

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA  
CURSO DE BACHARELADO EM ZOOTECNIA

MONOGRAFIA

Análise de superfície de resposta de palma forrageira clone Doce Gigante  
submetido a diferentes tipos de estresses

Álefe Chagas de Lima Costa

2022



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA  
CURSO DE BACHARELADO EM ZOOTECNIA

MONOGRAFIA

Análise de superfície de resposta de palma forrageira clone Doce Gigante  
submetido a diferentes tipos de estresses

Álefe Chagas de Lima Costa

Graduando

Orientador: Prof. Dr. Leandro Ricardo Rodrigues de Lucena

Serra Talhada– PE

Setembro de 2022

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

---

- C838a de Lima Costa, Álefe Chagas  
Análise de superfície de resposta de palma forrageira clone Doce Gigante submetido a diferentes tipos de estresses  
/ Álefe Chagas de Lima Costa. - 22.  
59 f. : il.
- Orientador: Leandro Ricardo Rodrigues de Lucena. Inclui referências.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Zootecnia, Serra Talhada, 22.
1. Nopalea cochenillifera. 2. Estresse salino. 3. Estresse hídrico. I. Lucena, Leandro Ricardo Rodrigues de, orient. II. Título



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA  
CURSO DE BACHARELADO EM ZOOTECNIA

ÁLEFE CHAGAS DE LIMA COSTA

Graduando

Monografia submetida ao Curso de Zootecnia como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Zootecnia.

Entregue em ...../...../..... Média: \_\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Leandro Ricardo Rodrigues de Lucena, Nota  
Dr. em Biometria e Estatística Aplicada

Assinatura

---

Mauricio Luiz de Mello Vieira Leite, Dr. em Zootecnia Nota

Assinatura

---

Marco Aurélio Carneiro de Holanda, Dr. em Zootecnia Nota

Assinatura

## **Dedicatória**

Dedico primeiramente a Deus, que foi minha grande força em momentos difíceis, e aos meus pais (Francisco das Chagas Costa e Elizângela Gomes de Lima Costa), a minha vó (Dona Eliza) pelo amor e apoio em todos os momentos, e a minha noiva Mariana Vasconcelos pelo o apoio durante todo esse ciclo.

## **Agradecimentos**

A Deus por proporcionar esse momento!

Ao meu pai e minha mãe, pelo apoio, carinho dedicação e também por acreditarem nesse sonho. Amo vocês!

Agradeço imensamente a minha noiva por todo o apoio, e conselhos ditos durante essa fase da graduação, saiba que te amo!

Agradeço também aos meus queridos amigos (as), que se tornaram a minha família em Serra Talhada, por todos os momentos que passamos juntos e por sempre estarem ao meu lado: Antonio Dennys, Fredson Luan, Jessica Sobral e Igor Masterson. Agradeço também, a todos os outros amigos de turma, Hugo Feitosa, Gabriel Bezerra, Maria Izabel, Renan Souza, com os quais aprendi muito durante esse tempo.

Ao meu orientador e amigo, professor Leandro Ricardo Rodrigues de Lucena, por todos ensinamentos, conselhos, críticas, elogios, comprometimento durante a orientação e parceria profissional. Sou grato ao senhor, tenho como um exemplo de pessoa e profissional.

Agradeço também, ao meu amigo e professor Maurício Leite, pois foi a pessoa responsável por grande parte da minha evolução profissional dentro da Universidade, por todo ensinamento passado durante todo o período de aprendizado no Grupo de Estudos em Forragicultura (GEFOR), Gratidão ao senhor qual se tornou meu grande amigo.

Agradeço ao professor Marco Aurélio, que além de professor se tornou um grande amigo, sou grato por todos os ensinamentos e broncas, o senhor é um exemplo de profissional, muito obrigado por tudo! Estendo meus agradecimentos, a professora Mônica Calixto, a qual contribuiu com seus ensinamentos e conselhos, como reconhecimento de sua ética e comprometimento profissional, que foram fundamentais para minha formação profissional.

Desse modo, estendo meus profundos agradecimentos a todos os professores do curso de Zootecnia da UAST, vocês foram fundamentais para minha formação como Zootecnista, gratidão a todos (as)! Os quais cito nominalmente.

Levo meus agradecimentos, a todos os colaboradores da UAST, por todo o apoio e dedicação. Que Deus abençoe a vida e o trabalho de vocês.

Agradeço também a todos que de alguma forma contribuíram com o meu crescimento profissional e pessoal, aos que torceram pelo meu sucesso e me impulsionaram mesmo que não tenham a consciência disso;

Gratidão por mais uma etapa concluída e por, mesmo em meio a todas as dificuldades e o caos desse último ano, ter conseguido. Com Deus no controle, tudo é possível e nenhuma dificuldade é capaz de nos deter.

## RESUMO

As plantas forrageiras são consideradas um dos principais fatores para o desenvolvimento da pecuária no mundo, por proporcionar um alto potencial de produção de fitomassa, tolerância à seca, alto valor energético. Com isso se faz necessário o conhecimento das curvas de crescimento de uma espécie, pois vai promover informações muito úteis no cultivo e manejo de populações naturais, com grande importância na produção, dentre o ajuste de curvas de crescimento evidencia-se a metodologia de superfície de resposta que se trata de uma coleção de técnicas estatísticas fundamentais para modelagem e análise nas aplicações em que a resposta de interesse seja influenciada por duas ou mais variáveis, qual tem o objetivo de otimizar a resposta em função dos efeitos combinados das variáveis em teste. Objetivou-se avaliar as características morfométricas de *Nopalea cochenillifera* clone Doce Gigante em função do estresse hídrico e salino. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4x4, sendo composto de quatro níveis de lâminas de irrigação e quatro níveis de salinidade, com quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais. Para avaliação do déficit hídrico foram utilizadas quatro disponibilidades de água no solo (25, 50, 75 e 100% ETc). Para o déficit salino foram utilizados quatro níveis de salinidade da água de irrigação, decorrentes de diferentes condutividades elétricas (CEa) (0, 2, 4 e 8 dS m<sup>-1</sup>). Foram avaliadas as seguintes características morfométricas: Altura de planta, comprimento, largura, espessura, número de cladódios e área de cladódios. As análises realizadas foram por meio do software R-project, versão 2.13.1 for Windows. Os estresses hídrico e salino interferem nas características morfométricas do clone Doce Gigante na espécie *Nopalea cochenillifera*, comprometendo o crescimento vegetativo da planta, a evapotranspiração da cultura na faixa de 54% e 64%, e 3,5 a 5,3 dS/m de salinidade promovem maior crescimento do clone Doce Gigante sem alterar as características morfológicas, maior rendimento de fitomassa.

**Palavras chave:** *Nopalea cochenillifera*, Estresse salino, Estresse hídrico.

## ABSTRACT

Forage plants are considered one of the main factors for the development of livestock in the world, for providing a high potential for phytomass production, drought tolerance, high energy value. With this, it is necessary to know the growth curves of a species, as it will provide very useful information in the cultivation and management of natural populations, with great importance in production, among the adjustment of growth curves, the surface methodology of response that is a collection of fundamental statistical techniques for modeling and analysis in applications where the response of interest is influenced by two or more variables, which has the objective of optimizing the response as a function of the combined effects of the variables under test. The objective was to evaluate the morphometric characteristics of *Nopalea cochenillifera* clone Doce Gigante as a function of water and saline stress. The design used was completely randomized in a 4x4 factorial scheme, consisting of four levels of irrigation depths and four levels of salinity, with four replications, totaling 64 experimental units. To evaluate the water deficit, four water availability in the soil (25, 50, 75 and 100% ETc) were used. For saline deficit, four irrigation water salinity levels were used, resulting from different electrical conductivities (ECa) (0, 2, 4 and 8 dS m<sup>-1</sup>). The following morphometric characteristics were evaluated: plant height, length, width, thickness, number of cladodes and cladode area. The analyzes were performed using the R-project software, version 2.13.1 for Windows. The water and saline stresses interfere in the morphometric characteristics of the clone Doce Gigante in the species *Nopalea cochenillifera*, compromising the vegetative growth of the plant, the evapotranspiration of the culture in the range of 54% and 64%, and 3.5 to 5.3 dS/m of salinity promote greater growth of the clone Doce Gigante without changing the morphological characteristics, greater yield of phytomass.

Keywords: *Nopalea cochenillifera*, Salt stress, Water stress.

## Lista de Figuras

Figura 1. Área de estudo .....	22
Figura 2. Esquema amostral .....	24
Figura 3 – Localização da área de estudo.....	29
Figura 4 – Figura 4 - Esquema de exemplo.....	31
Figura 5 - Superfície de resposta da área do cladódio de <i>N. cochenillifera</i> . ....	36
Figura 6 - Superfície de resposta da altura de plantas de <i>N. cochenillifera</i> . ....	36
Figura 7 - Superfície de resposta do comprimento do cladódio de <i>N. cochenillifera</i> .....	37
Figura 8 - Superfície de resposta da largura do cladódio de <i>N. cochenillifera</i> .....	38
Figura 9 - Resposta superficial da espessura do cladódio de <i>N. cochenillifera</i> .....	38
Figura 10. Superfície de resposta da área do cladódio de <i>N. cochenillifera</i> .....	47
Figura 11. Superfície de resposta da altura da planta de <i>N. cochenillifera</i> . . ....	47
Figura 12. Superfície de resposta do comprimento do cladódio de <i>N. cochenillifera</i> . . ....	48
Figura 13. Superfície de resposta da largura do cladódio de <i>N. cochenillifera</i> . ....	48
Figura 14. Superfície de resposta da espessura do cladódio de <i>N. cochenillifera</i> . ....	49

## Lista de Tabelas

Tabela 1. Descrição dos tratamentos utilizados.....	24
Tabela 2 - Descrição dos tratamentos utilizados .....	31
Tabela 3 - Média e desvio padrão das características morfológicas do clone Doce Gigante ( <i>N. cochenillifera</i> ) em função da água (ETc = evapotranspiração da cultura) e do estresse salino aos 150 dias após o plantio. . . . .	34
Tabela 4 - Superfície de resposta das características morfológicas dos cladódios, critérios de adequação (R <sup>2</sup> ) e níveis ótimos de %ETc e salinidade da água. . . . .	35
Tabela 5. Média e desvio padrão das medidas morfológicas do clone Doce Gigante em função da cultura evapotranspiração (ETc) e estresse salino aos 330 dias após o plantio .....	45
Tabela 6. Superfície de resposta da área, altura, comprimento, largura e espessura do clone Doce Gigante, critérios de adequação (R <sup>2</sup> ) e níveis ótimos de %ETc e salinidade da água. .	46

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>14</b>
2.1 Características do semiárido brasileiro_ .....	14
2.2 Impacto da salinidade nas plantas forrageiras .....	15
2.3 Impacto do déficit hídrico nas plantas forrageiras .....	18
2.4 Impacto do déficit hídrico nas plantas forrageiras .....	20
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>21</b>
3.1 Objetivo geral .....	21
3.2 Objetivos específicos .....	21
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>21</b>
<b>5. CAPÍTULO I</b> .....	<b>27</b>
<b>6. CAPÍTULO II</b> .....	<b>42</b>
<b>7. CONCLUSÃO</b> .....	<b>53</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>53</b>

## 1.INTRODUÇÃO

As plantas forrageiras são consideradas um dos principais fatores para o desenvolvimento da pecuária no mundo, por proporcionar um alto potencial de produção de fitomassa, tolerância à seca, alto valor energético, uma grande reserva de água e a sua fácil propagação (PEREIRA et al., 2018).

A palma forrageira tem contribuído para o desenvolvimento socioeconômico do Semiárido brasileiro, por se tratar de uma cultura forrageira com uma boa adaptação às condições climáticas da região (SILVA et al. 2012). O Semiárido brasileiro apresenta temperaturas médias elevadas e precipitações médias anuais de 300-700 mm, extremamente concentradas. Sendo assim, o uso e a produção da palma forrageira é uma das estratégias para o auxílio à convivência da pecuária regional com a seca (SILVA et al. 2012).

As regiões de condições semiáridas têm como característica expressiva uma baixa precipitação, com chuvas irregulares e altas temperaturas, que interferem diretamente na disponibilidade de alimentos para a produção animal. Sendo assim o cultivo de espécies forrageiras que melhor se adaptam a estas condições é essencial para controlar perdas na produção e prejuízos financeiros nos sistemas de produção de ruminantes (MAQUES et al., 2017).

Devido ao cenário dessas regiões a palma forrageira, tem ganhado destaque por apresentar tolerância ao déficit hídrico e salino (FREIRE et al., 2018; LEITE et al., 2014) com ênfase para a espécie *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck por ser resistente a *Dactylopius opuntia* (Cochonilha-do-carmim). Por isso se faz necessário o estudo sobre o crescimento da palma forrageira com essas condições.

O conhecimento das curvas de crescimento de uma espécie é de extrema importância, pois vai promover informações muito úteis no cultivo e manejo de populações naturais, com grande importância biológica, onde possibilitam a viabilidade do cultivo de uma espécie pela avaliação da sua taxa de crescimento (LEITE et al., 2017, LUCENA et al., 2016 e MANGUEIRA et al., 2016).

O conhecimento do desempenho das plantas forrageiras em condições de estresse hídrico é fundamental para colaborar no entendimento do efeito do período “seco” na

produção de forragem, permitindo promover o uso de práticas de manejo viáveis para levar a melhora do cultivo durante esse período (ARAÚJO JUNIOR. et al., 2019).

As plantas forrageiras com a influência do estresse hídrico acabam sofrendo com o estresse salino, visto que as águas das regiões semiáridas apresentam elevadas concentrações de sais (SILVA et al., 2018). Esse acúmulo de sais no solo leva a um ambiente desfavorável para o desenvolvimento das plantas, alterando de forma negativa, o crescimento das culturas, assim reduz a produtividade das plantas forrageiras em áreas agrícolas (MUNNS e TESTER, 2008). O estresse salino também ocasiona o fechamento estomático qual induz a redução na assimilação de CO<sub>2</sub> e por consequência um menor crescimento da planta e menor acúmulo de biomassa (SILVA et al., 2018).

O ajuste de curvas de crescimento se trata de uma ferramenta fundamental para adquirir o conhecimento do crescimento da planta e de seus estádios fenológicos (LEITE et al., 2017, LUCENA et al., 2016). As curvas de crescimento geram informações importantes como: manejo adequado da cultura, período de maior crescimento da planta, época mais adequada para adubação e controle de pragas (MANGUEIRA et al., 2016).

Dentre o ajuste de curvas de crescimento evidencia-se a metodologia de superfície de resposta (MSR) que se trata de uma coleção de técnicas estatísticas fundamentais para modelagem e análise nas aplicações em que a resposta de interesse seja influenciada por duas ou mais variáveis, com o objetivo de otimizar a resposta em função dos efeitos combinados das variáveis em teste (LUCENA et al., 2019a e 2019b).

## **2.REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Características do semiárido brasileiro**

Devido à irregularidade das chuvas e aos baixos índices pluviométricos (abaixo de 800 mm por ano) grande parte da região semiárida enfrenta problemas com a falta de água, sendo esse motivo de dificuldades para o desenvolvimento das atividades agrárias e agropecuárias. A ausência de sistemas eficientes para o armazenamento da água, os ciclos de fortes estiagens, secas e enchentes, costumam atingir a região em intervalos que vão de períodos curtos a longos (MARENGO et al., 2011).

O Semiárido nordestino manifesta altas taxas de insolação, altas temperaturas e baixas amplitudes térmicas. Os seus totais pluviométricos são baixos e apresentam alta variabilidade no tempo e no espaço. Com ocorrência de altas taxas de evapotranspiração e alto déficit hídrico. A estação chuvosa dura em torno de 3 a 5 meses, enquanto a estação seca por um período de 7 a 9 meses, em média. Isso ocorre devido a atuação de diferentes sistemas atmosféricos, onde a permanência sobre a região é moderadamente curta (ZANELLA et al., 2014).

A região semiárida brasileira tem como destaque de sua característica a ocorrência de precipitações concentradas durante um curto período chuvoso, seguido de um longo período sem chuvas. Sendo essa característica climática o principal fator que interfere na produção agropecuária desta região, por isso se faz importante a aplicação de estratégias específicas que leve ao maior rendimento na produção de forragens (PERAZZO et al., 2013).

A região do semiárido nordestino, apesar de manifestar irregularidades climáticas, apresenta destaque nacionalmente no setor pecuário, com evidência na ovinocaprinocultura. Porém, para o crescimento desse setor é importante que haja a disponibilidade de alimento de qualidade, a qual pode ser adquirida a partir do uso de irrigação na produção de forragem (SILVA et al., 2014).

## 2.2 Impacto da salinidade nas plantas forrageiras

A salinização do solo é um problema que vem ocorrendo e em crescimento em todo o mundo. Os solos afetados por sais são especialmente encontrados em climas áridos e semiáridos. Nestes locais de clima semiárido é comum a ocorrência de solos com altas concentrações de sais, sendo que alguns deles apresentam-se salinizados, independentes da ação do homem, ou seja, são salinos por natureza (SANTOS et al., 2020).

Quando se refere a regiões semiáridas, além da preocupação com a água que será usada na irrigação vale salientar a importância da escolha da cultura que vai ser cultivada, já que não são todas as espécies que aceitam a salinidade e conseguem produzir de forma satisfatória no nordeste. Uma das principais culturas agrônomicas cultivadas no nordeste é a palma forrageira (*Nopalea cochenillifera*) por conter aceitabilidade pelos animais, com uma alta produção por hectare, além do fator de se destacar como uma excelente fonte de nutrientes para os animais (SANTOS et al., 2020).

Rassol et al., (2013) relataram que durante o início e o desenvolvimento do estresse salino dentro de uma planta, todos os principais processos, como fotossíntese, síntese de proteínas e metabolismo energético e lipídico sofrem alterações, por meio de algumas características principais, como o estresse hídrico, causado pelo aumento da pressão osmótica do solo pela solução salina e o estresse iônico, causado pelo desequilíbrio nutricional e/ou específico, devido aos efeitos de alguns elementos presentes em altas concentrações na planta (MIURA, 2013; QADIR; OSTER, 2004), levando a uma perda de turgidez e desidratação nas células, podendo ocasionar a sua morte (SHRIVASTAVA; KUMAR, 2015).

A salinidade ocasiona interferência nas rotas metabólicas de diferentes minerais que estão presentes no vegetal. No ciclo de nitrogênio, o efeito iônico interfere na absorção de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e na sua redução para amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), além de afetar a síntese das proteínas (FRECHILLA et al., 2001).

No Semiárido brasileiro fontes de águas com baixos teores de sais e de boa qualidade para irrigação são escassas, sendo prioridade para o consumo humano. Porém nesta região encontram-se fontes superficiais ou subterrâneas de água com elevadas concentrações de sais que dificultam o seu uso para agropecuária ou consumo humano. A prática de irrigação contribui de forma natural, na incorporação de sais ao solo, sendo assim um risco de salinização quando ocorre o manejo inadequado de água, solo e cultura (FELIX et al., 2018).

Sendo a palma forrageira de extrema importância como fonte de alimento para o setor agropecuário da região semiárida, principalmente nos períodos de estiagem, surge então um novo desafio, que se trata de identificar a sua tolerância, ao uso da água salina na irrigação. Além de verificar a disponibilidade de águas com altos teores de sais, e quais os riscos que o manejo inadequado de tais recursos hídricos somados a necessidade de ter a palma forrageira nos períodos de escassez de chuvas, demonstra-se ser necessário um estudo aprofundado da tolerância da mesma a tais situações (FELIX et al., 2018).

Dentre os diversos fatores que podem causar estresse as plantas, o estresse salino é um dos principais responsáveis para redução da produtividade em áreas agrícolas. (MUNNS e TESTER, 2008), sendo a questão osmótica um desses efeitos, onde o acúmulo dos sais no solo promove redução no potencial hídrico do solo, levando a planta a gastar

mais energia para que consiga continuar absorvendo água ou realizar o processo de fechamento estomático para manutenção do status hídrico, portanto, nesta última ocorrerá limitações na absorção de CO<sub>2</sub>, o que pode colaborar com a redução da atividade fotossintética, levando ao menor crescimento da planta, juntamente com um maior estresse térmico devido a redução da transpiração. Outra fase, pode ser definida como iônica, qual ocorre a partir do acúmulo dos íons salinos no tecido vegetal, ocasionando intoxicação, e por consequência, a morte dos tecidos vegetais. Sendo assim o estresse salino é iniciado pelo acúmulo de sais no solo, processo denominado de salinização (SILVA et al.,2018).

São incontáveis os efeitos dos sais sobre as plantas, sendo eles diretos ou indiretos. Um efeito seria a diminuição do potencial de água do solo, onde ao adicionar uma medida de água salina ao solo, o potencial osmótico passa de mínimo para compor uma fração considerável do potencial total de água no solo (DUARTE e SOUZA, 2016). Por meio desta condição, as plantas reagem, realizando o ajuste osmótico, para que as raízes possam continuar a absorver água. Esse ajuste acontece devido a concentração de prolina, carboidratos solúveis e entre outros compostos solúveis semelhantes no tecido vegetal (RODRÍGUEZ et al., 2010). Através dessa concentração, as plantas conseguem deixar o seu potencial hídrico inferior ao do solo possibilitando a absorção de água, no entanto, as plantas têm um gasto desmoderado de energia para a ação desse ajuste.

O fechamento estomático leva a uma diminuição na assimilação de CO<sub>2</sub> e por consequência um menor crescimento da planta. Além de uma menor concentração de biomassa, a menor absorção de CO<sub>2</sub> promovendo uma diminuição na velocidade do Ciclo de Calvin, pelo motivo de menos CO<sub>2</sub> entra no mesófilo foliar, provocando uma sobra de elétrons oriundos da parte fotoquímica da fotossíntese, podendo converter-se na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), já que os elétrons livres se ligarão ao oxigênio (SILVA et al., 2010).

O desenvolvimento do processo de salinização do solo pode ocorrer tanto de forma natural ou pela ação humana. A salinidade primária, se trata daquela que ocorre por causas naturais ocorre em consequência dos processos hidrológicos, geológicos e pedológicos naturais e do material de origem (YADAV, 2011). Os fatores climáticos e o regime pluvial podem contribuir de forma acelerada com o desenvolvimento da salinização, principalmente se tratando das regiões áridas e semiáridas, no qual a

evapotranspiração desempenha evidente papel na formação dos solos (MURKUTE, 2005). A salinização secundária pode acontecer por inúmeras práticas ligadas ao manejo incorreto do solo. O progresso de salinização antrópica geralmente está relacionado como efeito da utilização de métodos errôneos de irrigação, além do uso de águas de má qualidade, de forma com que os sais se acumulem no solo (PEDROTTI, 2015).

Todavia, outras práticas também se correlacionam como fatores que interferem no desenvolvimento de salinização dos solos, entre elas a ação do desmatamento, o qual é identificado como um dos principais fatores da salinização, visto que a realização do mesmo leva a uma diminuição da precipitação média e por consequência o aumento da temperatura da superfície (PEDROTTI, 2015).

A salinidade acomete todos os estágios do crescimento, no entanto, deve-se enaltecer que a germinação, a emergência e o crescimento inicial geralmente são as fases mais prejudicadas pela salinidade (IVUSHKIN, 2019). As concentrações de sais interferem no funcionamento das raízes por conta da diminuição do potencial osmótico, sendo assim reduz a absorção de nutrientes pelas plantas (MURKUTE, 2005).

### 2.3 Impacto do déficit hídrico nas plantas forrageiras

Dentre os fatores que ocasionam o estresse hídrico na planta danificando a sua produtividade e a persistência de espécies forrageiras, pode-se evidenciar como fator fundamental o déficit hídrico. O estresse hídrico pode acontecer durante o desenvolvimento das plantas, podendo resultar uma diminuição temporária do crescimento e da biomassa. A estação da seca se trata do período onde o déficit hídrico em plantas pode ser visto de forma mais comum, pois a água presente no solo não está disponível durante pequenos ou longos períodos, ocasionando uma limitação das atividades fisiológicas da planta (CAVALCANTE et al., 2009).

O potencial hídrico entre o solo e a raiz está diretamente ligado com a absorção de água pelas raízes. Quando ocorre uma diminuição do potencial hídrico devido ao solo estar seco, as plantas passam a demonstrar dificuldade para realizar a extração de água do solo de forma rápida o suficiente para equilibrar as suas perdas pela transpiração. Nessas condições as plantas murcham e isso ocorre pelo efeito da perda de turgor. Em alguns casos onde as condições do conteúdo de água no solo se tornam muito reduzido a planta

se torna incapaz de extrair água do solo, desta forma a perda de turgor se torna permanente (PAIVA & OLIVEIRA, 2006).

Mattos et al., (2005) relata que deficiência de água no solo influencia nas relações hídricas, fisiológicas e morfológicas das plantas forrageiras ao ponto de ocasionar o estresse hídrico, que, de acordo com a intensidade pode limitar severamente a produção de forragem como também a sobrevivência da espécie.

O déficit hídrico se trata de uma condição comum à produção de diferentes culturas, qual pode expressar impactos negativo substancial ou severo no comportamento vegetal em diferentes fases do desenvolvimento das plantas (LECOEUR & SINCLAIR, 1996; OLIVEIRA et al., 2020)

O estresse hídrico ocasiona graves danos ao desenvolvimento das plantas, bem como interfere diretamente no desenvolvimento foliar, tornando-se esse um dos fatores principais para a recepção de fotoassimilados que são fundamentais para o desenvolvimento inicial das raízes, qual atuam na absorção de água e nutrientes do solo, que são essenciais para a tolerância ao déficit hídrico, especialmente quando bem desenvolvidas; quando a área foliar tem o seu desenvolvimento afetado, pode levar a sérios prejuízos na produção, pois a produção está diretamente relacionada a esse fator (BOMFIM-SILVA et al., 2011).

Quando as plantas são sujeitas ao estresse hídrico, elas passam por alterações no seu sistema metabólico, onde entre eles podem acontecer, o fechamento estomático, a limitação da condutância estomática, a limitação da fotossíntese e transpiração, nos quais esses fatores afetam diretamente na redução da taxa de crescimento vegetal, no entanto esses fatores ocasionam nas plantas a capacidade de se manterem vivas por um maior período de tempo quando submetidas a esse tipo de adversidade, reduzindo a possibilidade de morte por dessecação (SCALONI et al., 2011).

A água é fundamental para a maioria das reações metabólicas dos processos bioquímicos e fisiológicos que acontecem nos organismos vegetais, sendo eles o desenvolvimento da plântula, a ação na estrutura e nas propriedades das proteínas, das membranas, dos ácidos nucleicos e de outros constituintes celulares (COELHO et al., 2010).

O déficit hídrico é notado em várias culturas e a tolerância ao estresse hídrico vai depender do genótipo, do tempo de duração, da gravidade e da fase de desenvolvimento da planta; expondo a importância de estudos relacionados as relações hídricas e interações ocasionadas pelo déficit hídrico temporário nos processos fisiológicos, conhecendo que esse fator pode provocar mecanismos de adaptação nas culturas (BRITO et al., 2012).

Contudo, a restrição dos recursos hídricos no Semiárido brasileiro leva a uma necessidade do conhecimento da demanda hídrica, mas como da eficiência do sistema de produção. Sendo assim, a caracterização de indicadores da eficácia do uso de água, vem a ser fundamental, por estabelecer parâmetros cruciais para a potencialização da produtividade das culturas (ARAYA et al., 2011; PEREIRA; CORDERY; IACOVIDES, 2012).

#### 2.4 Importância da Palma Forrageira

A palma forrageira (*Nopalea* sp.) se trata de uma planta que detém a capacidade de adaptação em regiões áridas e semiáridas, aceitando as condições de altas temperaturas e solos diversos (FAO, 2001).

A palma forrageira pertence à família das cactáceas, formadas da região da América tropical e subtropical, e, expressa elevado potencial de utilização, podendo ser cultivada em todas as regiões áridas e semiáridas do mundo (Nobel, 1995).

A palma é uma cactácea exótica, bastante conhecida no Brasil como palma forrageira, sendo o seu local de origem o continente americano, especificamente no México, as espécies estudadas apresentam diversas finalidades, além de serem utilizadas para fins forrageiros, como também são utilizadas na alimentação humana, e como produção de corantes, frutos, bebidas, cremes, etc (Lopes et al., 2012).

Entre as diversas variedades de palma existentes, as mais difundidas no Nordeste são: a palma miúda (*Nopalea cochenillifera*), palma gigante e a palma redonda (*Opuntia ficus-indica*) (Almeida et al., 2018), estas variedades se sobressai por apresentarem alta produtividade, uma maior resistência a seca e maior susceptibilidade a cochonilha-do-carmim, sendo está uma grande ameaça para os palmais, devido a mesma ocasionar sérios prejuízos, em consequência da sua agressividade em debilitar as plantas. A palma miúda tem como características que se destacam, a menor susceptibilidade a cochonilha-do-

carmim, a sua baixa resistência a seca, o bom valor nutritivo e sua maior produção de matéria seca (Vasconcelos et al., 2009; Almeida et al., 2011).

A Palma exibe uma grande resistência às condições de baixa disponibilidade hídrica. Obtendo essa capacidade adaptativa devido ao mecanismo fotossintético das plantas e as suas adaptações na epiderme (Scheinvar, 2012).

A palma é uma cultura de extrema importância, para os pecuaristas do semiárido, devido a sua adaptabilidade ao clima, pela sua composição química e digestibilidade que expressa. Isso mostra a importância como um alimento energético e de boa qualidade, necessita, todavia, ser complementado com alimentos proteicos e fibrosos (Santos et al., 2012).

### **3.OBJETIVOS**

#### 3.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho das características morfométricas de *Nopalea cochenillifera* clone Doce Gigante em função do estresse hídrico e salino.

#### 3.2 Objetivos específicos

Estimar a área do cladódio, altura de planta, comprimento, largura, espessura e número de cladódio da palma forrageira clone Doce Gigante submetida a déficit hídrico e salino utilizando modelagem estatística

### **4.MATERIAL E MÉTODOS**

A pesquisa foi conduzida na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST), Serra Talhada, Pernambuco, Brasil (Altitude: 523 m, latitude: 7° 57' 01" S e longitude: 38° 17' 53" O) (Figura 1).

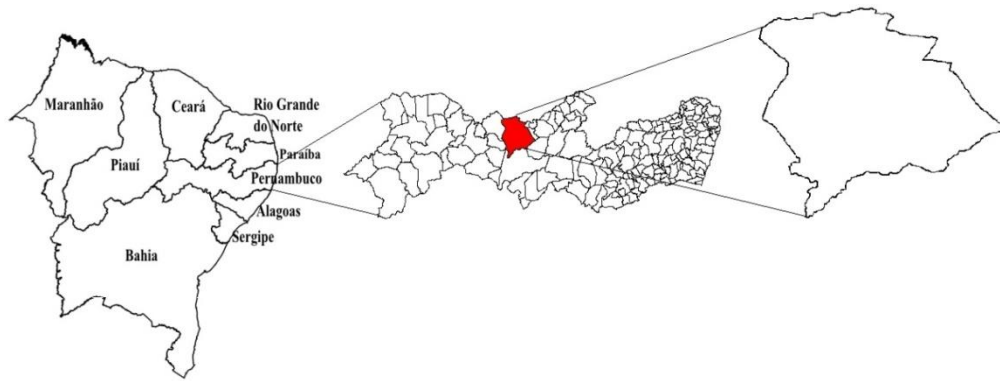


Figura 1. Área de estudo

Conforme a classificação de Köppen, o clima é do tipo BSw<sup>h</sup>, denominado Semiárido, quente e seco, chuvas de verão-outono (LEITE et al., 2019) com pluviosidade média anual de 632,2 mm/ano, temperaturas do ar médias de 26 °C e umidade relativa do ar média de 60% (LUCENA et al. 2018).

O solo utilizado no experimento (Typical Haplic Cambisol Ta Eutrophic) foi coletado a uma profundidade de 0-20 cm, em seguida, homogêneo e passado em peneira de 2,0 mm. O solo após análise é caracterizado pelos seguintes atributos químicos: pH (água) = 7,20; P (extrator Mehlich I) = 40 mg dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup> = 0,45; Ca<sup>2+</sup> = 5,3; Mg<sup>2+</sup> = 1,10; Al<sup>3+</sup> = 0,0 cmolc dm<sup>-3</sup> (ALMEIDA et al., 2017).

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 4x4, sendo composto de quatro níveis de lâminas de irrigação e quatro níveis de salinidade, com quatro repetições totalizando 64 unidades experimentais.

Para avaliação do déficit hídrico foram utilizadas quatro disponibilidades de água no solo (25, 50, 75 e 100% ET<sub>c</sub> = evapotranspiração da cultura). Para calcular a capacidade de campo aproximada do solo, foi determinada a massa inicial do conjunto vaso + solo + areia, de todos os vasos e, em seguida, adicionado água até elevá-los a condição de saturação.

Para evitar a perda de água por evaporação, os vasos foram cobertos com filme plástico, e colocados sobre tijolos para que possam perder água apenas por drenagem durante um período de 24 horas, tempo necessário para atingirem massa constante. Mediante a diferença de massa entre os vasos com solo na capacidade de campo e com

solo seco, foi possível determinar a quantidade máxima de água que os solos dos vasos reterão.

Posteriormente, foram calculadas as lâminas para as condições de água disponível pré-determinadas. O conteúdo de água em cada vaso foi controlado diariamente, com base no método gravimétrico, utilizando-se balança com precisão de 20,0 g, repondo-se o volume de água consumido (evapotranspiração) pelo sistema solo-planta, conforme Casaroli e Lier (2008).

Para o déficit salino foram utilizado quatro níveis de salinidade da água de irrigação, decorrentes de diferentes condutividades elétricas (CEa) (0, 2, 4 e 8 dS m<sup>-1</sup>) (Lucena et al., 2019a). De acordo com a classificação da água para irrigação quanto ao risco de salinidade, proposta pela *University of California Committee of Consultants* (FRENKEL, 1984), os níveis de CEa (0, 2, 4 e 8 dS m<sup>-1</sup>) estão classificados como C1 (baixo risco), C3 (risco alto) e C4 (risco muito alto). Para a obtenção dos níveis salinos foram acrescentados em água destilada sais de cloreto de sódio (NaCl). Em laboratório, os níveis de 2, 4 e 8 dS m<sup>-1</sup> foram obtidos através das concentrações de sais de (NaCl) correspondentes à 1,16, 2,32 e 4,64 g/L, respectivamente (LUCENA et al., 2019a).

As palmas forrageiras foram plantadas em vasos com capacidade de 14,41 dm<sup>3</sup>, em cada vaso foi plantado um cladódio de palma forrageira clone Doce Gigante colocando-se 15 kg de solo. Os vasos serão dispostos no espaçamento de 0,3 x 0,3 m e colocados sobre blocos de tijolo para evitar o contato direto dos mesmos com solo e facilitar a coleta de água drenada.

Antes do plantio foi sorteado o tratamento que cada vaso recebeu, por meio de sistema de sorteio computadorizado utilizando o software R-project, onde cada vaso recebeu um número de 1 a 64. Sendo os números de 1 a 4 para o tratamento 1, 5 a 8 para o tratamento 2, ..., 57 a 60 para o tratamento 15, e 61 a 64 para o tratamento 16. Os tratamentos foram a combinação da lâmina de irrigação com o nível de salinidade utilizado conforme descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos utilizados

Nível hídrico (ETc)	Nível de Salinidade (dS m <sup>-1</sup> )			
	0	2	4	8
25%	T1	T2	T3	T4
50%	T5	T6	T7	T8
75%	T9	T10	T11	T12
100%	T13	T14	T15	T16

O resultado do sorteio para alocação dos tratamentos em avaliação nas referidas unidades amostrais do experimento se deu conforme Figura 2.

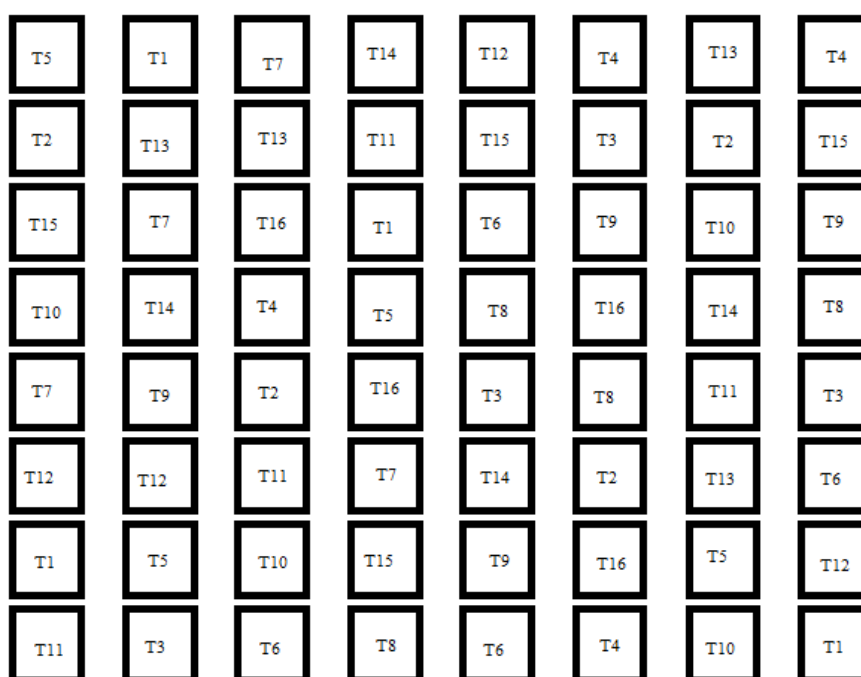


Figura 2. Esquema amostral

Foram avaliadas as seguintes características morfométricas: Altura de planta, comprimento, largura, espessura de cladódios, número de cladódios e área de cladódios.

A área dos cladódios foi estimada pelo produto do comprimento pela largura dos cladódios segundo metodologia de Lucena et al. (2019c). Foram realizadas avaliações quinzenais totalizando 8 avaliações durante o período experimental. Os valores das variáveis morfométricas foram digitados em planilha de Excel e as análises realizadas por meio do software R-project, versão 2.13.1 for Windows.

Para análise da altura de planta (AP), comprimento de cladódio (CC), largura de cladódio (LC), espessura de cladódio (EC), número total de cladódio (NC) e área de cladódio (AC) foi utilizada a metodologia de análise de superfície de resposta. Definiu-se a superfície de resposta para este estudo como sendo a representação geométrica obtida quando uma variável resposta é plotada como uma função de dois fatores quantitativos. A função pode ser assim definida:

$$Y = f(X_1, X_2) + \varepsilon$$

onde, Y é a resposta (da altura de planta, comprimento de cladódio, largura de cladódio, espessura de cladódio, número de cladódio totais e área de cladódio);  $X_1$  e  $X_2$  são os fatores (nível hídrico e salino) e  $\varepsilon$  é o erro aleatório. Denota-se a resposta esperada por:

$$E(Y) = f(X_1, X_2) = \eta$$

então,

$$\eta = f(X_1, X_2)$$

é chamada de superfície de resposta (Lucena et al., 2019a e 2019b).

No presente estudo a função  $f(X_1, X_2)$  é definida por:

$$Y = f(X_1, X_2) + \varepsilon = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_1 X_2 + \beta_4 X_1^2 + \beta_5 X_2^2 + \varepsilon$$

em que,  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  e  $\beta_5$  são os parâmetros desconhecidos.

O modelo acima pode ser escrito na seguinte forma matricial:

$$Y = \beta X + \varepsilon$$

em que,  $Y' = [Y_1, Y_2, \dots, Y_N]$ ,  $X$  é a matriz  $N \times p$ ;  $p=6$ ;  $\beta$  é um vetor  $p \times 1$  de parâmetros desconhecidos e  $\varepsilon' = [\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_N]$ . Utilizando o estimador de mínimos quadrados para o modelo tem-se que a estimativas dos parâmetros é expressa por:

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'Y$$

A fim de encontrar os níveis ótimos de nível hídrico (H) e grau de salinidade (S) de *N. cochenillifera* clone Doce Gigante que maximize altura de planta, comprimento de cladódio, largura de cladódio, espessura de cladódio, número total de cladódio e área de cladódio recorreremos ao ponto estacionário. Este ponto se existir será calculado da seguinte forma:

$$\frac{\partial \hat{Y}}{\partial X_1} = 0 \text{ e } \frac{\partial \hat{Y}}{\partial X_2} = 0$$

ou seja, resolver o seguinte sistema de equação:

$$\frac{\partial \hat{Y}}{\partial X_1} = \hat{\beta}_1 + 2\hat{\beta}_3X_1 + \hat{\beta}_5X_2 = 0 \quad \text{e} \quad \frac{\partial \hat{Y}}{\partial X_2} = \hat{\beta}_2 + 2\hat{\beta}_4X_2 + \hat{\beta}_5X_1 = 0$$

Para testar a significância do modelo ajustado foi realizado um procedimento de análise de variância (ANOVA). Considerando o sistema de equações normais abaixo tem-se:

$$X'X\hat{\beta} = X'Y$$

Pode-se obter as somas de quadrados total (SQT), regressão (SQReg) e resíduos (SQR) pelas seguintes expressões:

$$SQT = Y'Y - C = \sum_{i=1}^N Y_i^2 - C$$

$$SQR = Y'Y - \hat{\beta}'X'Y$$

$$SQReg = \hat{\beta}'X'Y - Y'Y$$

em que,  $C = \frac{(\sum_{i=1}^N Y_i)^2}{N}$

Para avaliar a adequação do modelo foi utilizado o coeficiente de determinação do modelo ajustado  $R_{aju}^2$ , definido por:

$$R_{aju}^2 = \frac{R^2(N-1)-p}{N-p-1} ; \quad 0 \leq R_{aju}^2 \leq 1.$$

onde,  $R^2 = \frac{SQReg}{SQT}$ .

## 5. CAPÍTULO I

**Artigo: Desenvolvimento inicial do cladódio clone doce gigante em função da água e estresse salino, publicado na Revista Brasileira Biometria., Lavras, v.39, n.2, p.279-292, 2021 - doi: 10.28951/rbb.v39i2.468**

**Resumo:** A palma forrageira é uma planta de crescimento perene, resistente à seca e se adapta a regiões de clima quente, sendo considerada importante para o desenvolvimento da pecuária. Neste estudo objetivou-se estimar as medidas morfométricas de cactus forrageiro clone doce gigante, associadas aos níveis ótimos de água e sal. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, composto por quatro níveis de reposição hídrica, utilizando a evapotranspiração da cultura (25, 50, 75 e 100% .Etc) e quatro níveis de salinidade (0, 2, 4 e 8 dS/m) , obtidos através das concentrações de sais (NaCl) correspondentes a 0, 1,16, 2,32 e 4,64 g/L, respectivamente. As medidas morfométricas dos cladódios foram avaliadas 20 vezes durante o período experimental. A superfície de resposta foi usada para estimar os níveis ótimos de água e sal que maximizam as medidas morfométricas dos cladódios. Os níveis de água na faixa de 54% e 64%, e 3,5 a 5,3 dS/m de nível salino promovem maior desenvolvimento do clone doce gigante sem alterar as características morfológicas da planta, gerando maior rendimento de fitomassa.

**.Palavras-chave:** Características morfométricas; Nopalea cochenillifera; Superfície de resposta

## Introdução

As plantas forrageiras são consideradas um dos principais fatores para o desenvolvimento de pecuária em todo o mundo, por apresentar alto potencial para produção de fitomassa, seca tolerância, alto valor energético, grande reserva hídrica e fácil propagação (PEREIRA et al., 2018). As regiões semiáridas apresentam baixa disponibilidade e qualidade de forragens durante todo o ano, devido a longos períodos de estiagem (LUCENA et al., 2016).

O déficit hídrico é bastante comum em regiões semiáridas, causando alterações na anatomia, fisiologia e bioquímica das plantas (ARAÚJO et al., 2010), que pode afetar todas as fases de desenvolvimento (BALARDIN et al., 2011), até crescimento e produtividade (BILIBIO et al. al., 2010). O conhecimento do desempenho de plantas forrageiras em condições de estresse hídrico é de grande valia para auxiliar na compreensão do efeito do período “seco” na produção de forragem, permitindo assim o uso de práticas de manejo viáveis para melhorar o cultivo nesse período (ARAÚJO JUNIOR et al., 2019).

As plantas forrageiras com influência do estresse hídrico sofrem com o estresse salino, uma vez que as águas do semiárido apresentam altas concentrações de sais (SILVA et al., 2018). O acúmulo de sais no solo promove um ambiente desfavorável ao desenvolvimento das plantas, pois altera negativamente o crescimento das culturas reduzindo a produtividade das plantas forrageiras em áreas agrícolas (MUNNS e TESTER, 2008). O estresse salino também promove o fechamento estomático que induz uma redução na assimilação de CO<sub>2</sub> e conseqüentemente menor crescimento das plantas e menor acúmulo de biomassa (SILVA et al., 2018)

Diante desse cenário, a palma forrageira se destaca, pois possui tolerância à água déficit (FREIRE et al., 2018; LEITE et al., 2014) com destaque para a espécie *Nopalea cochenillifera Salm-Dyck* por ser resistente a *Dactylopius opuntiae*. Todos esses aspectos tornam necessário estudar o desenvolvimento e crescimento da palma forrageira sob essas condições. O conhecimento das curvas de crescimento de uma espécie fornece informações muito úteis na o cultivo e manejo da cultura, e tem grande importância biológica, pois possibilitam a viabilidade de cultivo de uma espécie através da avaliação da taxa de crescimento.

O ajuste das curvas de crescimento é uma importante ferramenta para conhecer o crescimento da planta e seus estágios fenológicos (LEITE et al., 2017; 2019, LUCENA et al., 2016). Crescimento curvas geram informações úteis como: manejo adequado da lavoura, período de maior crescimento das plantas, época mais adequada para adubação e controle de pragas (MANGUEIRA et al., 2016). Entre os modelos de curvas de crescimento, a metodologia de superfície de resposta (RSM) se destaca. RSM é uma coleção de técnicas estatísticas úteis para modelagem e análise em aplicações onde a resposta de interesse é influenciada por duas ou mais variáveis, visando otimizar a resposta em função dos efeitos combinados das variáveis sob teste (LUCENA et al., 2019a, 2019b).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o desempenho inicial do características do clone Doce Gigante (*N. cochenillifera*) submetido a água e solução salina tensões usando análise de superfície de resposta.

### Material e métodos

A pesquisa foi realizada na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Campus Serra Talhada (UFRPE/UAST), Serra Talhada, Pernambuco, Brasil (elevação: 429 m, latitude: 7° 56' 15" S e longitude: 38° 18' 45" E ) (Figura 3). Segundo Koppen, a condição climática é BSwH', denominado Semiárido, quente e seco, com estação chuvosa durante o verão (LEITE et al., 2019) com precipitação média anual de 632,2 mm/ano e temperaturas médias do ar de 26 °C e umidade relativa 60% (LUCENA et al., 2018).

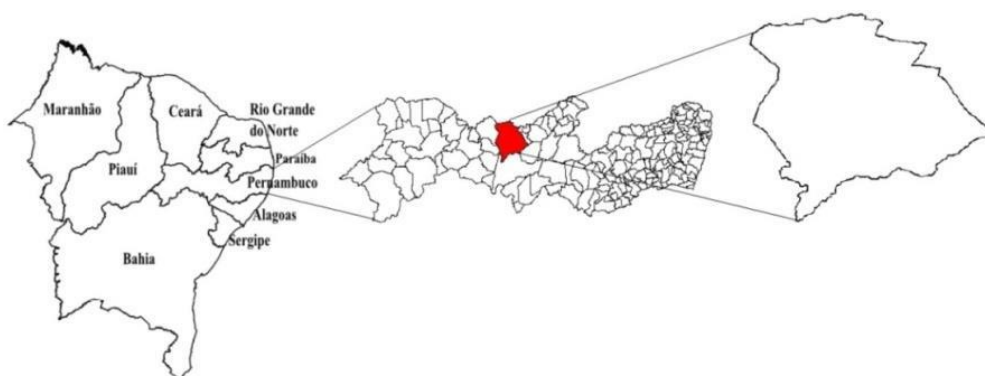


Figura 3 – Localização da área de estudo.

O solo utilizado no experimento (Típico Cambissolo Háplico Ta Eutrófico) foi coletado a uma profundidade de 0-20 cm. Após análise caracterizou-se pelos seguintes

atributos químicos: pH (água) = 7,20; P (extrator Mehlich I) = 40 mg dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup> = 0,45; Ca<sup>2+</sup> = 5,3; Mg<sup>2+</sup> = 1,10; Al<sup>3+</sup> = 0,0 cmolc dm<sup>-3</sup> (ALMEIDA et al., 2017).

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4x4, composto por quatro níveis de reposição hídrica, com base na evapotranspiração (ETc) da cultura (25%ETc, 50%ETc, 75%ETc e 100%ETc) e quatro níveis de salinidade da água, com quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais. Para calcular a capacidade de campo aproximada do solo, foi determinada a massa inicial do conjunto vaso + solo + areia de todos os vasos, após adição de água até a condição de saturação.

Para evitar a perda de água por evaporação, os vasos foram cobertos com plástico filme e colocados sobre tijolos para que só possam perder água por drenagem em um período de 24 horas, tempo necessário para atingir massa constante. Devido à diferença de massa entre os vasos com solo na capacidade de campo e com solo seco, foi possível determinar a quantidade máxima de água que o solo dos vasos irá reter. Posteriormente, as lâminas foram calculadas para condições predeterminadas de água disponível.

Para o déficit de sal, foram utilizados quatro níveis de salinidade da água de irrigação, resultantes de diferentes condutividades elétricas (0, 2, 4 e 8 dS/m) (LUCENA et al., 2019a). Para obter níveis salinos, sais de cloreto de sódio (NaCl) foram adicionados à água destilada. Em laboratório, os níveis de 2, 4 e 8 dS/m foram obtidos através das concentrações de sais de (NaCl) correspondentes a 1,16, 2,32 e 4,64 g/L, respectivamente (LUCENA et al., 2019a).

A palma forrageira foi plantada em vasos com capacidade de 14,41 dm<sup>3</sup>, em cada vaso foi colocado um cladódio da palma forrageira clone Doce Gigante (*N. cochenillifera*) com 15,0 kg de solo. Os vasos foram dispostos no espaçamento de 0,3 m × 0,3 m e colocados sobre blocos de tijolos para evitar o contato direto com o solo e facilitar a coleta da água drenada. Antes do plantio, foi sorteado o tratamento que cada vaso recebeu. O sorteio foi realizado computacionalmente no software R-project, onde cada pote recebeu um número de 1 a 64. Os números de 1 a 4 foram atribuídos ao tratamento 1, 5 a 8 ao tratamento 2, 9 a 12 ao tratamento 3, 13 a 16 ao tratamento 4, 17 a 20 ao tratamento 5, 21 a 24 ao tratamento 6, 25 a 28 ao tratamento 7, 29 a 32 ao tratamento 8, 33 a 36 ao tratamento 9, 37 a 40 ao tratamento 10, 41 a 44 ao tratamento 11, 45 a 48 ao tratamento 12, 49 a 52 ao tratamento 13, 53 a 56 ao tratamento 14, 57 a 60 ao tratamento 15 e 61 a 64 para o tratamento 16. Os tratamentos foram a combinação da lâmina de irrigação com o nível de salinidade utilizado conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2 - Descrição dos tratamentos utilizados

Nível de água (% ETc)	Nível de salinidade da água (dS/m)			
	0	2	4	8
25%	T1	T2	T3	T4
50%	T5	T6	T7	T8
75%	T9	T10	T11	T12
100%	T13	T14	T15	T16

ETc = evapotranspiração da cultura.

O resultado do sorteio para alocação dos tratamentos nas referidas unidades amostrais ficou conforme a Figura 4.

T5	T1	T7	T14	T12	T4	T13	T4
T2	T13	T13	T11	T15	T3	T2	T15
T15	T7	T16	T1	T6	T9	T10	T9
T10	T14	T4	T5	T8	T16	T14	T8
T7	T9	T2	T16	T3	T8	T11	T3
T12	T12	T11	T7	T14	T2	T13	T6
T1	T5	T10	T15	T9	T16	T5	T12
T11	T3	T6	T8	T6	T4	T10	T1

Figura 4 - Esquema de exemplo.

Foram avaliadas as seguintes características morfométricas: altura da planta, comprimento do cladódio, largura, espessura, número de cladódios e área do cladódio. A área do cladódio foi estimada pelo produto do comprimento pela largura dos cladódios de acordo com a metodologia de Lucena et al. (2019c) e Leite et al. (2020). As avaliações foram realizadas a cada 15 dias, totalizando oito avaliações durante o período experimental. Os valores das variáveis morfométricas foram registrados em planilhas Excel e as análises realizadas no R (R CORE TEAM, 2020).

Altura da planta (PH), comprimento do cladódio (L), largura do cladódio (W), espessura do cladódio (T) e área do cladódio (A) foram avaliados utilizando a metodologia de análise de superfície de resposta. A superfície de resposta foi definida como a representação geométrica obtida a partir da resposta em função de dois fatores quantitativos (níveis de água e sal). A superfície de resposta é definida pela equação (1)

$$Y = f(X_1, X_2) + \varepsilon$$

onde, Y é a resposta (altura da planta, comprimento do cladódio, largura do cladódio, espessura do cladódio e área do cladódio); X1 e X2 são os fatores (nível de água e salina) e  $\varepsilon$  é o erro aleatório. A resposta esperada pela equação (2)

então,

$$\eta = f(X_1, X_2)$$

e, é denominado superfície de resposta (LUCENA et al., 2019a, 2019b).

No presente estudo, a função de superfície de resposta  $f(X_1, X_2)$  é definida pela equação (3)

$$Y = f(X_1, X_2) + \varepsilon = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_1 X_2 + \beta_4 X_1^2 + \beta_5 X_2^2 + \varepsilon$$

onde,  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  e  $\beta_5$  são os parâmetros desconhecidos e o erro aleatório  $\varepsilon$  segue a distribuição normal de média 0 e variância constante  $\sigma^2$ . O modelo acima pode ser escrito na forma matricial descrita na equação (4)

$$Y = \beta X + \varepsilon$$

onde,  $Y'=[Y_1, Y_2, \dots, Y_N]$ , X é a matriz  $N \times p$ ;  $p = 6$ ;  $\beta$  é um vetor  $p \times 1$  de parâmetros desconhecidos e  $\varepsilon'=[\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_N]$ . Usando o estimador de mínimos quadrados, as estimativas de parâmetros são expressas pela equação (5)

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'Y$$

Para encontrar os níveis ótimos de nível de água (H) e salinidade (S) que maximizem altura, comprimento, largura, espessura e área de cladódio das plantas do clone *N. cochenillifera* Doce Gigante utilizamos o ponto estacionário. Este ponto é

calculado resolvendo o seguinte sistema de equações definido na equação (6) e (7) dado por

$$\frac{\partial \hat{Y}}{\partial X_1} = \hat{\beta}_1 + 2\hat{\beta}_3 X_1 + \hat{\beta}_5 X_2 = 0 \quad \text{e} \quad \frac{\partial \hat{Y}}{\partial X_2} = \hat{\beta}_2 + 2\hat{\beta}_4 X_2 + \hat{\beta}_5 X_1 = 0$$

Para testar a significância do modelo ajustado, é realizado um procedimento de análise de variância (ANOVA). Considerando o sistema de equações normais definido na equação (8) dado por

$$X'X\hat{\beta} = X'Y$$

A soma dos quadrados totais (SST), regressão (SSReg) e resíduos (SSR) pode ser obtida pelas seguintes expressões:

$$SQT = Y'Y - C = \sum_{i=1}^N Y_i^2 - C$$

$$SQR = Y'Y - \hat{\beta}'X'Y$$

$$SQReg = \hat{\beta}'X'Y - Y'Y$$

Onde,  $C = \frac{(\sum_{i=1}^N Y_i)^2}{N}$

Para avaliar a adequação do modelo, foi utilizado o coeficiente de determinação do modelo ajustado  $R_{aju}^2$ , definido pela equação (9):

$$R_{aju}^2 = \frac{R^2(N-1)-p}{N-p-1} ; \quad 0 \leq R_{aju}^2 \leq 1.$$

Onde,  $R^2 = \frac{SQReg}{SQT}$ .

## Resultados e discussão

Aos 150 dias após o plantio, plantas submetidas a %ETc entre 50 e 75 e níveis de salinidade entre 2 e 4 dS/m apresentaram os melhores resultados para as características morfométricas do clone Doce Gigante (*N. cochenillifera*) (Tabela 3).

Resultados semelhantes foram observados por Gajender et al. (2014) quando verificaram que a salinidade na água de irrigação afeta negativamente as características morfométricas de *Opuntia ficus-indica*. Salazar e Véliz (2007) verificaram que o aumento do nível de salinidade reduz o volume dos cladódios de *O. ficus-indica* e, conseqüentemente, reduz suas dimensões lineares (comprimento, largura e espessura). Amador et al. (2001) verificaram que o número, comprimento e largura dos cladódios são reduzidos à medida que o nível de salinidade aumenta na água de irrigação em cladódios de *O. ficus-indica*.

Tabela 3 - Média e desvio padrão das características morfométricas do clone Doce Gigante (*N. cochenillifera*) em função da água (ETc = evapotranspiração da cultura) e do estresse salino aos 150 dias

Nível de água (% ETc)	Nível de salinidade da água (dS/m)			
	0	2	4	8
	Número do cladódio (und.)			
25%	1,5±1,0	2,3±0,5	1,8±0,4	1,3±0,6
50%	1,8±0,5	1,5±0,6	1,8±0,5	1,8±0,9
75%	1,8±0,5	2,3±0,5	1,5±0,7	1,3±0,5
100%	1,3±0,5	1,8±0,5	2,5±0,6	1,8±0,5
	Altura da planta (cm)			
25%	43,5±5,2	37,6±6,7	45,4±2,7	40,3±3,4
50%	42,6±7,5	43,3±8,7	45,0±5,7	40,1±3,7
75%	36,1±6,9	39,2±6,5	40,5±4,3	39,8±8,9
100%	43,1±6,4	41,8±5,5	38,9±3,4	34,6±5,7
	Comprimento do cladódio (cm)			
25%	25,4±4,8	23,1±5,7	26,9±3,6	25,6±2,7
50%	24,6±3,8	26,8±3,8	25,5±5,2	21,8±2,9
75%	22,7±2,5	22,8±5,5	23,9±5,2	24,5±3,7
100%	26,3±4,9	24,6±3,5	22,1±3,2	22,7±4,7
	Largura do cladódio (cm)			
25%	11,1±1,2	9,5±0,4	11,3±1,2	10,9±2,1
50%	11,3±1,3	10,5±1,4	10,9±2,5	8,6±2,2
75%	9,2±0,5	9,3±2,0	9,9±2,3	11,0±1,5
100%	11,9±2,4	11,0±0,6	9,2±0,9	7,9±0,3
	Espessura do cladódio (mm)			
25%	16,5±1,2	12,8±1,3	15,4±1,1	15,2±0,8
50%	14,8±1,9	15,4±1,2	13,3±2,7	13,1±1,7
75%	14,8±0,5	14,3±1,9	13,8±2,2	12,1±2,1
100%	15,7±1,7	13,1±0,8	11,8±1,6	12,9±2,6
	Área do cladódio (cm <sup>2</sup> )			
25%	284,7±84,2	219,9±56,2	307,1±69,6	281,5±84,5
50%	281,4±77,5	284,8±70,9	285,7±123,9	183,7±31,5
75%	207,8±28,4	218,9±91,3	246,1±109,3	271,6±72,6
100%	319,1±112,1	271,1±54,3	205,0±49,2	179,2±36,9

Queiroz et al. (2015) verificaram em *O. stricta* que a altura, comprimento, largura, espessura e número de cladódios da planta são afetados com o aumento da porcentagem de evapotranspiração de referência. Situação encontrada no presente estudo, permitindo assim um déficit hídrico no solo, o que comprometeu o desenvolvimento vegetativo na planta.

A área do cladódio, a altura da planta, o comprimento e a largura do cladódio apresentaram comportamento quadrático em função do nível hídrico e salino, bem como da interação entre os estresses (Tabela 4 e Figuras 5 a 8, respectivamente). Freire et al. (2018) verificaram comportamento quadrático para a largura do cladódio do clone Doce Gigante (*N. cochenillifera*), maximizando sua largura (5,37 cm) com um nível ótimo de salinidade de 2,57 dS/m com precisão de 54,05%. No presente estudo, a largura do cladódio foi maximizada em 10,55 cm quando utilizado 4,44 dS/m e com precisão de 95,2%.

Tabela 4 - Superfície de resposta das características morfométricas dos cladódios, critérios de adequação ( $R^2$ ) e níveis ótimos de (% ETC = evapotranspiração da cultura) e salinidade da água.

Características	Superfície de resposta	$R^2$	H0	S0	Y0
Morfométricas					
Área de cladódio	$6,514H+29,24S-0,043H^2-1,45S^2-0,302HS$	0,926	63,5	3,47	257,52
Altura da planta	$1,16H+4,28S-0,008H^2-0,203S^2-0,039HS$	0,968	61,1	4,67	45,44
Comprimento do cladódio	$0,68H+2,48S-0,005H^2-0,12S^2-0,023HS$	0,962	56,73	4,9	25,36
Largura do cladódio	$0,28H+1,106S-0,002H^2-0,053S^2-0,011HS$	0,952	57,79	4,44	10,55
Espessura do cladódio	$0,3H+0,512S-0,002H^2-0,009HS$	0,907	56,89	8,05	10,59

H0: nível ótimo de % Etc; S0: nível ótimo de salinidade da água; Y0: ponto máximo. ETC = evapotranspiração da cultura.

Através da superfície de resposta da área de cladódio verificou-se que utilizando o nível de água de 63,5%ETc e 3,47 dS/m de salinidade, maximizou a área de cladódio de *N. cochenillifera* em 257,52 cm<sup>2</sup> aos 150 dias após o plantio (Figura 5). Resultado diferente foi relatado por Queiroz et al. (2015) que o uso de 17,5%.ETc maximizou a área do cladódio de *O. stricta* em 44,84 cm, uma vez que a espécie estudada pelos autores apresenta maior tolerância ao estresse hídrico do que a *N. cochenillifera*.

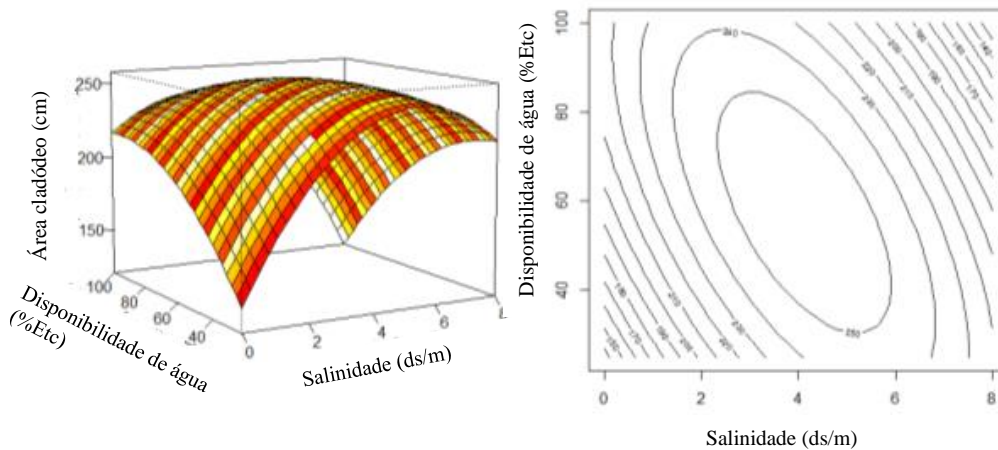


Figura 5 - Superfície de resposta da área do cladódio de *N. cochenillifera*.

A altura de plantas de *N. cochenillifera* teve seu máximo de 45,44 cm aos 150 dias após o plantio, quando se utilizou nível de água de 61,1%ETc e 4,67 dS/m de salinidade (Figura 6).

Resultados semelhantes foram relatados por Gajender et al. (2014) ao verificar que o clone de *O. ficus-indica* suporta um nível de salinidade de até 4 dS/m sem alterar a altura da planta.

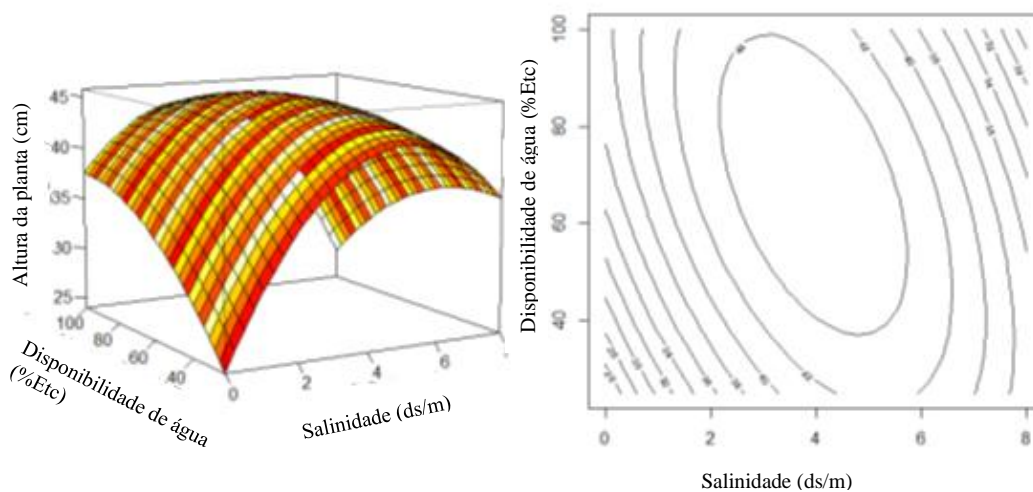


Figura 6 - Superfície de resposta da altura de plantas de *N. cochenillifera*.

A superfície de resposta do comprimento dos cladódios maximizou seu comprimento em 25,36 cm quando se utilizou 56,73%ETc e 4,9 dS/m aos 150 dias após o plantio (Figura 7).

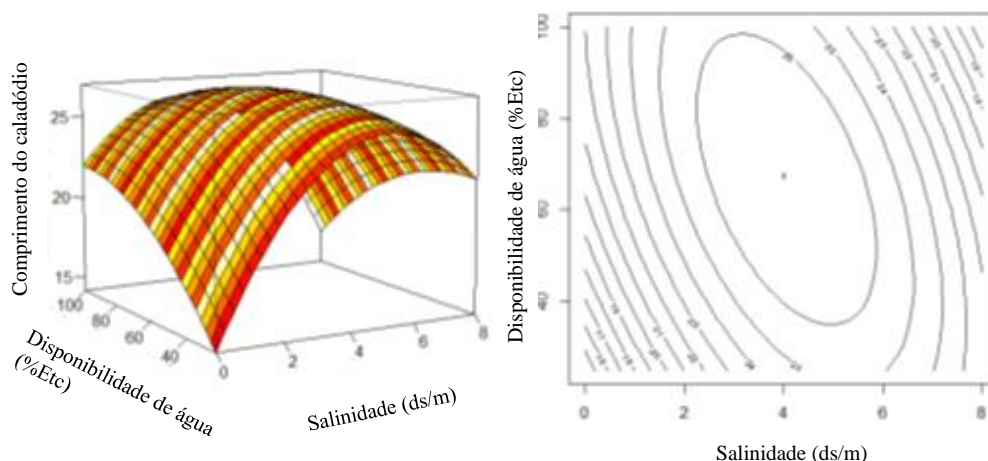


Figura 7 - Superfície de resposta do comprimento do cladódio de *N. cochenillifera*

Amador et al. (2018) verificaram em *O. ficus-indica* que o comprimento do cladódio é afetado quando são utilizados níveis de salinidade acima de 3 dS/m. Queiroz et al. (2015) verificaram que quando ETc 0% utilizado, eles maximizaram o comprimento do cladódio de *O. stricta* em 2,78 cm.

Através da superfície de resposta gerada para o cladódio a largura é maximizada em 10,55 cm aos 150 dias após o plantio quando são utilizados 57,79%ETc e 4,44 dS/m (Figura 8).

Amador et al. (2018) verificaram em *O. ficus-indica* que a largura do cladódio é afetada quando são utilizados níveis de salinidade acima de 3 dS/m. Freire et al. (2018) verificaram um nível ótimo de 2,57 dS/m para maximizar a largura do cladódio do clone Doce Gigante (*N. cochenillifera*) em 5,37 cm. Queiroz et al. (2015) verificaram que quando utilizado 0,0% ETc, maximizou a largura do cladódio de *O. stricta* em 2,46 cm.

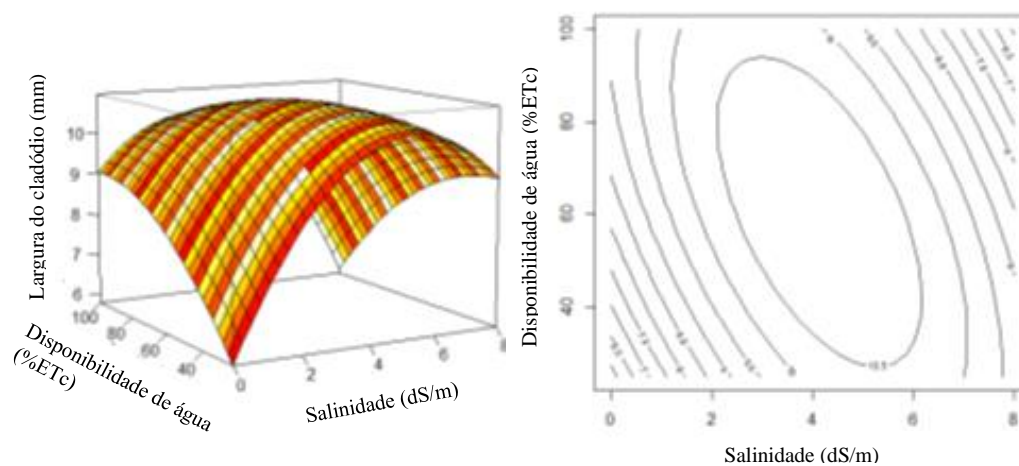


Figura 8 - Superfície de resposta da largura do cladódio de *N. cochenillifera*.

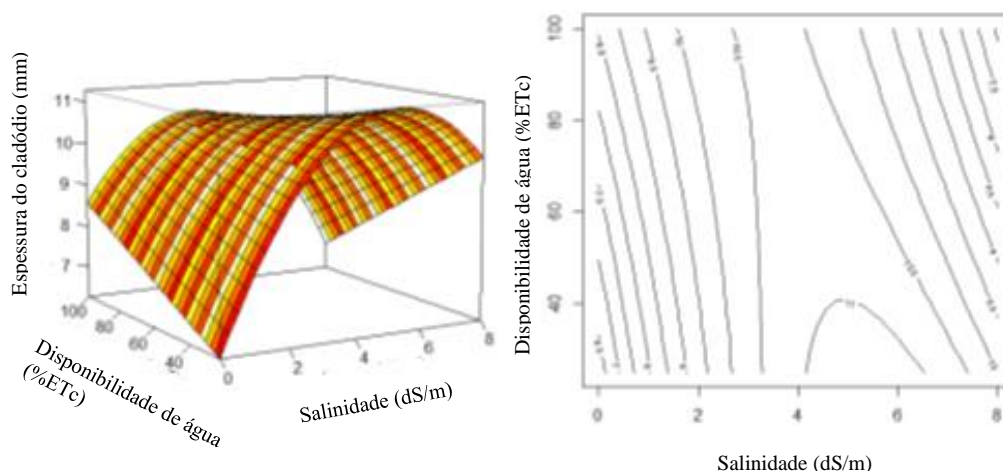


Figura 9 - Resposta superficial da espessura do cladódio de *N. cochenillifera*.

A espessura do cladódio apresentou comportamento quadrático em função da evapotranspiração da cultura (%ETc) e linear em relação ao nível de salinidade, bem como interação entre as duas tensões (Tabela 3). Freire et al. (2018) observaram que a espessura do cladódio de *N. cochenillifera* apresenta comportamento linear em função do nível de salinidade aos 21 dias de experimento com poder de precisão de 30,21%.

Observou-se que a superfície de resposta para espessura do cladódio apresentou um nível ótimo de 56,89%.ETc e 8,09 dS/m maximizando a espessura em 10,59 mm aos 150 dias após o plantio (Figura 9). Freire et al. (2018) maximizaram a espessura do clone Doce Gigante (*N. cochenillifera*) em 0,28 cm usando um nível de salinidade de 3 dS/m. Queiroz et al. (2015) verificaram que quando utilizado 0%ETc, maximizou a espessura do cladódio de *Opuntia stricta* em 0,2 cm.

## Conclusões

Os estresses hídrico e salino interferem nas características morfométricas do clone Doce Gigante na espécie *Nopalea cochenillifera*, comprometendo o crescimento vegetativo da planta.

A faixa de evapotranspiração da cultura entre 55% e 65% promove maior crescimento do clone Doce Gigante, com maior altura de planta e maior área de cladódio, parâmetros relacionados à eficiência fotossintética e rendimento de fitomassa.

Em estágio inicial de desenvolvimento, este clone tolera níveis de salinidade da água de irrigação de até 5 dS/m, sem alterar as características morfológicas.

## Referências

Almeida, M. C. R.; Leite, M. L. M. V.; Sá JR., E. H.; Cruz, M. G.; Moura, G. A.; Moura, E. A.; Sá, G. A. S.; Lucena, L. R. R. Crescimento vegetativo de cultivares de milho sob diferentes disponibilidades hídricas. *Magistra*, v.29, n.2, p.161-171, 2017.

Amador, B. M.; Avila, A. C.; Diéguez, E. T.; Garibay, A. N.; Jones, H. G. Effects of NaCl salinity on growth and production of young cladodes of *Opuntia ficus-indica*. *Journal Agronomy & Crop Science*, v.187, n., p.269-279, 2018.

Araújo, S. A. C.; Vasquez, H. M.; Campostrini, E.; Netto, A. T.; Deminiciis, B. B.; Lima É. S. Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.), em estresse hídrico. *Acta Scientiarum: Animal Sciences*, v.32, n.1, p.1-7, 2010.

Araújo, J. R. G. N.; Gomes, F. T.; Silva, M. J.; Jardim, A. M. F. R.; Simões, V. J. L. P.; Izidrio, J. L. P. S.; Leite, M. L. M. V.; Teixeira, V. I.; Silva, T. G. F. Estresse hídrico em plantas forrageiras: Uma revisão. *PUBVET*, v.13, n.1, p.1-10, 2019.

Balardin, R. S.; Silva, F. D. L.; Debona, D.; Corte, G. D.; Favera, D. D.; Tormen, N. R. Tratamento de sementes com fungicidas e inseticidas como redutores dos efeitos do estresse hídrico em plantas de soja. *Ciência Rural*, v.41, n.7, p.1120-1126, 2011.

Bilibio, C.; Carvalho, J. A.; Martins, M.; Rezende, F. C.; Freitas, E. A.; Gomes, L. A. A. Desenvolvimento vegetativo e produtivo da berinjela submetida a diferentes tensões de

água no solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.7, p.730-735, 2010.

Freire, J. L.; Santos, M. V. F.; Dubeux JR., J. C. B.; Neto, E. B.; Lira, M. A.; Cunha, M. V.; SANTOS, D. C.; AMORIM, S. O.; MELLO, A. C. L. Growth of cactus pear cv. Miúda under different salinity levels and irrigation frequencies. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.90, n.4, p.3893-3900, 2018.

Gajender; Singh, G.; Dagar, J. C.; Lal, K.; Yadav, R. K. Performance of edible cactus (*Opuntia ficus-indica*) in saline environments. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, v.84, n.4, p.509-519, 2014.

Leite, M.L.M.V.; Silva, D. S.; Andrade, A. P.; Pereira, W. E.; Ramos, J. P. F. Caracterização da produção de palma forrageira no Cariri paraibano. *Revista Caatinga*, v.27, n.2, p.192-200, 2014.

Leite, M. L. M. V.; Lucena, L. R. R.; SÁ Júnior, E. H.; Cruz, M. G. Estimativa da área foliar em *Urochloa mosambicensis* por dimensões lineares. *Revista Agropecuária Técnica*, v.38, n.1, p.9-16, 2017.

Leite, M. L. M. V.; Lucena, L. R. R.; Cruz, M. G.; Sá Jr., E. H.; Simões, V. J. L. P. Leaf area estimate of *Pennisetum glaucum* by linear dimensions. *Acta Scientiarum Animal Science*, v.41, p.e42808, 2019.

Leite, M. L. V.; Lucena, L. R. R.; Oliveira, A. D. M.; Costa, A. C. L.; Anjos, F. L. Q.; Farias, I. M.; Simões, V. J. L. P.; Almeida, M. C. R. Cladode area and weight of *Nopalea cochenillifera* clones as a function of morphometric characteristics. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, v.22, p.18-28, 2020.

Lucena, L. R. R.; Leite, M. L. M. V.; Pereira, J. S.; Cavalcante, A. B. Ajuste de curvas de crescimento do comprimento do cladódio de *Nopalea cochenillifera*. *Biomatemática*, v.26, p.39-52, 2016.

Lucena, L. R. R.; Leite, M. L. M. V.; Simões, V. J. L. P.; Simões, V. J. L. P.; Almeida, M. C. R. Área de cladódio da palma *Opuntia stricta* utilizando dimensões lineares. *Agrarian Academy*, v.5, n.9, p.46-55, 2018.

Lucena, L. R. R.; Simões, J. V. L. P.; Leite, M. L. M. V. Superfície de resposta de medidas morfométricas de *Pennisetum glaucum* submetidos ao estresse salino. *Archivos de Zootecnia*, v.68, n.264, p.540-545, 2019a.

Lucena, L. R. R.; Leite, M. L. M. V.; Borja, C. R. S.; Costa, A. C. L. Superfície de resposta no desenvolvimento do capim Pangolão submetidos a déficit hídrico e aplicação de bioestimulante. *Biomatemática*, v.29, n.1, p.17-34, 2019b.

Lucena, L. R. R.; Leite, M. L. M. V.; Cruz JR., C. B.; Carvalho, J. D.; Santos, E. R.; Oliveira, A. D. M. Estimation of cladode area of *Nopalea cochenillifera* using digital images. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, v.21, p.32-42, 2019c.

Mangueira, R. A. F.; Savian, T. V.; Muniz, J. A.; Sermarini, R. A.; Crosariol NETTO, J. O. Modelo logístico considerando diferentes distribuições para os erros aplicados a dados de altura do milho. *Revista Brasileira de Biometria*, v.34, n.2, p.317-333, 2016.

Munns, R.; Tester, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, v.59, n.1, p.651-681, 2008.

Pereira, J. S.; Leite, M. L. M. V.; Cavalcante, A. B.; Lucena, L. R. R. Crescimento inicial de *Nopalea cochenillifera* em função do fracionamento do cladódio. *Revista Agropecuária Técnica*, v.39, n.2, p.120-128, 2018.

Querioz, 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*, v.9, n.10, p.931-938, 2015.

R CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020.

Salazar, V. A. F.; Véliz, J. A. Respuestas de la tuna [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] al NaCl. *Interciencia*, v.32, n.2, p.125-130, 2007.

Silva, J. R. I.; Jardim, A. M. R. F.; Neto, J. B.; Leite, M. L. M. V.; Teixeira, V. I. Estresse salino como desafio para produção de plantas forrageiras. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, v.11, n.3, p.127-139, 2018.

## 6. CAPÍTULO II

**Artigo:** Níveis ótimos de água e sal no crescimento de forrageiras de cactos doces gigantes, publicado na *Research, Society and Development*, v. 10, n. 17, e 95101724306, 2021 (CC BY 4.0) | ISSN 2525-3 409, DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i17.24306>

**Resumo:** As plantas forrageiras são consideradas um dos principais fatores para o desenvolvimento da pecuária mundial, por apresentarem alto potencial de produção de fitomassa, tolerância à seca, alto valor energético, grande reserva hídrica e fácil propagação. A palma forrageira se destaca por sua tolerância ao déficit hídrico. Objetivou-se avaliar o desempenho inicial das características morfométricas do clone Doce Gigante (*N. cochenillifera*) submetido a estresses hídrico e salino por meio de análise de superfície de resposta. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4x4, composto por quatro níveis de reposição hídrica, com base na evapotranspiração da cultura (ETc): (25%ETc, 50%ETc, 75%ETc e 100%.ETc) e quatro níveis de salinidade da água (0, 2, 4 e 8 dS/m), com quatro repetições totalizando 64 unidades experimentais. Foram avaliadas as seguintes características morfométricas: altura da planta, comprimento, largura, espessura, número de cladódios e área de cladódios. Oito avaliações foram realizadas durante o período experimental. A análise da superfície de resposta foi utilizada para avaliar as características morfométricas dos cladódios. Os melhores níveis hídricos foram entre 55%ETc e 65%.ETc e os níveis salinos entre 3,5 e 5 dS/m, maximizando as características morfométricas do clone Doce Gigante.

**Palavras-chave:** Características morfométricas; *Nopalea cochenillifera*; superfície de resposta.

### Introdução

Uso A palma forrageira é comumente cultivada em áreas semiáridas, pois apresenta grande eficiência no uso da água devido ao seu metabolismo CAM, é uma importante alternativa de alimentação animal, apresenta crescimento perene, resistência à seca e baixa tolerância ao estresse salino (PEREIRA et al. , 2018; FREIRE et al., 2018, DINIZ et al., 2017). A deficiência hídrica causa alterações na anatomia, fisiologia e bioquímica das plantas, que podem afetar todas as fases de desenvolvimento, até

crescimento e produtividade (SCALON et al., 2011; YAHMED et al., 2016; EL-MAGEED et al., 2018).

Plantas forrageiras com influência do estresse hídrico sofrem com o estresse salino, uma vez que as águas do semiárido apresentam altas concentrações de sais (SILVA et al., 2018). O acúmulo de sais no solo promove um ambiente desfavorável ao desenvolvimento das plantas, pois altera negativamente o crescimento das culturas reduzindo a produtividade das plantas forrageiras em áreas agrícolas (MUNNS & TESTER, 2008). O estresse salino induz uma redução na assimilação de CO<sub>2</sub> e conseqüentemente menor crescimento das plantas e menor produção de matéria seca (SILVA et al., 2018).

Nestas condições torna-se necessário estudar o crescimento da palma forrageira. O ajuste das curvas de crescimento é uma importante ferramenta para conhecer o crescimento da planta e seus estágios fenológicos (LUCENA et al., 2018; MOURA et al., 2020). A metodologia de superfície de resposta (MSR) se destaca no ajuste de curvas de crescimento, pois é útil quando a resposta de interesse é influenciada por duas variáveis explicativas, e objetiva otimizar a resposta em função dos efeitos combinados dessas variáveis (LUCENA et al., 2019a e 2019b).

Não foram encontrados estudos que relatassem a associação entre estresse hídrico e salino em palma forrageira em outros estágios de desenvolvimento. Logo o objetivo deste trabalho foi estimar as medidas morfométricas do clone Doce Gigante de *N. cochenillifera* associando estresses hídrico e salino usando superfície de resposta.

## **Metodologia**

A pesquisa foi realizada na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil (elevação: 429 m, latitude: 7° 56' 15" S e longitude: 38° 18' 45" E). Segundo Koppen, a condição climática é BSw<sup>h</sup> (LEITE et al., 2019). O solo utilizado no experimento (Típico Cambissolo Háptico Ta Eutrófico), foi coletado na camada de 0-20 cm. Após análise foi caracterizado pelos seguintes atributos químicos: pH (água) = 7,20; P (extrator Mehlich I) = 40 mg dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup> = 0,45; Ca<sup>2+</sup> = 5,3; Mg<sup>2+</sup> = 1,10; Al<sup>3+</sup> = 0,0 cmolc dm<sup>-3</sup> (LUCENA et al., 2020).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, composto por quatro níveis de água com base na evapotranspiração da cultura (25, 50, 75 e

100%ETc), e quatro níveis de solução salina, com quatro repetições. Para o déficit salino, foram utilizados os resultantes de diferentes condutividades elétricas (0,2, 4 e 8 dS/m), obtidas através das concentrações de sais de (NaCl) correspondentes a 0, 1,16, 2,32 e 4,64 g/L, respectivamente. As palmas forrageiras foram plantadas em vasos com capacidade de 14,41 dm<sup>3</sup>. Os vasos foram dispostos no espaçamento de 0,3 x 0,3 m e colocados sobre blocos de tijolos para evitar o contato direto com o solo.

Foram avaliados a altura, comprimento, largura, espessura da planta, número de cladódios e área do cladódio. A área do cladódio foi estimada pelo produto do comprimento pela largura dos cladódios de acordo com a metodologia de Lucena et al. (2019c) e Leite et al. (2020). As avaliações foram realizadas a cada 15 dias, totalizando 20 avaliações no período. Os valores dos estudos as variáveis foram registradas em planilhas Excel e as análises realizadas no software R-project, versão 2.13.1 para Windows.

Altura da planta (PH), comprimento do cladódio (L), largura do cladódio (W), espessura do cladódio (T) e área do cladódio (A) foram avaliados utilizando a metodologia de superfície de resposta. A superfície de resposta foi definida como a representação geométrica obtida da resposta em função de dois fatores quantitativos (níveis de água e sal). A superfície de resposta definida no presente estudo é descrita por:

$$Y = f(X_1, X_2) + \varepsilon = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_1 X_2 + \beta_4 X_1^2 + \beta_5 X_2^2 + \varepsilon$$

onde, Y é a resposta da variável morfométrica; e são os fatores (água e nível de salinidade),  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  e  $\beta_5$  são os parâmetros desconhecidos e  $\varepsilon$  erro aleatório segue distribuição normal de média 0 e variância constante  $\sigma^2$ .

Para encontrar os níveis ótimos de água (H) e salinidade (S) que maximizem as variáveis de estudo de *N. cochenillifera* clone Doce Gigante utilizamos o ponto estacionário. Este ponto é calculado resolvendo o seguinte sistema de equações definido abaixo

$$\frac{\partial \hat{Y}}{\partial X_1} = \hat{\beta}_1 + 2\hat{\beta}_3 X_1 + \hat{\beta}_5 X_2 = 0 \quad \text{e} \quad \frac{\partial \hat{Y}}{\partial X_2} = \hat{\beta}_2 + 2\hat{\beta}_4 X_2 + \hat{\beta}_5 X_1 = 0$$

onde,  $Y'=[Y1, Y2, \dots, YN]$ , é a matriz N x p; p=6;  $\beta$  é um vetor p x 1 de parâmetros desconhecidos e  $\varepsilon'=[\varepsilon1, \varepsilon2, \dots, \varepsilonN]$ .

Para avaliar a adequação do modelo, foi utilizado o coeficiente de determinação do modo ajustado  $R_{aju}^2$ .

## Resultado e Discussão

A Tabela 5 mostra os resultados para a altura da planta, comprimento, largura, espessura e área do cladódio do clone Doce Gigante aos 330 dias após o plantio.

Tabela 5. Média e desvio padrão das medidas morfométricas do clone Doce Gigante em função da cultura evapotranspiração (ETc) e estresse salino aos 330 dias após o plantio.

Nível de água (% ETc)	Nível de salinidade da água (dS/m)			
	0	2	4	8
	Altura da planta (cm)			
25%	43,5±5,5	38,9±7,1	47,2±2,2	40,8±3,2
50%	44,3±7,3	44,4±8,4	46,2±5,1	41,8±3,3
75%	37,9±6,2	40,5±6,2	40,5±4,5	40,8±8,2
100%	46,3±6,1	44,3±5,3	39,9±3,3	36,6±5,1
	Comprimento do cladódio (cm)			
25%	27,0±4,3	24,3±5,3	28,0±3,1	26,5±2,8
50%	26,3±3,7	27,9±3,3	26,7±5,2	23,0±2,8
75%	24,0±2,3	24,4±5,2	23,9±5,1	26,8±3,2
100%	28,0±4,6	25,4±3,1	22,9±3,3	22,7±4,5
	Largura do cladódio (cm)			
25%	12,3±1,1	11,2±0,5	12,4±1,3	12,4±2,3
50%	12,8±1,5	11,7±1,9	12,4±2,2	9,9±2,0
75%	10,6±0,3	10,8±2,1	10,5±2,1	12,4±1,1
100%	12,8±2,7	12,2±0,7	10,5±0,6	9,5±0,5
	Espessura do cladódio (mm)			
25%	19,6±1,1	16,2±1,5	18,5±1,3	18,1±0,6
50%	18,1±1,3	18,8±1,3	16,6±2,1	16,5±1,1
75%	18,3±0,7	17,6±1,1	17,3±1,8	15,7±1,7
100%	19,1±1,3	15,8±0,5	16,1±1,4	16,9±1,8
	Área do cladódio (cm <sup>2</sup> )			
25%	333,1±81,3	271,8±53,1	346,5±66,3	329,1±89,2
50%	337,3±75,9	325,4±62,7	329,1±89,7	227,7±33,7
75%	254,7±29,3	261,8±89,5	243,2±91,3	332,2±71,2
100%	358,8±95,7	308,0±51,2	242,2±47,8	209,0±39,3

Fonte: Autores

Em *O. ficus-indica* as medidas morfométricas dos cladódios sofrem influência negativa com o aumento do nível de salinidade aplicada na água de irrigação, reduzindo

assim seus valores (AMADOR et al., 2001; SALAZAR & VÉLIZ, 2007; GAJENDER et al., 2014).

Queiroz et al. (2015) verificaram em *O. stricta* que as medidas morfométricas e o número de cladódios são afetados com o aumento da evapotranspiração de referência, enquanto Freire et al. (2018) verificaram redução no crescimento de cladódios de *N. cochenillifera* clone Doce gigante utilizando diferentes níveis de salina e água de irrigação. Situação encontrada no presente estudo, que comprometeu o desenvolvimento vegetativo da planta.

A área do cladódio, altura da planta, comprimento e largura do cladódio apresentaram comportamento quadrático em função do nível da água e salino, bem como a interação entre as tensões, Tabela 6 e Figuras 10 a 13, respectivamente

Tabela 6. Superfície de resposta da área, altura, comprimento, largura e espessura do clone Doce Gigante, critérios de adequação ( $R^2$ ) e níveis ótimos de (%ETc = evapotranspiração da cultura) e salinidade da água

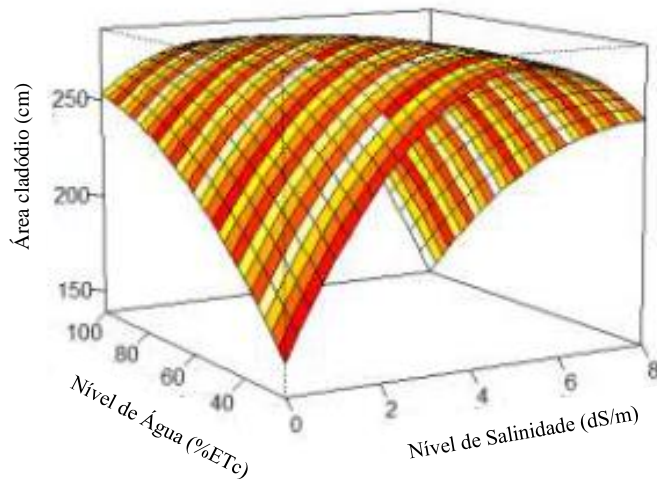
Características	Superfície de resposta	$R^2$	H0	S0	Y0
Morfométricas					
Área de cladódio	$7,41H+29,79S-0,049H^2-1,11S^2-0,348HS$	0,924	63,1	3,53	286,28
Altura da planta	$1,19H+4,51S-0,008H^2-0,219S^2-0,041HS$	0,968	62,8	4,42	47,45
Comprimento do cladódio	$0,71H+2,5S-0,0048H^2-0,11S^2-0,024HS$	0,964	62,6	4,53	27,90
Largura do cladódio	$0,30H+1,11S-0,002H^2-0,043S^2-0,012HS$	0,951	54,7	5,29	10,53
Espessura do cladódio	$0,4H+0,75S-0,002H^2-0,0126HS$	0,913	59,3	12,9	16,7

H0: nível ótimo de % Etc; S0: nível ótimo de salinidade; Y0: ponto máximo. ETc - evapotranspiração da cultura. Fonte: Os autores

Freire et al. (2018) verificaram comportamento quadrático para a largura do cladódio do clone Doce Gigante, maximizando sua largura (5,37 cm) com um nível ótimo de salinidade de 2,57 dS/m com precisão de 54,05%. No presente estudo, a largura do cladódio maximizado em 10,53 cm quando usado 5,29 dS/m e com precisão de 95,1%.

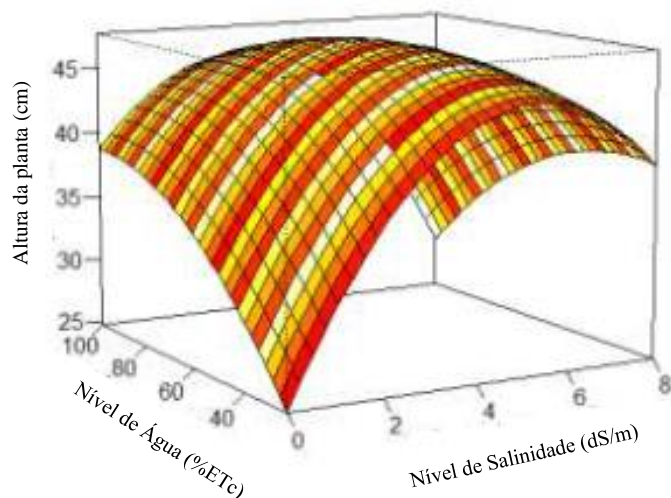
Através da superfície de resposta da área do cladódio verificou-se que utilizando o nível de água de 63,1%.ETc e 3,53 dS/m de salinidade, maximizou a área de cladódio de *N. cochenillifera* em 286,28 cm<sup>2</sup> aos 330 dias após o plantio, Figura 10.

Figura 10. Superfície de resposta da área do cladódio de *N. cochenillifera*.



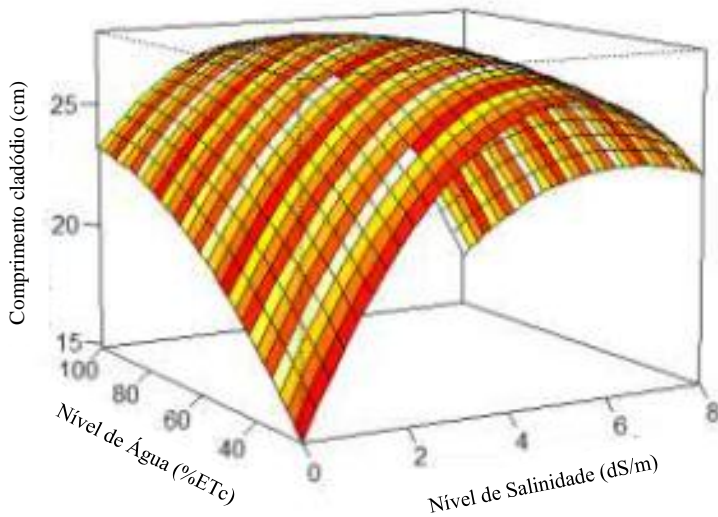
A altura de plantas de *N. cochenillifera* teve seu máximo em 47,45 cm aos 330 dias após o plantio quando o nível da água de 62,8%.ETc e 4,42 dS/m de salinidade foi usado, Figura 11. Resultados semelhantes foram relatados por Gajender et al. (2014) em *O. ficus indica*.

Figura 11. Superfície de resposta da altura da planta de *N. cochenillifera*.



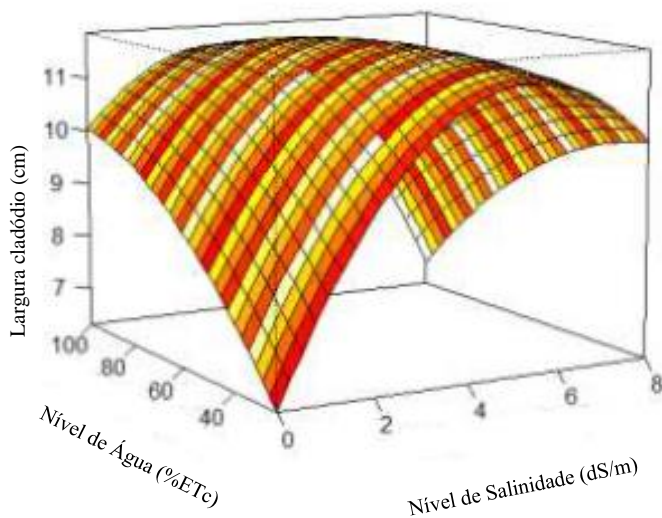
A superfície de resposta do comprimento dos cladódios maximizou seu comprimento em 27,9 cm quando 62,6%. ETC e 4,53 dS/m foram utilizados aos 330 dias após o plantio, Figura 12.

Figura 12. Superfície de resposta do comprimento do cladódio de *N. cochenillifera*.



O comprimento do cladódio de *O. ficus-indica* é afetado quando os níveis de salinidade estão acima de 3 dS/m (AMADOR et al., 2001). Queiroz et al. (2015) verificaram que o comprimento do cladódio de *O. stricta* é maximizado em 2,78 cm, quando utilizado 0% ETC. Através da superfície de resposta gerado para a largura do cladódio, quando utilizados 54,7%ETc e 5,29 dS/m, maximizado em 10,53 cm aos 330 dias após o plantio, Figura 13.

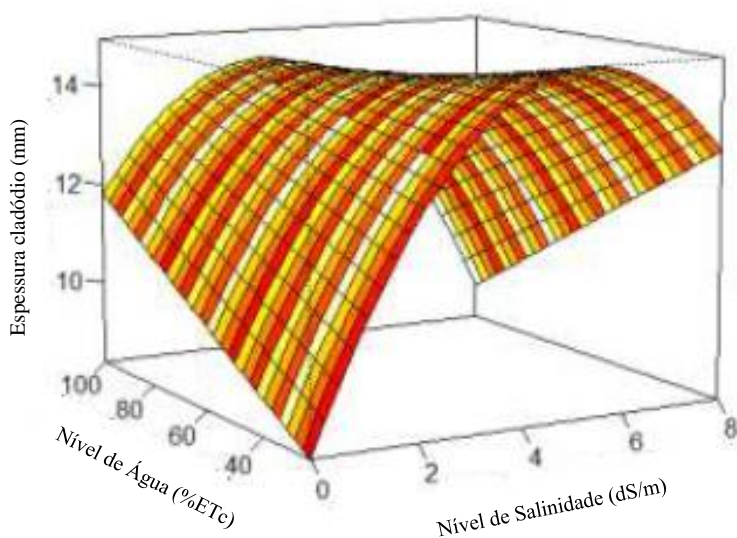
Figura 13. Superfície de resposta da largura do cladódio de *N. cochenillifera*



A largura do cladódio de *O. ficus-indica* é afetada quando se utilizam níveis de salinidade acima de 3 dS/m (AMADOR et al., 2001). Para maximizar a largura do cladódio do clone Doce Gigante em 5,37cm, Freire et al. (2018) utilizaram nível ótimo de 2,57 dS/m de salinidade. Queiroz et al. (2015) verificaram que quando utilizado 0,0% ETc, maximizou a largura do cladódio de *O. stricta* em 2,46 cm.

A espessura do cladódio apresentou comportamento quadrático em função do estresse hídrico e linear em relação ao nível de salinidade, bem como a interação entre as duas tensões, Tabela 6 e Figura 14.

Figura 14. Superfície de resposta da espessura do cladódio de *N. cochenillifera*.



Freire et al. (2018) observaram que a espessura do cladódio do clone pouco doce apresenta comportamento linear a diferentes salinidades nível com 30,21% de precisão de explicação. Observou-se que a superfície de resposta para a espessura do cladódio apresentou um nível ótimo de 59,3%.ETc e 12,9 dS/m maximizando a espessura em 16,7 mm aos 330 dias após o plantio, Figura 5. Freire et al. (2018) maximizou a espessura do clone Doce Gigante em 0,28 cm utilizando um nível de salinidade de 3 dS/m. Queiroz et al. (2015) verificaram que quando se utilizou 0%.ETc, maximizou a espessura do cladódio de *Opuntia stricta* em 0,2 cm.

## Conclusão

Estresses hídrico e salino modificam as medidas morfométricas do clone *Nopalea cochenillifera* Doce Gigante, comprometem o crescimento vegetativo da planta. A

evapotranspiração da cultura na faixa de 54% e 64%, e 3,5 a 5,3 dS/m de salino promovem maior crescimento do clone Doce Gigante sem alterar as características morfológicas, maior rendimento de fitomassa. Trabalhos futuros devem ser realizados avaliando os níveis ótimos de sal e sombreamento para verificar melhor rendimento de palma forrageira.

## Referências

Amador, B. M., Avila, A. C., Diéguez, E. T., Garibay, A. N. & Jones, H. G. (2001). Effects of NaCl salinity on growth and production of young cladodes of *Opuntia ficus-indica*. *Journal Agronomy & Crop Science*, 187(4), 269-279. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2001.00529.x>

Diniz, W. J. S., Silva, T. G. F., Ferreira, J. M. S., Santos, D. C., Moura, M. S. B., Araújo, G. G. L. & Zolnier, S. (2017). Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water depths in the Brazilian Semiarid Region. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52(9), 724-733. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000900004>

El-Mageed, T. A. A., El-Samnoudi, I. M., Ibrahim, A. E. M. & Tawwab, A. R. A. (2018). Compost and mulching modulates morphological, physiological responses and water use efficiency in sorghum (*bicolor* L. Moench) under low moisture regime. *Agricultural Water Management*, 208, 431-439. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.042>.

Freire, J. L., Santos, M. V. F., Dubeux Jr, J. C. B., Neto, E. B., Lira, M. A., Cunha, M. V., Santos, D. C., Amorim, S. O. & Mello, A. C. L. (2018). Growth of cactus pear cv. Miúda under different salinity levels and irrigation frequencies. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90(4), 3893-3900. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820171033>, 2018

Gajender, G., Singh, G., Dagar, J. C., Lal, K. & Yadav, R. K. (2014). Performance of edible cactus (*Opuntia ficus-indica*) in saline environments. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 84(4), 509-519.

Leite, M.L.M.V., Silva, D.S., Andrade, A.P., Pereira, W.E., Ramos, J.P.F. Caracterização da produção de palma forrageira no cariri paraibano. *Revista Caatinga*, v.27, n.2, p.192-200, 2014.

Leite, M.L.M.V., Lucena, L.R.R., Sá Júnior, E.H., Cruz, M.G. Estimativa da área foliar em *Urochloa mosambicensis* por dimensões lineares. *Revista Agropecuária Técnica*, v.38, n.1, p.9-16, 2017.

Leite, M. L. M. V., Lucena, L. R. R., Cruz, M. G., Sá Jr, E. H. & Simões, V. J. L. P. (2019). Leaf area estimate of *Pennisetum glaucum* by linear dimensions. *Acta Scientiarum Animal Science*, 41, e42808. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v41i1.42808>

Leite, M. L. M. V., Lucena, L. R. R., Oliveira, A. D. M., Costa, A. C. L., Anjos, F. L. Q., Farias, I. M., Simões, V. J. L. P. & Almeida, M. C. R. (2020). Cladode area and weight of *Nopalea cochenillifera* clones as a function of morphometric characteristics. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 22, 8-28.

Lucena, L.R.R., Leite, M.L.M.V., Pereira, J.S., Cavalcante, A.B. Ajuste de curvas de crescimento do comprimento do cladódio de *Nopalea cochenillifera*. *Biomatemática*, v.26, p.39-52, 2016.

Lucena, L. R. R., Pereira, J. S. & Leite, M. L. M. V. (2018). Avaliação do modelo de regressão potência no crescimento de *Nopalea cochenillifera* em função do fracionamento do cladódio. *Revista Brasileira de Biometria*, 36(3), 578-587. <https://doi.org/10.28951/rbb.v36i3.238>

Lucena, L. R. R., Simões, V. J. L. P. & Leite, M. L. M. V. (2019a). Superfície de resposta de medidas morfométricas de *Pennisetum glaucum* submetidos ao estresse salino. *Archivos de Zootecnia*, 68(264), 540-545. <https://doi.org/10.21071/az.v68i264.4993>.

Lucena, L. R. R., Leite, M. L. M. V., Borja, C. R. S. & Costa, A. C. L. (2019b). Superfície de resposta no desenvolvimento do capim Pangolão submetidos a déficit hídrico e aplicação de bioestimulante. *Biomatemática*, 29(1), 17-34.

Lucena, L. R. R., Leite, M. L. M. V., Cruz Jr, C. B., Carvalho, J. D., Santos, E. R. & Oliveira, A. D. M. (2019c). Estimation of cladode area of *Nopalea cochenillifera* using digital images. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 21, 32-42.

Lucena, L. R. R., Leite, M. L. M. V., Almeida, M. C. R., Simões, V. J. L. P., Costa, A. C. L., Oliveira, A. D. M. Caraciolo, J. P. S. (2020). Millet survival submitted to

associated stress using generalized gamma and Burr XII distribution. *Research, Society and Development*, 9(9), e895998308.<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.8308>.

Moura, E. A., Lucena, L. R. R., Leite, M. L. M. V., Moura, G. A., Simões, V. J. L. P. & Simplicio, J. B. (2020). Relation of plant height and cladode number of cactus little sweet clone consorted with pornunça. *Cuban Journal of Agricultura Science*, 54(2), 279-288.

Munns, R. & Tester, M. (2008). Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59(1), 651-681.<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>.

Pereira, J. S., Leite, M. L. M. V., Cavalcante, A. B. & Lucena, L. R. R. (2018). Crescimento inicial de *Nopalea cochenillifera* em função do fracionamento do cladódio. *Revista Agropecuária Técnica*, 39(2), 120-128.<https://doi.org/10.25066/agrotec.v39i2.37995>.

Queiroz, M. G., Silva, T. G. F., Zolnier, S., Silva, S. M. S., Lima, L. R. & Alves, J. O. (2015). Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(10), 931-938.<https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p931-938>.

Salazar, V. A. F. & Vélez, J. A. (2007). Respuestas de la tuna [*Opuntia ficus-indica*(L.) Mill.] al NaCl. *Interciencia*, 32(2), 125-130.

Scalon, S. P. Q., Mussury, R. M., Euzébio, V. L. M., Kodama, F. M. & Kissmann, C. (2011). Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). *Ciência Florestal*, 21(4), 655-662.  
<https://doi.org/10.5902/198050984510>.

SILVA, J. A. da et al. Composição mineral em cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações químicas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v. 7, supl., p. 866-875, 2012.

Silva, J. R. I., Jardim, A. M. R. F., Neto, J. B., Leite, M. L. M. V. & Teixeira, V. I. (2018). Estresse salino como desafio para produção de plantas forrageiras. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, 11(3), 127-139.<https://doi.org/10.5935/PAeT.V11.N3.13>

Silva, J.R.I., Jardim, A.M.R.F., Neto, J.B., Leite, M.L.M.V., Teixeira, V.I. Estresse salino como desafio para produção de plantas forrageiras. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, v.11, n.3, p.127-139, 2018. DOI: 10.5935/PAeT.V11.N3.13.

Silva et al, Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino, *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.18, (Suplemento), p.S66–S72, 2014.

Yahmed, J. B.,Oliveira, T. M.,Novillo, P.,Quinones, A.,Forner, M. A.,Salvador, A.,Froelicher, Y.,Mimoun, M. B.,Talon, M.,Ollitrault, P. & Morillon, R. (2016). A simple, fast and inexpensive method to assess salt stress tolerance of aerial plant part: Investigations in the mandarin group. *Journal of Plant Physiology*, 190, 36-43.<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.10.008>.

## **7.CONCLUSÃO GERAL**

O estresse hídrico e salino interfere nas características morfométricas de cactus de *Nopalea cochenillifera* clone Doce Gigante, comprometendo o desenvolvimento vegetativo da planta. Recomenda-se utilização do percentual de evapotranspiração da cultura entre 54% e 64% e níveis de salinidade entre 3,5 e 5,3 dS/m para maior rendimento dos cladódios de *Nopalea cochenillifera* clone Doce Gigante, proporcionando maior produção de fitomassa.

## **8.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Almeida, M.C.R., Leite, M.L.M.V., Sá Jr., E.H., Cruz, M.G., Moura, G.A., Moura, E.A., Sá, G.A.S., Lucena, L.R.R. Crescimento vegetativo de cultivares de milho sob diferentes disponibilidades hídricas. *Magistra*, v.29, n.2, p.161-171, 2017.

Almeida, H. A., Pinto, I. D. O. P., dos Santos Neto, J. 2018. A diagnosis and alternative of the revitalization of spineless cactus in semi- arid of the state of Paraíba. *Brazilian Applied Science Review*. 2 (4), 1346-1359.

Almeida, A. A., Silva, R. A., Araújo, W. L., et al. 2011. Plant health problems caused by the carmine cochineal the Cariri in west palm forage Paraibano. *Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável*. 6 (3), 98 – 108.

Araújo, S.A.C., Vasquez, H.M., Campostrini, E., Netto, A.T., Deminicis, B.B., Lima, E.S. Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.), em estresse hídrico. *Acta Scientiarum: Animal Sciences*, v.32, n.1, p.1-7, 2010. DOI: 10.4025/actascianimsci.v32i1.8961

Araújo Jr., G.N., Gomes, F.T., Silva, M.J., Jardim, A.M.F.R., Simões, V.J.L.P., Izidrio, J.L.P.S., Leite, M.L.M.V., Teixeira, V.I., Silva, T.G.F. Estresse hídrico em plantas forrageiras: Uma revisão. *PUBVET*, v.13, n.1, p.1-10, 2019. DOI: 10.31533/pubvet.v13n01a241.1-10

Araya, A.; Stroosnijder, L.; Girmay, G.; Keesstra, S. D. Crop coefficient, yield response to water stress and water productivity of teff (*Eragrostis tef* (Zucc.)). *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 98, p. 775-783, 2011.

Balardin, R.S., Silva, F.D.L., Debona, D., Corte, G.D., Favera, D.D., Tormen, N.R. Tratamento de sementes com fungicidas e inseticidas como redutores dos efeitos do estresse hídrico em plantas de soja. *Ciência Rural*, v.41, p.1120-1126, 2011.

Bilibio, C., Carvalho, J.A., Martins, M., Rezende, F.C., Freitas, E.A., Gomes, L.A.A. Desenvolvimento vegetativo e produtivo da berinjela submetida a diferentes tensões de água no solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.730-735, 2010.

Bonfim, S. E. M. et al. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. *Revista Caatinga*, v. 24, n. 2, p. 180-186, 2011.

Brito, M. E. B. et al. Comportamento fisiológico de combinações copa/porta-enxerto de citros sob estresse hídrico. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 7, p. 857-865, 2012.

Casaroli, D; Lier, Q. J. V. Critérios para determinação da capacidade de vaso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.1, p.59-66, 2008

Cavalcante, A. C. R.; CavallinI, M. C.; Lima, N.R.C.B. Estresse por déficit hídrico em plantas forrageiras. *Documentos/Embrapa Caprinos*, Sobral-CE, 2009. p.

Coelho, D. L. M. et al. Estresse hídrico com diferentes osmóticos em sementes de feijão e expressão diferencial de proteínas durante a germinação. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 32, n. 3, p. 491-499, 2010.

Duarte, H. F. H.; Souza, E. R. DE. Soil Water Potentials and *Capsicum annum* L. under Salinity. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v. 40, p. 1-11, 2016. DOI: 10.1590/18069657rbc20150220.

FAO – Food and Agriculture Organization. 2001. Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira. Traduzido por SEBRAE/PB. SEBRAE/PB. João Pessoa. pp. 36-48.

Felix et al, Cultivo de palma forrageira (*Opuntia Stricta*) irrigada com água salinizada, *Braz. Ap. Sci. Rev.*, Curitiba, v. 2, n. 6, Edição Especial, p. 1869-1875, nov. 2018. ISSN 2595-3621.

Frechilla, S. et al. Pea responses to saline stress is affected by the source of nitrogen nutrition (ammonium or nitrate). *Plant Growth Regulation*, v. 35, n. 2, p. 171–179, 2001. Disponível em: [doi.org/10.1023/A:1014487908495](https://doi.org/10.1023/A:1014487908495). Acesso em: 7 julh. 2022.

Freire, J.L., Santos, M.V.F., Dubeux Jr., J.C.B., Neto, E.B., Lira, M.A., Cunha, M.V., Santos, D.C., Amorim, S.O., Mello, A.C.L. Growth of cactus pear cv. Miúda under different salinity levels and irrigation frequencies. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.90, n.4, p.3893-3900, 2018.

Ivushkin, K. et al. Global mapping of soil salinity change. *Remote Sensing of Environment*, v. 231, p. 111260, 2019.

José A. Marengo, Lincoln M. Alves, Elder A. Beserra1 & Francinete F. Lacerda, Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro, Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas ISBN 978-85-64265-01-1, 2011.

Lecoeur, J.; Sinclair, R.T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. *Crop Science*, Madison, v.36, p.331-335, 1996.

Leite, M.L.M.V., Silva, D.S., Andrade, A.P., Pereira, W.E., Ramos, J.P.F. Caracterização da produção de palma forrageira no cariri paraibano. *Revista Caatinga*, v.27, n.2, p.192-200, 2014. DOI:

Leite, M.L.M.V., Lucena, L.R.R., Sá Júnior, E.H., Cruz, M.G. Estimativa da área foliar em *Urochloa mosambicensis* por dimensões lineares. *Revista Agropecuária Técnica*, v.38, n.1, p.9-16, 2017.

Leite, M.L.M.V., Lucena, L.R.R., Crus, M.G., Sá Jr., E.H., Simões, V.J.L.P. Leaf area estimate of *Pennisetum glaucum* by linear dimensions. *Acta Scientiarum Animal Science*, v.41, p. e42808 2019. Doi: 10.4025/actascianimsci.v41i1.42808

Lopes, E. B., Santos, D. D.Vasconcelos, M. D. 2012. Cultivo da palma forrageira. *Palma forrageira: Cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no semiárido nordestino*. 21-60.

Lucena, L.R.R., Leite, M.L.M.V., Pereira, J.S., Cavalcante, A.B. Ajuste de curvas de crescimento do comprimento do cladódio de *Nopalea cochenillifera*. *Biomatemática*, v.26, p.39-52, 2016.

Lucena, L.R.R., Leite, M.L.M.V., Simões, V.J.L.P., Simões, V.J.L.P., Almeida, M.C.R. Área de cladódio da palma *Opuntia stricta* utilizando dimensões lineares. *Agrarian Academy*, v.5, n.9, p.46-55, 2018. DOI: 0.18677/Agrarian\_Academy\_2018a5

Lucena, L.R.R., Simões, J.V.L.P., Leite, M.L.M.V. Superfície de resposta de medidas morfométricas de *Pennisetum glaucum* submetidos ao estresse salino. *Archivos de Zootecnia*, v.68, n.264, p.540-545, 2019a. DOI: <https://doi.org/10.21071/az.v68i264.4993>

Lucena, L.R.R., Leite, M.L.M.V., Borja, C.R.S., Costa, A.C.L. Superfície de resposta no desenvolvimento do capim Pangolão submetidos a déficit hídrico e aplicação de bioestimulante. *Biomatemática*, v.29, n.1, p.17-34, 2019b.

Lucena, L.R.R., Leite, M.L.M.V., Cruz Jr., C.B., Carvalho, J.D., Santos, E.R., Oliveira, A.D.M. Estimation of cladode area of *Nopalea cochenillifera* using digital images. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, v.21, p.32-42, 2019c.

Marques, C. F. O. et al. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos, *Cad. Ciênc. Agra.*, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017 – ISSN 2447-6218

Mattos, J. L. S.; Gomide, J. A.; Huamam, C. A. M. Crescimento de espécies do gênero *Brachiaria*, sob déficit hídrico, em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 34, n. 3, p. 746-754, 2005.

- Mangueira, R.A.F., Savian, T.V., Muniz, J.A., Sermarini, R.A., Crosariol Netto, J.O. modelo logístico considerando diferentes distribuições para os erros aplicados a dados de altura do milho. *Revista Brasileira de Biometria*, v.34, n.2, p.317-333, 2016.
- Miura, K. Nitrogen and phosphorus nutrition under salinity stress. In: Ahmad, P.; Azooz, M. M.; Prasad, M. N. V. (ed.). *Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress*. New York, NY: Springer New York, 2013. v. 9781461447. p. 425–441. Disponível em: [http://link.springer.com/10.1007/978-1-4614-4747-4\\_16](http://link.springer.com/10.1007/978-1-4614-4747-4_16). Acesso em: 12 julh 2022.
- Munns, R., Tester, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, v.59, n.1, p.651-681, 2008. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911
- M. M.; Prasad, M. N. V. (ed.). *ecophysiology and responses of plants under salt stress*. New York, NY: Springer New York, 2013. p. 1–24. Disponível em: [http://link.springer.com/10.1007/978-1-4614-4747-4\\_1](http://link.springer.com/10.1007/978-1-4614-4747-4_1). Acesso em: 12 julh. 2022.
- Murkute, A. A.; Sharma, S.; Singh, S. K. Citrus in terms of soil and water salinity: a review. 2005.
- Nobel, P.S. 1995. *Environmental biology* In: Barbera, G; Inglese, P.; Pimienta-Barrios. *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO, Rome, pp. 36-48
- Oliveira, C.R.M.; Farias, P.M.; Oliveira, D.D.S.C. Irrigation with Controlled Water Stress and its Effects in 'Navelate' orange plants/Irrigação com estresse hídrico controlado e seus efeitos em laranjeiras' Navelate'. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 1, p. 4770-4780, 2020.
- Paiva, R & Oliveira, L.M. *Fisiologia e Produção Vegetal*. Lavras. Ed. UFLA, 2006. 104 p.
- Pedrotti, A. et al. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.
- Pereira, J.S., Leite, M.L.M.V., Cavalcante, A.B., Lucena, L.R.R. Crescimento inicial de *Nopalea cochenillifera* em função do fracionamento do cladódio. *Revista Agropecuária Técnica*, v.39, n.2, p.120-128, 2018. DOI: 10.25066/agrotec.v39i2.37995

Pereira, L. S.; Cordery, I.; Iacovides, I. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 108, p. 39-51, 2012.

Perazzo Alexandre Fernandes, Características agronômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido, *Ciência Rural*, Santa Maria, v.43, n.10, p.1771-1776, ISSN 0103-8478,2013.

Qadir, M.; Oster, J. Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture. *Science of The Total Environment*, 47 v. 323, n. 1–3, p. 1–19, 5 maio 2004. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969703005965>. Acesso em: 10 julh 2022.

Rasool, S. et al. Salt stress: causes, types and responses of plants. In: Ahmad, P.; Azooz 2013.

Risely Ferraz Almeida, Palma forrageira na alimentação de ovinos e caprinos no Semiárido Brasileiro, *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, ISSN 1981-8203,2012.

Rodríguez, E. S. et al. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science*, v. 178, n. 1, p. 30-40, 2010. DOI: 10.1016/j. plantsci.2009.10.001.

Santos et al; Crescimento da palma forrageira sob estresse salino e diferentes lâminas de irrigação, *Revista Craibeiras de Agroecologia*, v. 5, n. 1, p. e9452, 2020.

Santos, M. V. F; Cunha, M. V.; Lira, M. M.; Dubeux Jr, J. C. B.; Santos, D. C.; Oliveira, O. F. Sistemas de manejo e produção da palma forrageira. In: I Workshop sobre a palma forrageira: usos e perspectivas para o semiárido. 1, 2012, Feira de Santana. Anais... Feira de Santana, 2012. 138-145p

Silva, J. A. da et al. Composição mineral em cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações químicas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v. 7, supl., p. 866-875, 2012.

Silva, J. R. I; Jardim, A. L. DA R. F.; Neto, J. B.; Leite, M. L. DE M. V.; Teixeira, V. I. Estresse salino como desafio para produção de plantas forrageiras. *Pesquisa Aplicada &*

Agrotecnologia, Guarapuava-PR, v.11, n.3, p.127-139, sep-dec., 2018. DOI: 10.5935/PAeT.V11.N3.13.

Silva, E. N. et al. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and growth of *Jatropha curcas* plants. *Journal of Arid Environments*, v. 74, n. 10, p. 1130-1137, 2010. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2010.05.036.

Scheinvar, I. Usos e importância das cactáceas. in: I Workshop sobre a palma forrageira: usos e perspectivas para o semiárido. 1, 2012, Feira de Santana. Anais... Feira de Santana, 2012. 151p.

Shrivastava, P.; Kumar, R. Soil salinity: a serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 22, n. 2, p. 123–131, 1 mar. 2015. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1319562X14001715>. Acesso em: 10 julh 2022.

Taiz, L. et al. *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. 6ªed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

Vasconcelos, A. G. V., Lira, M. de A., Cavalcanti, V. L. B., et al. 2009. Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha do carmin (*Dactylopius opuntiae*), *Revista Brasileira Zootecnia*. 38 (5), 827-831.

Yadav, S. et al. Causes of salinity and plant manifestations to salt stress: a review. *Journal of Environmental Biology*, v. 32, n. 5, p. 667, 2011.

Zanella Maria Elisa, Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino, *Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente*, n.36, Volume Especial, p. 126-142, 2014.