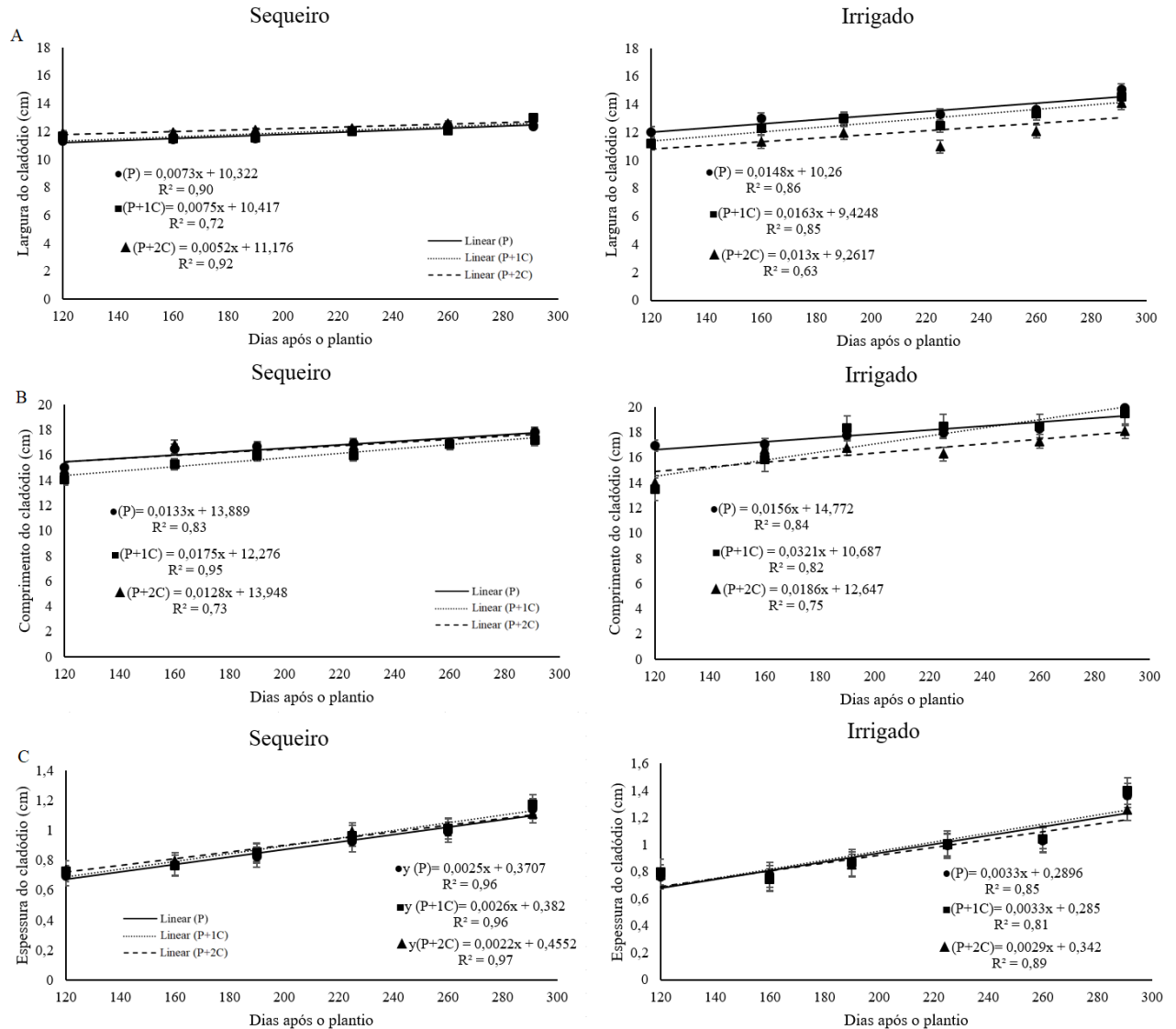
De acordo com Silva *et al.* (2021) a variedade ‘Orelha de elefante’ é mais tolerante ao cultivo sob irrigação com água salobra, pois apresentou um melhor desempenho vegetativo comparado a variedade ‘Miúda’. De modo similar, Fonseca *et al.* (2019) notaram que o uso de água salobra (3,6 dS m⁻¹) na irrigação da palma forrageira não ocasionou efeitos deletérios ao crescimento da cultura, mesmo na presença de sais. Segundo Scalisi *et al.* (2016), a dinâmica de crescimento da palma depende de fatores como idade, regime hídrico e temperatura do ar.

Segundo os autores supracitados, a restrição hídrica reduz a taxa de crescimento dos cladódios, mas a redução progressiva das flutuações do crescimento dos cladódios, sob condições severas de déficit hídrico, é verificada com o seu envelhecimento a partir de um ano de idade. Nunes *et al.* (2020) observaram uma taxa de crescimento absoluto 89% superior na cv. ‘Orelha de elefante’ em relação as cultivares ‘IPA Sertânia e Miúda’, todavia não constataram diferenças significativas na taxa de crescimento absoluto da cultura nos cenários com e sem irrigação.

O consórcio palma-cunhã propiciou maior taxa de crescimento na cultura da palma forrageira quando irrigada com água salobra na estação seca, podendo essa resposta ser explicada pela complementaridade hídrica das culturas, que ocasionou uma melhor utilização dos recursos disponíveis no ambiente, como luz, água e nutrientes. Todavia, no cenário de sequeiro não foram observados efeitos benéficos do consórcio sob o crescimento da palma forrageira. Embora o consórcio seja uma estratégia promissora, pode haver competição interespecífica das culturas, o que causa alterações no seu crescimento e desenvolvimento, devido ao efeito de fatores bióticos e abióticos no ambiente de cultivo e na fotossíntese líquida e partição da matéria seca (CHIMONYO *et al.* 2018; JIAO *et al.*, 2021; JARDIM *et al.*, 2021a).

As variáveis largura(LC), comprimento(CC) e espessura do cladódio(EC) apresentaram um comportamento linear crescente ao longo de 171 dias. Quanto a largura do cladódio, no regime de sequeiro destacou-se o sistema P+1C (0,0075 cm dia⁻¹) com um incremento na largura do cladódio de 10,16% (1,28 cm) dos 120 aos 291 DAP. Nas plantas irrigadas com água salobra, os maiores acréscimos na largura do cladódio foram também observados no sistema P+1C (0,0163 cm dia⁻¹), com um aumento de 19,63% na LC ao longo de 171 dias(2,78 cm) (Figura 24A). Quando comparado aos sistemas P e P+2C em sequeiro, o consórcio P+1C demonstrou incrementos de 2,34 e 31,25% na LC dos 120 aos 291 DAP, já no cenário irrigado o sistema P+1C obteve acréscimos de 8,99 e 20,14% na LC em relação ao monocultivo e P+2C, respectivamente. A ausência de irrigação com água salobra na estação seca na palma forrageira, trouxe reduções de 50,67 ;53,95 e 60% na LC da palma forrageira nos sistemas P, P+1C e P+2C, respectivamente, em relação ao cenário irrigado.

Figura 24. Largura (A), comprimento (B) e espessura do cladódio (C) da palma forrageira em sistemas de produção com cunhã e sob suplementação com água salobra dos 120 aos 291 dias após o plantio.



Fonte: Autora (2023).

Mesmo apresentando características de adaptação ao estresse hídrico, estudos têm mostrado que a prática de irrigação no cultivo da palma forrageira em ambiente semiárido, favorece o crescimento da planta (QUEIROZ *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2020). Lucena *et al.* (2021) em seu estudo notaram uma maior largura do cladódio (10,55 cm) na cv. ‘Gigante doce’ com a utilização de água salobra de 4,44 dS m⁻¹, no semiárido brasileiro. Lima *et al.* (2018a) não observaram efeitos significativos do consórcio palma-sorgo e de diferentes lâminas de irrigação com água de 1,6 dS m⁻¹ sobre a largura do cladódio da palma forrageira cv. ‘IPA-2502’.

No regime de sequeiro, o maior acréscimo no comprimento do cladódio nos 120 aos 291 DAP foi observado no sistema consorciado P+1C, de 2,27cm, um valor 24,08 e 26,75% maior que os encontrados nos sistemas P e P+2C, respectivamente. Quando irrigado durante a estação seca com água salobra de 4,0 dS m⁻¹, o sistema de produção P+1C também apresentou uma melhor resposta quanto ao aumento do comprimento do cladódio ao longo de 171 dias (5,52 cm) ,observando-se um acréscimo de 27,42%; os sistemas P e P+2C obtiveram incrementos no CC dos 120 aos 291 DAP de apenas 13,82 e 17,61% quando irrigados. A irrigação com água salobra gerou acréscimos de 14,74; 45,48 e 31,18 % no CC nos sistemas P, P+1C e P+2C, respectivamente, quando comparados ao cenário em que não houve irrigação (Figura 24B).

Quanto ao comprimento do cladódio, o consórcio P+1C destacou-se quando irrigado com água salobra em relação aos demais sistemas. Neste sistema a associação com a forrageira cunhã pode ter sido benéfica quanto ao incremento dessa variável. Segundo Jardim *et al.* (2021b) a palma cv. ‘Orelha de elefante’ apresentou maior crescimento tanto no sistema monocultivo como consorciado com sorgo, em comparação aos cultivares ‘IPA’ e ‘Miúda’. Conforme Diniz *et al.* (2017) e Jardim *et al.* (2021b) a cv. ‘Orelha de elefante’ possui agressividade, principalmente no semiárido, visto que mesmo em condições adversas, possui uma alta capacidade adaptativa. Pereira *et al.* (2021) constataram um comprimento médio de 25 cm para a cultivar ‘Orelha de Elefante’ irrigada com água salobra de 5,6 dS m⁻¹ em monocultivo.

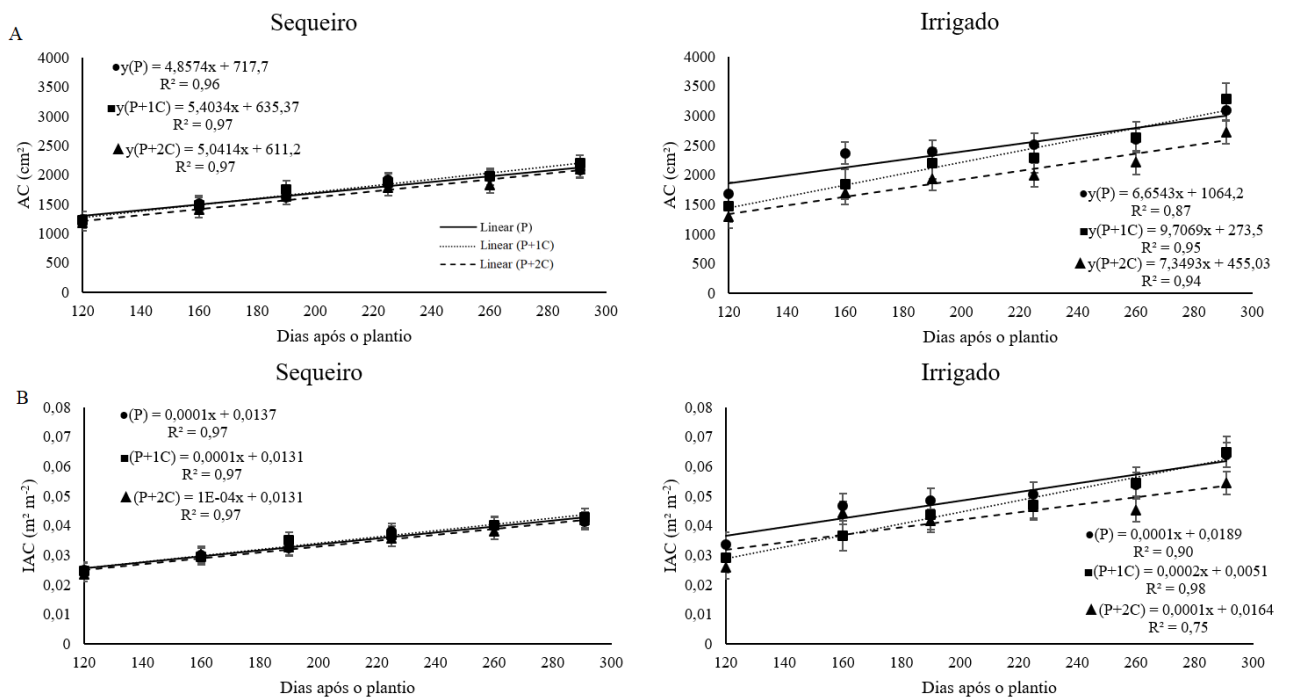
De acordo com a figura 24C, no cenário de sequeiro a palma forrageira consorciada no sistema P+1C expressou maior ganho de espessura do cladódio diária (0,0026 cm dia⁻¹) com um incremento na largura do cladódio de 38,53% (0,42 cm) dos 120 aos 291 DAP. Na palma forrageira irrigada com água salobra na estação seca, os maiores acréscimos na EC diária foram observados nos sistemas de monocultivo e P+1C (0,0033 cm dia⁻¹ para ambos), com um aumento de 45,16% na EC ao longo de 171 dias(0,56 cm). No cenário sequeiro a espessura do cladódio nos sistemas P, P+1C e P+2C apresentou reduções de 24,24; 21,21 e 24,13%, respectivamente, em relação ao cenário em que houve irrigação com água salobra na estação seca.

O aumento da disponibilidade de água pode ter ocasionado um maior acúmulo de água nos cladódios, justificando as maiores espessuras observadas no cenário irrigado em relação ao sequeiro. Os cactos do gênero *Opuntia*, quando submetidas à irrigação, apresentam melhor adaptação e plasticidade do metabolismo fotossintético (isto é, CAM facultativo, metabolismo do ácido crassuláceo) e, como resultado, exibem melhor desempenho em

ambientes hostis (WINTER *et al.* 2008; JARDIM *et al.* 2021b). Valores de espessura do cladódio de 1,34 cm foram observados por Dantas *et al.* (2023) para cv. ‘IPA Sertânia’ em monocultivo com uso de água salobra de 10 dS m⁻¹, em condições de semiárido brasileiro. Avaliando o crescimento da palma forrageira cv. ‘Orelha de elefante’ em diferentes níveis de salinidade(0,2; 2,0; 3,8; 5,6 dS m⁻¹), Pereira *et al.* (2021) observaram os maiores valores de espessura do cladódio (1,31 cm) com o uso da água de 2,39 dS m⁻¹.

A irrigação com água salobra na estação seca propiciou um incremento na área do cladódio de 27; 44,33 e 31,40% nos sistemas P, P+1C e P+2C, respectivamente, em comparação ao cenário sem irrigação (Figura 25A). O menor acréscimo na área do cladódio no cenário de sequeiro dos 120 aos 291 DAP foi observada no sistema de monocultivo(831,20 cm²), com reduções de 10,04 e 3,58% em comparação aos valores encontrados nos sistemas consorciados P+1C (923,98 cm²) e P+2C(862,08 cm²). Similarmente, no cenário irrigado o menor incremento na área do cladódio ao longo de 171 dias foi constatada no sistema de monocultivo (1138,60 cm²), com decréscimos de 31,40 e 9,39% em relação aos sistemas P+1C (1659,88 cm²) e P+2C (1256,73 cm²), respectivamente.

Figura 25. Área (A) e Índice de área do cladódio (B) da palma forrageira em sistemas de produção com cunhã e sob suplementação com água salobra dos 120 aos 291 dias após o plantio.



Fonte: Autora (2023).

A maior AC da palma no sistema P+1C em ambos cenários hídricos demonstra que a associação benéfica entre cunhã e palma nessa conformação espacial independe do efeito da suplementação hídrica. De modo similar, Diniz *et al.* (2017) avaliando o consórcio de palma e sorgo em diferentes lâminas no semiárido brasileiro, constataram que o desempenho produtivo e o crescimento das culturas em consórcios, em comparação com suas monoculturas, é inerente à associação de culturas e independente da disponibilidade hídrica.

No regime de sequeiro não foi observada diferença no incremento do índice de área cladódio entre os sistemas de produção dos 120 aos 291 DAP. Já no cenário irrigado com água salobra, os maiores acréscimos no índice de área do cladódio dos 120 aos 291 DAP foram observados no sistema P+1C (0,0342 m² m⁻²), com um aumento de 50,0% no IAC neste sistema quando comparado aos sistemas P e P+2C (Figura 25B). O uso de irrigação com água salobra na estação seca na palma forrageira, trouxe acréscimos no IAC apenas no sistema P+1C (50%), já nos sistemas P e P+2C não foi observada diferença.

Vale salientar que mesmo fazendo uso de água salobra na estação seca, os valores de IAC observados no presente estudo são condizentes com aqueles observados por Silva *et al.* (2014) em condições normais de cultivo em Serra Talhada – PE, para a cv. ‘Orelha de elefante mexicana’ de 200 a 300 dias após o plantio (IAC de 0 a 0,5 m² m⁻²). Fonseca *et al.* (2019) constataram aumento significativo de 53% no índice de área do cladódio da cv. ‘Gigante’ cultivada em monocultivo e irrigada com água salobra (3,6 dS m⁻¹) em comparação as condições de sequeiro.

De acordo com a análise de variância da tabela 12, houve interação entre os cenários hídricos e sistemas de produção sob a taxa de assimilação líquida da palma forrageira (TAL) ($p < 0,05$).

Tabela 12. Análise de variância da taxa de assimilação líquida (TAL) da palma forrageira de 120 a 291 DAP, em sistema consorciado com cunhã e sob irrigação suplementar com água salobra.

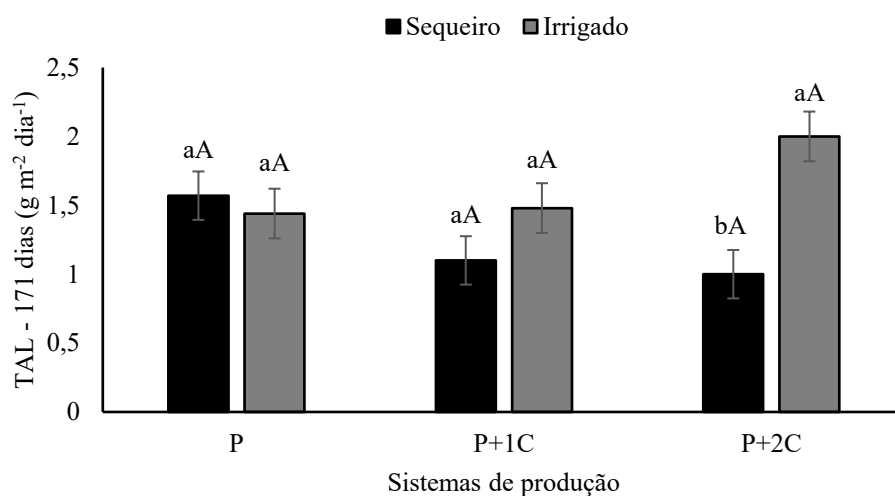
Fontes de variação	Quadrado médio
	TAL
Bloco	0,19 ^{ns}
Cenário hídrico (C)	1,04 ^{ns}
Resíduo	0,21
Sistemas de produção (S)	0,12 ^{ns}
Interação (C x S)	0,64*
Resíduo 2	0,13

CV (%) (C)	31,87
CV (%) (S)	25,64
Tratamentos	g m ⁻² dia ⁻¹
Sem suplementação	1,23 a
Com suplementação	1,64 a
(P)	1,51 a
(P+1C)	1,29 a
(P+2C)	1,50 a

¹Coefficiente de variação (CV), ²Taxa de assimilação líquida (TAL), ³Número de cladódios por planta (NCP), ⁴Número de cladódios primários (NC1), ⁵Número de cladódios secundários (NC2), ⁶Não significativo (ns), ⁷Significativo a 1% de probabilidade (**), ⁸Significativo a 5% de probabilidade (*).

A irrigação com água salobra favoreceu a taxa de assimilação líquida da cultura da palma no sistema de produção P+2C, com incrementos de 100% em relação ao valor observado no cenário hídrico de sequeiro. Nos outros sistemas de produção não houve diferença estatística entre os cenários hídricos para a variável mencionada (Figura 26). A TAL representa a fotossíntese líquida, resultado do balanço entre os fotoassimilados produzidos pela fotossíntese e aqueles perdidos na respiração (NUNES *et al.*, 2020).

Figura 26. Taxa de assimilação líquida da cultura da palma em sistemas de produção com cunhã e sob suplementação com água salobra no período de 171 dias (dos 120 até os 291 dias após o plantio). Para interação C X S, médias seguidas de letra minúscula na coluna correspondem aos sistemas de produção, já as letras maiúsculas aos cenários hídricos. Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.



Fonte: Autora (2023).

A conformação espacial do sistema P+2C pode ter ocasionado uma melhor performance fisiológica da palma, tanto pelo maior espaçamento entre linhas de plantio que pode ter favorecido uma maior captação de luz entre os cladódios, como pelo consórcio com duas linhas de cunhã o que leva a um maior sombreamento do solo e redução da evaporação da água. Com maior disponibilidade hídrica esse sistema de produção quando irrigado na estação seca conseguiu sobressair-se em relação ao cultivo em sequeiro. Além disso, o consórcio entre duas culturas ocasiona o aumento da densidade radicular, que leva a uma melhor captação de água no solo e mitiga as perdas por drenagem (CHIMONYO *et al.*, 2018). A captura aprimorada da água do solo permite a manutenção da alta condutividade estomática e do estado interno da água nos tecidos, permitindo assim altas taxas líquidas de assimilação e produção de biomassa (BLUM, 2009).

Jardim *et al.* (2021b) avaliando os efeitos do consórcio palma forrageira-sorgo sob a morfofisiologia e fenologia da forragem da palma constataram uma menor taxa de assimilação líquida na cv. 'IPA' consorciada de $1,0 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, em comparação aos valores observados no sistema de monocultivo ($3,9 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), já na cv. 'Orelha de elefante' a TAL observada no sistema consorciado e de monocultivo foram de $12,4$ e $17,3 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente. No estudo de Jardim *et al.* (2021b) a cv. 'Orelha de elefante' mostrou-se mais eficiente quanto ao ganho de carbono por meio do processo fotossintético. Vale salientar que no estudo supracitado a água utilizada na irrigação tinha condutividade elétrica de $1,51 \text{ dS m}^{-1}$.

Souza *et al.* (2021) constataram que a taxa de assimilação líquida foi maior na palma forrageira cv. 'Orelha de elefante' cultivada em monocultivo com cobertura morta, em comparação a palma consorciada com milho, atingindo valor máximo de $5,6 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Os autores atribuíram esse aumento a adição de cobertura morta ao sistema de cultivo que ajudou a melhorar a fotossíntese líquida da palma, além da falta de competição de uma cultura secundária. No estudo de Souza *et al.* (2021) a água utilizada na irrigação tinha condutividade elétrica de $1,62 \text{ dS m}^{-1}$.

De acordo com Barbero *et al.* (2013) a TAL depende de fatores ambientais, principalmente radiação solar, visto que auto sombreamento, reduz a taxa de assimilação líquida. Vale salientar que a fotossíntese líquida da palma pode ser influenciada, pela temperatura do ar e do cladódio, intensidade de luz, concentração interna de CO_2 , umidade do ar, teor de água no solo, status hídrico e nutricional da planta e/ou cladódio, idade do cladódio e genótipo (BUCKLEY, 2017).

Teor de elementos minerais na cultura da palma forrageira aos 291 DAP

Os cenários hídricos estudados afetaram o teor de cloro e potássio na palma forrageira ($p < 0,05$), já os sistemas de produção interferiram na absorção de fósforo ($p < 0,01$). Houve interação entre os fatores cenários hídricos e sistemas de produção para os teores de magnésio, cálcio e sódio na palma forrageira aos 291 DAP ($p < 0,05$) (Tabela 13).

Tabela 13. Análise de variância dos teores de nutrientes da palma forrageira em sistemas consorciado com cunhã e sob irrigação com água salobra.

Fontes de variação	Quadrado médio						
	N	P	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻
Bloco	0,36 ^{ns}	0,0007 ^{ns}	16,79 ^{ns}	5,11 ^{ns}	5,53 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,37 ^{ns}
Cenário hídrico (C)	30,55 ^{ns}	0,0020 ^{ns}	54,00*	15,56 ^{ns}	109,54 ^{ns}	1,76*	0,75*
Resíduo	3,03	0,0004	3,91	2,83	19,4	0,093	0,009
Sistemas de plantio (S)	10,76*	0,0086**	45,82 ^{ns}	3,45 ^{ns}	1,59*	0,38 ^{ns}	0,041 ^{ns}
Interação (C x S)	3,27 ^{ns}	0,0002 ^{ns}	78,96 ^{ns}	6,90*	25,04*	0,51*	0,10 ^{ns}
Resíduo 2	1,87	0,0003	21,14	1,13	5	0,12	0,36
CV (%) (C)	8,65	25,42	8,53	10,37	18,11	20,7	9,11
CV (%) (S)	6,80	23,62	19,81	6,55	9,2	24,23	17,80
Tratamentos	g/kg						
Sequeiro	18,99 a	0,07 a	24,70 a	17,05 a	26,45 a	1,20 b	0,89 b
Irigado	21,25 a	0,09 a	21,70 b	15,44 a	22,18 a	1,75 a	1,25 a
(P)	19,01 b	0,12 a	22,12 a	15,52 a	24,50 a	1,25 a	1,03 a
(P+1C)	21,32 a	0,07 b	21,56 a	16,80 a	24,63 a	1,68 a	1,15 a
(P+2C)	20,03 ab	0,05 b	25,93 a	16,41 a	23,80 a	1,50 a	1,03 a

¹Coefficiente de variação (CV), ²Nitrogênio(N), ³Fósforo(P), ⁴Potássio (K⁺), ⁵Magnésio (Mg²⁺), ⁶Cálcio (Ca²⁺), ⁷Sódio (Na⁺),

⁸Cloro (Cl⁻), ⁹Não significativo (ns), ¹⁰Significativo a 1% de probabilidade (**), ¹¹Significativo a 5% de probabilidade (*).

Os maiores teores de nitrogênio na palma foram observados nos cultivos consorciados (21,32 e 20,03 g/kg para P+1C e P+2C), com acréscimo de 10,83% para o sistema P+1C e 5,09% para o sistema P+2C em comparação ao sistema de monocultivo (Tabela 13). O consórcio da palma com a leguminosa cunhã pode ter favorecido a absorção de nitrogênio por essa cultura, devido a capacidade de *Clitoria ternatea* L. de fixar nitrogênio biologicamente. De acordo com Jhariya *et al.* (2018), a utilização de leguminosas no sistema de cultivo pode incrementar o teor de nitrogênio. Cirino Júnior *et al.* (2023) constataram que o consórcio de feijão caupi com sorgo possibilitou incrementos nos teores de nitrogênio na cultura do sorgo.

De acordo com a tabela 13 os maiores teores de fósforo foram constatados no monocultivo da palma (0,12 g/kg), com valores 41,66 e 58,33 % mais elevados que os encontrados nos sistemas P+1C e P+2C, respectivamente. O consórcio pode ter prejudicado a absorção de fósforo pela palma, com maior assimilação de fósforo pela cunhã, na tabela 16 pode-se notar que os maiores teores de fósforo na cultura da cunhã foram observados nos sistemas consorciados com palma forrageira.

As leguminosas têm uma capacidade de liberação de prótons mais forte do que outras culturas e podem acidificar significativamente a rizosfera, facilitando assim a ativação e absorção do fósforo insolúvel no solo (WHANG *et al.*, 2019), e deste modo a cunhã por ser uma leguminosa pode ter absorvido maior quantidade de fósforo em relação a palma forrageira. Miranda *et al.* (2019) observaram que o teor de P da palma em monocultivo (3,45 g/kg) foi maior que os constatados no consórcio palma-leucena (2,79 g/kg), valores superiores aos encontrados no presente estudo.

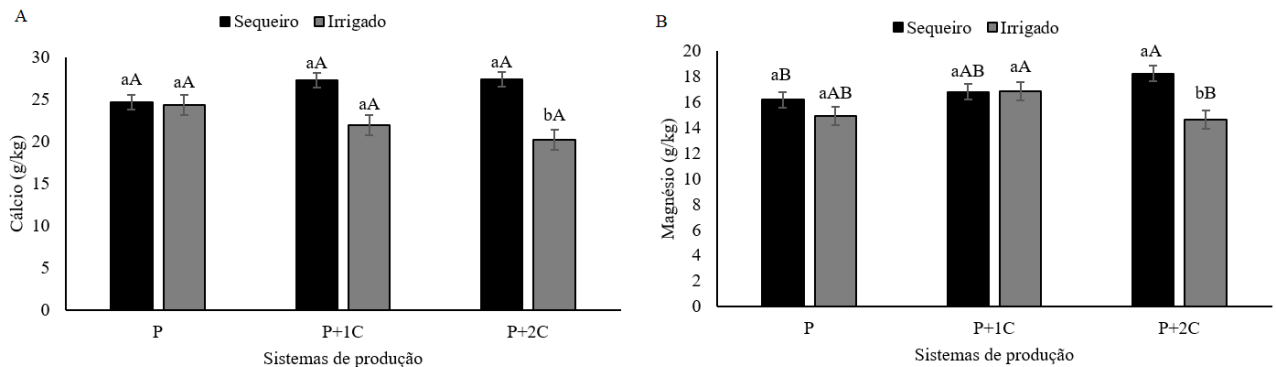
A irrigação com água salobra na estação seca prejudicou a absorção de potássio pela cultura da palma, com reduções de 12,14% em relação ao cenário hídrico de sequeiro (Tabela 13). Essa resposta deu-se possivelmente por efeito deletério do estresse salino sob a absorção de nutrientes pelas plantas, devido a competição entre K^+ e Na^+ nos sítios de absorção. Ressalta-se que a relação Na^+/K^+ da mistura de águas utilizada na irrigação foi de 112,17 $mmol\ L^{-1}$, com maior disponibilidade de sódio em relação ao potássio, o que pode ter acarretado a redução da absorção de potássio pela cultura da palma forrageira. Hasegawa *et al.* (2000), relatam que os sistemas de absorção de potássio são altamente seletivos, quando na zona radicular, e as concentrações de potássio e sódio são semelhantes, no entanto, esses transportadores perdem a capacidade seletiva quando o íon Na^+ se encontra em excesso em relação ao íon K^+ (LUCENA *et al.*, 2012).

Distúrbios ambientais que afetam a relação K^+/Na^+ podem alterar o equilíbrio iônico celular e afetar vários processos bioquímicos e fisiológicos essenciais para o crescimento e produtividade das plantas (JARDIM *et al.*, 2021c). Ainda segundo o mesmo autor supracitado, a cv. ‘Orelha de elefante’ destaca-se em relação a outros genótipos quanto a seletividade relativamente maior para K^+ em relação ao Na^+ , o que a torna mais resistente ao estresse salino. De modo similar, Azevedo Júnior *et al.* (2019) constataram maior teor de potássio nas plantas de palma forrageira cv. ‘Orelha de Elefante’ cultivadas em sequeiro, com teor médio de K^+ de 58,42 g/kg.

Os menores teores de cálcio na palma forrageira foram notados no sistema P+2C (20,2 g/kg) quando irrigado com água salobra, com reduções de 26,30% em relação aos valores

constatados para o mesmo sistema no cenário de sequeiro (Figura 27A). Apesar das reduções do teor de cálcio com o manejo da irrigação com água salobra na palma cv. ‘Orelha de elefante’ neste sistema de produção, o teor de Ca^{2+} está em concordância com a faixa encontrada na literatura para diversas cultivares de palma que varia de 18,40 a 48,60 g/kg de Ca^{2+} (DUBEUX JÚNIOR *et al.*, 2010; DONATO *et al.*, 2017; LEMOS *et al.*, 2018).

Figura 27. Teor de cálcio (A) e magnésio (B) na palma forrageira em sistemas consorciado com cunhã e sob irrigação com água salobra. Médias seguidas de letra minúscula na coluna correspondem aos sistemas de produção, já as letras maiúsculas aos cenários hídricos. Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.



Fonte: Autora (2023).

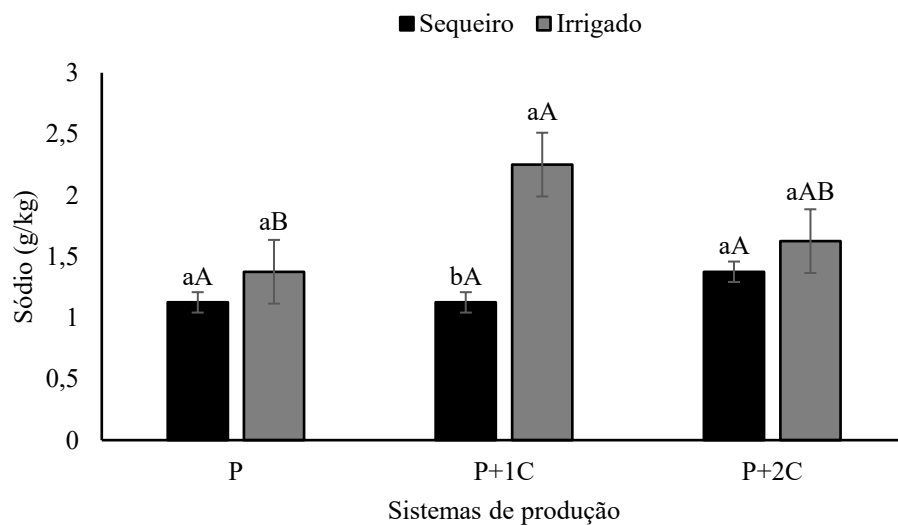
Este resultado mostra que a irrigação com água salobra de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ da palma forrageira na estação seca não limita de forma brusca a absorção de cálcio pela planta, apesar dos decréscimos no teor de Ca^{2+} observados no sistema P+2C. Vale salientar que a relação $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ da mistura de águas utilizada na irrigação foi de $2,02 \text{ mmol}_e \text{ L}^{-1}$, demonstrando que a quantidade de cálcio contida na água é metade da sódio, o que pode justificar a baixa limitação da absorção de cálcio pela cultura com o uso dessa água. A conformação espacial do sistema P+2C juntamente ao estresse salino pode ter inibido o crescimento e desenvolvimento das raízes laterais superficiais da palma, que são responsáveis pela absorção de água e nutrientes. A absorção do Ca é feita unicamente nas raízes jovens, nas quais as paredes celulares da endoderme não estão suberizadas, sem estrias de Caspary (PRADO, 2020).

De modo semelhante, a irrigação com água salobra em associação ao sistema de produção P+2C prejudicaram a absorção de magnésio e consequentemente os teores desse nutriente na planta, com declínio de 19,86% em comparação ao mesmo sistema no cenário de sequeiro (Figura 27B). O efeito deletério do estresse salino sob a absorção de magnésio somente

foi observada no consórcio P+2C, possivelmente devido ao menor aclimatação da palma nesse modelo de plantio. Segundo Santos *et al.* (2016) altos níveis de Na^+ induz deficiência de Ca^{2+} e/ou Mg^{2+} para as plantas. Vale salientar que o cálcio e o magnésio são antagônicos quanto a competição nos sítios de absorção, ou seja, altas concentrações de Ca^{2+} inibe a absorção de K^+ e Mg^{2+} (MARSCHNER, 2012).

O teor mais elevado de sódio na palma forrageira foi constatado no sistema P+1C quando irrigado com água salobra, não diferindo estatisticamente do sistema P+2C no cenário irrigado. Houve acréscimos de 50% nos teores de sódio na palma no sistema P+1C quando irrigado, em comparação aos valores obtidos quando não ocorreu irrigação (Figura 28).

Figura 28. Teor de sódio na palma forrageira em sistemas consorciado com cunhã e sob irrigação com água salobra. Médias seguidas de letra minúscula na coluna correspondem aos sistemas de produção, já as letras maiúsculas aos cenários hídricos. Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.



Fonte: Autora (2023).

A palma consorciada mostrou-se capaz de absorver sódio com maior facilidade em relação ao monocultivo quando irrigados com água salobra, com destaque para o sistema P+1C. A interação entre as culturas palma-cunhã no sistema P+1C promoveu maior absorção dos sais provenientes da água de irrigação, como o sódio, pela palma forrageira. O Na^+ é considerado um elemento essencial em plantas que empregam o metabolismo do ácido das crassuláceas (BROADLEY *et al.*, 2012). Deste modo, esse elemento pode ser benéfico à cultura da palma forrageira em baixas concentrações.

Lima *et al.* (2022) avaliando a composição química da palma forrageira cv. ‘Orelha de elefante’ irrigada com água salobra no semiárido, notaram que sob estresse salino, o sódio tende a se acumular nas raízes e nos cladódios-mãe, todavia os maiores teores de sódio foram encontrados nas raízes em comparação com as demais estruturas. A maior concentração de sódio nas raízes demonstra um mecanismo que a cultura pode estar fazendo uso para mitigar os efeitos do estresse por excesso de sódio.

A utilização de água salobra para irrigação da palma forrageira promoveu maior assimilação de cloro pela cultura (1,25 g/kg), teor 28,8% maior que os encontrados no cenário hídrico de sequeiro (Tabela 13). Os sais contidos na água de irrigação, como o cloreto, justificam o incremento nos teores de cloro na palma quando irrigada com água salobra. De maneira geral, o estresse salino causa estresse osmótico e perturba a homeostase iônica pelo acúmulo de Na e Cl no interior da célula (TAIZ *et al.*, 2017).

Os teores nutricionais clássicos em palma forrageira são descritos por Santos *et al.* (2005). Estes pesquisadores citam que o teor de P varia entre 0,4 e 2 g kg⁻¹, Ca entre 10 e 86,6g kg⁻¹, K entre 10,9 e 39,5g kg⁻¹ e Mg entre 5,9 e 21,4g kg⁻¹. Esses valores estão de acordo aos observados no presente estudo.

6.4 Conclusões

A irrigação com água salobra na cultura da palma, atenua os efeitos deletérios do estresse hídrico e possibilita maior crescimento dos cladódios durante a estação seca. A irrigação com águas salobras também proporcionou maiores teores de Na⁺ e redução dos teores de K⁺ e Ca²⁺ nos cladódios da palma forrageira. Entretanto, os teores de sódio foram relativamente baixos, comparados aos observados em outras glicófitas.

Na cultura da palma forrageira, o sistema consorciado P+1C quando irrigado com água salobra durante a estação seca, propiciou maior comprimento, espessura, área e índice de área do cladódio, bem como incrementos nos teores de N e Na⁺, em relação ao monocultivo. Esse sistema consorciado mostra-se favorável ao desenvolvimento da palma forrageira.

7. CAPÍTULO 3: TROCAS GASOSAS FOLIARES E TEORES DE ELEMENTOS MINERAIS DA CUNHÃ EM SISTEMA CONSORCIADO COM PALMA FORRAGEIRA E SOB IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR COM ÁGUA SALOBRA

RESUMO: A irrigação suplementar com água salobra e a prática do consórcio pode diminuir os efeitos deletérios do estresse hídrico sobre o crescimento, trocas gasosas e absorção de nutrientes das plantas, especialmente em períodos de veranicos. O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da suplementação com água salobra (3,0 dS m⁻¹) e de diferentes cenários hídricos e sistemas de produção de biomassa sobre as trocas gasosas e os teores de elementos minerais na cultura da cunhã. O experimento foi conduzido no município de General Sampaio – CE, nos anos de 2022 e 2023. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com quatro blocos. As parcelas foram referentes a dois cenários hídricos: sem suplementação e com suplementação; as subparcelas foram formadas por três sistemas de produção compostos pelas forrageiras cunhã (*Clitoria ternatea* L.) e palma forrageira (*Opuntia stricta* (Haw) Haw): Sistema 1 – cunhã em monocultivo (C) (1,0 x 0,1m), sistema 2 – palma consorciada (2,0 x 0,1m) com uma linha de cunhã (P+1C) (1,0 x 0,1m), sistema 3 – palma (3,0 x 0,1m) consorciada com duas linhas de cunhã (P+2C) (1,0 x 0,1m). A cultura da cunhã recebeu irrigação suplementar entre os meses de fevereiro a junho durante a ocorrência de veranicos e no início da estação seca (julho e agosto). Foram analisadas as seguintes variáveis: trocas gasosas foliares (condutância estomática, fotossíntese, transpiração, concentração interna de CO₂ e temperatura foliar) e os teores de N, P, K, Ca, Mg, Na e Cl nas plantas. O uso de irrigação suplementar com água salobra nos sistemas consorciados gerou acréscimos na condutância estomática e na taxa fotossintética e reduções nos teores de sódio nas plantas de cunhã, o sistema P+2C quando suplementado aumentou a assimilação de N e P pela cultura. A irrigação suplementar com água salobra durante os veranicos na cultura da cunhã mitigou os efeitos do estresse hídrico sobre a condutância estomática, fotossíntese, transpiração, concentração interna de CO₂ e elevou os teores de K⁺, Ca²⁺ e Cl⁻. O consórcio palma-cunhã gerou acréscimos nas trocas gasosas e reduções no teor de Cl⁻ de *Clitoria ternatea* L., mostrando-se benéfico ao desempenho agrônômico dessa cultura.

PALAVRAS-CHAVE: fotossíntese; consórcio; nutrição mineral.

ABSTRACT: Supplemental irrigation with brackish water and the practice of intercropping can reduce the harmful effects of water stress on plant growth, gas exchange and nutrient absorption, especially during dry periods. The objective of the present study was to evaluate the effect of supplementation with brackish water ($3,0 \text{ dS m}^{-1}$) and of different water scenarios and biomass production systems on gas exchange and mineral element content in butterfly pea culture. The experiment was conducted in the municipality of General Sampaio – CE, in the years 2022 and 2023. The experimental design was in randomized blocks, in subdivided plots, with four blocks. The plots referred to two water scenarios: without supplementation and with supplementation; the subplots were formed by three production systems composed of the forage plants butterfly pea (*Clitoria ternatea* L.) and cactus (*Opuntia stricta* (Haw) Haw): System 1 – cunhã in monoculture (C) ($1,0 \times 0,1\text{m}$), system 2 – palm combined ($2,0 \times 0,1\text{m}$) with one butterfly pea line (P+1C) ($1,0 \times 0,1\text{m}$), system 3 – palm ($3,0 \times 0,1\text{m}$) combined with two butterfly pea lines (P+2C) ($1,0 \times 0,1\text{m}$). The butterfly pea crop received supplementary irrigation between the months of February and June during the occurrence of dry spells and at the beginning of the dry season (July and August). The following variables were analyzed: leaf gas exchange (stomatal conductance, photosynthesis, transpiration, internal CO_2 concentration and leaf temperature) and the levels of N, P, K, Ca, Mg, Na and Cl in the plants. The use of supplementary irrigation with brackish water in intercropped systems generated increases in stomatal conductance and photosynthetic rate and reductions in sodium content in butterfly pea plants. The P+2C system, when supplemented, increased the assimilation of N and P by the crop. Supplemental irrigation with brackish water during the summer in the butterfly pea crop mitigated the effects of water stress on stomatal conductance, photosynthesis, transpiration, internal CO_2 concentration and increased the levels of K^+ , Ca^{2+} and Cl^- . The palma-butterfly pea consortium generated increases in gas exchange and reductions in the Cl^- concentration of *Clitoria ternatea* L., proving beneficial to the agronomic performance of this crop.

PALAVRAS-CHAVE: photosynthesis; intercropping; mineral nutrition.

7.1 Introdução

A região semiárida brasileira é caracterizada pela ocorrência de precipitações irregulares e secas recorrentes. Nessas regiões as fontes hídricas superficiais frequentemente encontram-se com disponibilidade e qualidade reduzida, assumindo a água subterrânea, um importante papel frente ao desenvolvimento de atividades produtivas (AMARAL *et al.*, 2021). No entanto, essas fontes de água contêm altas concentrações de sais que podem salinizar áreas irrigadas e prejudicar a produção agrícola (DIAS *et al.*, 2020).

No Estado do Ceará, os poços construídos no cristalino possuem baixas vazões o que impossibilita a irrigação plena das culturas com água salobra, todavia a irrigação suplementar mostra-se viável (LESSA *et al.*, 2023). A disponibilidade de água para irrigação é certamente um dos principais fatores que determinam o sucesso da produção de plantas forrageiras, influenciando o crescimento, a produção de forragem e seu valor nutricional (TESTA *et al.*, 2011).

A consorciação é uma das importantes abordagens sustentáveis adotadas em todo o mundo devido a sua influência positiva na produtividade das culturas (WANG *et al.*, 2020) e na eficiência do uso de nutrientes e água (FAN *et al.*, 2020). A busca de sistemas de produção que envolvam plantas tolerantes aos sais e com baixa demanda hídrica, podem impulsionar a agricultura bioassalada e a produção de forragem. As culturas forrageiras adaptadas capazes de prosperar em terras áridas poderão ter um impacto significativo nos próximos anos, fornecendo forragem para aumentar a alimentação de origem animal em áreas secas do globo (MUDGAL *et al.*, 2018).

Dentre as plantas forrageiras com baixa exigência hídrica estão a palma (*Opuntia e Nopalea*) e a cunhã (*Clitoria ternatea* L.) (BARROS *et al.*, 2004; FONSECA *et al.*, 2019). *Clitoria ternatea*, comumente conhecida como feijão-borboleta, ervilha-borboleta ou cunhã, é uma planta nativa da Ásia tropical, pertencente à família *Fabaceae* (OGUIS *et al.*, 2019). No Brasil, *C. ternatea* é cultivada em diferentes regiões, especialmente em climas quentes (GONÇALVES *et al.*, 2024). A inclusão da ervilha-borboleta em sistemas de produção fornece características positivas, especialmente a de melhorar a nutrição valor da forragem e fixação de N no sistema (SILVA *et al.*, 2023).

A melhoria no ambiente da zona radicular ocasionada pelo consórcio pode promover a absorção de nutrientes e água (GOUDA *et al.*, 2018), enquanto a melhoria no ambiente do dossel pode elevar as taxas fotossintéticas (CHI *et al.*, 2023). Já a irrigação

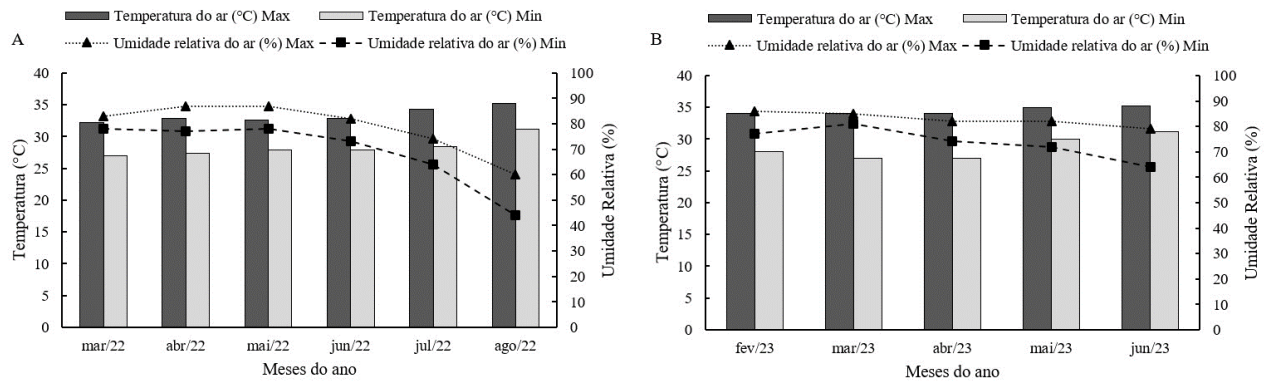
suplementar pode reduzir os efeitos negativos dos períodos de seca nas trocas gasosas foliares (CAVALCANTE *et al.*, 2022). Heydarzadeh *et al.* (2021), avaliando o teor de elementos minerais em ervilhaca sob irrigação suplementar observaram que as plantas de ervilhaca irrigadas continham mais P do que as plantas de sequeiro.

Em resumo, não há estudos que investiguem o efeito da consorciação e a irrigação suplementar com água salobra sobre a fisiologia e absorção de elementos minerais na cultura da cunhã. A hipótese é que os sistemas consorciados e suplementados com água salobra tenham uma melhor performance fisiológica e maior absorção de elementos minerais. Portanto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da irrigação suplementar com água salobra e de diferentes sistemas de produção sobre as trocas gasosas e teores de elementos minerais na cultura da cunhã.

7.2 Material e métodos

O experimento foi realizado de fevereiro a agosto dos anos de 2022 e 2023, na localidade de Riacho das Pedras pertencente ao município de General Sampaio localizado no Estado do Ceará, Brasil, com coordenadas de latitude 4° 03' 10" Sul; e longitude 39° 27' 16" Oeste. O clima da região é caracterizado como tropical quente semiárido brando, com chuvas predominantes nos meses de janeiro a abril e temperatura média de 26 a 28°C (Instituto de Pesquisas Econômicas do Ceará – IPECE, 2017). Os dados meteorológicos durante o período de condução do experimento encontram-se na figura 29 (A e B). Os dados são provenientes da estação meteorológica da Fazenda Experimental Vale do Curu da Universidade Federal do Ceará, em Pentecoste – CE, próximo a General Sampaio – CE. Ambos municípios fazem parte da microrregião do Vale do Curu, Ceará, Brasil.

Figura 29. Condições climáticas durante a condução do experimento no primeiro (A) e segundo ciclo (B) da cunhã.



Fonte: Autora (2023).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com quatro blocos. As parcelas foram referentes a dois regimes hídricos: sem suplementação e com suplementação; já as subparcelas foram formadas por três sistemas de produção de biomassa: Sistema 1 – cunhã em monocultivo (C) (1,0 x 0,1m); Sistema 2 – palma forrageira consorciada (2,0 x 0,1m) com uma linha de cunhã (P+1C) (1,0 x 0,1m); Sistema 3 – palma forrageira (3,0 x 0,1m) consorciada com duas linhas de cunhã (P+2C) (1,0 x 0,1m).

Os cultivos foram estabelecidos após o início da estação chuvosa, no mês de fevereiro de 2022, em uma área de 0,2 ha. O material de propagação utilizado no plantio do palmar foi da cultivar ‘Orelha de elefante mexicana’, já na cultura da cunhã a propagação foi por meio de sementes provenientes do germoplasma do Laboratório de sementes da Universidade Federal do Ceará. Antes da semeadura da cunhã as sementes passaram por escarificação mecânica com lixa e imersão em água morna a 80°C por 12 horas para quebra de dormência, sendo utilizadas três sementes por cova. Uma semana após a semeadura foi realizado desbaste na cultura da cunhã, deixando apenas uma planta por cova.

O solo da área experimental possuía os seguintes atributos químicos: pH 5,67, condutividade elétrica do extrato de saturação 0,29 dS m⁻¹, 0,22, 0,51, 0,27, 0,19, 0,80 cmol_c kg⁻¹ de K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e H+Al, respectivamente. A porcentagem de sódio trocável foi de 12,49% e o teor de fósforo 3,10 mg kg⁻¹. Quanto a composição granulométrica o solo é constituído por 85,37% de areia, 8,5% de silte e 6,13% de argila, sendo definido a classe textural como areia franca. Foi realizada a calagem do solo no mês de janeiro de 2022 na camada de 0-20 cm. A necessidade de calcário foi mensurada pelo método do cálcio + magnésio trocáveis de acordo com Fernandes (1993).

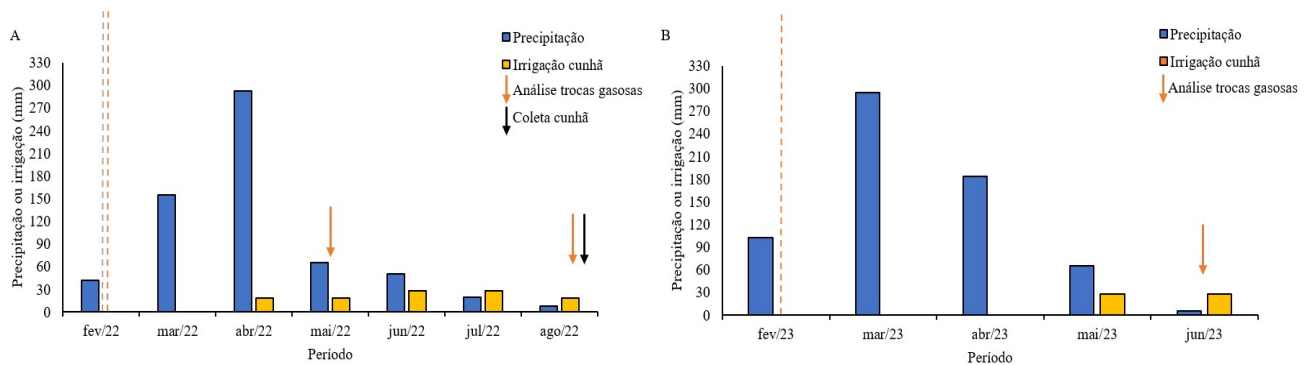
Na cultura da cunhã, aos 30 dias após a semeadura foi realizada a adubação fosfatada com superfostato simples em única aplicação de 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 de acordo com Martins *et al.* (2012). A adubação potássica foi fracionada em três aplicações aos trinta, sessenta e noventa DAP utilizando como fonte o cloreto de potássio na dose de 60 kg ha^{-1} de K_2O , conforme recomendação de Salgado *et al.* (2010). Não foi realizada adubação nitrogenada por se tratar de uma leguminosa.

Os tratamentos suplementados foram abastecidos por meio do sistema de irrigação localizada, utilizando-se um sistema de irrigação do tipo gotejamento, com uma linha de irrigação por fileira de plantas, sendo utilizadas fitas gotejadoras de polietileno flexível, com vazão de $1,7 \text{ L h}^{-1}$ por emissor, espaçamento entre emissores de 0,20 m, pressão de serviço de 101,32 kPa e coeficiente de uniformidade de distribuição 90%. A água utilizada na suplementação foi proveniente da mistura de águas de um poço profundo (70 m de profundidade e vazão 504 L h^{-1}) e um poço Amazonas (cacimbão).

O valor médio da salinidade da água de irrigação na estação chuvosa (mistura 1:1 das duas fontes hídricas) foi de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ para cultura da cunhã. As duas fontes hídricas foram classificadas como C2S1, conforme Richards (1954), apresentando baixos riscos de sodicidade e médio risco de salinidade. Em cada evento de irrigação foi aplicado 4500 litros, sendo $2,67 \text{ L planta}^{-1}$ para palma forrageira e $1,85 \text{ L planta}^{-1}$ para cunhã. Foram realizados treze eventos de suplementação na cultura da cunhã durante seu primeiro ciclo (4 antes do 1º corte e 9 após) e apenas doze eventos (3 antes do 1º corte e 9 após) em seu segundo ciclo. A lâmina total aplicada na cultura da cunhã durante seu primeiro ciclo foi de 121,87 mm, sendo 37,48 mm até o 1º corte e 84,33 mm até o 2º corte, já no segundo ciclo a lâmina total aplicada foi de 112,49 mm, com 28,11 mm até o 1º corte e 84,33 até o 2º corte.

Na figura 30 (A e B) encontra-se a disponibilidade hídrica via precipitação e suplementação para a cultura da cunhã durante o período experimental para a comunidade de Riacho das pedras, no município de General Sampaio -CE.

Figura 30. Disponibilidade hídrica via precipitação e suplementação para a cultura da cunhã durante seu primeiro (A) e segundo (B) ciclo na comunidade de Riacho das pedras, no município de General Sampaio -CE, Brasil. A linha cinza tracejada indica o início do cultivo da palma, já a linha tracejada laranja é referente ao início do cultivo da cunhã. As setas de cor laranja indicam o momento em que foi realizado a análise das trocas gasosas, já a seta de cor preta indica o momento da coleta de amostras para a obtenção dos teores minerais de *Clitória ternatea* L.



Fonte: Autora (2023).

No primeiro ciclo da cunhã, a análise de trocas gasosas deu-se aos 82 e 180 DAP, já no segundo ciclo a análise ocorreu aos 120 DAP. Foram analisadas as variáveis de trocas gasosas: condutância estomática (g_s), fotossíntese (A), transpiração (E), concentração interna de CO_2 (C_i) e temperatura foliar (TF^o). As medições foram realizadas utilizando-se um analisador de gás infravermelho (LCiSystem, ADC, Hoddesdon, UK), em sistema aberto, com fluxo de ar de 300 mL min^{-1} . As medições ocorreram entre 10h e 12h (Figura 31), utilizando-se fonte de radiação artificial (cerca de $1.200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Figura 31. Análise de trocas gasosas na cultura da cunhã.



Fonte: Autora (2023).

Para determinação do teor dos elementos minerais nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio, cálcio, sódio e cloro, foram coletadas amostras da cultura da cunhã ao final do primeiro ciclo no ano de 2022. O material vegetal amostrado foi lavado com água destilada e seco em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até peso constante. Após, as amostras foram pesadas, moídas em moinho tipo Willey e acondicionadas em recipientes identificados e levadas para análise nos laboratórios de Química e Fertilidade do Solo e Relação Solo-água-planta, da Universidade Federal do Ceará.

A obtenção do nitrogênio ocorreu via digestão úmida com H₂SO₄ e determinado por arraste de vapores em destilador semi-micro-Kjeldahl, sendo a quantificação da NH₄⁺ feita por titulação com ácido sulfúrico (MENEGHETTI, 2018). Os nutrientes (P, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Na⁺), foram determinados através da digestão seca. As amostras foram incineradas na mufla elétrica de 450 a 550 °C e a cinza foi dissolvida em solução HCl (1 mol L⁻¹) para a extração.

As leituras de Na⁺ e K⁺ foram feitas através de fotometria de chama e o P por meio de espectrofotometria com azul de molibdênio. Já os elementos Ca²⁺ e Mg²⁺ foram determinados por meio da espectrometria de absorção atômica (MENEGHETTI, 2018). A determinação do Cl⁻ foi através de extrato aquoso, por titulometria do nitrato de prata (AgNO₃) na presença de cromato de potássio como indicador (MALAVOLTA, VITTI, OLIVEIRA, 1997).

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade da distribuição (teste de Shapiro-Wilk) ao nível de 5% de probabilidade, bem como à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. As análises estatísticas (teste de Shapiro-Wilk e teste de Tukey) foram realizadas utilizando-se o software Assistat versão 7.7 beta (SILVA, AZEVEDO, 2016).

7.3 Resultados e Discussão

Trocas gasosas na cultura da cunhã

Conforme a tabela 14, antes do 1º corte no ano de 2022 e 2023 a transpiração ($p < 0,05$) das plantas de cunhã foram influenciadas pelos diferentes cenários hídricos, observou-se também interação entre os cenários hídricos e os sistemas de produção sobre a condutância estomática da cultura ($p < 0,05$). A fotossíntese foi afetada pela interação dos fatores avaliados apenas antes do 1º corte no ano de 2023, no ano de 2022 foi constatado efeito apenas dos sistemas de produção sobre a fotossíntese, bem como sobre a transpiração e concentração interna de CO_2 ($p < 0,05$). No ano de 2022 antes do 1º corte houve efeito dos cenários hídricos de modo isolado sobre a concentração interna de CO_2 ($p < 0,05$). A transpiração das plantas de cunhã foi afetada pelos diferentes sistemas de produção ($p < 0,01$).

Tabela 14. Análise de variância das trocas gasosas da cunhã em sistema consorciado com palma forrageira e sob irrigação suplementar com água salobra no primeiro ciclo e segundo ciclo antes do 1º corte.

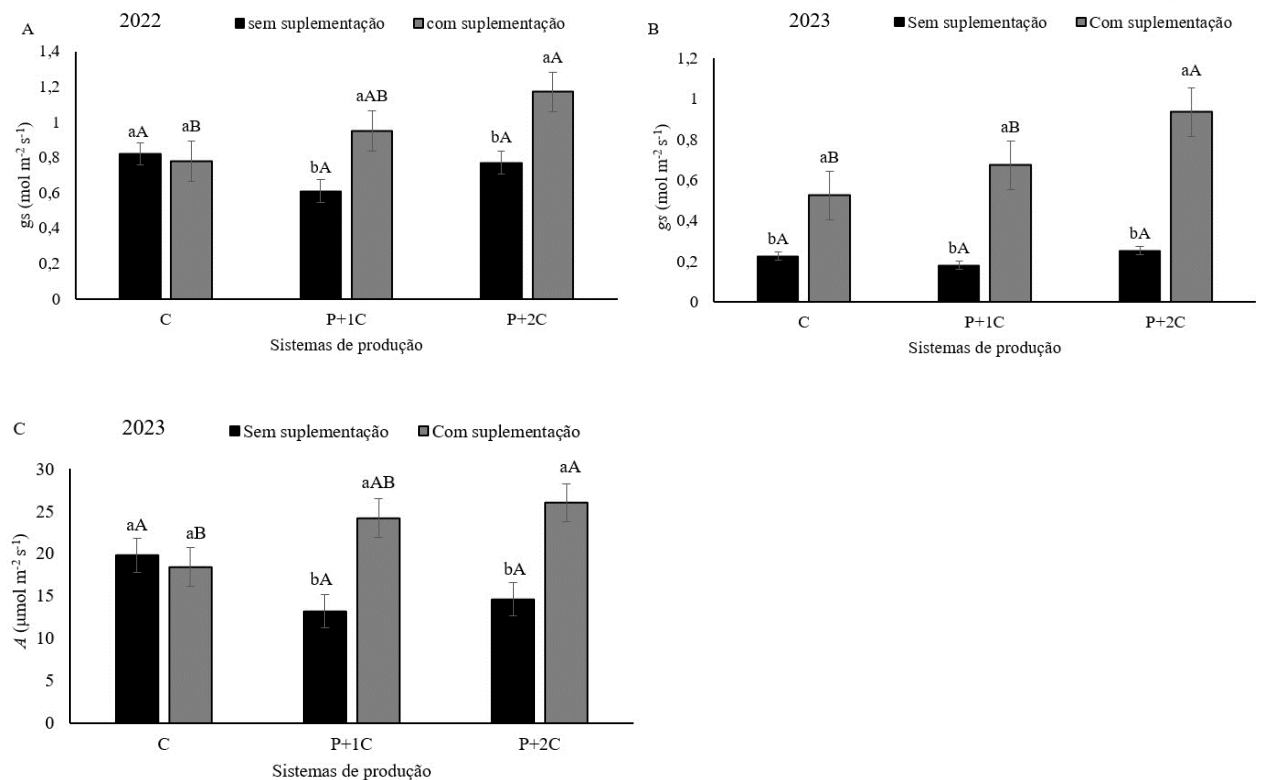
Fontes de variação	Quadrado Médio				
	Antes do 1º corte (2022)				
	<i>gs</i>	<i>A</i>	<i>E</i>	<i>Ci</i>	<i>TF</i> ^o
Bloco	0,025 ^{ns}	27,46 ^{ns}	0,075 ^{ns}	1424,05 ^{ns}	0,53 ^{ns}
Cenário hídrico (C)	0,33*	6,66 ^{ns}	6,39**	2917,65 ^{ns}	0,90 ^{ns}
Resíduo	0,01	18,43	0,078	662,29	0,28
Sistemas de produção (S)	0,08*	42,33*	0,003*	1621,83*	0,12 ^{ns}
Interação (C x S)	0,11*	2,80 ^{ns}	0,569 ^{ns}	863,97 ^{ns}	0,27 ^{ns}
Resíduo 2	0,01	9,19	0,24	287,87	0,11
CV (%) (C)	12,33	16,07	5,09	10,11	1,54
CV (%) (S)	15,29	11,35	8,92	6,67	0,99
Tratamentos	mol m ⁻² s ⁻¹	μmol m ⁻² s ⁻¹	mmol de H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	μmol m ⁻² s ⁻¹	°C

Sem suplementação	0,73 b	26,18 a	4,99 b	243,50 a	34,72 a
Com suplementação	0,97 a	27,24 a	6,02 a	265,55 a	34,33 a
(C)	0,80 ab	24,10 b	5,49 a	241,66 b	34,60 a
(P+1C)	0,78 b	27,59 ab	5,53 a	252,25 ab	34,38 a
(P+2C)	0,97 a	28,44 a	5,51 a	269,76 a	34,60 a
Fontes de variação	Antes do 1º corte (2023)				
	<i>gs</i>	<i>A</i>	<i>E</i>	<i>Ci</i>	<i>TF</i> ^o
Bloco	0,01 ^{ns}	15,39 ^{ns}	9,21*	1796,11 ^{ns}	9,4**
Cenário hídrico (C)	1,45**	294,14**	42,88**	8362,66*	0,13 ^{ns}
Resíduo	0,017	3,49	0,43	806,11	0,12
Sistemas de produção (S)	0,1**	5,61 ^{ns}	0,001**	2741,54 ^{ns}	1,2 ^{ns}
Interação (C x S)	0,074**	104,32*	0,12 ^{ns}	2325,79 ^{ns}	0,23 ^{ns}
Resíduo 2	0,0073	15,42	1,23	1537,77	2,27
CV (%) (C)	28,5	9,65	11	13,19	0,93
CV (%) (S)	18,44	20,29	18,53	18,21	3,88
Tratamentos	mol m ⁻² s ⁻¹	μmol m ⁻² s ⁻¹	mmol de H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	μmol m ⁻² s ⁻¹	°C
Sem suplementação	0,21 b	15,85 b	4,66 b	196,66 b	38,95 a
Com suplementação	0,71 a	22,85 a	7,34 a	234,00 a	38,80 a
S1 (C)	0,37 b	19,09 a	5,99 a	194,12 a	39,06 a
S2 (P+1C)	0,42 b	18,67 a	6,01 a	223,62 a	39,15 a
S3 (P+2C)	0,59 a	20,29 a	6,00 a	228,25 a	38,43 a

¹Coefficiente de variação (CV), ²Condutância estomática (*gs*), ³Taxa fotossintética (*A*), ⁴Transpiração (*E*), ⁵Concentração interna de CO₂ (*Ci*), ⁶Temperatura foliar (*TF*^o), ⁷Não significativo (ns), ⁸Significativo a 1% de probabilidade (**), ⁹Significativo a 5% de probabilidade (*).

No ano de 2022, antes do 1º corte, no cenário hídrico de sequeiro as plantas de cunhã expressaram maior condutância estomática no sistema de produção em monocultivo (0,82 mol m⁻²s⁻¹), já no cenário hídrico com irrigação suplementar durante os veranicos destacaram-se os sistemas consorciados P+1C e P+2C, com valores de 0,95 e 1,17 mol m⁻²s⁻¹ (Figura 32A). Já no ano de 2023, antes do 1º corte, a suplementação com água salobra propiciou acréscimos na condutância estomática dos sistemas de produção em comparação ao cenário sem suplementação, atingindo maiores valores no sistema consorciado P+2C de 0,93 mol m⁻²s⁻¹ (Figura 32B).

Figura 32. Condutância estomática de plantas de cunhã em sistemas de produção com palma forrageira e sob suplementação com água salobra antes do 1º corte da cultura no ano de 2022 (A) e 2023 (B) e Taxa fotossintética (C) de plantas de cunhã em sistemas de produção consorciados com palma forrageira e sob suplementação com água salobra antes do 1º corte no ano de 2023. Para interação C X S, médias seguidas de letra minúscula na coluna correspondem aos sistemas de produção, já as letras maiúsculas aos cenários hídricos. Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.



Fonte: Autora (2023).

Nota-se que no ano de 2022 a g_s no cenário de sequeiro foi maior em relação ao mesmo cenário no ano de 2023. Essa redução pode ser atribuída a ocorrência de maior estiagem no momento da leitura das trocas gasosas no ano de 2023, gerando redução nos valores de g_s em virtude do estresse hídrico. Vale salientar que no ano de 2022 a leitura foi realizada no mês de maio, já no ano de 2023 a leitura ocorreu no mês de junho, no mês de maio de 2022 observou-se maior ocorrência de precipitação em comparação ao mês de junho de 2023.

A suplementação com água salobra foi benéfica a condutância estomática nos sistemas consorciados antes do 1º corte em 2022 e em todos os sistemas avaliados em 2023. Esse resultado mostra que nos sistemas de consórcio palma-cunhã houve atenuações dos efeitos deletérios do estresse salino sobre a fotossíntese da cunhã. Por sua vez, o estresse hídrico

reduziu a g_s das plantas de cunhã, visto que ele limita o acesso aos recursos necessários para a fotossíntese devido ao fechamento estomático e à redução do transporte interno de água (TAIZ *et al.*, 2017).

O aumento da condutância nos sistemas de consórcio palma-cunhã quando suplementados pode ser explicado pela complementaridade hídrica nos sistemas de cultivo. De acordo com Montezano e Peil (2006), a complementaridade espacial ocorre quando as diferenças na arquitetura das plantas contribuem para uma melhor utilização da luz, água e nutrientes disponíveis no ecossistema produtivo. Vale salientar que a fase fenológica em que a planta se encontra quando se inicia a irrigação com água salobra também é determinante para expressão ou não da tolerância à salinidade (SILVA *et al.*, 2018). Araújo (2015) relatou que, o uso do sistema consorciado milho/feijão-de-corda reduz o efeito prejudicial da salinidade. Hu *et al.* (2021) constataram que o cultivo consorciado de seis espécies de capim com couve-flor mitigou significativamente o estresse salino da couve-flor.

A taxa fotossintética antes do 1º corte no ano de 2022 foi maior nos sistemas consorciados com a palma forrageira, com taxas de 27,59 e 28,49 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para os sistemas P+1C e P+2C, respectivamente (Tabela 14). A fotossíntese no sistema P+2C diferiu estatisticamente da observada no monocultivo, com acréscimo de 15,26% nesse sistema consorciado, em comparação ao sistema constituído apenas pela cunhã solteira. De modo similar, em 2023 a fotossíntese líquida da cunhã antes do 1º corte foi superior nos sistemas consorciados quando suplementados com água salobra (24,16 e 25,97 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para P+1C e P+2C), todavia no monocultivo as maiores taxas fotossintéticas foram observadas quando não houve suplementação com água salobra (19,76 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Figura 32C).

O estresse salino pode ter prejudicado a taxa fotossintética no sistema em monocultivo, demonstrando que o consórcio com a cultura da palma forrageira pode atenuar os efeitos deletérios dos sais da água de irrigação sob a cultura da cunhã. O estresse salino perturba todos os estágios de desenvolvimento das leguminosas e afeta sua regulação hormonal, fotossíntese e fixação biológica de nitrogênio, causando desequilíbrio nutricional, inibição do crescimento das plantas e perdas de rendimento (BOUZROUND *et al.*, 2023).

O consórcio com a palma forrageira foi benéfico à taxa fotossintética da cunhã, indicando que não houve efeito negativo do sombreamento e/ou competição interespecífica sob a cultura em questão. O consórcio pode como impulsionar a diversidade microbiana do solo, aumentar a produção de biomassa, além de aumentar o armazenamento de carbono no solo e a ciclagem de nutrientes (TAMBURINI *et al.*, 2020) e conseqüentemente ocasionar incrementos na fotossíntese. Li *et al.* (2023) observaram que a consorciação milho/ amendoim aumentou

significativamente a fotossíntese líquida do milho em diferentes estádios de crescimento. Jo *et al.* (2022) constataram que a fotossíntese líquida nas folhas de soja consorciadas aumentou 21,9% em comparação com o das folhas de soja cultivadas isoladamente. Os autores atribuíram o aumento da fotossíntese nos sistemas consorciados ao maior teor de clorofila observados nestes sistemas.

A ausência de suplementação reduziu a taxa transpiratória da cunhã antes do 1º corte no ano de 2022 por efeito do estresse hídrico durante os veranicos (Tabela 14). De modo correlato, antes do 1º corte no ano de 2023 as plantas de cunhã sofreram reduções de 36,51 % na transpiração quando não foram suplementadas com água salobra, possivelmente em virtude do estresse hídrico que ocasionou o fechamento estomático (Tabela 14). O estresse hídrico mostrou-se ser mais deletério que o salino, comprometendo as trocas gasosas foliares da cunhã pelo fechamento estomático e conseqüentemente redução na transpiração.

A transpiração, como um processo de troca de umidade e calor que ocorre na interface folha-ar, também é regulada por múltiplos fatores, como o fechamento estomático e o estresse hídrico (HUANG *et al.*, 2023). Cavalcante *et al.* (2022) estudando a irrigação suplementar com água salobra na cultura do milho em condições de sequeiro tropical notaram reduções na transpiração ocasionadas pelo estresse hídrico nos cenários hídricos normal, seca e seca severa sem irrigação suplementar. Por outro lado, Oliveira *et al.* (2020) não observaram efeitos da irrigação suplementar sobre a transpiração do algodoeiro, no semiárido brasileiro.

Não houve diferença significativa na taxa transpiratória antes do 1º corte nos anos de 2022 e 2023 para os sistemas de produção avaliados (Tabela 14), não demonstrando efeitos negativos do consórcio sobre essa variável em questão. A cultura adicional introduzida em um estande de cultura única acelera o tempo de cobertura total do dossel, reduzindo assim a quantidade de água perdida pela evaporação do solo e melhorando a disponibilidade de água para transpiração para todas as culturas. (CHIMONYO *et al.* 2018).

A concentração interna de CO₂ foi maior nos sistemas P+1C e P+2C, com valores 4,23 e 10,45 % maiores que os observados no sistema de monocultivo, antes do 1º corte no ano de 2022 (Tabela 14). O sistema P+2C apresentou valores elevados de condutância e fotossíntese em relação aos outros sistemas, o que justifica sua maior *C_i*. A redução da concentração interna de CO₂ está diretamente ligada a abertura estomática, visto que quanto maior a condutância estomática, menor a resistência à difusão de CO₂ dentro da folha, o que aumenta a *C_i* (GUIMARÃES *et al.*, 2022).

Os sistemas consorciados beneficiaram as trocas gasosas da cunhã antes do 1º corte, no ano de 2022. Segundo Sampaio (2005), o consórcio da palma forrageira com as culturas de

metabolismo C3 e C4, pode beneficiar ambas culturas, pois durante a noite essas plantas estão em processo de respiração, ou seja, liberando CO₂ para a atmosfera, criando um ambiente mais rico em CO₂ no espaço entre o solo e a parte superior da planta. Souza *et al.* (2020) constataram maior concentração interna de CO₂ nos consórcios de palma forrageira com sorgo, melão forrageiro e capim buffel.

No ano de 2023, antes do 1º corte a concentração interna de CO₂ nas plantas de cunhã suplementadas com água salobra foi 15,95 % maior que a observada no cenário sem suplementação, demonstrando que a utilização de água de qualidade inferior nos períodos de veranicos pode ser benéfica para essa cultura (Tabela 14). De acordo com Taiz *et al.* (2017) a presença de quantidade adequada de luz e ausência de estresse, como déficit hídrico, proporciona maior concentração de CO₂ e taxa fotossintética. Cotrim *et al.* (2020) observaram menor concentração interna de CO₂ na cultura da soja no cenário hídrico de sequeiro.

As trocas gasosas das plantas de cunhã antes do 2º corte em 2022 apresentaram interferência dos cenários hídricos e sistemas de produção de modo isolado na condutância estomática e na taxa fotossintética. Os sistemas de produção afetaram a transpiração ($p < 0,01$) e concentração interna de CO₂ ($p < 0,05$) (Tabela 15).

Tabela 15. Análise de variância das trocas gasosas da cunhã em sistema consorciado com palma forrageira e sob irrigação suplementar com água salobra antes do 2º corte.

Fontes de variação	Antes do 2º corte				
	<i>gs</i>	<i>A</i>	<i>E</i>	<i>Ci</i>	<i>TF</i> ^o
Bloco	0,0003 ^{ns}	1,65 ^{ns}	1,34 ^{ns}	251,07 ^{ns}	29,76 ^{ns}
Cenário hídrico (C)	0,04 ^{**}	268,13 ^{**}	71,19 ^{**}	5987,88 [*]	6,15 ^{ns}
Resíduo	0,0001	1,13	0,28	186,05	5,8
Sistemas de produção (S)	0,0024 [*]	13,05 [*]	1,45 ^{ns}	2420,61 ^{ns}	1,97 ^{ns}
Interação (C x S)	0,0009 ^{ns}	7,44 ^{ns}	0,40 ^{ns}	880,89 ^{ns}	0,36 ^{ns}
Resíduo 2	0,0005	2,47	0,59	700,16	0,83
CV (%) (C)	14,23	13,19	13,44	7,84	5,44
CV (%) (S)	28,16	19,54	19,32	15,21	2,06
Tratamentos	mol m ⁻² s ⁻¹	μmol m ⁻² s ⁻¹	mmol de H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	μmol m ⁻² s ⁻¹	°C
Sem suplementação	0,03 b	4,74 b	2,26 b	158,13 b	44,80 a
Com suplementação	0,13 a	11,40 a	5,70 a	189,72 a	43,73 a
(C)	0,07 b	7,47 ab	3,58 a	154,55 a	44,50 a
(P+1C)	0,10 a	9,52 a	4,43 a	179,06 a	43,73 a
(P+2C)	0,07 ab	7,18 b	3,94 a	188,18 a	44,66 a

¹Coeficiente de variação (CV), ²Condutância estomática (*gs*), ³Taxa fotossintética (*A*), ⁴Transpiração (*E*), ⁵Concentração interna de CO₂ (*Ci*), ⁶Temperatura foliar (*TF*^o), ⁷Não significativo (ns), ⁸Significativo a 1% de probabilidade (**), ⁹Significativo a 5%

de probabilidade (*).

A irrigação suplementar com água salobra propiciou um acréscimo de 76,92% na condutância estomática das plantas de cunhã antes do 2º corte (Tabela 15). Os efeitos osmóticos e tóxicos que os sais acumulados no solo podem ocasionar nas plantas, pode ter sido reduzido pela lavagem dos sais da zona radicular por meio da precipitação, não prejudicando as trocas gasosas da cultura. O déficit hídrico durante os períodos de veranicos também ocasionou uma redução significativa na condutância estomática no estudo de Cavalcante *et al.*, (2022) na cultura do milho suplementado com águas salobra (4,5 dS m⁻¹) em diferentes cenários hídricos.

Em contrapartida, houve uma redução de 86,59% dos valores de condutância antes do 2º corte em comparação aos observados antes do 1º corte no ano de 2022 (Tabela 15). Vale salientar que a condutância após o 1º corte pode ter sido reduzida pelo fato de as plantas avaliadas serem provenientes da rebrota do primeiro corte da cultura (120 DAP), e também devido ao efeito acumulativo dos sais no solo. Após 85 dias do primeiro corte da cunhã há redução acentuada tanto na produção de matéria seca, como na concentração de proteína bruta desta matéria seca (ALENCAR; GUSS, 2016). Com menor área fotossinteticamente ativa, consequentemente haverá reduções na condutância estomática e nas trocas gasosas de *Clitoria ternatea* L.

A condutância estomática das plantas de cunhã antes do 2º corte, provenientes da rebrota, foram maiores nos sistemas consorciados, atingindo valor mais elevado no sistema P+1C (0,10 mol m⁻² s⁻¹) (Tabela 15). Sistemas de plantio diversificados levam a complexas interações planta-solo-microbiana (CAPPELLI *et al.*, 2022), além de contribuírem para redução da evaporação de água do solo devido a maior cobertura do solo. Portanto, a relação interespecífica do consórcio palma-cunhã propiciou acréscimos na condutância estomática de *Clitoria ternatea* L. Nasar *et al.* (2020) constaram um aumento de 60% na condutância estomática do milho consorciado com alfafa.

A suplementação com água salobra ocasionou uma maior taxa fotossintética líquida nas plantas de cunhã antes do 2º corte (Tabela 15), comportamento semelhante a condutância estomática. A ausência de suplementação com água salobra nas plantas de cunhã após o 1º corte prejudicou a rebrota da cultura e consequentemente ocasionou a redução da taxa fotossintética. Sob estresse hídrico, a fotossíntese é afetada principalmente em função do fechamento estomático (OLIVEIRA *et al.*, 2020). Cavalcante *et al.* (2022) notaram que nos cenários normal, seca e seca severa ficou evidente a necessidade de irrigação suplementar com água salobra (4,5 dS m⁻¹) na cultura do milho nos períodos de seca, com base no aumento

significativo (2 a 3,5 vezes) observado para a taxa de fotossíntese quando comparada ao tratamento sem suplementação.

Antes do 2º corte as maiores taxas fotossintéticas passaram a ser observadas no sistema de monocultivo e P+1C, com maiores valores no sistema consorciado de $9,52 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 65,49% inferior ao valor constatado antes do 1º corte nesse sistema (Tabela 15). A maior fotossíntese nesses sistemas (C e P+1C) é explicada pelo maior crescimento da cultura e consequentemente aumento da área foliar fotossinteticamente ativa. A melhoria no ambiente da zona radicular ocasionada pelo consórcio pode promover a absorção de nutrientes e água (GOUDA *et al.*, 2018), enquanto a melhoria no ambiente do dossel pode elevar as taxas fotossintéticas (CHI *et al.*, 2023).

A taxa transpiratória das plantas de cunhã antes do 2º corte foi superior no tratamento em que houve irrigação suplementar com água salobra de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ (Tabela 15). A redução da transpiração nas plantas não suplementadas é consequência do estresse hídrico, que limitou a abertura estomática e afetou diretamente o processo transpiratório. Sob estresse hídrico, a transpiração é afetada em função do fechamento estomático (OLIVEIRA *et al.* 2020). Cavalcante *et al.* (2022) observaram que a irrigação suplementar com água salobra na cultura do milho propiciou aumento na transpiração, nos cenários normal, seca e seca severa.

De modo similar, a concentração interna de CO_2 foi maior nas plantas de cunhã que receberam suplementação com água salobra após o 1º corte (Tabela 15), a redução na C_i pode estar associada à redução da abertura estomática, que limita o influxo de CO_2 durante o processo fotossintético (RAHNAMA *et al.*, 2010; CAVALCANTE *et al.*, 2022), diminuindo a capacidade de assimilação líquida de carbono das plantas de cunhã. A concentração interna de CO_2 observada antes do 2º corte foi 31,11% que a constatada antes no 1º corte (Tabela 14), que pode ser atribuído ao fato das plantas avaliadas antes do 2º corte serem provenientes da rebrota da cultura.

Teor de elementos minerais na cultura da cunhã

Houve interação entre os fatores cenários hídricos e sistemas de produção para os teores de nitrogênio, fósforo, magnésio e sódio na cunhã ($p < 0,05$). Os cenários hídricos avaliados afetaram o teor de cálcio ($p < 0,05$). Houve efeito isolado dos fatores supracitados para os teores de potássio e cloro ($p < 0,05$) (Tabela 16).

Tabela 16. Análise de variância dos teores de nutrientes da cunhã em sistemas consorciado com palma forrageira e sob suplementação com água salobra.

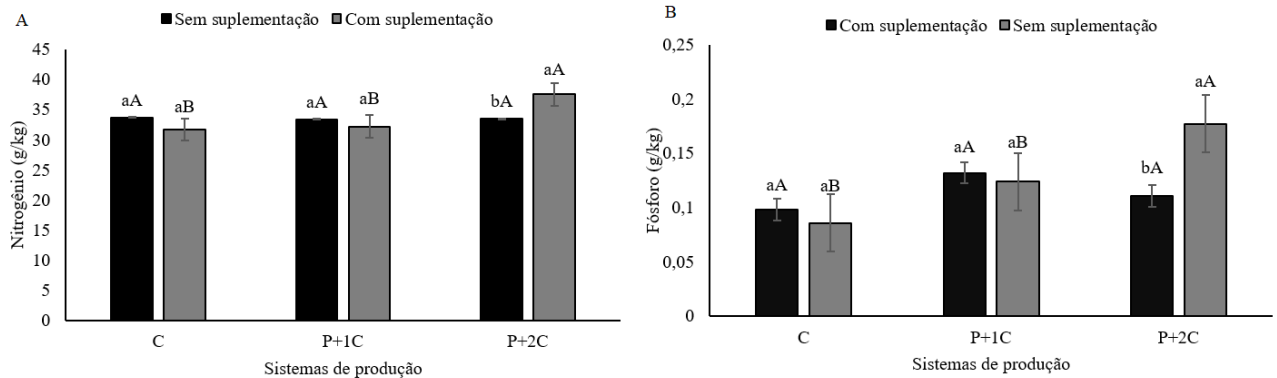
Fontes de variação	Quadrado médio						
	N	P	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻
Bloco	20,25 ^{ns}	0,0012 ^{ns}	5,36 ^{ns}	0,10 ^{ns}	2,70 ^{ns}	0,0028*	0,006 ^{ns}
Cenário hídrico (C)	0,47 ^{ns}	0,0014 ^{ns}	459,37*	127,72**	9,86*	5,95**	0,66*
Resíduo	8,81	0,0008	33,31	0,40	0,95	0,06	0,034
Sistemas de produção (S)	19,91*	0,0057**	89,67*	3,82 ^{ns}	16,56 ^{ns}	0,70**	0,31**
Interação (C x S)	21,67*	0,004*	38,49 ^{ns}	0,013*	9,37 ^{ns}	0,48*	0,002 ^{ns}
Resíduo 2	4,18	0,00076	21,68	2,43	5,70	0,081	0,013
CV (%) (C)	8,82	23,39	15,98	3,12	11,57	16,17	21,94
CV (%) (S)	6,08	22,67	12,89	7,64	28,24	18,23	19,56
Tratamentos	g/kg						
Sem suplementação	33,53 a	0,11 a	31,75 b	22,72 a	7,81 b	1,06 b	0,41 a
Com suplementação	33,81 a	0,12 a	40,50 a	18,11 b	9,10 a	2,06 a	0,75 b
(C)	32,69 b	0,09 b	39,96 a	20,17 a	9,09 a	1,90 a	0,81 a
(P+1C)	32,83 ab	0,12 ab	33,84 a	19,88 a	9,60 a	1,41 b	0,46 b
(P+2C)	35,49 a	0,14 a	34,56 a	21,19 a	6,67 a	1,37 b	0,46 b

¹Coefficiente de variação (CV), ²Nitrogênio(N), ³Fósforo(P), ⁴Potássio (K⁺), ⁵Magnésio (Mg²⁺), ⁶Cálcio (Ca²⁺), ⁷Sódio (Na⁺),

⁸Cloro (Cl⁻), ⁹Não significativo (ns), ¹⁰Significativo a 1% de probabilidade (**), ¹¹Significativo a 5% de probabilidade (*).

A suplementação com água salobra somente proporcionou acréscimos no teor de nitrogênio da cunhã no sistema P+2C (37,52 g/kg), com teores 15,48 e 14,17% a mais que os sistemas de monocultivo e P+1C quando suplementados, respectivamente (Figura 33A). De modo similar, os teores de fósforo na cultura da cunhã destacaram-se com o uso de suplementação com água salobra apenas no sistema P+2C, com aumento de 51,63 e 30 % em relação ao sistemas de monocultivo e P+1C quando suplementados (Figura 33B).

Figura 33. Teor de nitrogênio (A) e fósforo (B) na cultura da cunhã em sistemas consorciados com palma forrageira e sob irrigação com água salobra. Médias seguidas de letra minúscula na coluna correspondem aos sistemas de produção, já as letras maiúsculas aos cenários hídricos. Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.



Fonte: Autora (2023).

Apenas no sistema P+2C suplementado as plantas de cunhã não foram afetadas pelo efeito deletério do estresse salino quanto a absorção de N e P. Essa resposta pode ser explicada por efeitos benéficos no sistema simbiótico nas raízes da cunhã nessas condições, possibilitando maior absorção de N e P. É pertinente destacar que o sistema simbiótico é um processo mediado por um complexo enzimático denominado nitrogenase, com a participação direta de alguns elementos como o Ca, Fe, Mo, Mg, Co, Ni e P. Assim, a deficiência desses nutrientes e elemento benéfico pode induzir à baixa fixação biológica de N, podendo causar sintomas de deficiência do elemento na leguminosa (PRADO, 2020).

As interações planta-microrganismo são um componente do impacto da diversidade vegetal no funcionamento do solo (CAPELLI *et al.*, 2022), onde a variação entre as espécies de plantas em suas comunidades microbianas subterrâneas sugere que a diversidade acima do solo pode impulsionar a diversidade microbiana subterrânea (PHILIPPOT *et al.*, 2013), deste modo a consorciação de espécies sugere maior disponibilidade de nutrientes. Zhou *et al.* (2017) relataram que as espécies leguminosas aumentaram a comunidade microbiana do solo, o que diminuiu o pH do solo e aumentou a mineralização do P orgânico, visto que a atividade da fosfatase é maior na rizosfera das leguminosas.

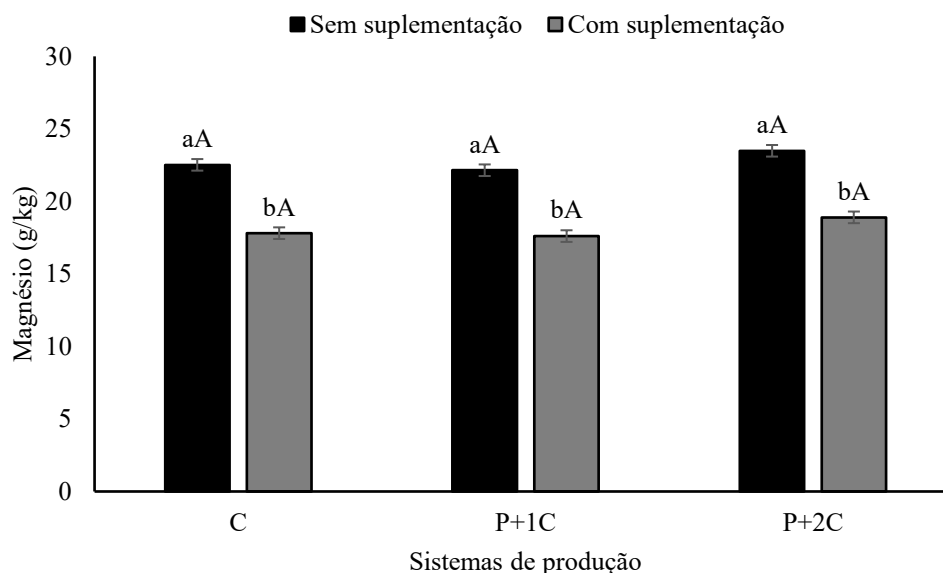
A maior absorção de fósforo nesse sistema quando suplementado pode ter ocorrido pelo maior crescimento das raízes, juntamente a maior umidade do solo. De acordo com Prado (2020) o fósforo é absorvido por difusão, esse processo depende da proximidade das raízes do P lábil e da umidade do solo. Xie *et al.* (2022) relataram que os maiores acúmulos de nitrogênio

e fósforo na cultura do amendoim foram observados no sistema consorciado de amendoim e algodão, nos tecidos vegetativos e órgãos reprodutivos.

A suplementação com água salobra, no entanto, propiciou um incremento de 21,60% no teor de potássio da cultura da cunhã em relação ao cenário sequeiro. Não houve diferença significativa nos teores de potássio entre os diferentes sistemas de produção (Tabela 16). A suplementação com água salobra apenas nos veranicos da quadra chuvosa, não ocasionou acúmulo de sais solúveis próximos a zona radicular da cunhã como o sódio, não prejudicando a absorção de potássio. Ashrar *et al.* (2017) afirmam que o acréscimo da concentração de K^+ aumenta a relação $K^+ : Na^+$ e também o acúmulo de Ca^+ , fatores que desempenham papel importante na resistência das plantas à salinidade. Hamid *et al.* (2021) constataram que salinidade da água de irrigação causou uma redução significativa na absorção de K^+ , em 35% e 53% no girassol irrigados com água de condutividade elétrica de 6 dS m^{-1} e 8 dS m^{-1} , respectivamente.

Os maiores teores de magnésio foram constatados no cenário de sequeiro em todos os sistemas de produção avaliados, com acréscimos de 20,88; 20,54; e 19,40% em comparação aos respectivos sistemas C, P+1C e P+2C quando suplementados (Figura 34). A suplementação com água salobra na cultura da cunhã pode ter reduzido a absorção de magnésio por efeito da competição iônica dos sais solúveis presentes na água de irrigação com o Mg, em todos os sistemas de produção avaliados. Vale salientar que altas concentrações de Ca^{2+} e principalmente de K^+ no meio podem inibir por competição iônica a absorção de magnésio, podendo causar deficiência nas plantas (PRADO, 2020).

Figura 34. Teor de magnésio na cultura da cunhã em sistemas consorciados com palma forrageira e sob irrigação com água salobra. Médias seguidas de letra minúscula na coluna correspondem aos sistemas de produção, já as letras maiúsculas aos cenários hídricos. Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.



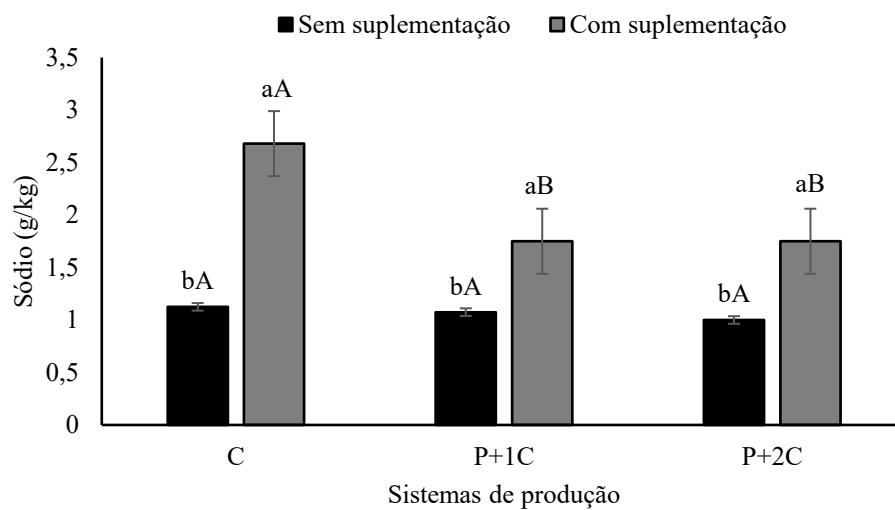
Fonte: Autora (2023).

Todavia, a suplementação com água salobra beneficiou a absorção de cálcio pela cultura, com acréscimos de 14,28% no teor desse nutriente, em relação ao cenário sem suplementação (Tabela 16). Dentre os sais solúveis presentes na água de irrigação encontra-se o cálcio, deste modo a utilização dessa água na suplementação da cultura pode ter propiciado maior disponibilidade e absorção desse nutriente catiônico. Similarmente, Silva *et al.* (2011) constataram que o incremento nos níveis de sais da água de irrigação aumentou os teores de Ca nas folhas e no caule do feijão-de-corda. De acordo com Elkelish *et al.* (2019) a disponibilidade de Ca ideal regula os mecanismos de tolerância à salinidade mantendo a osmorregulação e o metabolismo antioxidante.

Os sistemas consorciados P+1C e P+2C apresentaram menores teores de sódio (1,75 g/kg ambos), em relação ao sistema de monocultivo quando suplementado com água salobra, com reduções de 34,70 % no teor desse elemento (Figura 35). O consórcio com a palma forrageira promoveu maior extração de sódio da solução do solo por essa cultura, sendo benéfico para a cunhã, visto as reduções da presença desse sal próximo as raízes e menor

absorção de Na^+ pela cunhã. Vale salientar que os maiores teores de sódio na palma foram observados nos sistemas consorciados, como mostrado anteriormente na Figura 28.

Figura 35. Teor de sódio na cultura da cunhã em sistemas consorciados com palma forrageira e sob irrigação com água salobra. Médias seguidas de letra minúscula na coluna correspondem aos sistemas de produção, já as letras maiúsculas aos cenários hídricos. Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.



Fonte: Autora (2023).

A maior absorção de Na^+ pela palma em relação a cunhã pode demonstrar que essa cultura possui maior tolerância aos sais da água de irrigação. Segundo Ó *et al.* (2022) o acúmulo de íons Na^+ e Cl^- é um mecanismo de tolerância à salinidade. Chehab *et al.* (2020) avaliando o efeito da irrigação suplementar com água salobra e a da aplicação de corretivos orgânicos sobre os teores de nutrientes da oliveira cultivada em região semiárida, observaram que a utilização de água salobra na irrigação aumentou os teores de sódio foliar nas plantas consorciadas com fava.

A irrigação suplementar com água salobra propiciou um teor de cloro 45,33% maior nas plantas de cunhã em relação ao cenário hídrico de sequeiro (Tabela 16). Este resultado pode estar associado com a presença de Cl^- na água de irrigação. Lira *et al.* (2019) avaliando os teores de nutrientes na cana de açúcar sob salinidade (0,5; 2,0; 3,5; 5,0 e 6,5 dS m^{-1}) e frações de lixiviação (0 e 0,17) observaram que a salinidade da água de irrigação elevou linearmente os teores de cloro na cana de açúcar, em todos os níveis salinos estudados.

Para o teor de cloro na cunhã ocorreu uma tendência semelhante ao teor de sódio, com reduções de 43,20% observadas nos sistemas consorciados P+1C e P+2C em relação ao monocultivo (Tabela 15). O consórcio palma-cunhã ocasionou reduções na absorção do cloro pela cunhã, visto a maior absorção desse micronutriente pela palma (Tabela 13). De modo correlato, Hu *et al.* (2020) constataram que o cultivo de couve-flor consorciado com *Paspalum vaginatum* promoveu diminuição considerável de cloro na rizosfera da couve-flor, com 58,8% de reduções, quando comparado com o controle sem consórcio.

As plantas comumente acumulam Na^+ e Cl^- no vacúolo, o que contribui para o mecanismo de ajuste osmótico (Taiz *et al.*, 2017). De acordo com Prado (2020) a concentração de cloro nas plantas é alta, atingindo até 20000 mg kg^{-1} ; entretanto, é considerado micronutriente, porque a exigência da planta é bem menor; para ótimo crescimento das plantas o teor deve se encontrar entre $340\text{-}1000 \text{ mg kg}^{-1}$. Os valores observados no presente estudo estão dentro dos níveis para ótimo crescimento das plantas.

7.4 Conclusões

O uso de irrigação suplementar com água salobra nos sistemas consorciados gerou acréscimos na condutância estomática e na taxa fotossintética e reduções nos teores de sódio nas plantas de cunhã, o sistema P+2C quando suplementado aumentou a assimilação de N e P pela cultura.

A irrigação suplementar com água salobra durante os veranicos na cultura da cunhã mitigou os efeitos do estresse hídrico sobre a condutância estomática, fotossíntese, transpiração, concentração interna de CO_2 e elevou os teores de K^+ , Ca^{2+} e Cl^- . O consórcio palma-cunhã gerou acréscimos nas trocas gasosas e reduções no teor de Cl^- de *Clitória ternatea* L., mostrando-se benéfico ao desempenho agrônomico dessa cultura.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados observados no presente estudo indicam que a irrigação com água salobra em certos períodos do ano pode ser viável para a produção de forragem de palma e cunhã. Foram constatados acréscimos sobre a produtividade de biomassa fresca e seca da palma quando irrigada com água salobra na estação seca e da cunhã quando suplementada com água salobra durante os veranicos na estação chuvosa. Quanto ao acúmulo de sais no solo, o uso da água salobra apenas em períodos determinados do ano mostrou-se viável, visto que o solo não foi salinizado devido a lixiviação dos sais aportados no solo pelas chuvas.

O uso de água salobra para produção de forragem de palma e cunhã, pode viabilizar uma maior oferta de biomassa para alimentação animal, principalmente na estação seca. Vale salientar que o uso dessa água de baixa qualidade não afetou a qualidade da forragem quanto ao teor de proteína bruta. No entanto, o uso do sistema de irrigação localizada do tipo gotejamento pode ter prejudicado o desenvolvimento da palma forrageira, apesar da sua maior eficiência no uso da água, visto que o crescimento das raízes da palma forrageira é lateral e nas camadas superficiais. Portanto, novos estudos devem ser realizados para investigar os efeitos de outros métodos de irrigação sobre a produtividade da palma forrageira. Todavia, os resultados observados mostram-se promissores tendo em vista a escassez hídrica de boa qualidade para irrigação e os problemas de salinização comumente associados a região semiárida brasileira.

O sistema consorciado P+1C destacou-se quanto aos demais pela maior produtividade de biomassa, de proteína bruta e eficiência no uso da água salobra, mostrando-se viável para o fornecimento de forragem de qualidade no semiárido brasileiro. Os resultados obtidos demonstram que os sistemas consorciados associados ao uso de água salobra são favoráveis ao desenvolvimento da palma e da cunhã. A cultura da cunhã associada a palma no sistema P+1C não demonstrou competição interespecífica, bem como trouxe incrementos quando ao teor de nitrogênio nos tecidos vegetais da palma consorciada. Os resultados apresentados nesta pesquisa podem viabilizar e impulsionar o uso de cultivos alternativos para produção de forragem, bem como incentivar o uso de água de baixa qualidade na agricultura irrigada em ambientes semiáridos. Todavia, sugere-se que outras pesquisas sejam realizadas visando o estudo da interação irrigação suplementar e sistemas de produção, com intuito de investigar o potencial produtivo de culturas adaptadas a essas regiões.

REFERÊNCIAS

- ABIDI, S.; SALEM, H. B.; MARTÍN-GARCÍA, A.I.; MOLINA-ALCAIDE, E. Ruminal fermentation of spiny (*Opuntia amyclae*) and spineless (*Opuntia ficus indica* f. inermis) cactus cladodes and diets including cactus. **Animal Feed Science And Technology**, [S.L.], v. 149, n. 3-4, p. 333-340, 2009.
- ABREU, M.; VIEIRA, R. A. M.; ROCHA, N. S.; ARAUJO, R. P.; GLÓRIA L. S.; FERNANDES, A. M.; LACERDA, P. D. de; GESUALDI JÚNIOR A. *Clitoria ternatea* L. as a Potential High Quality Forage Legume. **Asian Australasian Journal of Animal Sciences**, [S.L.], v. 27, n. 2, p. 169-178, 2014.
- ALENCAR, J.A. DE; GUSS, A. **Efeito do intervalo de corte sobre a produção de matéria seca (MS) e proteína bruta (PB) em Cunhã (*Clitoria ternatea*, L.)**. Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária, Vitoria-ES, 2016.
- ALI, A. B.; SHUANG - EN, Y.; PANDA, S.; GUANG - CHENG, S. Water harvesting techniques and supplemental irrigation impact on sorghum production. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [S.L.], v. 95, n. 15, p. 3107-3116, 2015.
- ALVES, F. A. L.; SANTOS, D. C. dos; SILVA, S. M. S. e; SILVA, M. da C.; MELLO, D. R. de. Metabolismo fotossintético de variedades de palma forrageira cultivadas no Semiárido brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Pernambuco, v. 25, n. 2, p. 1-12, 2020.
- AMARAL, K.; FERREIRA, D. M.; NAVONI, J. A. Avaliação das águas subterrâneas salobras do semiárido do Rio Grande do Norte. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 30077, 2021.
- AMARANTE, L.; SODEK, L. Waterlogging effect on xylem sap glutamine of nodulated soybean. **Biologia Plantarum**, Praga, v.50, n.3, p. 405-410, 2006.
- ARAÚJO, A. F. B. de; CAVALCANTE, E. S.; LACERDA, C. F.; ALBUQUERQUE, F. A. de; SALES, J. R. da S.; LOPES, F. B.; FERREIRA, J. F. da S.; COSTA, R. N. T.; LIMA, S. C. R. V.; BEZERRA, M. A. Fiber Quality, Yield, and Profitability of Cotton in Response to Supplemental Irrigation with Treated Wastewater and NPK Fertilization. **Agronomy**, [S.L.], v. 12, n. 10, p. 2527, 16 out. 2022.
- ARAÚJO, A. F. B. D.; LACERDA, C. F. de.; CAVALCANTE, E. S.; SALES, J. R. da S.; COSTA, R. N. T.; LOPES, F. B. Irrigação suplementar do algodoeiro com água residuária tratada: análises biométricas e produção de biomassa. **Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, [S.L.], v. 25, n. 4, p. 683–688, 2020.
- ARAÚJO, A. P. B. de. **Influência da irrigação com água salina em sistema consorciado milho/feijão-de-corda**. Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015, 100 p. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/18908/1/2015_tese_apbaraujo.pdf. Acesso em: 22 agosto 2023.
- ASHRAF, M.; SHAHZAD, S. M.; IMTIAZ, M.; RIZWAN, M. S.; IQBAL, M. M.

Ameliorative effects of potassium nutrition on yield and fiber quality characteristics of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under NaCl stress. **Soil & Environment**, [S.L.], v. 36, n. 1, p. 51-58, 2017.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p.

AZEVEDO JUNIOR, M. S. de; FERREIRA NETO, M.; MEDEIROS, J. F. de; SÁ, F. V. da S.; LIMA, Y. B. de; LEMOS, M. de. Produtividade e teor de nutrientes em palma forrageira irrigada com efluente de esgoto doméstico. **Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 4, p. 830-842, 16 dez. 2019.

BARBERO, L. M., PRADO, T. F., BASSO, K. C., LIMA, L. A., MOTTA, K. M., KRÜGER, B. C., SILVA, G. D. Análise de crescimento em plantas forrageiras aplicada ao manejo de pastagens. **Veterinária Notícias**, [S.L.], v. 19, n. 2, p. 71-85, 2013.

BARBOSA, M. L.; SILVA, T. G. F. DA; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S. E; MORAIS, J. E. F. DE; ASSIS, M. C. DE S. Association of morphological and water factors with irrigated forage cactus yield. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.21, p.600-605, 2017.

BARROS, J. L. da; DONATO, S. L. R.; GOMES, V. M.; DONATO, P. E. R.; SILVA, J. A. da; PADILHA JUNIOR, M. C. Palma forrageira ‘gigante’ cultivada com adubação orgânica. **Revista Agrotecnologia**, [S.L.], v.7, p.53-65, 2016.

BARROS, N. N. et al. Feno de cunhã (*Clitoria ternatea* L.) para acabamento de cordeiros. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.2, p.499-504, 2004.

BHATTARAI, S.; LUNDELL, S.; BILIGETU, B. Effect of Sodium Chloride Salt on Germination, Growth, and Elemental Composition of Alfalfa Cultivars with Different Tolerances to Salinity. **Agronomy**, [S.L.], v. 12, n. 10, p. 2516, 15 out. 2022.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas, noções básicas**. 2 ed. Jaboticabal, FUNEP, 2003.

BHARGAVA, Y., MURTHY, J., KUMAR, T., RAO, M. PHENOTYPIC. Stress Tolerance and Plant Growth Promoting Characteristics of Rhizobial Isolates in Selected Wild Legumes of Semiarid Region, Tirupati India. **Advances in Microbiology**, [S.L.], v. 6, n. 1, p.1-12. 2016.

BLUM, A.. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. **Field Crops Research**, [S.L.], v. 112, n. 2-3, p. 119-123, jun. 2009.

BOUZROUD, S.; HENKRAR, F.; FAHR, M.; SMOUNI, A. Salt stress responses and alleviation strategies in legumes: a review of the current knowledge. **3 Biotech**, [S.L.], v. 13, n. 8, p. 287-297, 28 jul. 2023.

BROADLEY, M.; BROWN, P.; CAKMAK, I.; RENGEL, Z.; ZHAO, F. Function of Nutrients. **Marschner'S Mineral Nutrition Of Higher Plants**, [S.L.], p. 191-248, 2012.

BUCKLEY, T. N. Modeling stomatal conductance. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 174, n. 2, p. 572-582, 2017.

CALADO, T. B. et al. Morphology and productivity of “Jureminha” genotypes (*Desmanthus* spp.) under different cutting intensities. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 3, p.742–752, 2016.

CAMPOS, F. S.; ARAÚJO, G. G. L. de; SIMÕES, W. L.; SILVA, T. G. F. da; GUIMARÃES, M. J. M.; ARAÚJO, C. de A.; MACEDO, A. de; OLIVEIRA, G. F. de; SILVA, T. S.; ZANINE, A. de M. Characterisation and Recovery of Minerals in Silages of Sorghum IPA 2502 Irrigated with Different Leaching Fractions of Brackish Water. **Grasses**, [S.L.], v. 2, n. 2, p. 68-77, 28 abr. 2023.

CANTORE, V.; LECHKAR, O.; KARABULUT, E.; SELLAMI, M. H.; ALBRIZIO, R.; BOARI, F.; STELLACCI, A.M.; TODOROVIC, M. Combined effect of deficit irrigation and strobilurin application on yield, fruit quality and water use efficiency of “cherry” tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Agricultural Water Management**, [S.L.],v. 167, p. 53-61, 2016.

CAPPELLI, S.L., DOMEIGNOZ-HORTA, L.A., LOAIZA, V., LAINE, A.-L. Plant biodiversity promotes sustainable agriculture directly and via belowground effects. **Trends In Plant Science**, [S.L.], v. 27, n. 7, p. 674-687, jul. 2022.

CARVALHO, L. M. de; CARVALHO, H. W. L. de; CARVALHO, C. G. P. de. Yield and photosynthetic attributes of sunflower cultivars grown under supplemental irrigation in the semiarid region of the Brazilian Northeast. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 55, p. 1-9, 2020.

CAVALCANTE, E. S.; LACERDA, C. F.; MESQUITA, R. O.; MELO, A. S. de; FERREIRA, J. F. da S.; TEIXEIRA, A. dos S.; LIMA, S. C. R. V.; SALES, J. R. da S.; SILVA, J. de S.; GHEYI, H. R. Supplemental Irrigation with Brackish Water Improves Carbon Assimilation and Water Use Efficiency in Maize under Tropical Dryland Conditions. **Agriculture**, [S.L.], v. 12, n. 4, p. 544, 11 abr. 2022.

CAVALCANTE, E. S.; LACERDA, C. F. de; COSTA, R. N. T.; GHEYI, H. R.; PINHO, L. L.; BEZERRA, F. M. S.; OLIVEIRA, A. C. de; CANJÁ, J. F. Supplemental irrigation using brackish water on maize in tropical semi-arid regions of Brazil: yield and economic analysis. **Scientia Agricola**, [S.L.],v. 78, p. 1-9, 2021.

CHAUHAN, C.P.S.; SINGH, R.B.; GUPTA, S.K. Supplemental irrigation of wheat with saline water. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v. 95, p. 253-258, 2008.

CHEHAB, H.; TEKAYA, M.; HAJLAOUI, H.; ABDELHAMID, S.; GOUIAA, M.; SFINA, H.; CHIHAOUI, B.; BOUJNAH, D.; MECHRI, B. Complementary irrigation with saline water and soil organic amendments modified soil salinity, leaf Na⁺, productivity and oil phenols of olive trees (cv. Chemlali) grown under semiarid conditions. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v. 237, p. 106183, 2020.

CHI, B.; LIU, J.; DAI, J.; LI, Z.; ZHANG, D.; XU, S.; NIE, J.; WAN, S.; LI, C.; DONG, H. Alternate intercropping of cotton and peanut increases productivity by increasing canopy

photosynthesis and nutrient uptake under the influence of rhizobacteria. **Field Crops Research**, [S.L.], v. 302, p. 109059, 2023.

CHIMONYO, V. G. P.; MODI, A. T.; MABHAUDHI, T. Sorghum radiation use efficiency and biomass partitioning in intercrop systems. **South African Journal Of Botany**, [S.L.], v. 118, p. 76-84, 2018.

CIRINO JÚNIOR, B.; SOUZA, J. C. G. de; MACIEL, L. H.; CARMO, E. P. do; SOUZA, C. M. P. G.; ALCÂNTARA, E. B. de; SILVA, N. S. G. da; OLIVEIRA, A. C. de. Utilização de molibdênio no consórcio sorgo e feijão-caupí irrigado em ambiente semiárido. **Brazilian Journal Of Animal And Environmental Research**, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 1838-1852, 17 jun. 2023.

CONWAY, M.J., MCCOSKER, K., OSTEN, V., COAKER, S., PENGELLY, B. C. Ervilha borboleta - Uma história de sucesso de leguminosas em terras cultivadas no centro de Queensland. In: **Anais da 10ª Conferência Australiana de Agronomia**, Hobart. 2001. p.1-3.

COOK, B. G.; PENGELLY B. C.; SCHULTZE-KRAFT R.; TAYLOR M.; BURKART, S.; CARDOSO A. J. A.; GONZÁLEZ GUZMÁN J. J.; COX, K.; JONES, C.; PETERS, M. **Forragens Tropicais: uma ferramenta de seleção interativa**. 2nd and revised Edn. International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Cali, Colombia and International Livestock Research Institute (ILRI), Nairobi, Kenya, 2020.

COLLINS, R.; GRUNDY, T. **The butterfly pea book: a guide to establishing and managing butterfly pea pastures in central Queensland** Department of Primary Industries and Fisheries, Queensland. 64 p. 2005.

COTRIM, M. F.; GAVA, R.; CAMPOS, C. N. S.; DAVID, C. H. O.; REIS, I. de A.; TEODORO, L. P. R.; TEODORO, P. E. Physiological performance of soybean genotypes grown under irrigated and rainfed conditions. **Journal Of Agronomy And Crop Science**, [S.L.], v. 207, n. 1, p. 34-43, 2020.

COUTINHO, M.D.L.; COSTA, M. S.; GOMES, A.C. S.; MORAIS, M.D.C; JACINTO, L.V. Estudo de Caso: Evento Meteorológico no Nordeste do Brasil entre os Dias 03 e 04 de Janeiro de 2015. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 182-198, 2017.

DARAPUNENI, M. K.; LAURIAULT, L. M.; VANLEEUEWEN, D. M.; ANGADI, S. V. Influence of irrigation regimes on alfalfa dry matter yield and water productivity in a semiarid subtropical environment. **Irrigation And Drainage**, [S.L.], v. 69, n. 5, p. 1063-1071, 2020.

DANTAS, F. D. G.; SANTOS, M. V. F. dos; LIMA, G. F. da C.; COELHO, J. J; MEDEIROS, J. F. de; CUNHA, M. V. da. Drip irrigation with saline water combined with mulch cover as strategies for forage cactus production in semi-arid zones. **Irrigation Science**, [S.L.], v. 41, n. 2, p. 295-308, 2023.

DETMANN, E., SOUZA, M. A., VALADARES FILHO, S. C., QUEIROZ, A. C., BERCHIELLI, T. T., SALIBA, E. O. S., AZEVEDO, J. A. G. **Methods for food analysis: National Institute of Science and Technology of Animal Science**. Visconde do Rio Branco, MG.1ª ed., 214 p. 2012.

DIAS, N. da S.; SILVA, J. F. da; MORENO-PIZANI, M. A.; LIMA, M. C. F.; FERREIRA, J. F. da S.; LINHARES, E. L. R.; SOUSA NETO, O. N. de; PORTELA, J. C.; SILVA, M. R. F. da; FERREIRA NETO, M. Environmental, Agricultural, and Socioeconomic Impacts of Salinization to Family-Based Irrigated Agriculture in the Brazilian Semiarid Region. **Saline And Alkaline Soils In Latin America**, [S.L.], p. 37-48, 2020.

DINIZ, W. J. da S.; SILVA, T. G. F. da; FERREIRA, J. M. da S.; SANTOS, D. C. dos; MOURA, M. S. B. DE; ARAÚJO, G. G. L. DE; ZOLNIER, S. Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water depths in the Brazilian Semiarid region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v.52, p.724-733, 2017.

DONATO, P. E. R.; DONATO, P. E. R.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A.; PIRES, A. J. V.; SILVA JUNIOR, A. A. Extraction/exportation of macronutrients by cladodes of ‘Gigante’ cactus pear under different spacings and organic fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 4, p. 238-243, 2017.

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**, Mossoró, v. 27, n. 1, p. 163–172, 2014.

DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; SANTOS, M. V. F. dos; CUNHA, M. V. da; SANTOS, D. C. dos; SOUZA, R. T. de A.; MELLO, A. C. L. de; SOUZA, T. C. de. Cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) nutritive value: a review. **Animal Feed Science And Technology**, [S.L.], v. 275, p. 114890, 2021.

DUBEUX JUNIOR, J.C.B.; SANTOS, M.V.F. dos; MELLO, A.C.L. de; CUNHA, M. V. da; FERREIRA, M. de A.; SANTOS, D.C. dos; LIRA, M. de A.; SILVA, M. da C. Forage potential of cacti on drylands. **Acta Horticulturae**, Maringá, n. 1067, p. 181-186, jan. 2015.

DUBEUX JUNIOR, 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-20. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 1, p. 129-135, 2010.

ELFEEL, A. A., BAKHASHWAIN, A. A., ABOHASSAN, R. A. Interspecific interactions and productivity of *Leucaena leucocephala* and *Clitoria ternatea* under arid land mixed cropping. **The Journal of Animal and Plant Sciences**, [S.L.], v.23, n.5, p.1424 – 1430, 2013.

ELGALLAL, M., FLETCHER, L., EVANS, B. Assessment of potential risks associated with chemicals in wastewater used for irrigation in arid and semiarid zones: A review. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v.177, p. 419–431. 2016.

ELKELISH, A. A.; ALNUSAIRE, T. S.; SOLIMAN, M. H.; GOWAYED, S.; SENOUSY, H. H.; FAHAD, S. Calcium availability regulates antioxidant system, physio-biochemical activities and alleviates salinity stress mediated oxidative damage in soybean seedlings. **Journal Of Applied Botany And Food Quality**, [S.L.], v. 92, p. 258-266, 2019.

FAN, Y.; WANG, Z.; LIAO, D.; RAZA, M. A.; WANG, B.; ZHANG, J.; CHEN, J.; FENG, L.; WU, X.; LIU, C. Uptake and utilization of nitrogen, phosphorus and potassium as related

to yield advantage in maize-soybean intercropping under different row configurations. **Scientific Reports**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 1-10, 2020.

FEITOSA, F. A. C.; DINIZ, J. A. O. Água subterrânea no cristalino da região semiárida brasileira. **Águas Subterrâneas**, [S.L.], p. 1-4, 2011.

FÉLIX, E. dos S.; ARAÚJO, J. S.; LIMA, W. B. de; LIRA, E. C. de; OLIVEIRA FILHO, T. J. de; SOUZA, J. T. A. desempenho de variedades de palma forrageira submetidas a diferentes níveis de salinidade. **Irriga**, [S.L.], v. 27, n. 4, p. 729-741, 2022.

FERNANDES, F.B.P. **Disponibilidade Hídrica para a Cultura do Feijão-De-Corda em Função do Manejo de Solo no Semiárido Cearense**. Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014, 111 p.

FERNANDES, F. B. P.; LACERDA, C. F.; ANDRADE, E. M.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, C. H. C. Efeito de manejos do solo no déficit hídrico, trocas gasosas e rendimento do feijão-decorda no semiárido. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 46, n. 3, p. 506-515, 2015.

FERNANDES, V.L.B. (coord.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará** Fortaleza: UFC, 1993. 248p.

FONSECA, V. A.; DONATO, S. L. R.; SANTOS, M. R. dos; OLIVEIRA, C. M.; KONDO, M. K.; COTRIM, C. E. Nutrients in 'Gigante' forage cactus pear under different saline water irrigation depths and planting densities. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 26, n. 5, p. 381-389, 2022.

FONSECA, V. A., COSTA, L. C., SILVA, J. A. da, DONATO, S. L. R., DONATO, P. E. R., SOUZA, E. dos S. Palma forrageira 'Gigante' cultivada em diferentes densidades populacionais em arranjo mecanizável. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 24, p. 769-775, 2020.

FONSECA, V. A.; SANTOS, M. R. DOS; SILVA, J. A. DA; DONATO, S. L. R.; RODRIGUES, C. S.; BRITO, C. F. B. Morpho-physiology, yield, and water-use efficiency of *Opuntia ficus-indica* irrigated with saline water. **Acta Agronomy**, Maringá, v.41, p.1-11, 2019.

FRIZZONE, J. A.; LIMA, S. C. R. V.; LACERDA, C. F.; MATEOS, L. Socio-Economic Indexes for Water Use in Irrigation in a Representative Basin of the Tropical Semiarid Region. **Water**, [S.L.], v. 13, n. 19, p. 2643, 2021.

GALVÃO JÚNIOR, J. G. B., SILVA, J. B. A. da, MORAIS, J. H. G., LIMA, R. N. de. Palma forrageira na alimentação de ruminantes: cultivo e utilização. **Acta Veterinaria Brasilica**, Maringá, v. 8, n. 2, p. 78-85, 2014.

GEERTS, S.; RAES, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v.96, p.1275-1284, 2009.

GHEYI, H. R.; SANDHU, D.; LACERDA, C. F. de. Fields of the Future: pivotal role of biosaline agriculture in farming. **Agriculture**, [S.L.], v. 13, n. 9, p. 1774, 2023.

GOIS, G. C., SILVA, F. C. S., RIBEIRO, W. S. Descrição morfológica, origem, domesticação, dispersão da palma forrageira e sua introdução no Brasil'. In: Ribeiro, W. S., Silva, F. C. S., Costa, E. R., Silva, S. M., Eculica, G. C. (org.). **A Palma e sua importância no nordeste brasileiro**. Editora Kiron, Brasília -DF. p. 9-79, 2013.

GONÇALVES, G. C. P.; ROSAS, A. L. G.; SOUSA, R. C. de; VIEIRA, T. R. R.; SOUSA, T. C. de A.; RAMIRES, T.; SILVEIRA, T. F. F. da; BARROS, L.; SILVA, W. P. da; DIAS, Á. R. G. A green method for anthocyanin extraction from *Clitoria ternatea* flowers cultivated in southern Brazil: characterization, in vivo toxicity, and biological activity. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 435, p. 137575, 2024.

GOUDA, S.; KERRY, R. G.; DAS, G.; PARAMITHIOTIS, S.; SHIN, H. S.; PATRA, J. K. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. **Microbiological Research**, [S.L.], v. 206, p. 131-140, jan. 2018.

GUEDES FILHO, D. H.; SANTOS, J. B.; GREYI, H. R.; CAVALCANTE, L. F.; SANTOS JUNIOR, J. A. Componentes de produção e rendimento do girassol sob irrigação com águas salinas e adubação nitrogenada. **Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, [S.L.], v. 20, n. 3, p. 514-527, 2015.

GUIMARÃES, M. de A.; LEMOS NETO, H. de S.; LIMA NETO, B. P.; HENDGES, A. R. A.; VIANA, C. dos S.; RABELO, J. da s; OLIVEIRA, F. R. A de. Respostas fisiológicas da rúcula consorciada com nirá sob diferentes arranjos e épocas de cultivo. **Horticultura Brasileira**, [S.L.], v. 40, n. 3, p. 255-260, 2022.

HAFEZ, E. M.; OSMAN, H. S.; EL-RAZEK, U. A. A.; ELBAGORY, M.; OMARA, A. E.; EID, M. A.; GOWAYED, S. M. Foliar-Applied Potassium Silicate Coupled with Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Improves Growth, Physiology, Nutrient Uptake and Productivity of Faba Bean (*Vicia faba* L.) Irrigated with Saline Water in Salt-Affected Soil. **Plants**, [S.L.], v. 10, n. 5, p. 894, 2021.

HAMD-ALLA, W. A.; AHMED, N. R.; HEFZY, M. Enhance productivity and net economic return by intercropping sunflower (*Helianthus annuus* L.) with common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) under drip irrigation. **Revista Europeia de Pesquisa Biológica**, [S.L.], p. 57-73, 2020.

HAMID, S.; AHMAD, I.; AKHTAR, M. J.; IQBAL, M. N.; SHAKIR, M.; TAHIR, M.; RASOOL, A.; SATTAR, A.; KHALID, M.; DITTA, A. Bacillus subtilis Y16 and biogas slurry enhanced potassium to sodium ratio and physiology of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to mitigate salt stress. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.L.], v. 28, n. 29, p. 38637-38647, 2021.

HARIPO, T. T.; MAKUVARO, V.; MADANZI, T.; SAKADZO, N. Effect of plant population and row orientation on crop yield under sorghum-cowpea intercropping systems in semi-arid Zimbabwe. **International Journal Of Agriculture Environment And Food Sciences**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 41-48, 2023.

HASEGAWA, P. M.; BRESSAN, R. A.; ZHU, J. K.; BOHNERT, H. J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. **Annual Review of Plant Physiology and Plant**

Molecular Biology, Palo Alto, v.51, n.1, p.463-499, 2000.

HEDAYATI-FIROOZABADI, A.; KAZEMEINI, S. A.; PIRASTEH-ANOSHEH, H.; GHADIRI, H.; PESSARAKLI, M. Forage yield and quality as affected by salt stress in different ratios of Sorghum bicolor-Bassia indica intercropping. **Journal Of Plant Nutrition**, [S.L.], v. 43, n. 17, p. 2579-2589, 24 jun. 2020.

HEDAYETULLAH, Md; ZAMAN, P. **Forage Crops of the World**, Volume I: Major Forage Crops. Oakville, ON: Apple Academic Press, 2019. 377p.

HEYDARZADEH, S.; JALILIAN, J.; PIRZAD, A.; JAMEI, R.; PETRUSSA, E. Fodder value and physiological aspects of rainfed smooth vetch affected by biofertilizers and supplementary irrigation in an agri-silviculture system. **Agroforestry Systems**, [S.L.], v. 96, n. 1, p. 221-232, 2021.

HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. R. A.; FERREIRA NETO, M.; HOLANDA, A. C.; SÁ, F. V. S. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (org.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2016. p. 35-50.

HUANG, G.; ZHANG, X.; WANG, Z.; LI, Y.; LIU, X.; GUO, R.; GU, F.; LIU, E.; LI, S.; ZHONG, X. Plant Architecture Influences the Population Transpiration and Canopy Temperature in Winter Wheat Genotypes. **Agronomy**, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 742, 2 mar. 2023.

HU, S.; LIU, L.; ZUO, S.; ALI, M.; WANG, Z. Soil salinity control and cauliflower quality promotion by intercropping with five turfgrass species. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 266, n. 1, p. 121991, set. 2020.

HUSSAIN, J., KHALIQ, T., AHMAD, A., AKHTER, J., ASSENG, S. Respostas do trigo às mudanças climáticas e suas adaptações: um foco no ambiente árido e semiárido. **Revista Internacional de Pesquisa Ambiental**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 117-126, 2018.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO – INSA. **Convivência com o semiárido: Diante das preocupações, as ações**. 2012. Disponível em:

<https://portal.insa.gov.br/acervorelatorios/167-relatorio-popularizado-2012>. Acesso em: 2 mar. 2022

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, 2017. **Perfil básico municipal de General Sampaio, CE**: Governo do Estado do Ceará, 2017. Available on: https://www.ipece.ce.gov.br/wpcontent/uploads/sites/45/2018/09/General_Sampaio_2017.pdf Accessed on: Jul. 2023.

ISAYENKOV, S. V.; MAATHUIS, F. J. M. Plant Salinity Stress: Many Unanswered Questions Remain. **Front. Plant Science**, v. 10, n.2, p. 80. 2019.

JACINTO JÚNIOR, S. G.; MORAES, J. G. L.; SILVA, F. D. B. da; SILVA, B. do N.; SOUSA, G. G. de; OLIVEIRA, L. L. B. de; MESQUITA, R. O. Respostas fisiológicas de genótipos de fava (*Phaseolus lunatus* L.) submetidas ao estresse hídrico cultivadas no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 34, n. 3, p. 413-422, 2019.

- JARDIM, A. M. D. R. F., SILVA, T. G. F. de S. da, L. S. B., JÚNIOR, G. D. N. A., ALVES, H. K. M. N., SOUZA, M. de S, MOURA, M. S. B. de. Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. **Journal Of Arid Environments**, [S.L.], v. 188, p. 104464, 2021a.
- JARDIM, A. M. da R. F.; SOUZA, L. S. B. de; ALVES, C. P.; ARAÚJO, J. F. N. de; SOUZA, C. A. A. de; PINHEIRO, A. G.; ARAÚJO, G. G. L. de; CAMPOS, F. S.; TABOSA, J. N.; SILVA, T. G. F. da. Intercropping forage cactus with sorghum affects the morphophysiology and phenology of forage cactus. **African Journal Of Range & Forage Science**, [S.L.], v. 40, n. 2, p. 129-140, 2021b.
- JARDIM, A. M. da R. F.; SANTOS, H. R. B.; ALVES, H. K. M. N.; FERREIRA-SILVA, S. L.; SOUZA, L. S. B. de; ARAÚJO JÚNIOR, G. do N.; SOUZA, M. de Sá; ARAÚJO, G. G. L. de; SOUZA, C. A. A. de; SILVA, T. G. F. da. Genotypic differences relative photochemical activity, inorganic and organic solutes and yield performance in clones of the forage cactus under semi-arid environment. **Plant Physiology And Biochemistry**, [S.L.], v. 162, p. 421-430, 2021c.
- JIAO, N.; WANG, J.; MA, C.; ZHANG, C.; GUO, D.; ZHANG, F.; JENSEN, E. S. The importance of aboveground and belowground interspecific interactions in determining crop growth and advantages of peanut/maize intercropping. **The Crop Journal**, [S.L.], v. 9, n. 6, p. 1460-1469, dez. 2021.
- JHARIYA, M. K., BANERJEE, A., YADAV, D. K., RAJ, A. **As árvores leguminosas são uma ferramenta inovadora para a sustentabilidade do solo**. IN: R. MEENA, A. DAS, G. YADAV E R. LAL (Eds.), *Leguminosas para a saúde do solo e gestão sustentável*. Springer. 2018. p. 315-345.
- JO, S. G.; KANG, Y. I.; OM, K. S.; CHA, Y. H.; RI, S. Y. Growth, photosynthesis and yield of soybean in ridge-furrow intercropping system of soybean and flax. **Field Crops Research**, [S.L.], v. 275, p. 108329, 2022.
- KARAM, F.; LAHOUD, R.; MASAAD, R.; DACCACHE, A.; MOUNZER, O.; ROUPHAEL, Y. Water Use and Lint Yield Response of Drip Irrigated Cotton to the Length of Irrigation Season. **Agric. Water Manag.**, [S.L.], v.85, p. 287–295. 2006.
- KEATING B. A., STRICKLAND R. W., FISHER M. J. Salt tolerance of some tropical pasture legumes with potential adaptation to cracking clay soils. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, [S.L.], v. 26, p. 181-186. 1986.
- KHALID, S. A.; KHALIL, F. I. Influence of irrigation regimes on competition indexes of winter and summer intercropping system under semi-arid regions of Pakistan. **Scientific Reports**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 1-21, 2020.
- KHORSANDI, F., SIADATI, S. M. H., RASTEGARY, J. Haloengineering as a vital component of sustainable development in salt-affected ecosystems. **Environmental Development**, [S.L.], v. 35, p. 100545, 2020.

LARCHER W., ASSIS PRADO C. H. B. **Ecofisiologia vegetal**. RiMa Artes e textos, São Carlos, p. 531, 2000.

LEMOS, M. de; FERREIRA-NETO, M.; FERNANDES, C. dos S.; LIMA, Y. B. de; DIAS, N. da S.; MEDEIROS, J. F. de; BRITO, R. F. de; SÁ, F. V. da S. The effect of domestic sewage effluent and planting density on growth and yield of prickly pear cactus in the semiarid region of Brazil. **Journal Of Arid Environments**, [S.L.], v. 185, p. 104-372, 2021.

LEMOS, M.; FERREIRA NETO, M.; MEDEIROS, J. F.; DIAS, N. S.; SILVA, E. F. F. E.; LIRA, R. B. Nutritional evaluation of forage cactus fertigated with domestic sewage effluent. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 2, p. 476-486, 2018.

LESSA, C. I. N.; LACERDA, C. F. de; CAJAZEIRAS, C. C. de A.; NEVES, A. L. R.; LOPES, F. B.; SILVA, A. O. da; SOUSA, H. C.; GHEYI, H. R.; NOGUEIRA, R. da S.; LIMA, S. C. R. V. Potential of Brackish Groundwater for Different Biosaline Agriculture Systems in the Brazilian Semi-Arid Region. **Agriculture**, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 550, 2023.

LI, Y.; WANG, L.; ZHAO, B.; LIU, P.; ZHANG, J.; DONG, S.; SHI, D. Crop Productivity, Economic Advantage, and Photosynthetic Characteristics in a Corn-Peanut Intercropping System. **Agronomy**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 509, 2023.

LI, L.; TILMAN, D.; LAMBERS, H.; ZHANG, F.S. Plant diversity andoveryielding: insights from belowground facilitation of intercropping in agriculture. **New Phytologist**, [S.L.], v.203, p.63–69, 2014.

LIMA, W. B. de, ARAÚJO, J. S., CHAVES, L. H. G., VIEIRA, M. F., CARNEIRO, P. T., CHAVES, I. de B., CAVALCANTE, A. R. Composição química da palma forrageira ('*Opuntia stricta*' Haw) irrigada com água salina em solos semiáridos. **Australian Journal of Crop Science**, [S.L.], v. 16, n. 2, p.307–314. 2022.

LIMA, L. R.; SILVA, T. G. F. da; JARDIM, A. M. da R. F.; SOUZA, C. A. A. de; QUEIROZ, M. G. de; TABOSA, J. N. Growth, water use and efficiency of forage cactus sorghum intercropping under different water depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 22, n. 2, p. 113-118, 2018a.

LIMA, L. R., SILVA, T. G. F., PEREIRA, P. C., MORAIS, J. E. F., ASSIS, M. C. S. Productive-economic benefit of forage cactus sorghum intercropping systems irrigated with saline water. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 31, p. 191–201, 2018b.

LIMA, G. F. DA C.; WANDERLEY, A. DE M.; GUEDES, F. X.; REGO, M. M. T.; DANTAS, F. D. G.; SILVA, J. G. M DA; NOVAES, L. P; AGUIAR, E. M de. Palma forrageira irrigada e adensada: uma reserva forrageira estratégica para o Semiárido Potiguar. **Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte - EMPARN**, Parnamirim, Rio Grande do Norte, 2015. Embrapa Semiárido (Documento 45).

LIMA, G. S. de; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. dos A.; SILVA, A. O. da. Crescimento e componentes de produção da mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 34, n. 5, p. 854-866, 2014.

LIRA, J. B. de; ANDRADE, A. P. de; MAGALHÃES, A. L. R.; CAMPOS, F. S.; ARAÚJO, G. G. L. de; DEON, D. S.; GOIS, G. C.; REGITANO NETO, A.; CUNHA, D. de S.; TABOSA, J. N. Production of Pearl Millet Irrigated with Different Levels of Brackish Water and Organic Matter. **Communications In Soil Science And Plant Analysis**, [S.L.], v. 51, n. 5, p. 701-709, 2020

LIRA, R. M. de; SILVA, E. F. de F. e; SILVA, G. F. da; SOUZA, D. H. S. de; PEDROSA, E. M. R.; GORDIN, L. C. Content, extraction and export of nutrients in sugarcane under salinity and leaching fraction. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 23, n. 6, p. 432-438, jun. 2019.

LIU, X.; RAHMAN, T.; SONG, C.; YANG, F.; SU, B.; CUI, L.; BU, W.; YANG, W. Relationships among light distribution, radiation use efficiency and land equivalent ratio in maize-soybean strip intercropping. **Field Crops Research**, [S.L.], v. 224, p. 91-101, 2018.

LOPES, L. C. LOPES, L., OLIVEIRA, A., PEREIRA, F. D. C., SANTOS, R. Perfil de distribuição de água por um aspersor rotativo de impacto para uso em sistemas de aspersão com linha única. **Magistra**, [S.L.], v. 23, n. 4, p. 193 - 199, 2011.

LOPES, E. B., BRITO, C. D., 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**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 204-215, 2010.

LUCENA, L. R. R. de; COSTA, A. C. de L.; OLIVEIRA, A. D. M. de; LEITE, M. L. de M. V. Initial development of cladode giant sweet clone as a function of water and saline stress. **Revista Brasileira de Biometria**, [S.L.], v. 39, n. 2, p. 279-292, 2021.

LUCENA, C. C. de; SIQUEIRA, D. L. de; MARTINEZ, H. E. P.; CECON, P. R. Efeito do estresse salino na absorção de nutrientes em mangueira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [S.L.], v. 34, n. 1, p. 297-308, 2012.

MA, H.; YU, X.; YU, Q.; WU, H.; ZHANG, H.; PANG, J.; GAO, Y. Maize/alfalfa intercropping enhances yield and phosphorus acquisition. **Field Crops Research**, [S.L.], v. 303, p. 109136, 2023.

MACHADO, H. C.; CAMPOS, N. M.; SANTOS, C. A. P. dos. Análise do desenvolvimento e da produção da cunhã em função de diferentes tipos de adubação orgânica. **Revista Ciência Agrícola**, [S.L.], v. 19, n. 1, p. 25-36, 2021.

MAGALHÃES, A. J. da S.; ALVES, J. M. B.; SILVA, E. M. da; NUNES, F. T.; BARBOSA, A. C. B.; SANTOS, A. C. S. dos; SOMBRA, S. S. Veranicos no Brasil: observações e modelagens (cmip5). **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 34, n. 4, p. 597-626, 2019.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Metodologia para análise de elementos em material vegetal. In: MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997, v. 2, cap.6 p.231-308.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in northeast Brazil: past, present and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v.129, p. 1189-1200. 2017.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed. Sydney: Elsevier, 2012. 651p.

MARTINS, G. S. **Relação entre o grau de conservação da cobertura vegetal e os veranicos agrícolas na bacia do alto Jaguaribe** – Ceará. 2017. 112 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

MARTINS, S. S.; PEREIRA, M. D. C.; LIMA, M. A. G.; QUEIROZ, A. A. D.; SILVA, S. D. A. B.; MISTURA, C.; ONO, E. O. Morfofisiologia da cunhã cultivada sob estresse salino. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, [S.L.], v. 13, p. 13-24, 2012.

MARTINS, J. C. R.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SANTOS, A. F. dos; NAGAI, M. A. Produtividade de biomassa em sistemas agroflorestais e tradicionais no Cariri Paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 17, n. 6, p. 581-587, 2013.

MARCHIORETTO, L. de R.; ROSSI, A. de; AMARAL, L. O. do; RIBEIRO, A, M. A. de S. Tolerance of apple rootstocks to short-term waterlogging. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 48, n. 9, p. 1-7, 2018.

MASTERS, D. G.; BENES, S. E.; NORMAN, C. Biosaline agriculture for forage and livestock production. **Agric. Ecosyst. Environ.**, [S.L.], v.119, p. 234–248. 2007.

MATOS, A. T. Qualidade do Meio Físico Ambiental: **Práticas de Laboratório**. Viçosa: UFV, 2012. 150p.

MAYER, J.A.; CUSHMAN, J.C. Nutritional and mineral content of prickly pear cactus: A highly water-use efficient forage, fodder and food species. **Journal of Agronomy and Crop science**, [S.L.], v. 205, p. 625– 634, 2019.

MEDEIROS, A. S.; MALTA, F.M. S.; SANTOS, T. C.; GOMES, T. C.A. Soil carbon losses in conventional farming systems due to land-use change in the Brazilian semi-arid region. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.L.], v. 287, p. 106690, 2020.

MENEGHETTI, A. D. **Manual de procedimentos de amostragem e análise química de plantas, solo e fertilizantes**. Curitiba: EDUTFPR, 2018. 252 p.

MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B.; LIMA, R. A. F. A. Veranico e a produção agrícola no Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 181-186, 2010.

MIRANDA, K. R. de; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; MELLO, A. C. L. de; SILVA, M. da C.; SANTOS, M. V. F. dos; SANTOS, D. C. dos. Forage production and mineral composition of cactus intercropped with legumes and fertilized with different sources of manure. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 49, n. 1, p. e20180324, 2019.

MISTURA, C.; OLIVEIRA, J. M.; SOUZA, T. C de; VIEIRA, P. A. S.; LIMA, A. R dos S.; OLIVEIRA, F. A. de; DOURADO, D. L.; SILVA, R. M. da. Adubação orgânica no cultivo da Cunhã na região semiárida do Brasil. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, [S.L.], v.11, n.3, p. 581-594, 2010.

MISTURA, C., DOS SANTOS, A. E. O., ONO, E. O., RODRIGUES, J. D., DE ALMEIDA, M. B., ARAÚJO, A. D. B. Germinação e desenvolvimento de mudas de ervilha borboleta. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**. v. 12, n. 2, p. 306-317, 2011.

MONTEZANO, E. M.; PEIL, R. M. N. Sistema de consórcio na produção de hortaliças. **Revista Brasileira de Agrociência**. [S.L.], v.12, p.129-132. 2006.

MUDGAL, V.; MEHTA, M. K.; RANE, A. S. Lentil straw (*Lens culinaris*): an alternative and nutritious feed resource for kids. **Animal Nutrition**, [S.L.], v. 4, n. 4, p. 417-421, dez. 2018.

MUNNS, R., TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 651–681. 2008. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
 NASIM, N. A. M.; PA'EE, F. Evaluating physiological responses of Butterfly pea, *Clitoria ternatea* L. var. Pleniflora to salt stress. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 736, n. 1, p. 12-39, 2021.

NADAF, S. K., AL-FARSI, S. M., AL-HINAI, S. A., AL-HINAI, A. S., AL-HARTHY, A. A. S., AL-KHAMISI, S. A., & AL-BAKRI, A. N. Potential of forage cactus pear accessions under saline water irrigation in arid areas. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, [S.L.], v. 20, p. 68–81. 2018.

NASAR, J.; SHAO, Z.; ARSHAD, A.; JONES, F. G.; LIU, S.; LI, C.; KHAN, M. Z.; KHAN, T.; BANDA, J. S. K.; ZHOU, X. The effect of maize–alfalfa intercropping on the physiological characteristics, nitrogen uptake and yield of maize. **Plant Biology**, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 1140-1149, 2020.

NEFZAOU, A.; BEN SALEM, H. **Opuntia: a strategic fodderan defficient tool to combated certification in the wana region**. FAO 2002. Disponível em: Disponível em <<http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/PUBLICAT/Cactusnt/cactus2.htm>> Acessado em: 29 mar 2022.

NEGACZ, K.; MELEK, Z.; DE VOS, A.; VELLINGA, P. Saline soils worldwide: Identifying the most promising areas for saline agriculture. **J. Arid Environ.**, [S.L.], v.203, p.e104775. 2022.

NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F.; SOUSA, C. H.C.; SILVA, F. L. B.; GHEYI, H. R.; FERREIRA, F. J. ANDRADE FILHO, F. L. Growth and yield of cowpea/sunflower crop rotation under different irrigation management strategies with saline water. **Revista Ciência Rural**, [S.L.], v.45, n.5, p.814-820, 2015.

NUNES, J. da S. L.; SALVADOR, K. R, da S.; JARDIM, A. M. da R. F.; ARAÚJO JÚNIOR, G. do N.; CARVALHO, A. A. de; SOUZA, L. S. B. de; MONTENEGRO, A. A. de A.; SILVA, T. G. F. da. Índices morfofisiológicos e biofísicos da palma forrageira cultivada sob

tecnologias hídricas na bacia do Rio Pajeú. **Journal Of Environmental Analysis And Progress**, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 128-139, 2020.

NUNES, G. F. de O.; MENEZES, K. Ale. S.; SAMPAIO, A. A.; LEITE, J.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I.; SEIDO, S. L.; ZILLI, J. E.; MARTINS, L. M. V. Polyphasic characterization of forage legumes root nodule bacteria isolated from semiarid region in Brazil. **Revista de Ciências Agrárias**, [S.L.], v. 41, n. 3, p. 612-624, 2019.

Ó, L. M. G. do; COVA, A. M. W.; AZEVEDO NETO, A. D. de; SILVA, N. D. da; SILVA, P. C. C.; RIBAS, R. F.; SANTOS, A. L.; GHEYI, H. R. Physiological and biochemical responses of mini watermelon irrigated with brackish water under two types of irrigation system. **Semina: Ciências Agrárias**, [S.L.], v. 43, n. 4, p. 1497-1516, 2022.

OGUIS, G. K.; GILDING, E. K.; JACKSON, M. A.; CRAIK, D. J. Butterfly Pea (*Clitoria ternatea*), a Cyclotide-Bearing Plant With Applications in Agriculture and Medicine. **Frontiers In Plant Science**, [S.L.], v. 10, p. 1-23, 2019.

OLIVEIRA, A. C. de, DE ARAUJO, A. F. B., DE LACERDA, C. F., CANJÁ, J. F., PINHO, L. L., SOUSA, N. I. G. Influência da irrigação suplementar com águas residuárias sobre as trocas gasosas foliares do algodoeiro. **Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, [S.L.], v. 25, n. 4, p. 677-682, 2020.

OLIVEIRA, A. R. de; MELO, R. F. de; SANTOS, J. M. R. dos. Sunflower consortium with cowpea productive performance in underground dam with irrigation supplementary. **Itegam-Journal Of Engineering And Technology For Industrial Applications**, [S.L.], v. 3, n. 10, p. 1-5, 2017.

OLIVEIRA FILHO, A.F., BEZERRA, F.T.C., PITOMBEIRA, J.B., DUTRA, A.S., BARROS, G.L. Eficiência agrônômica e biológica nos consórcios da mamoneira com feijão-caupi ou milho. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.47, p.729736. 2016.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO (FAO). **1,5 bilhão de pessoas, vivendo com solo muito salgado para ser fértil**. 2021. Disponível online: <https://news.un.org/en/story/2021/10/1103532> (acessado em 15 de novembro de 2021).

OSTER, J.; GRATAN, S. Drainage water reuse. **Irrigation and Drainage Systems**, [S.L.], v.16: p. 297-310, 2002.

PARIHAR, P.; SINGH, S.; SINGH, R.; SINGH, V. P.; PRASAD, S. M. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, [S.L.], v. 22, p.4056– 4075. 2015.

PEREIRA, M. C. de A.; AZEVEDO, C. A. V. de; DANTAS NETO, J.; PEREIRA, M. de O.; RAMOS, J. G.; TOMAZ, B. de A. Crescimento de cultivares de palma forrageira irrigada sob diferentes níveis de salinidade em região semiárida. **Irriga**, [S.L.], v. 26, n. 4, p. 814-826, 22 dez. 2021.

PEREIRA, P. D. C., SILVA, T. G. F., ZOLNIER, S., MORAIS, J. E. F., SANTOS, D. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 28, n. 3, p. 184-195, 2015.

PESSOA, R. M. dos S.; PESSOA, A. M. dos S.; COSTA, D. C. C. C.; AZEVÊDO, P. C. da S.; GOIS, G. C.; CAMPOS, F.; VICENTE, S. L. A.; FERREIRA, J. M. de S.; ARAÚJO, C. de A.; LIMA, D. O. Cactus pêra: Adubação orgânica e mineral. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S.L.], v. 11, n. 13, pág. e12111334267, 2022.

PETTER, F. A.; SILVA, J. A. da; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. R.; PACHECO, L. P.; ALMEIDA, F. A. de. Elevada densidade de semeadura aumenta a produtividade da soja? Respostas da radiação fotossinteticamente ativa. **Bragantia**, [S.L.], v. 75, n. 2, p. 173-183, 2016.

PHILIPPOT, L., RAAIJMAKERS, J. M., LEMANCEAU, P., VAN DER PUTTEN, W. H. Voltando às raízes: a ecologia microbiana da rizosfera. **Nature revisa microbiologia**, [S.L.], v. 11, n. 11, p.789-799. 2013.

PRADO, R. de M. **Nutrição de Plantas**. 2. ed. São Paulo: Editora UNESP, 2020. 426p.

QUEIROZ, I. V. et al. Biomass and chemical responses of *Desmanthus* spp. accessions submitted to water deprivation. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 34, n. 4, p. 937-944, 2021.

QUEIROZ, M. G. D.; SILVA, T. G. F. da; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S. e; SOUZA, C. A. A. de; CARVALHO, H. F. de S. Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente semiárido. **Irriga**, [S.L.], v. 1, n. 01, p. 141, 2016.

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

RAHNAMA, A.; JAMES, R. A.; POUSTINI, K.; MUNNS, R. Condutância estomática como uma tela para tolerância ao estresse osmótico em trigo duro crescendo em solo salino. **Função Plant Biol**. [S.L.], v. 7, p. 255–269. 2010.

REGES, K. da S. L.; COSTA, A. G.; CUNHA, V. T. da; PORTELA, J. C.; BATISTA, R. O.; MENDONÇA, V.; PEREIRA, J. O.; GURGEL, G. C. de S.; OLIVEIRA, J. F. de; FREIRE, F. G. C. Growing, Production and Quality of Thornless Cactus Irrigated With Dairies Effluent. **Journal Of Agricultural Science**, [S.L.], v. 11, n. 14, p. 175, 2019.

REGO, M. M. T.; LIMA, G. F. C.; SILVA, J. G. M.; GUEDES, F. X.; DANTAS, F. D. G.; LÔBO, R. N. B. Morfologia e Rendimento de Biomassa da Palma Miúda Irrigada sob Doses de Adubação Orgânica e Intensidades de Corte. **Revista Científica de Produção Animal**, [S.L.], v. 16, n. 2, p. 118-130, 2014.

RIBEIRO, R.M.R.; SOUSA, G.G.; BARBOSA, A.S.; LACERDA, C.F.; FREIRE, M.H.C.; MORAES, J.G.L. Irrigation strategies with saline water and phosphate fertilization in cowpea culture. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** [S.L.], v. 17, n. 3, p. 1-7, 2022.

RINDUWATI; MUJNISA, A. The potential of the legume types in the quality and economic value of Nitrogen of *Setaria anceps* Stapf. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, [S.L.], v. 492, n. 1, p. 012020, 2020.

ROCHA, T. B. C.; VASCONCELOS JÚNIOR, F. das C.; SILVEIRA, C. da S.; MARTINS, E. S. P. R.; GONÇALVES, S. T. N.; SILVA, E. M. da; ALVES, J. M. B; SAKAMOTO, M. S. Indicadores de Veranicos e de Distribuição de Chuva no Ceará e os Impactos na Agricultura de Sequeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 36, n. 3, p. 579-589, 2021.

RODRIGUES, I. B.; SOUSA, J. A. de; SALES, M. C. L. Impacto dos veranicos na produção de grãos na macrorregião dos Inhamuns – Ceará. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.L.], v. 31, n. 18, p. 308–331, 2022.

RODRIGUES, I. B. **Análise dos veranicos e sustentabilidade à produção de milho e feijão nos Inhamuns – CE**. 2016. 150 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

RODRIGUES, R.R.; HAARSMA, R.J.; CAMPOS, E.J.D.; AMBRIZZI, T. The impacts of inter-El Nino variability on the Tropical Atlantic and Northeast Brazil climate. **Journal of Climate**, [S.L.], v. 24, n. 13, p. 3402-3422. 2011.

SALGADO, E. V.; COSTA, R. N. T.; CARNEIRO, M. S. de S.; SAUNDERS, L. C. U.; ARAÚJO, H. F. de. Technical and economical response of cunhã crop to water and phosphate fertilizer. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 1, p. 1-6, 2010.

SALVADOR, K. R. da S.; JARDIM, A. M. da R. F.; ARAÚJO JÚNIOR, G. do N.; ALVES, C. P.; PINHEIRO, A. G.; PEREIRA, R. C. G.; SOUZA, L. S. B. de; SILVA, T. G. F. da. Intensificação de sistemas de produção de palma forrageira por meio de consorciação rotativa com gramíneas, leguminosas e oleaginosas: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 2369-2390, 19 ago. 2021.

SAMPAIO, E.V.S. B. Fisiologia da palma. 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**. Editora Universitária UFRPE, Recife, Brazil. p. 43-56. 2005.

SANTOS, A. R. M. dos; BEZERRA, R. C. A.; CORDEIRO, L. R. B. A.; LEITE, M. L. de M. V.; SALVADOR, K. R. da S.; SOUSA, L. D. de C.; NOGUEIRA, J. C.; CALAÇA, J. dos S. G.; CARVALHO, F. G. de; SANTOS, W. R. dos. Valor nutritivo de plantas forrageiras cultivadas no semiárido brasileiro: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 1466, 2023.

SANTOS, M. A. dos; FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J.; ROCHA, A. T. da; LUCENA, P. G. de; LADISLAU, C. M. P.; MELO, H. F. de. Reclamation of Saline Soil under Association between *Atriplex nummularia* L. and Glycophytes Plants. **Agriculture**, [S.L.], v. 12, n. 8, p. 1124, 2022.

SANTOS, M. R.; DONATO, SL R.; COTRIM JÚNIOR, P. R. F. Irrigação na palma forrageira. **Revista Agrotecnologia**, [S.L.], v.1, n. 11, p.75-86, 2020.

- 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, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; FILHO, E. G. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 2.ed., Fortaleza, INCT Sal, 2016. Cap.18, p.278-293.
- SANTOS, D. B., VOLTOLINI, T. V., AZEVEDO, C. A. V., NOGUEIRA, D. M., SILVA, A. S., MEDEIROS, S. S. Tolerância do Capim Marandu a Salinidade. **Revista Educação Agrícola Superior**, [S.L.], v. 28, n. 1, p. 63–66. 2013.
- SANTOS, D. C.; FARIAS, I.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; ARRUDA, G. P.; COELHO, R. S. B.; DIAS, F. M.; MELO, J. N. Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*) em Pernambuco. Recife: IPA, **Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária**, 2006. 48p. (IPA. Documentos, 30).
- 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. 143-162p. 2005.
- SANTOS, M. V. F.; FARIAS, I.; LIRA, M. A.; NASCIMENTO, M. M. A.; SANTOS, D. C.; TAVARES FILHO, J. J. Efeito do período de armazenamento pós-colheita sobre o teor de matéria seca e composição química das palmas forrageiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 27, n. 6, p. 777-783, 1992.
- SARAIVA, F. M.; DUBEUX, J. C. B.; CUNHA, M. V. da; MENEZES, R. S. C.; SANTOS, M. V. F. dos; CAMELO, D.; FERRAZ, I. Performance of Forage Cactus Intercropped with Arboreal Legumes and Fertilized with Different Manure Sources. **Agronomy**, [S.L.], v. 12, n. 8, p. 1887, 2022.
- SCALISI, A.; MORANDI, B.; INGLESE, P.; BIANCO, R. L. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. **Environmental and Experimental Botany**, [S.L.], v. 122, p. 158-167. 2016.
- SILVA, P. H. F. da; SANTOS, M. V. F. dos; MELLO, A. C. L. de; SILVA, T. B. S.; SIMÕES NETO, D. E.; SILVA, V. J. da; DUBEUX, J. C. B.; COELHO, J. J.; SOUZA, E. J. O. de; CUNHA, M. V. da. Agronomic responses and herbage nutritive value of elephant grass (*Cenchrus purpureus*) genotypes grown as monocrops and mixed with butterfly pea (*Clitoria ternatea*). **Crop And Pasture Science**, [S.L.], v. 1, p. 1-7, 2023.
- SILVA, T. B. S.; SANTOS, M. V. F. dos; OLIVEIRA, O. F. de; SILVA, P. H. F. da; MELLO, A. C. L. de; SOUZA, E. J. O. de; CUNHA, M. V. da. Does the presence of tall or dwarf elephant grass genotypes change the nutritive value of butterfly pea in grass–legume intercrops? **African Journal Of Range & Forage Science**, [S.L.], v.1, p. 1-10, 2023.
- SILVA, T. G. F. da; MEDEIROS, R. S. de; ARRAES, F. D. D.; RAMOS, C. M. C.; ARAÚJO JÚNIOR, G. do N.; JARDIM, A. M. da R. F.; ALVES, C. P.; CAMPOS, F. S.; SILVA, M. V. da; MORAIS, J. E. F. de. Cactus–sorghum intercropping combined with management interventions of planting density, row orientation and nitrogen fertilization can

optimize water use in dry regions. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 895, p. 165102, 2023.

SILVA, J. O. N. da; SANTOS, J. P. A. de S.; SALVADOR, K. R. da S.; LEITE, R. M. C.; AVIZ, R. O. de; SILVA, N. S. G. da; AMARAL, E. M.; LEITE, M. L. de M. V. O uso da irrigação com água salina pode reduzir o déficit de forragem no Semiárido brasileiro? **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 11, n. 5, p. 1-11, 2022.

SILVA, T. G. F. da; JARDIM, A. M. da R. F.; DINIZ, W. J. da S.; SOUZA, L. S. B. de; ARAÚJO JÚNIOR, G. do N.; SILVA, G. Í. N. da; ALVES, C. P.; SOUZA, C. A. A. de; MORAIS, J. E. F. de. Profitability of using irrigation in forage cactus-sorghum intercropping for farmers in semi-arid environment. **Brazilian Journal Of Agricultural And Environmental Engineering**, Campina Grande, v. 27, n. 2, p. 132-139, 2022.

SILVA, C. das C.; MENEZES, A. S.; ARAGÃO, M. F.; PINHEIRO NETO, L. G.; MOREIRA, F. J. C.; SAMPAIO, G. M. Initial growth of forage cactus varieties under different water salinity levels. **Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, [S.L.], v. 26, n. 1, p. 55–64, 2021.

SILVA, J. da.; ARAÚJO JÚNIOR, G. do N.; JARDIM, A. M. da R. F.; ALVES, C. P.; PINHEIRO, A. G.; SANTOS, J. P. A. de S.; SOUZA, L. S. B. de; SILVA, T. G. F. da. Cultivo de genótipos de palma forrageira sob agricultura bioassalina como alternativa para aumentar o aporte de forragem do semiárido brasileiro: uma revisão. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S.L.], v. 10, n. 5, p. 1-14, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14773>.

SILVA, E. C. B. da; LIMA, J. R. de S.; ANTONINO, A. C. D.; MELO, A. A. S. de; SOUZA, E. S. de; SOUZA, R. M. S.; SILVA, V. P. da; OLIVEIRA, C. L. de. Efeito da Irrigação Suplementar na Produtividade e Eficiência no Uso de Água da Palma Forrageira. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 13, n. 6, p. 27-44, 2020.

SILVA, T. J. A. da; SANTOS, M. N. F. dos; PACHECO, A. B.; SILVA, E. M. B.; DUARTE, T. F. Avaliação de método alternativo e de condutivímetros na determinação da condutividade elétrica do solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 3987-3996, 2020.

SILVA, G. A.; GRANGEIRO, L. C.; SOUSA, V. D. F.; SILVA, L. R., JESUS, P. M., SILVA, J. L. Agronomic performance of beet cultivars as a function of phosphorus fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 23, n. 7, p. 518-523, 2019.

SILVA, A. S.; SANTOS, E. M.; RAMOS, J. P. de F.; PERAZZO, A. F.; MUNIZ, A. C. S.; SANTOS, F. N. de S.; PEREIRA, D. M.; CRUZ, G. F. de L. Características agronômicas de variedades de *Opuntia cochenillifera* e *Nopalea cochenillifera* sob diferentes densidades de plantio. **Colloquium Agrariae**, [S.L.], v. 15, n. 6, p. 88–96, 2019.

SILVA, J. R. I.; JARDIM, A. M. da R. F.; BARROSO NETO, J.; LEITE, M. L. de M. V.; TEIXEIRA, V. I. Estresse salino como desafio para produção de plantas forrageiras. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 1-14, 2018.

SILVA, T.G.F.; MIRANDA, K.R.; SANTOS, D.C.; QUEIROZ, M.G.; SILVA, M.C.; CRUZ NETO, J.F.; ARAÚJO, J.e.M.. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 633-641, 2014.

SILVA, T. G. F.; PRIMO, J. T. A.; SILVA, S. M. S.; MOURA, M. S. B. de; SANTOS, D. C. dos; SILVA, M. da C.; ARAÚJO, J. E. M. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. **Bragantia**, [S.L.], v. 73, n. 2, p. 184-191, 2014.

SILVA, F. L. B. da; LACERDA, C. F. de; SOUSA, G. G. de; NEVES, A. L. R.; SILVA, G. L. da; SOUSA, C. H. C. Interação entre salinidade e biofertilizante bovino na cultura do feijão-de-corda. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 383-389, 2011.

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.

SILVA NETO, B.; DEZEN, M.; SANTOS, P.E. The concept of social reproduction in the analysis of units of agricultural production. **Teoria e Evidência Econômica**, n. 32, p. 87-108. 2009.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa, MG: UFV. 3ª edição, 4ª reimpressão. 2009. 235p.

SILVA, C. C. F., SANTOS, L. C. Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes. **Revista Eletrônica de Veterinária**, [S.L.], v. 7, n. 10, p. 1-13, 2007.

SILVA, F. J. A.; ARAÚJO, A. L.; SOUZA, R. O. Águas subterrâneas no Ceará—Poços instalados e salinidade. **Rev. Tecnol.**, [S.L.], v. 28, p.136–159, 2007.

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**, [S.L.], v. 6, n.3, p. 440-446. 2002.

SILVA JÚNIOR, L.G.A.; GHEYI, H.R.; MEDEIROS, J.F. Chemical composition of water in the crystalline region of northeast Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, [S.L.], v. 3, p. 11-17. 1999.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solo, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 1999. 370 p.

SOBRAL, A. C.; PEIXOTO, A. S. P.; NASCIMENTO, V. F.; RODGERS, J.; SILVA, A. M. da. Natural and anthropogenic influence on soil erosion in a rural watershed in the Brazilian southeastern region. **Regional Environmental Change**, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 709-720, 2014.

SOUSA, E.G.; SILVA, T.I.; DIAS, T.J.; RIBEIRO, D.V.; GONÇALVES NETO, A.C.; SOUSA, L.V.; GONÇALVES, A.C.M.; MOURA, J.G.; MELO FILHO, J.S. Biological fertilization as an attenuation of salinity water on beetroot (*Beta vulgaris*). **Journal of Agricultural Science**, [S.L.], v.10, n.7, p. 85-94, 2018.

SOUZA, M. de S.; ARAÚJO JÚNIOR, G. do N.; JARDIM, A. M. da R. F.; SOUZA, C. A. A. de; PINHEIRO, A. G.; SOUZA, L. S. B. de; SALVADOR, K. R. da S.; LEITE, R. M. C.; ALVES, C. P.; SILVA, T. G. F. da. Improving productivity and water use efficiency by intercropping cactus and millet. **Irrigation And Drainage**, [S.L.], p. 1-10, 2023.

SOUZA, M. de S.; ARAÚJO JÚNIOR, G. do N.; SOUZA, L. S. B. de; JARDIM, A. M. da R. F.; SILVA, G. I. N. da; ARAÚJO, G. G. L. de; CAMPOS, F. S.; LEITE, M. L. de M. V.; TABOSA, J. N.; SILVA, T. G. F. da. Forage yield, competition and economic benefit of intercropping cactus and millet with mulch in a semi-arid environment. **African Journal Of Range & Forage Science**, [S.L.], v. 40, n. 2, p. 219-230, 2022.

SOUZA, M. D. S.; SILVA, T. G. F. da; SOUZA, L. S. B. de; ALVES, H. K. M. N.; LEITE, R. M. C.; SOUZA, C. A. A. de; ARAÚJO, G. G. L. D.; CAMPOS, F. S.; SILVA, M. J. D.; SOUZA, P. J. D. O. P. de. Growth, phenology and harvesting time of cactus-millet intercropping system under biotic mulching. **Archives Of Agronomy And Soil Science**, [S.L.], v. 68, n. 6, p. 764-778, 2021.

SOUZA, J. T. A.; RIBEIRO, J. E. da S.; ARAÚJO, J. S.; RAMOS, J. P. de F.; NASCIMENTO, J. P. do; MEDEIROS, L. T. V. de. Gas exchanges and water-use efficiency of *Nopalea cochenillifera* intercropped under edaphic practices. **Comunicata Scientiae**, [S.L.], v. 11, p. e3035, 2020.

SOUZA, A. H. C., FELIX, T. D. S., DO MONTE, A. P. O., QUEIROZ, M. A., MISTURA, C., DOS SANTOS, A. E. O., MENDES, C. Q. Productivity and morphological characteristics of buffel grass intercropped with butterfly pea under shade conditions. **Bioscience Journal**, [S.L.], v. 33, n. 4, p.979-989, 2017.

SOUZA, L. S. B. de; MOURA, M. S. B. de; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. da. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. **Bragantia**, [S.L.], v. 70, n. 3, p. 715-721, 2012.

SOUZA, L. S. B. de; MOURA, M. S. B. de; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. da. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. **Bragantia**, [S.L.], v. 70, n. 3, p. 715-721, 2011.

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Nova delimitação Semiárido** 2017. Disponível em:

http://www.sudene.gov.br/images/arquivos/semiario/arquivos/Rela%C3%A7%C3%A3o_de_Munic%C3%ADpios_Semi%C3%A1rido.pdf, acesso em 26 fev. 2022.

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

TAMBARA, A. A. C., SIPPERT, M. R., JAURIS, G. C., FLORES, J. L. C., HENZ, E. L. H., VELHO, J. P. Production and chemical composition of grasses and legumes cultivated in pure form, mixed or in consortium. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v.39, n.3, p.235-241, 2017.

TAMBURINI, G., BOMMARCO, R., WANGER, T.C., KREMEN, C., VAN DER HEIJDEN, M.G.A., LIEBMAN, M., HALLIN, S. Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. **Science Advances**, [S.L.], v.6, p.eaba1715. 2020.

TAN, K. H. **Principles of soil chemistry**. New York: Marcel Dekker, 1982. 267p.

TEIXEIRA, V.I., DUBEUX JR., J.C.B., SANTOS, M.V.F. dos, LIRA JR., M. de A., LIRA, M. DE A., SILVA, H.M.S. da. Aspectos agronômicos e bromatológicos de leguminosas forrageiras no Nordeste Brasileiro. **Arch. zootec.**, Córdoba, v. 59, n. 226, p. 245-254, jun. 2010.

TERCEIRO NETO, C. P. C.; MEDEIROS, J. F. de; DIAS, N. da S.; GHEYI, H. R.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; CHIPANA-RIVERA, R.; SUDDARTH, S. R. P.; LIMA, B. L. de C.; FERNANDES, C. dos S.; LEMOS NETO, H. de S. Irrigation Management Strategies with Brackish Water in Production and Post-harvest Quality of “Toad Skin” Melon. **Water, Air, & Soil Pollution**, [S.L.], v. 232, n. 6, p. 1-9, 2021.

TESTA, G.; GRESTA, F.; COSENTINO, S.L. Dry matter and qualitative characteristics of alfalfa as affected by harvest times and soil water content. **European Journal Of Agronomy**, [S.L.], v. 34, n. 3, p. 144-152, 2011.

WANG, R.; SUN, Z.; ZHANG, L.; YANG, N.; FENG, L.; BAI, W.; ZHANG, D.; WANG, Q.; EVERS, J. B.; LIU, Y. Border-row proportion determines strength of interspecific interactions and crop yields in maize/peanut strip intercropping. **Field Crops Research**, [S.L.], v. 253, p. 107819, 2020.

WHIPPLE, C. J.; KEBROM, T. H.; WEBER, A. L.; YANG, F.; HALL, D.; MEELEY, R.; SCHMIDT, R.; DOEBLEY, J.; BRUTNELL, T. P.; JACKSON, D. P. Grassy tillers promote apical dominance in maize and responds to shade signals in the grasses. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [S.L.], v. 108, n. 33, p. 506-512, 2011.

WINTER, K.; GARCIA, M.; HOLTUM, J. A. M. On the nature of facultative and constitutive CAM: environmental and developmental control of cam expression during early growth of *clusia*, *kalanchoe*, and *opuntia*. **Journal Of Experimental Botany**, [S.L.], v. 59, n. 7, p. 1829-1840, 2007.

VALIPOUR, M. Drenagem, encharcamento e salinidade. **Arco. Agron. Ciência do Solo**, [S.L.], v. 1, p.1–16, 2014.

XIE, W.; ZHANG, K.; WANG, X.; ZOU, X.; ZHANG, X.; YU, X.; WANG, Y.; SI, T. Peanut and cotton intercropping increases productivity and economic returns through regulating plant nutrient accumulation and soil microbial communities. **Bmc Plant Biology**, [S.L.], v. 22, n. 1, p. 1-14, 2022.

XIE, J.; WANG, L.; LI, L.; ANWAR, S.; LUO, Z.; ZECHARIAH, E.; FUDJOE, S. K. Yield, Economic Benefit, Soil Water Balance, and Water Use Efficiency of Intercropped Maize/Potato in Responses to Mulching Practices on the Semiarid Loess Plateau. **Agriculture**, [S.L.], v. 11, n. 11, p. 1100, 2021.

XU, R.; ZHAO, H.; YOU, Y.; WU, R.; LIU, G.; SUN, Z.; BADEMUQIQIGE; ZHANG, Y. Effects of Intercropping, Nitrogen Fertilization and Corn Plant Density on Yield, Crude Protein Accumulation and Ensiling Characteristics of Silage Corn Interseeded into Alfalfa Stand. **Agriculture**, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 357, 2022.

WANG, X.; GAO, Y. Advances in the mechanism of cereal/legume intercropping promotion of symbiotic nitrogen fixation. **Chinese Science Bulletin**, [S.L.], v. 65, n. 2-3, p. 142-149, 2019.

YIN, W.; CHAI, Q.; ZHAO, C.; YU, A.; FAN, Z.; HU, F.; FAN, H.; GUO, Y.; COULTER, J. A.. Water utilization in intercropping: a review. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v. 241, p. 106335, 2020.

ZALAC, H.; ZEBEC, V.; IVEZIĆ, V.; HERMAN, G. Land and Water Productivity in Intercropped Systems of Walnut—Buckwheat and Walnut—Barley: a case study. **Sustainability**, [S.L.], v. 14, n. 10, p. 6096, 2022.

ZHOU, Y.; ZHU, H.; FU, S.; YAO, Q. Variation in Soil Microbial Community Structure Associated with Different Legume Species Is Greater than that Associated with Different Grass Species. **Frontiers In Microbiology**, [S.L.], v. 8, p. 1-13, 2017.