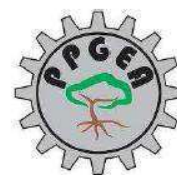




UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM



DÉBORA SAMARA CRUZ ROCHA FARIAS DE MELLO

TESE

**DOSES DE SILÍCIO NA INDUÇÃO A TOLERÂNCIA AO ESTRESSE  
HÍDRICO EM MORINGA OLEÍFERA**

Campina Grande

2022

DÉBORA SAMARA CRUZ ROCHA FARIAS DE MELLO

**DOSES DE SILÍCIO NA INDUÇÃO A TOLERÂNCIA AO ESTRESSE  
HÍDRICO EM MORINGA OLEÍFERA**

**Orientador:** Prof. Dr. José Dantas Neto

**Co Orientador:** Prof. Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola - PPGEA, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do título de doutora em Engenharia Agrícola.

Campina Grande

2022

M527d Mello, Débora Samara Cruz Rocha Farias de.  
Doses de silício na indução a tolerância ao estresse hídrico em moringa oleifera / Débora Samara Cruz Rocha Farias de Mello. – Campina Grande, 2023.  
78 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2022.  
"Orientação: Prof. Dr. José Dantas Neto, Prof. Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz".

Referências.

1. Estresse Hídrico – Moringaceae. 2. Moringa (*Moringa oleifera Lam.*). 3. Estresse Abiótico. 4. Elicitor. 5. Déficit Hídrico. 5. Irrigação e Drenagem. I. Dantas Neto, José. II. Ferraz, Rener Luciano de Souza. III. Título.

CDU 631.62/.67:582.683.4(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA  
Rua Aprígio Veloso, 882, - Bairro Universitário, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

**FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES**

**DÉBORA SAMARA CRUZ ROCHA FARIAS DE MELLO**

**DOSES DE SILÍCIO NA INDUÇÃO A TOLERÂNCIA AO ESTRESSE  
HÍDRICO EM MORINGA OLEÍFERA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola como pré-requisito para obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 16/09/2022

José Dantas Neto - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Rener Luciano de Souza Ferraz - Orientador(a) - UATEC/CDSA/UFCG

Vera Lucia Antunes de Lima - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Maria Sallydelândia Sobral de Farias - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Soahd Rached Arruda Farias - Examinador(a) Externo(a) - UAEA/CTRN/UFCG

André Alisson Rodrigues da Silva - Examinador(a) Externo(a) - PDJ/UFCG



Documento assinado eletronicamente por **MARIA SALLYDELANDIA DE FARIAS ARAUJO, PROFESSOR 3 GRAU**, em 03/10/2022, às 11:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **André Alisson Rodrigues da Silva, Usuário Externo**, em 03/10/2022, às 13:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

Documento assinado eletronicamente por **SOAHD ARRUDA RACHED, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/10/2022, às 14:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

10/10/2022 10:36

SEI/UFCG - 2792183 - PRPG-Folha de Assinatura para Teses e Dissertações



Documento assinado eletronicamente por **JOSE DANTAS NETO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/10/2022, às 22:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/10/2022, às 13:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **RENER LUCIANO DE SOUZA FERRAZ, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR-VISITANTE**, em 09/10/2022, às 11:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **2792183** e o código CRC **A5890A23**.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela proteção, inspiração, perseverança e força que sempre me proporcionou na caminhada da vida e nos últimos anos nesse meu empreendimento.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. José Dantas Neto e Prof. Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz, pela orientação, dedicação, confiança e compreensão que eles têm me dedicado desde o dia da inscrição nesse Programa de Pós-graduação.

Ao meu esposo, Eduardo de Mello Silva, pelo apoio diário, palavras de incentivo, amor e paciência;

A minha mãe, Divanete Cruz Rocha (in memorian), e minha avó Maria Eugênia Rocha (in memorian), pelo incentivo, amor e cuidado;

A minha família, meu pai Antônio Rufino de farias, meu irmão Divaldo Cruz Rocha Neto, minhas tias Dinalva Cruz Rocha, Divaneide Cruz Rocha Luna e Divanda Cruz Rocha.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo;

À Universidade Federal de Campina Grande, em especial, à Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade da realização deste curso;

Aos alunos colaboradores, Stephen, Raniery Santiago Cantalice, Deise Maria Lima Farias, Deibson Teixeira da Costa, Renato, João Vitor da Silva Pereira, Patrícia da Silva Costa e Guilherme Felix Dias.

Aos colegas da pós-graduação: Michelle, Noelly, André e Márcia pelo companheirismo e ajuda ao longo do curso.

Aos Técnicos de laboratório do CTRN/UFCEG, pela disponibilização de espaço e de equipamentos para realização das análises do experimento e ao Prof. Pedro Dantas, pelo fornecimento do Irga e do Fluorômetro para realização de análises fisiológicas.

Aos secretários da Coordenação de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Roberto Romã, Michelle, Gilson e Maria Aparecida, pela ajuda e atenção nos momentos que precisei;

As coordenadoras, Vera Lúcia Antunes de Lima e Josivanda Palmeira Gomes por toda ajuda e empenho.

A Lísia pela atenção e intermediação com o Certbio.

Ao Certbio Laboratório de Avaliação e Desenvolvimento de Biomateriais do Nordeste pelas análises de difratometria de raio x.

As pessoas que oraram por mim e me deram palavras de incentivo.

A parceria com a Universidade Estadual da Paraíba, Campus Lagoa Seca.

Aos técnicos e vigia da Universidade Estadual da Paraíba, Campus Lagoa Seca.

Ao instituto nacional do semiárido devido às análises Bromatológicas, através do técnico zootecnista, Romildo da Silva Neves e o coordenador do laboratório, Geovergue.

Aos membros da banca examinadora Dr José Dantas Neto, Dr Rener Luciano de Souza Ferraz, Dr. André Alisson Rodrigues da Silva, Dr<sup>a</sup>. Soahd Arruda Rached Farias, Dr<sup>a</sup>. Maria Sallydelândia de Farias Araújo, Dr<sup>a</sup> Vera Lúcia Antunes de Lima pela colaboração no fechamento do nosso trabalho.

A todos que contribuíram de forma direta ou indiretamente para realização desta conquista, muito obrigada!

A minha mãe, Divanete Cruz Rocha Farias (In memorian), e avó Maria Eugênia Rocha (In memorian), pelo amor, carinho, dedicação e por nos ensinar o caminho de JESUS CRISTO.

**MINHA HOMENAGEM**

Ao meu esposo, Eduardo pelo carinho, compreensão e companheirismo; a minha filha Beatriz, presente de Deus para nossas vidas, nosso milagre.

**DEDICO**

## Sumário

<b>Lista de tabelas.....</b>	v
<b>Lista de figuras.....</b>	vi
<b>Lista de abreviaturas.....</b>	viii
<b>RESUMO.....</b>	ix
<b>ABSTRACT.....</b>	x
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	11
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	13
2.1 Objetivo Geral.....	13
2.2 Objetivos Específicos.....	14
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	14
3.1 Considerações gerais sobre a moringa oleífera.....	14
3.2 Aspectos botânicos e morfológicos da moringa.....	14
3.3 Distribuição geográfica.....	15
3.4 Importância socioeconômica.....	16
3.5 Adubação com silício.....	18
<b>4. MATERIAIS E MÉTODO.....</b>	20
4.1 Localização e caracterização da área experimental.....	20
4.2 Preparação das mudas, da área de plantio e tratos culturais.....	23
4.3 Tratamento e delineamento experimental.....	25
4.4 Manejo da cultura.....	28
4.5 Variáveis fisiológicas.....	28
4.5.1. Determinação da clorofila.....	28
4.5.2 Trocas gasosas e fluorescência.....	29
4.5.3 Fluorescência da clorofila a.....	30
4.5.4 Pigmentos fotossintéticos.....	30
4.5.5 Determinação do estado hídrico foliar.....	31
4.5.6 Extravasamento de eletrólitos.....	32
4.6 Variáveis de crescimento.....	32
4.7 Análise dos dados.....	33
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	34
5.1 Variáveis de crescimento e fisiológicas.....	34
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	62
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	63



## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1.</b> Atributos físicos e químicos do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.....	20
<b>Tabela 2.</b> Resumo da análise de variância referente à SPAD <sub>1</sub> , SPAD <sub>2</sub> , SPAD <sub>3</sub> e SPAD <sub>4</sub> em função das lâminas de irrigação e das concentrações de dióxido de silício.....	32
<b>Tabela 3.</b> Resumo da análise de variância referente à taxa de assimilação de CO <sub>2</sub> ( <i>A</i> ), condutância estomática ( <i>g<sub>s</sub></i> ), transpiração ( <i>E</i> ), concentração interna de CO <sub>2</sub> ( <i>C<sub>i</sub></i> ), eficiência instantânea da carboxilação ( <i>EiCi</i> ) e eficiência instantânea no uso da água ( <i>EiUA</i> ) em função das lâminas de irrigação e das concentrações de dióxido de silício.....	38
<b>Tabela 4.</b> Resumo da análise de variância referente à clorofila <i>a</i> ( <i>Cl a</i> ), clorofila <i>b</i> ( <i>Cl b</i> ), clorofila total ( <i>Cl t</i> ) e carotenoides ( <i>Car</i> ) em função das lâminas de irrigação e das concentrações de dióxido de silício.....	42
<b>Tabela 5.</b> Resumo da análise de variância referente aos números de folhas NF1, NF2, NF3 e NF4.....	45
<b>Tabela 6.</b> Resumo da análise de variância referente aos diâmetros de caule DC1, DC2, DC3 e DC4.....	48
<b>Tabela 7.</b> Resumo da análise de variância referente aos números de ramificações NR1, NR2, NR3 e NR4.....	50
<b>Tabela 8.</b> Resumo da análise de variância referente aos comprimentos de folha CF1, CF2, CF3 e CF4. ....	51
<b>Tabela 9.</b> Resumo da análise de variância referente às larguras das folhas LF1, LF2, LF3 e LF4. ....	53
<b>Tabela 10.</b> Resumo da análise de variância referente à altura de copa nas avaliações 1, 2 e 3. ....	55
<b>Tabela 11.</b> Resumo da análise de variância referente ao teor relativo de água (TRA), porcentagem de extravasamento de eletrólitos (% EE) e iluminância solar (IS).....	57
<b>Tabela 12.</b> Resumo da análise de variância referente a fluorescência inicial ( <i>F<sub>0</sub></i> ), fluorescência máxima ( <i>F<sub>m</sub></i> ), fluorescência variável ( <i>F<sub>v</sub></i> ) e eficiência quântica do fotossistema II ( <i>F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub></i> ). ....	58

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Área experimental do CCAA da UEPB, com destaque para o talhão B onde foi instalado o experimento.....	20
<b>Figura 2.</b> Dados pluviométricos da região de Lagoa Seca.....	21
<b>Figura 3A.</b> Esterco e areia lavada.....	23
<b>Figura 3B.</b> Sacos preenchidos.....	23
<b>Figura 4.</b> Sementes da moringa.....	23
<b>Figura 5.</b> Adubação de fundação.....	24
<b>Figura 6.</b> Transplântio das mudas de moringa.....	24
<b>Figura 7</b> Primeira poda das plantas aos 30 dias após o transplântio .....	25
<b>Figura 8.</b> Croqui do experimento.....	26
<b>Figura 9.</b> Aplicação do silício.....	27
<b>Figura 10.</b> Avaliação das trocas gasosas nas plantas da moringa.....	29
<b>Figura 11.</b> Análise da eficiência fotoquímica.....	30
<b>Figura 12.</b> Medição de diâmetro do caule a 2,0 cm da superfície do solo.....	33
<b>Figura 13.</b> SPAD <sub>2</sub> , SPAD <sub>3</sub> e SPAD <sub>4</sub> em função das lâminas de irrigação.....	35
<b>Figura 14.</b> SPAD <sub>4</sub> em função das concentrações de dióxido de silício.....	36
<b>Figura 15.</b> Variáveis de trocas gasosas.....	40
<b>Figura 16.</b> Variáveis de pigmentos fotossintéticos .....	43
<b>Figura 17.</b> Carotenoides.....	44
<b>Figura 18.</b> Número de folhas na avaliação 1 e 2.....	47
<b>Figura 19.</b> Diâmetro de caule das avaliações 1, 2, 3 e 4.....	49
<b>Figura 20.</b> Interação.....	49
<b>Figura 21.</b> Número de ramificações das avaliações 2 e 3. ....	51
<b>Figura 22.</b> Comprimento foliar das avaliações 2 e 3 .....	52
<b>Figura 23.</b> Comprimento foliar da avaliação 4.....	52
<b>Figura 24.</b> Largura foliar das avaliações 2, 3 e 4. ....	54
<b>Figura 25.</b> Largura foliar da avaliação 4. ....	54

<b>Figura 26.</b> Altura de copa das avaliações 2 e 3. ....	56
<b>Figura 27.</b> Porcentagem de extravasamento de eletrólitos (% EE).....	58
<b>Figura 28.</b> Fluorescência inicial ( $F_0$ ) e eficiência quântica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) em função das lâminas de irrigação e das doses de dióxido de silício.....	60
<b>Figura 29.</b> Eficiência quântica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) em função das doses de dióxido de silício.....	60

## Lista de abreviaturas e siglas

**ABS** - Absorbância  
**AC** - Altura de copa  
**CEi** - Condutividade elétrica inicial  
**CEf** - Condutividade elétrica final  
**Cl<sub>a</sub>** - Clorofila a  
**Cl<sub>b</sub>** - Clorofila b  
**Car** - Carotenóides  
**Cl<sub>t</sub>** - Clorofila total  
**CCAA** - Centro de Ciências Agrárias e Ambientais  
**CO<sub>2</sub>** - Dióxido de carbono  
**CTRN** - Centro de tecnologia e recursos naturais  
**D** - Diâmetro médio do cristalito  
**DC** - Diâmetro do caule  
**DSH** - Déficit de saturação hídrica nas folhas  
**DRP** - Diâmetro da ramificação principal  
**EC** - Área ocupada pela planta  
**EE** - Extravasamento de eletrólitos na membrana  
**Ef** - Eficiência de irrigação  
**EiUA** - Eficiência instantânea no uso de água  
**EiCi** - Eficiência instantânea da carboxilação  
**EMBRAPA** - Empresa brasileira de pesquisa agropecuária  
**ET<sub>o</sub>** - Evapotranspiração de referência  
**F<sub>o</sub>** - Fluorescência inicial  
**F<sub>m</sub>** - Fluorescência máxima,  
**F<sub>v</sub>** - Fluorescência variável  
**F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>** - Eficiência quântica potencial  
**I<sub>a</sub>** - Intensidade de aplicação  
**K<sub>c</sub>** - Coeficiente de cultura;  
**K<sub>g</sub>** - Quilograma  
**KL** - Coeficiente de localização da aplicação de água pelo emissor;  
**K** - Coeficiente de Scherrer, a depender do formato das partículas  
**KPa** - Quilopascal  
**LB** - Lâmina bruta  
**MF** - Massa fresca de folha  
**MT** - Massa túrgida  
**MS** - Massa seca  
**NF** - Número de folhas  
**N** - Número de emissores por planta;  
**Pe** - Precipitação pluvial ocorrida no período;  
**SiO<sub>2</sub>** - Dióxido de silício  
**Si** - Silício  
**Ti** - Tempo de irrigação  
**TRA** - Teor relativo de água  
**UEPB** - Universidade Estadual da Paraíba  
**UFCG** - Universidade Federal de Campina Grande  
**v** - Vazão do emissor  
**λ** - Comprimento de onda das fontes de radiação  
**β** - Largura à meia altura do ângulo da banda de maior intensidade

## RESUMO

A *Moringa oleífera* Lam. é uma planta que pode ser usada de múltiplas formas, seja como alimentação humana (flores, folhas, frutos e sementes) e animal (produção de forragem), tratamento de água para consumo humano, indústria de cosméticos e medicinal, combustível ou mesmo a produção de papel. Ela é considerada uma espécie arbórea exótica que se adaptou às condições edafoclimáticas do semiárido do Nordeste brasileiro, embora a ocorrência de déficit hídrico reduza o crescimento, limite o desenvolvimento e comprometa a fisiologia da planta. No entanto, o silício é um agente mitigador do déficit hídrico. Sendo assim, o presente estudo objetivou avaliar o efeito das doses de silício na indução à tolerância da *Moringa oleífera* ao estresse hídrico, sobre a fisiologia e o crescimento vegetativo. O estudo foi desenvolvido em parceria com o Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Estadual da Paraíba, localizado no município de Lagoa Seca – PB. Para tanto, o experimento foi instalado em delineamento de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas em esquema fatorial duplo 5x5, sendo cinco lâminas de irrigação (25, 50, 75, 100 e 125% da ETC) e cinco doses de silício (0, 3, 6, 9 e 12 g de dióxido de silício por planta), totalizando 25 tratamentos com quatro repetições, com 100 unidades experimentais, as quais eram constituídas de três plantas úteis. Nas parcelas ficaram as lâminas de irrigação e nas sub-parcelas as doses de silício. Com relação ao resultado, as lâminas de irrigação exerceram influência significativa ( $p < 0,01$ ) em quase todas as variáveis estudadas, com exceção apenas para o teor relativo de água (TRA), porcentagem de extravasamento de eletrólitos (% EE) e iluminância solar (IS). Já as concentrações de dióxido de silício, proporcionaram efeito significativo para a quarta avaliação do índice spad, clorofila *a*, clorofila total, extravasamento de eletrólitos, eficiência quântica do fotossistema II. O diâmetro do caule foi à única variável de crescimento afetada pela interação entre os fatores estudados.

**Palavras chave:** Moringaceae; estresse abiótico; elicitor; déficit hídrico; atenuante.

## ABSTRACT

*Moringa oleifera* Lam. is a plant of multiple uses, whether used as human food (flowers, leaves, fruits and seeds) and animal (forage production), water treatment for human consumption, cosmetics and medicinal industry, fuel, paper production. It is considered an exotic tree species that has satisfactorily adapted to the edaphoclimatic conditions of the semiarid region of Northeast Brazil, although the occurrence of water deficit reduces growth, limits development and compromises plant physiology. Silicon is a water deficit mitigating agent. The objective of the present study was to evaluate the effect of silicon doses on the induction of *Moringa oleifera* tolerance to water stress, on physiology and vegetative growth. The experiment was carried out at the Center for Agricultural and Environmental Sciences of the State University of Paraíba, located in the municipality of Lagoa Seca - PB. The experiment was carried out in a randomized block design, in split plots in a 5x5 double factorial scheme, with five irrigation depths (25, 50, 75, 100 and 125% of ETC) and five doses of silicon (0, 3, 6, 9 and 12 g of silicon dioxide per plant), totaling 25 treatments with four replications, with 100 experimental units which consisted of three useful plants. In the plots were the irrigation depths and in the sub-plots will be the doses of silicon. Irrigation depths exerted a significant influence ( $p < 0.01$ ) on all variables studied, with the exception of relative water content (TRA), percentage of electrolyte extravasation (% EE) and solar illuminance (IS). On the other hand, the concentrations of silicon dioxide, provided a significant effect for the fourth evaluation of the spad index, chlorophyll a, total chlorophyll, electrolyte extravasation, quantum efficiency of photosystem II. Stem diameter was the only growth variable affected by the interaction between the factors studied.

**Keywords:** Moringaceae; abiotic stress; elicitor; water deficit; mitigating.

## 1.INTRODUÇÃO

A irrigação de culturas agrícolas é uma prática utilizada para complementar à disponibilidade da água provida naturalmente pela chuva, proporcionando ao solo teor de umidade suficiente para suprir as necessidades hídricas das culturas, favorecendo a obtenção de aumentos de produtividade e contribuindo para reduzir a expansão de plantios em áreas com cobertura vegetal natural. (EMBRAPA, 2016)

Uma das mais comuns e prevalentes limitações abióticas observadas no Semiárido brasileiro é o déficit hídrico. Os efeitos desse fenômeno nas espécies encontradas na região trazem diversos problemas ao manejo e cultivo das mesmas, em qualquer fase do seu desenvolvimento, principalmente, ao levar em consideração a intensidade e duração do estresse (Costa *et al.*, 2008; Pereira, 2012). O crescimento e o potencial de produção da cultura são afetados pela baixa disponibilidade de água no solo, pois a maioria é sensível ao déficit hídrico (Ali & Talukde, 2008; Scalon *et al.*, 2011).

Ao longo do tempo várias culturas exóticas ao bioma caatinga, como a algaroba [(*Prosopis juliflora* (Sw.) DC)], a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana [*Opuntia dillenii* (Ker Gawl.) Haw.] a moringa (*Moringa oleífera*) e outras, foram introduzidas com o intuito de aumentar a produtividade forrageira mesmo em condições de estresse hídrico. Nesse sentido, Costa *et al.*, (2024) afirmam que, uma alternativa para aumentar a produção de alimentos e reduzir os impactos da agricultura no semiárido, é o cultivo de plantas que tenham potencial para múltiplas possibilidades de uso e que apresentem plasticidade genotípica e fenotípica para adaptação a diferentes ambientes de cultivo.

É nesse cenário que a moringa oleífera tem se destacado, pois possui potencial para alimentação humana e animal, medicinal, industrial, ambiental e social, por ser uma fonte abundante de aminoácidos essenciais, macronutrientes e micronutrientes, com elevado teor de óleo nas sementes. (Garcia *et al.*, 2019; Karthickeyan, 2019). Além disso, as suas sementes podem ser usadas para purificação de água e um alto potencial para plantio no semiárido brasileiro. (Vasconcelos, 2013). No geral, a moringa consegue sobreviver em solos quimicamente pobres, além de ser considerada como

tolerante ao estresse hídrico e salino (Santiago & Bezerra Neto, 2017; Silva *et al.*, 2017).

E é por essas características que o nordeste do Brasil apresenta excelentes condições para o cultivo da moringa, sendo confirmado pelos números, pois é a região que tem o maior cultivo e utilização dessa planta (Lima *et al.*, 2020)

Devido às condições edafoclimáticas, a região semiárida apresenta dificuldade na oferta de alimento e de água potável. Portanto, é interessante estudos de espécies que sejam resistentes às condições de restrição hídrica e que apresentem diversos usos. Com esse aspecto, a moringa (*Moringa oleífera Lam.*) destaca-se por ser uma espécie exótica, mas que possui potencial para plantio no semiárido brasileiro. (Vasconcelos, 2013).

Dentre os diversos estresses abióticos (Ge *et al.*, 2019; Kuczynska *et al.*, 2019; Singh *et al.*, 2019; Yao *et al.*, 2019), o déficit hídrico ativa o mecanismo antioxidante de *M. oleífera* (Azam *et al.*, 2020), reduzindo o tamanho dos estômatos, teor de pigmentos cloroplastídicos, das trocas gasosas foliares e do crescimento da raiz e da parte aérea (Vasconcelos *et al.*, 2019; Galgaye *et al.*, 2020; Boumenjel *et al.*, 2021). Mudanças morfológicas e fisiológicas também são observadas, tais como reduções na expansão celular e, na área foliar, pode promover fechamento estomático e aumento da abscisão foliar, o que reflete em menor taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> e acúmulo de fitomassa (Salemi *et al.*, 2019; Vasconcelos *et al.*, 2019).

Mesmo as plantas resistentes ao estresse hídrico, em algum momento, elas podem não conseguirem absorver a quantidade de água necessária para realizar suas funções biológicas, sendo necessário o uso de atenuantes.

O déficit hídrico reduz o tamanho dos estômatos, teor de pigmentos cloroplastídicos, das trocas gasosas foliares e do crescimento da raiz e da parte aérea (Vasconcelos *et al.*, 2019; Galaye *et al.*, 2020; Boumenjel *et al.*, 2021). Nesse sentido, dentre os manejos agrônômicos para atenuar o estresse utiliza-se o silício como amenizador dos efeitos deletérios desse fator abiótico. Ele modula o metabolismo das plantas e altera as atividades fisiológicas, particularmente, em plantas sujeitas a condições de estresse. Essa ação bioquímica evita que plantas sofram estresse hídrico. Mas, ainda podem ser considerados incipientes os estudos do uso do silício em moringa oleífera irrigada, motivo pelo qual se propôs essa pesquisa.



## **2.OBJETIVOS**

### **2.1Geral**

Com o presente estudo objetivou-se avaliar o efeito das doses de silício na indução à tolerância da *Moringa oleífera* ao estresse hídrico, sobre a fisiologia e o crescimento vegetativo.

### **2.2Específicos**

- Analisar as variáveis de crescimento, fisiologia, afetadas pela lâmina de irrigação e doses de silício;
- Analisar as alterações fisiológicas, através da determinação das trocas gasosas da Moringa em função do uso de lâminas de irrigação e doses de silício;
- Identificar a dose de silício e a interação com a lâmina de irrigação que melhor contribua com o cultivo da moringa.

### 3.REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Considerações Gerais sobre a *Moringa oleífera*

##### 3.1.1 aspectos botânicos e morfológicos da moringa

A *Moringa oleífera* Lamarck, uma espécie da família Moringaceae, nativa da Índia e Paquistão (Domenico *et al.*, 2019), amplamente cultivada e naturalizada na África Tropical, América Tropical, Sri Lanka, México, Malabar, Malásia e nas ilhas Filipinas (Duke 1983).

É conhecida por vários nomes (Benge, 1987). Horseradish tree, bem oil tree, drumslick e sohnia; benzolie, benzolivier, bem oieire, bambou-bananier e graines benne, resedé, bem, jazmin francês, palo de aceite, palo de abejas, e libertad, paraíso de Espaiia e paraíso; marango; perlas e paraíso blanco; teberinto; jacinto; muranga calalu; angela saihan; mokko e bem-ail, shagarat al rauwag. No Brasil por diversos nomes populares como acácia-branca, lírio-branco, árvore-rabanete-de-cavalo, quiabo-de-quina, entre outros (Lorenzi e Matos, 2002).

É uma planta usada na alimentação humana, e uma grande variedade de vantagens nutricionais e medicinais tem sido atribuída às suas raízes, cascas, folhas, flores, frutos e sementes. Suas folhas, segundo análises fitoquímicas, são ricas em potássio, cálcio, fosfato phorous-ferro, vitaminas A e D, aminoácidos essenciais, bem como, conhecidos antioxidantes, como âcaroteno, vitamina Ce flavonóides (Anwar 2007 *et al.*, 2007; Kumar *et al.*, 2010) além de serem usadas como forragem (Bakke *et al.*, 2018),

A altura da planta varia de 5m a 12m com uma copa aberta em forma de sombrinha, tronco ereto (10cm-30cm de espessura) com casca esbranquiçada, esponjosa. As folhas têm formato de pena, verde-pálido, compostas, tripinatas, 30cm a 60cm de comprimento, com 3 a 9 folíolos nas pinas terminais (Brown, 1950). Cada folíolo tem de 1.3 cm a 2 cm de comprimento e 0,3 cm a 0.6 cm de largura. As folhas laterais são quase elípticas, enquanto que as folhas terminais são obovatas e ligeiramente maiores que as laterais.

As flores são aromaticamente perfumadas, brancas ou cremes medindo 2.5cm de diâmetro com estames amarelos, as que nascem são pendulares, marrons, triangulares, achatados nas duas extremidades, com 30cm a 120cm de comprimento e 1.8cm de largura, e com cerca de 20 sementes embebidas na polpa. Os frutos, quando secos, abrem-se longitudinalmente em três partes.

Segundo Kill *et al.*, (2012), –suas flores são agrupadas em inflorescências terminais do tipo panícula, com média de 35 botões/inflorescência, de coloração amarelo-pálidas, perfumadas, muito procuradas por abelhas e pássaros, que são os agentes polinizadores de suas flores, florescendo normalmente nos períodos entre fevereiro a maio e de setembro a dezembro.

As sementes são marrons escuras com três asas e aspecto de papel. A raiz principal é grossa. E a árvore floresce e produz frutos e sementes durante todo o ano (Rarnachandran *et al.*, 1980).

Os frutos são do tipo cápsula loculicida, simples, formato triangular, seco, deiscente se abrindo em três partes, possuem coloração verde a marrom esverdeado, com aproximadamente 30 a 120 cm de tamanho e 1,8 de espessura. Cada fruto pode conter de 10 a 20 sementes, que são globóides, escuras externamente e contêm no seu interior uma massa branca e oleosa (Lorenzi & Matos, 2002).

É uma planta alógama, de fácil disseminação, com adaptabilidade a condições de baixa precipitação, pode alcançar até 12 metros de altura, com tronco estreito de no máximo 10 a 30 centímetros de diâmetro e casca de cortiça esbranquiçada. Sua copa é aberta em forma de sombrinha apresentando troca anual de folhas. A moringa possui ainda sistema radicular pivotante com túbera e poucas ramificações que desenvolvem-se profundamente. (Gualberto *et al.*, 2014)

Reino: Plantae Sub-Reino: Tracheobionta Super Divisão: Spermatophyta Divisão: Magnoliophyta Classe: Eudicots (Magnoliopsida) Subclasse: Rosids (Dilleniidae) Ordem: Brassicales (Capparales) Família: Moringaceae Género: *Moringa* Espécie: *Moringa oleifera* Lam. (Laleye *et al.*, 2015)

### 3.1.2 Distribuição Geográfica

A faixa natural de ocorrência natural da *Moringa oleifera* se estende da Arábia à Índia. Atualmente, é comum nos países dos trópicos do Velho Mundo - do Sul da Ásia até a África Ocidental (Von Maydell, 1986). É mais frequente nas partes do Leste e Sul da África (Dalla Rosa, 1993). O Nordeste da África é o centro de diversidade da família, com nove espécies. No Brasil, é conhecida no Estado do Maranhão desde 1950 e usada como planta ornamental, tendo em vista o desconhecimento do seu uso como hortaliça (Amaya *et al.*, 1992)

Cresce facilmente, mesmo em solos pobres, não requerendo cuidados especiais, não necessita de muita água, podendo crescer em regiões onde a chuva é escassa ou

irregular, tolerando uma larga variedade de condições de solo, com preferência por solos de pH's neutros ou ligeiramente ácidos, arenosos bem drenados ou argilosos. (Koul e Chase, 2015). Com uma temperatura de crescimento ideal entre 25°- 35°C, pode tolerar até 48°C e resistir a geadas ligeiras, mas não sobrevive baixas temperaturas (próximas de congelamento). Por esses motivos, é considerada uma árvore tropical, de regiões quentes semiáridas, bastante resistente à seca e adaptável a uma vasta gama de condições ambientais, desde as secas e quentes às úmidas e quentes (Santos *et al.*, 2015; Asensi *et al.*, 2017).

### **3.1.3 Importância socioeconômica**

A moringa (*Moringa Oleífera* Lam) é uma planta de usos múltiplos seja na alimentação humana (flores, folhas, frutos e sementes) servindo no combate à desnutrição alimentação animal (produção de forragem), tratamento de água para consumo humano, indústria de cosméticos e medicinal, combustível e produção de papel (Melo, 2012).\_A planta tem numerosas aplicações medicinais e é usada para o tratamento de várias doenças, tais como as da pele, respiratórias, infecções, hipertensão, diabetes, anemia e câncer. Ela possui alto valor nutricional, sobretudo, em relação às folhas, que são importantes fontes de vitamina A (beta-caroteno), vitamina C, vitamina E (a-tocoferol) e ferro, além de possuir uma variedade de aplicações industriais e medicinais para purificar a água para o consumo humano. A M. Oleífera tem sido objeto de muitas pesquisas devido aos seus múltiplos usos e pelo seu conhecido potencial bactericida. A planta é de grande importância econômica na produção de várias mercadorias, como óleos, alimentos, condimentos e medicamentos (Alasmari *et al.*, 2015; Passos *et al.*, 2012; Vieira *et al.*, 2010).

Vários estudos relatam que M. Oleífera possui diferentes propriedades biológicas, tais como, antimicrobiana, antitripanosoma, hipotensora, anti-úlceras, hipocolesterolêmico, antiespasmódico, antioxidante, anti-inflamatória e anticâncer (Sreelatha. S., Jeyachitra, A; Padma, P. R. 2011; Awodele *et al.*, 2012; Satish *et al.*, 2013; Tiloke., Phulukdaree, A; Chuturgoon, A. A. 2013.; Vongsak *et al.*, 2013; Hannan *et al.*, 2014).

O óleo da semente de M. oleífera assemelha-se ao azeite e é amplamente utilizado na cozinha, em iluminações, cosmiaatria, bem como em indústrias de sabão e perfume (Ghazali; Mohammed, 2011). Estudos recentes também revelam a importância

das proteínas presentes nas sementes da moringa no combate as larvas do mosquito *Aedes aegypti* (Almeida *et al.*, 2014).

As folhas podem funcionar como alternativa de alimentação para de bovinos. É distinguida pelos seus altos teores de proteína, que varia entre 20% a 29% com base na matéria seca, além de possuir aminoácidos essenciais, vitaminas e minerais (Safwat *et al.*, 2015). Essa planta possui características nutricionais em diferentes partes (folhas, flores, vagens, caule, raízes e sementes) e contém alguns metabólitos bioativos, o que a torna uma fonte de substâncias antioxidante e antimicrobiana.

As folhas, vagens, sementes estão sendo usadas como produto alimentar em alguns países tropicais, onde existe desnutrição proteica. As suas folhas são uma rica fonte em  $\beta$ -caroteno, proteína, vitamina C, cálcio e potássio, que faz com que seja uma boa fonte de compostos antioxidante, tais como ácido ascórbico, flavonóides, compostos fenólicos, e carotenóides. O extrato etanólico da semente mostrou a presença de alguns compostos bioativos, a citar: carbamato benzílico, isotiocianato benzílico, niazimicina, sitosterol e niazirina. Nos últimos tempos, há um interesse crescente na propagação industrial da planta *M. oleífera* para aplicação nos países em desenvolvimento como a Nigéria (Awodele *et al.*, 2012; Kayode. R. M. O., Afolayan, A. J. 2015).

A sua farinha tem sido uma fonte de alimentação alternativa no combate à desnutrição, especialmente, entre crianças e lactantes, e ainda para humanos e animais em curto prazo de quimioprofilaxia (Anwar *et al.*, 2007). No Brasil há um esforço no sentido de difundir o cultivo e uso da *Moringa oleífera* Lam. como hortaliça rica em vitamina A, com teores que se sobressaem entre as olerícolas consagradas como brócolis, cenoura, couve, espinafre e alface, e ainda, por apresentar baixo custo de produção e ser integralmente comestível. As sementes são utilizadas na região Nordeste como purificador de água para consumo humano, por possuir propriedade coagulante (Rangel, 2007). A cultura da *Moringa* consiste em estratégia para o cultivo em regiões áridas e semiáridas, sobretudo, devido ao seu fácil manejo e adaptabilidade às condições edafoclimáticas do semiárido (Domenico *et al.*, 2019).

A inserção da *Moringa* na região semiárida do Brasil vem sendo alvo de pesquisas que objetivam contribuir para a sustentabilidade das atividades agrícolas na região, além da fixação e melhoria da qualidade de vida do homem no campo e até mesmo como ação mitigadora e de adaptação às mudanças climáticas pelos seus vários benefícios (Sant'anna *et al.*, 2018). De fato, pesquisadores estão buscando a inserção da

espécie no semiárido brasileiro como uma forma de transformação socioeconômica e ambiental –por ser uma cultura de múltiplos usos (Santos *et al.*, 2017; Pereira *et al.*, 2018).

### 3.2 Adubação com silício

O silício (Si) é um metalóide que está ganhando atenção mundial dos cientistas de plantas devido ao seu impacto na melhoria do crescimento e desenvolvimento das plantas (Gaur *et al.*, 2020). Na agricultura brasileira está presente para controlar pragas, aumentar a produtividade e melhorar a qualidade de produtos agrícolas. Pois, promove o fortalecimento da parede celular das folhas e dos caules ao deixar as plantas mais eretas e aumentar a área de exposição ao sol. (Filgueiras, 2007).

O Si não é considerado elemento essencial para o crescimento das plantas, mas tem tido efeitos benéficos em várias espécies (Ma, 2004); proporciona efetivo controle de doenças em plantas (Guével *et al.*, 2007) e tem sido relacionado à redução de efeitos prejudiciais decorrentes de agentes químicos (salinidade, toxidez causada por metal pesado, desbalanço de nutrientes) e físicos (acamamento, seca, radiação, alta e baixa temperaturas) (Zhu *et al.*, 2004; Ma & Yamaji, 2006). Muitos desses efeitos benéficos são atribuídos à sua deposição nas paredes celulares de vários órgãos das plantas, além de outros mecanismos (Ma, 2004; Ma & Yamaji, 2006).

O silício tem um papel importante nas relações planta-ambiente, pois pode dar à cultura melhores condições para suportar adversidades climáticas, do solo e biológicas, tendo como resultado final um aumento na produção com melhor qualidade do produto. (Filgueiras, 2007).

As plantas que se encontram em déficit de Si, são menos resistentes aos ataques de patógenos (por conta de alterações na anatomia da planta, como a formação de células epidérmicas mais grossas e maior grau de lignificação e/ou silicificação), maior resistência a condições adversas, causadas por situações de estresse biótico e abiótico, como menor efeito deletério provocado pela geada, menor taxa de evapotranspiração (em situações de déficit hídrico), favorecimento de nodulação em leguminosas, ativação da atividade de enzimas, efeitos na composição mineral (Malavolta, 2006; Epstein e Bloom, 2005), são sujeitas ao acamamento e menos tolerantes à salinidade, toxidez de metais pesados e estresse hídrico, respectivamente (Vilela, 2009; Islam *et al.*, 2020; Huang *et al.*, 2021).

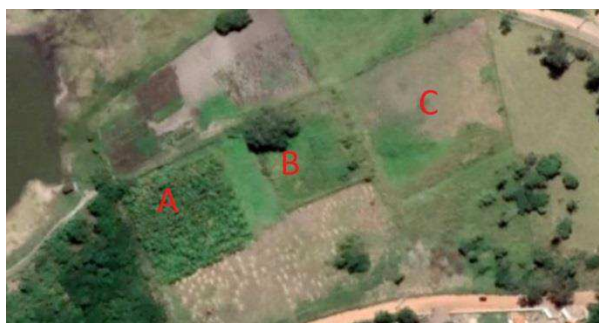
Por causa do acúmulo de Si na epiderme das folhas, o elemento é capaz de ativar genes envolvidos na produção de compostos secundários do metabolismo, como polifenóis e enzimas relacionadas aos mecanismos de defesa das plantas, como as Enzimas Reativas de Oxigênio (ERO) (Gratão *et al.*, 2005)

## 4.MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Localização e caracterização da área experimental

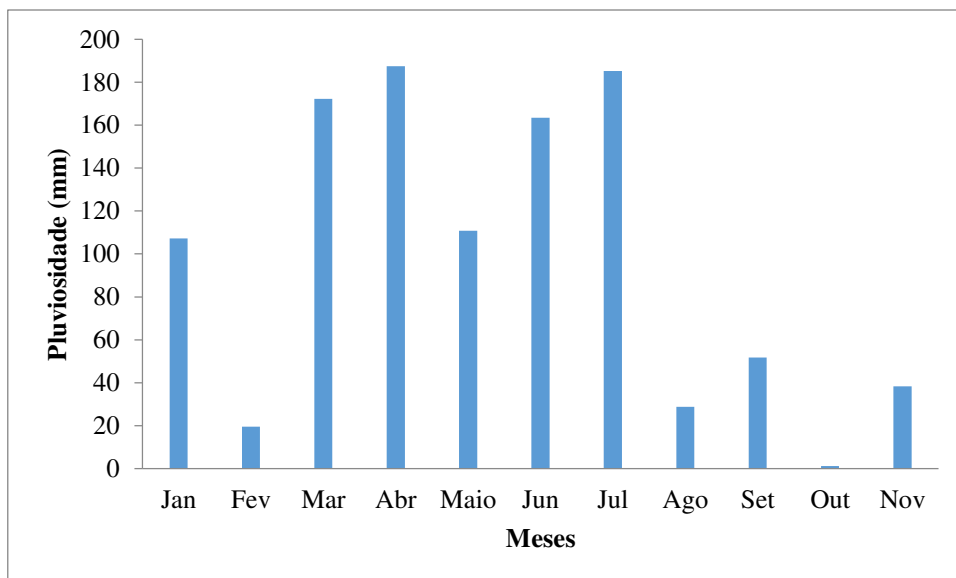
O experimento foi desenvolvido no período de junho de 2019 a novembro de 2020, em parceria com o Centro de Ciências Agrárias e Ambientais (CCAA) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), localizado no município de Lagoa Seca – PB, nas coordenadas de Latitude 7° 09' S, Longitude 35° 52' W e altitude de 634 m. (Soares *et al.*, 2017). Segundo Köppen e Geiger, o clima é classificado como As (Clima tropical úmido), com inverno seco. Apresenta estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida estação seca no inverno, de maio a outubro (julho é o mês mais seco). A temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C. As precipitações são superiores a 750 mm anuais, atingindo 1.800 mm. Com temperatura média de 22.0 °C e pluviosidade média anual de 888 mm, sendo a mínima de 18 e máxima de 33 °C, precipitação pluviométrica de 800 mm e umidade relativa do ar de 80% (Silva *et al.*, 2019).

A área do experimento localizada pelo Google Maps dentro área experimental do CCAA da UEPB é apresentada na Figura 1, no talhão B.



**Figura 1:** Área experimental do CCAA da UEPB, com destaque para o talhão B onde foi instalado o experimento.





**Figura 2:** Dados pluviométricos da região de Lagoa Seca.

Na área experimental foram feitas tradagens e abertura de trincheiras, para posterior coleta de amostras de solo nas profundidades de 0-20; 20-40; 40-60; para determinação das características, físicas, químicas e hídricas do solo (Tabela 1). Fisicamente, o solo da área foi caracterizado quanto granulometria; classificação textural; densidade do solo; densidade das partículas; porosidade e umidade do solo com base em % do solo. Todas as análises seguiram a metodologia proposta pela EMBRAPA (2013). As análises químicas e físicas foram determinadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais-CTRN da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande.

**Tabela 1.** Atributos físicos e químicos do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos

Caracterização físico-hídrica do solo							
Granulometria			Classificação Textural	Densidade do solo	Densidade de partículas	Porosidade	Umidade (% base solo seco)
-----%-----			-	-----g cm <sup>-3</sup> -----		%	15,00
Areia Silte Argila				----			atm
86,04	12,05	1,91	Areia franca	1,62	2,69	39,77	5,65

Caracterização química (fertilidade) do solo

Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SB	H <sup>++</sup>	Al <sup>3+</sup>	CTC	M.O.	P assimilável	pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)
----- meq 100g <sup>-1</sup> de solo-----								%	mg 100g <sup>-1</sup>	-
2,31	2,30	0,05	0,27		0,89	0,00		1,10		6,77

M.O. – Matéria orgânica: Digestão Úmida Walkley-Black; Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> pH 7,0; Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> extraídos utilizando-se NH<sub>4</sub>OAc 1 mol L<sup>-1</sup> pH 7,0; Al<sup>3+</sup> e H<sup>+</sup> extraídos com acetato de cálcio 1 mol L<sup>-1</sup> pH 7,0; AF – Areia Franca.

Quimicamente os solos foram caracterizados quanto ao pH (H<sub>2</sub>O); Ca<sup>2+</sup>; Mg<sup>2+</sup>; K<sup>+</sup>; Al<sup>3+</sup>; (H<sup>++</sup>Al<sup>3+</sup>); P; C; P-remanescente. O Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> foram extraídos por KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>; o P e o K por Mehlich<sup>-1</sup> e o (H<sup>++</sup>Al<sup>3+</sup>) por acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>, conforme EMBRAPA (2017). O Ca<sup>2+</sup> e o Mg<sup>2+</sup> determinados por espectrofotometria de absorção atômica; o K<sup>+</sup>, por fotometria de chama; o P por colorimetria, o Al<sup>3+</sup> e o (H<sup>++</sup>Al<sup>3+</sup>) por titulometria; o C por combustão úmida com dicromato de potássio e o P-remanescente para o complexo sortivo e o extrato de saturação. E a matéria orgânica pela digestão úmida de Walkley-Black, Tabela 2.

## 4.2 Preparação das mudas, da área de plantio e tratos culturais

Para preparação das mudas foram preenchidos 1.200 sacos de polietileno com dimensões de 30 cm de altura por 15 de diâmetro (Figura 3B) com substrato composto de areia lavada e esterco bovino nas proporções de 3:1. (Figura 3A)



**Figura 3A:** Esterco e areia lavada



**Figura 3B:** Sacos preenchidos

Figura 2. Preparação do substrato para o plantio das sementes: esterco e areia lavada (3A), Sacos preenchidos (3B).

O material de solo após ser acondicionado nos sacos de polietileno foi irrigado manualmente, deixando o solo com tensão de umidade equivalente a capacidade de campo. Dois dias após a irrigação, colocou-se 3 sementes *Moringa oleífera* Lamarck (Figura 4), obtidas de um produtor rural do município de Catolé do Rocha, em cada saco de polietileno em profundidade de 2 cm.



**Figura 4.** Sementes de Moringa

O preparo de solo consistiu de gradagem pesada para destruição e incorporação de restos culturais. As covas para o plantio das mudas foram feitas com um cavador nas dimensões: 0,40m x 0,40 m x 0,40 (Figura 5);

Com base na análise de solo e na extração da Moringa oleífera, foi feita a adubação de fundação, seguindo recomendação de Oliveira Júnior *et al.*, (2009) com 5,0 g de superfosfato simples e 0,50 kg de cama de galinha para cada cova.

As mudas foram transplantadas aos 90 dias após a semeadura-DAS, (Figura 6) no espaçamento de 0,5 m entre plantas e 1,0 m entre fileiras de plantas.



**Figura 5.** Adubação de fundação



**Figura 6.** Transplântio das mudas de moringa

Aos 30 dias após o transplântio-DAT ocorreu a poda para obtenção do mapeamento do stand de plantas com o objetivo de padronização, (Figura 7A e B), a 1 metro do solo. Após 2 meses da primeira poda, seguiu-se a segunda poda, com 1,5 m de altura, tendo em vista que as plantas cresceram sem padrão, ou seja, com alturas diversificadas, segundo Jesus *et al.*, (2013).

O controle de ervas feito com enxada manual sempre que necessário. Não houve controle de pragas, já que as plantas não foram atacadas e nem por doenças.

A



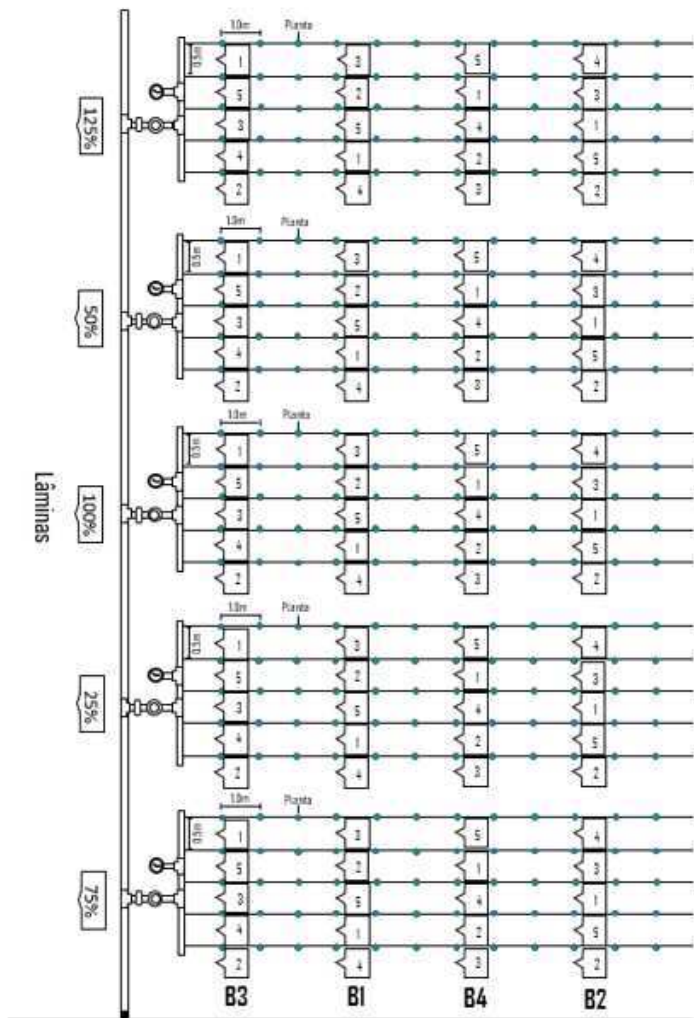
B



**Figura 7.** Primeira poda das plantas aos 30 dias após o transplântio (A) e (B).

#### **4.3. Tratamentos e delineamento experimental**

Os tratamentos consistiram de cinco lâminas de irrigação (L1=25; L2=50; L2=75; L4=100% e L5= 125 % de reposição da evapotranspiração da cultura – ETc e cinco níveis de adubação silicatada (N1=0; N2=3; N3=6 ; N4=9 e N5=12 g de dióxido de silício aplicado por cova. O delineamento experimental em blocos casualizados (DBC) num esquema fatorial (5x5) x 4 constituindo 100 parcelas experimentais. O primeiro fator são cinco lâminas de irrigação e o segundo 5 níveis de adubação silicatada, Figura 8.



**Figura 8.** O croqui do experimento.

Os valores das lâminas 0,25, 0,50, 0,75, 1,0 e 1,25 da ETC da cultura foram divididos pela eficiência do sistema de 0,90. Sendo a ETC resultante da evapotranspiração de referência -ET<sub>o</sub> pelo K<sub>c</sub> da cultura, com um valor de K<sub>c</sub> de 1,1 conforme Santos et.al, 2018.

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) estimada pelo método de Penman – Monteith-FAO (Allen et al., 1998), a partir dos dados meteorológicos obtidos em uma estação meteorológica automática, pertencente ao Câmpus II da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), O Centro de Ciências Agrárias e Ambientais (CCAA) na cidade de Lagoa Seca, instalada a 500 m da área experimental.

$$ET_o \text{ (mm dia}^{-1}\text{)} = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \left(\gamma \frac{900}{T+273}\right) U_2 (e_s - e)}{\Delta + [\gamma (1+0,34 U_2)]} \dots\dots\dots (01)$$

Em que,

$E_{To}$  - evapotranspiração de referência diária ( $\text{mm d}^{-1}$ );

$\Delta$  = inclinação da curva da pressão de vapor d'água saturado versus temperatura do ar ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );

$R_n$  = Saldo de radiação ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );

$G$  = fluxo diário de calor no solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );

$\gamma$  = Coeficiente psicrométrico ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );

$T$  = temperatura média diária do ar ( $^\circ\text{C}$ );

$U_2$  = velocidade média diária do vento a 2 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ ),

$e_s$  = pressão de saturação do vapor d'água média diária (kPa) e

$e$  = pressão do vapor d'água média diária (kPa).

O sistema de irrigação localizada, por gotejamento, foi composto de uma linha principal com conduto de cloreto de polivinila (PVC). Na linha, foi instalado um filtro de disco (120 mesh) para contenção das impurezas da água e um manômetro na entrada do sistema para monitoramento da pressão. Em cada linha de derivação uma válvula de passagem e um hidrômetro para registro da quantidade de água fornecida em cada nível de reposição de água. As linhas secundárias foram de tubos de PVC. As cinco linhas laterais de 17 mm de diâmetro interno, com 15 m de comprimento e emissores autocompensantes, um por planta, com vazão de  $10 \text{ L hora}^{-1}$  trabalhando na pressão de 250 kPa. O sistema foi pressurizado por uma motobomba de 7,5 cavalos de potência.

Aos 82 dias após o transplante foi aplicado ao solo o dióxido de silício (Figura 7A e B) nas proporções 0,0; 3,0; 6,0; 9,0 e 12,0 g com aplicação em 10 ml de água.

A



B



**Figura 9.** Aplicação do silício (A) e (B)

#### **4.4 Manejo da cultura**

As mudas de Moringa foram plantadas em campo 3 meses após a semeadura. O plantio feito em linhas 0,5 m x 1,00 m com espaçamento entre linhas de cultivos de 0,5 m e entre as plantas de 1 m.

As plantas foram podadas (Figura 8) a 1 metro do solo, aos 69 DAT antes da aplicação do silício para ficarem do mesmo tamanho, ou seja, uniformizar.

O controle de ervas foi feito com enxada manual sempre que necessário. Quanto ao controle de pragas não foi feito nenhum controle preventivo, mas se a cultura vier a ser atacada por alguma praga ou doença a mesma será combatida de imediato conforme as recomendações específicas para cada uma.

Aos 30 dias após o transplantio foi feita a poda para obtenção do mapeamento do stand de plantas, com o objetivo de padronização e depois de 15 dias, a diferenciação das lâminas de irrigação. Os resíduos da poda foram colocados em sacos previamente identificados e devidamente pesados para obtenção da matéria fresca (MF) em balança analítica de precisão e transferidos para estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingirem massa constante para posterior pesagem e obtenção da matéria seca (MS).

Após 2 meses da primeira poda, foi feita a segunda poda, pois as plantas cresceram sem padrão, ou seja, com alturas diversificadas para iniciar os tratamentos com SiO<sub>2</sub>.

Segundo Urbano (2012), quando a árvore está com cerca de 3 meses de idade, o galho central atinge 60 cm de altura, esse é o momento para realizar a primeira poda. É preciso podar as pontas terminais, do final do caule, com a distância de 10 cm do topo. Isso pode ser feito usando os dedos (ou uma faca ou tesoura). É um procedimento bastante simples, já que o broto da moringa é tenro e frágil por não possuir fibra e casca. (Jesus *et al.*, 2013).

#### **4.5 Variáveis Fisiológicas**

##### **4.5.1 Determinação da clorofila**

Para a determinação do índice relativo de clorofila nas folhas, foi utilizado o medidor portátil (SPAD-502 Minolta Chlorophyll Meter). O instrumento permite medições instantâneas do valor correspondente ao teor de clorofila na folha e avalia quantitativamente, a intensidade do verde da folha, medindo as transmissões de luz a 650 nm, em que ocorre absorção de luz pela molécula de clorofila e a 940 nm, sem



absorção. Com os dois valores, o equipamento calcula um número ou índice SPAD que, normalmente, é altamente correlacionado com o teor de clorofila da folha.

A medição realizada sempre nas três plantas de cada parcela, no horário entre 8:00 e 11:00 horas da manhã. Em cada folha um total de três leituras, para calcular a média, que representa o valor da parcela.

#### 4.5.2 Trocas gasosas e fluorescência

As trocas gasosas (Figura 10) determinadas no 4º folíolo terciário da terceira folha contada a partir do meristema apical da planta de *M. oleífera*, através da condutância estomática -  $g_s$  ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  -  $A$  ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), transpiração -  $E$  ( $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e concentração interna de  $\text{CO}_2$  -  $C_i$  ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ). Para então, ser possível chegar na eficiência instantânea no uso de água -  $EiUA$  [ $(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$ ] e eficiência instantânea da carboxilação -  $EiCi$  [ $(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$ ], através das relações entre  $A/C_i$  e  $A/E$ , respectivamente, por meio de um analisador de gás carbônico a infravermelho portátil (IRGA), modelo “LCPro+” da ADC BioScientific Ltda Bio Scientific Ltda, operando com controle de temperatura a 25 °C, irradiação de 1.200  $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e fluxo de ar de 200  $\text{mL min}^{-1}$ , e em n\u00edvel de  $\text{CO}_2$  do ambiente no per\u00edodo de 8 \u00e0s 11 horas com elevada evapotranspira\u00e7\u00e3o e sol intenso, para evitar instabilidade causada por varia\u00e7\u00f5es r\u00e1pidas na radia\u00e7\u00e3o solar, em folhas maduras e n\u00e3o sombreadas .

A.



B.



**Figura 10.** Avaliação das trocas gasosas nas plantas de moringa (A) e (B) utilizando analisador de gás carbônico a infravermelho portátil (IRGA), modelo LCPro + Portable Photosynthesis System® (ADC BioScientific Limited, UK) aos 239 DAT.

#### 4.5.3 Fluorescência da clorofila *a*

A fluorescência da clorofila mensurada mediante determinação da fluorescência inicial ( $F_o$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), fluorescência variável ( $F_v$ ) e a eficiência quântica potencial ( $F_v/F_m$ ), em folhas pré-adaptadas ao escuro mediante uso de pinças foliares durante 30 minutos, entre às 10:00 e 14:00 horas, na folha mediana do ramo produtivo intermediário da planta com o fluorômetro modulado Plant Efficiency Analyser – PEA II® (Hansatech Instruments Co., UK) (Figura 11).



**Figura 11.** Análise da eficiência fotoquímica através da fluorescência da clorofila *a* com auxílio do equipamento PEA – Hansatech aos 239 DAT.

#### 4.5.4 Pigmentos fotossintéticos

A quantificação dos teores de pigmentos fotossintéticos (clorofila *a*, *b*, total e carotenoides) seguiu o método laboratorial desenvolvido por Arnon (1949), em que foram feitos extratos vegetais a partir de amostras de discos do limbo do folíolo, e a partir deles determinadas as concentrações de clorofila e carotenoides nas soluções, por meio do espectrofotômetro nos comprimentos de onda de absorbância (ABS) de 470, 647, e 663 nm, por meio das seguintes equações:

$$\text{Clorofila a (Cl a)} = (12,21 \times \text{ABS663}) - (2,81 \times \text{ABS647});$$

$$\text{Clorofila b (Cl b)} = (20,13 \times \text{ABS647}) - (5,03 \times \text{ABS663}) \text{ e}$$

$$\text{Carotenóides (Car)} = ((1000 \times \text{ABS470}) - (1,82 \times \text{Cl a}) - (85,02 \times \text{Cl b}))/198.$$

$$\text{Clorofila total (Cl t)} = (7,15 \times \text{ABS663}) + (18,71 \times \text{ABS647})$$

Onde:

Cl a - clorofila a;

Cl b - clorofila b;

Cl t - clorofila total;

Car - carotenoides.

Os valores obtidos para os teores de clorofila *a*, *b* e carotenoides nas folhas e clorofilas totais serão expressos em  $\text{mg g}^{-1}$  MF (matéria fresca). Os discos inicialmente foram pesados em balança analítica.

#### 4.5.5 Determinação do estado hídrico foliar

A avaliação do estado hídrico da moringa será feita em 5 folíolos, para determinação do teor relativo de água (TRA) no limbo e o déficit de saturação hídrica nas folhas (DSH). Para isso, imediatamente após a coleta das folhas, a determinação da massa fresca (MF); em seguida, as amostras foram colocadas em sacos plásticos, imersas em água destilada e acondicionadas por 24 horas. Depois, foi retirado o excesso de água com papel toalha para obter a massa túrgida (MT); posteriormente, as amostras serão levadas à estufa com circulação de ar (temperatura  $\approx 65 \text{ }^\circ\text{C} \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ , até atingir massa constante) para se chegar a massa seca (MS). O TRA e do déficit de saturação hídrica (DSH) conforme Lima et al. (2015), pelas Eq. 3 e 4:

$$TRA = MF - MS \text{ (5)}$$

$$MT - MS \times 100 \text{ (6)}$$

$$DSH = MT - MF \text{ (7)}$$

$$MT - MS \times 100 \text{ (8)}$$

Em que:

TRA = teor relativo de água (%);

MF= massa fresca de folha (g);

MT= massa túrgida (g);

MS = massa seca (g).

#### 4.5.6 Extravasamento de eletrólitos (EE%)

Para avaliar os danos na membrana celular sob condições de estresse é preciso do percentual de eletrólitos intracelulares. Para tanto, foram coletados, também no terço médio das plantas, 5 discos foliares, lavados com água destilada visando à retirada de outros eletrólitos aderidos às folhas, os quais foram acondicionados em beakers com 50 mL de água bidestilada e fechados hermeticamente e posteriormente, envoltos com papel alumínio. Os beakers foram mantidos em temperatura de 25 °C, por 120 min e procedeu-se à determinação da condutividade elétrica inicial (CEi); logo depois, os beakers foram colocados na estufa com ventilação forçada de ar e submetidos à temperatura de 80 °C, durante 240 min, quando se procedeu novamente à mensuração da condutividade elétrica final (CEf).

Assim, o extravasamento de eletrólitos na membrana celular é marcado de acordo com Scotti-Campos et al. (2013), -conforme Eq. 8:

$$EE = \frac{CEi}{CEf} \times 100$$

Em que:

EE = extravasamento de eletrólitos na membrana (%);

CEi= condutividade elétrica inicial ( $\text{dS m}^{-1}$ );

CEf= condutividade elétrica final ( $\text{dS m}^{-1}$ );

#### 4.6 Variáveis de crescimento

Para análise do efeito dos tratamentos sobre o crescimento da moringa foram mensurados aos 30, 60, 90, 120,150 dias após a aplicação do  $\text{SiO}_2$ , o número de folhas (NF)(unidade) pela contagem de folhas totalmente expandidas e completas, a altura de copa (AC)(cm) medida tomando-se como referência a distância da superfície do solo até o meristema apical da planta. E o diâmetro do caule (DC)(mm) medido a 2 cm do colo da planta com o auxílio de um paquímetro digital (Figura 12), diâmetro da ramificação principal(DRP)(mm), comprimento e largura das folhas)(mm).



**Figura 12.** Medição de diâmetro do caule a 2,0 cm da superfície do solo.

#### **4.7 Análises dos dados**

Os dados coletados passaram pelo teste de normalidade da distribuição (teste de Shapiro-Wilk) ao nível de 0,05 de probabilidade. Em seguida, realizada análise de variância aos níveis de 0,05 e 0,01 de probabilidade e, quando significativa, foi feita análise de regressão linear e quadrática pelo software SISVAR (Ferreira, 2019).

Em caso de significância na interação entre os fatores, usa-se o software TableCurve 3D para obter superfícies de resposta.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Variáveis de crescimento e fisiológicas

Conforme indicado na Tabela 2, na primeira avaliação do índice de clorofila SPAD os fatores lâminas de irrigação e doses de dióxido de silício e a interação entre elas não afetaram essa variável.

Na segunda e na terceira avaliação do SPAD, para a lâmina de irrigação a significância foi de 5% de probabilidade e na quarta a 1% de probabilidade, resultados semelhantes foram encontrados por Silva *et al.*, (2020), que observaram efeito expressivo para fator lâmina de irrigação para o índice de clorofila SPAD na alfaca.

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância referente à SPAD<sub>1</sub>, SPAD<sub>2</sub>, SPAD<sub>3</sub> e SPAD<sub>4</sub> em função das lâminas de irrigação e das concentrações de dióxido de silício.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		SPAD <sub>1</sub>	SPAD <sub>2</sub>	SPAD <sub>3</sub>	SPAD <sub>4</sub>
Lâminas de irrigação (LI)	4	4,19 <sup>ns</sup>	47,18 <sup>*</sup>	157,15 <sup>*</sup>	3171,07 <sup>**</sup>
Regressão linear	1	10,95 <sup>ns</sup>	29,41 <sup>*</sup>	3,69 <sup>*</sup>	247,03 <sup>*</sup>
Regressão quadrática	1	4,27 <sup>ns</sup>	12,47 <sup>**</sup>	303,68 <sup>**</sup>	4208,11 <sup>**</sup>
Dióxido de silício (CS)	4	10,76 <sup>ns</sup>	12,37 <sup>ns</sup>	69,46 <sup>ns</sup>	102,48 <sup>*</sup>
Regressão linear	1	27,03 <sup>ns</sup>	18,14 <sup>ns</sup>	4,13 <sup>ns</sup>	262,26 <sup>**</sup>
Regressão quadrática	1	11,98 <sup>ns</sup>	31,69 <sup>ns</sup>	16,08 <sup>ns</sup>	76,42 <sup>ns</sup>
Interação (LI x DS)	16	11,29 <sup>ns</sup>	29,72 <sup>ns</sup>	60,85 <sup>ns</sup>	46,99 <sup>ns</sup>
Blocos	3	42,25 <sup>ns</sup>	49,24 <sup>ns</sup>	390,34 <sup>ns</sup>	115,61 <sup>ns</sup>
Resíduo	71	25,05	19,12	55,08	44,89
CV (%)		9,98	10,61	16,42	10,97

ns, \*, \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . GL: Grau de liberdade; CV: Coeficiente de variação

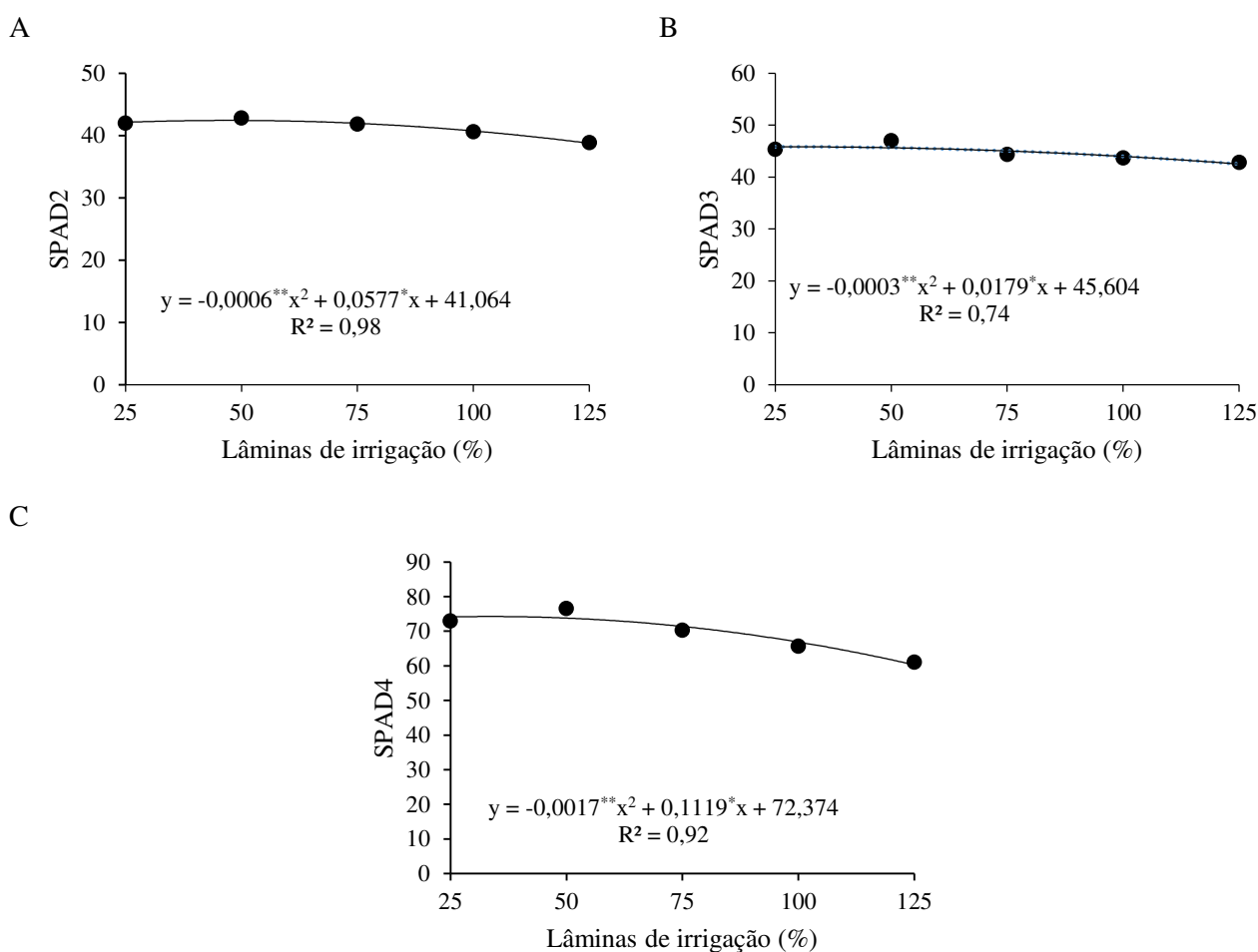
Na segunda avaliação (Figura 13 A), os valores de SPAD foram mais elevados nas lâminas de déficit hídrico 41,97(25%) e 42,79(50%) do que nas lâminas de 75%, 100% e 125%. O valor máximo de 42,45 para a lâmina de 48% e o valor mínimo de 38,9 para a lâmina de 125%. Para Winder (2018), o teor de clorofila é indicativo da quantidade de nitrogênio presente nas folhas e serve como base informativa para identificação de sua deficiência que pode ocorrer devido ao excesso de água e a lixiviação do Nitrogênio presente no solo. Sendo assim, o aumento da lâmina pode ter atingindo na lixiviação dos nutrientes, entre eles, o nitrogênio ocasionando na coloração mais claras das folhas (Silva *et al.*, 2020).

Em todas as avaliações, os valores de índice spad decresceram com o aumento da lâmina de irrigação (Figura 13) e cresceram com o aumento das doses de SiO<sub>2</sub> 0, 3,

6,9, e 12g, que corresponderam aos valores 56,91; 58,75; 60,63; 62,31; 63,02, respectivamente

Na terceira avaliação para as lâminas de irrigação de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% os valores de spad foram 45,31; 46,94; 44,32; 43,64; 42,81, respectivamente, (Figura 13 B), o valor máximo de 63,48 e 12g de SiO<sub>2</sub> e valor mínimo de 57,17 e 0g SiO<sub>2</sub>.

Os coeficientes de determinação foram altos, na segunda avaliação o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) foi de 0,98 na terceira avaliação (R<sup>2</sup>) foi de 0,74, tendo uma boa correlação e na quarta (R<sup>2</sup>) foi de 0,92, correlação muito forte (Figura 13 A e B).



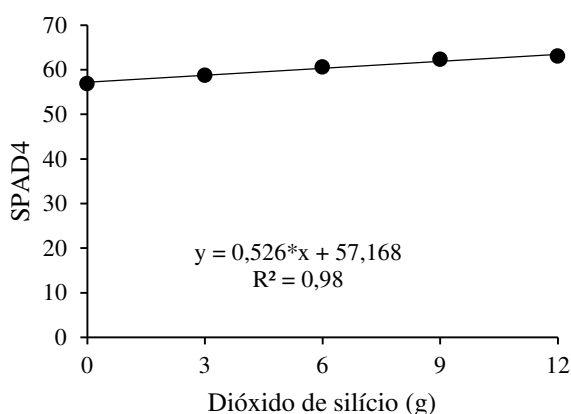
**Figura 13.** SPAD<sub>2</sub>, SPAD<sub>3</sub> e SPAD<sub>4</sub> em função das lâminas de irrigação.

A análise de regressão apontou tendência linear positiva para spad em função do dióxido de silício. Segundo o modelo proposto, 98% da variação do spad pode ser explicada pela equação  $y = 0,526 * X + 57,168$ .

Nas lâminas de irrigação 25% e 50% os valores cresceram, os valores de spad foram 72,96; 76,51, que para Carvalho *et al.*, (2012), quando ocorre um aumento da

leitura SPAD significa que houve uma melhor assimilação do nitrogênio pela planta. Na lâmina de 75% o maior valor encontrado foi 90,2 e o menor valor de 27 na lâmina de 100%.

Na quarta avaliação para a lâmina de 75% os valores decresceram 70,25; 65,66; 61,07, respectivamente. O valor máximo foi de 74,21 na LI de 33% e valor mínimo de 59,8 e 125% o que difere de Abdalha *et al.*, (2016) que observando o comportamento de pepinos na China, em que autores aplicaram lâminas de irrigação de 50 a 150% ETc e verificaram maior teor de clorofila para a LI de 100% ETc. Os autores também relatam que o déficit hídrico e a aplicação excessiva de água de irrigação não são critérios para atingir um alto teor de clorofila. E os pesquisadores Machekposhti *et al.*, (2017) apontam que a redução do teor de clorofila causada pelo déficit hídrico se deve ao efeito inibitório dos íons acumulados na biossíntese da clorofila, que, segundo Putti *et al.*, (2016), desencadeia uma baixa taxa de fotossíntese, com menores taxas de pigmentação e número de folhas, afetando diretamente a produtividade.



**Figura 14.** SPAD<sub>4</sub> em função das doses de dióxido de silício.

Para regressão linear significativa para  $C_i$ ,  $g_s$ ,  $E$ ,  $A$  e não para  $EiUA$  e  $EiCi$ . Com tendência linear crescente para  $C_i$ ,  $g_s$ ,  $E$  e taxa de assimilação de  $CO_2$  decrescente quando as lâminas aumentam.

A taxa de assimilação de  $CO_2$  ( $A$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração ( $E$ ), concentração interna de  $CO_2$  ( $C_i$ ), eficiência instantânea da carboxilação ( $EiCi$ ) e eficiência instantânea no uso da água ( $EiUA$ ) não apresentaram diferenças significativas para dióxido de silício, o que não ocorreu entre as cultivares de algodoeiro quando as mesmas foram avaliadas sob aplicação de 50, 100 e 200 mg L<sup>-1</sup> de silício para a variável concentração interna de  $CO_2$  (Ferraz, 2014).



Pela Figura 14 A observa-se que, a concentração interna de carbono ( $C_i$ ) aumentou linearmente à medida que as lâminas de irrigação elevaram e, com isso, a disponibilidade hídrica. A maior concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $193,1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) pertence a lâmina de 125% da ETc. O aumento nos valores de  $C_i$  é acompanhado do incremento na gs; portanto, a limitação estomática seria o fator principal da limitação do desempenho fotossintético, ou seja, quanto maior a abertura estomática maior a difusão de  $\text{CO}_2$  para a câmara subestomática (Nascimento, 2009).

Com o incremento da lâmina de irrigação os valores de  $C_i$  foram de 167, 47; 173,7; 181,45; 186,49; 192,83  $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  nas lâminas de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% da ETc, respectivamente, iguais aos resultados de Silva et al (2015) com as plantas de berinjela, em que a concentração interna de carbono ( $C_i$ ) aumentou linearmente (24,14%) de acordo com os aumentos nas lâminas de irrigação. A maior concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $244,87 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) foi da lâmina de 166% da ETc, indicando que a maior lâmina de irrigação proporcionou uma concentração interna maior de carbono e, em contrapartida, a disponibilidade de água se torna um ponto limitante para o fator fisiológico em questão.

Com o incremento da lâmina de irrigação os valores de eficiência instantânea da carboxilação (Figura 41 F) foram de 0,321; 0,341; 0,367; 0,337; 0,308 nas lâminas de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% respectivamente, com valores decrescentes nas lâminas de 100 e 125 %, 0,337 e 0,308. A melhor LI foi de 62,5% com valor máximo de 0,345 e valor mínimo de 0,267 na lâmina de 125%. Valores elevados de concentração interna de  $\text{CO}_2$  associados ao aumento na condutância estomática indicam um acréscimo na eficiência instantânea de carboxilação em função da disponibilidade de ATP e NADPH e do substrato para a rubisco (Silva *et al.*, 2015).

A eficiência instantânea da carboxilação ( $EiCi$ ) e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,90 tiveram efeito significativos para lâminas de irrigação e regressões linear e quadrática.

Assim, a  $EiCi$  depende da disponibilidade de  $\text{CO}_2$  no mesófilo foliar, quantidade de luz, temperatura e da atividade enzimática para que tenha fotossíntese (Magalhães, 2012). Se as concentrações de  $\text{CO}_2$  intercelulares são muito baixas, o influxo do componente nas células do mesófilo é restringido; e a planta utiliza o  $\text{CO}_2$  proveniente da respiração para manter um nível mínimo de taxa fotossintética, tornando-a limitada (Taiz & Zeiger, 2009).

Na Tabela 3, se constata a ocorrência de efeitos significativos à taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*), condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), concentração interna de CO<sub>2</sub> (*Ci*), eficiência instantânea da carboxilação (*EiCi*) e eficiência instantânea no uso da água (*EiUA*) em relação a lâmina de irrigação.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância referente à taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*), condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), concentração interna de CO<sub>2</sub> (*Ci*), eficiência instantânea da carboxilação (*EiCi*) e eficiência instantânea no uso da água (*EiUA*) em função das lâminas de irrigação e das concentrações de dióxido de silício.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios					
		<i>Ci</i>	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>EiUA</i>	<i>EiCi</i>
Lâminas de irrigação (LI)	4	6994,98**	0,011**	17,12**	46,49**	65,64**	0,004*
Regressão linear	1	8039,12**	0,006**	20,74**	57,26*	40,38 <sup>ns</sup>	0,007 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	7446,91 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	15,67 <sup>ns</sup>	106,29**	103,23**	0,009**
Dióxido de silício (DS)	4	373,08 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	5,26 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>ns</sup>	0,0003 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	242,0 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	4,69 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	0,00006 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	49,73 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	1,53 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	0,00005 <sup>ns</sup>
Interação (LI × DS)	16	1026,52 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	6,61 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,0006 <sup>ns</sup>
Blocos	3	511,79 <sup>ns</sup>	0,004 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	16,15 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,0007 <sup>ns</sup>
Resíduo	71	1329,04	0,003	0,32	12,58	1,28	0,001
CV (%)		20,2	24,3	15,9	19,1	19,8	17,3

ns, \*, \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . GL: Grau de liberdade; CV: Coeficiente de variação

A concentração interna de CO<sub>2</sub> (*Ci*) (Figura 15 A), coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,99 gerado na equação de regressão, condutância estomática (*gs*), coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,98, eficiência instantânea da carboxilação (*EiCi*) coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,90, transpiração (*E*), coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,97, taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*), coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,88, e eficiência instantânea no uso da água (*EiUA*) coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,92, possuem forte correlação.

As variáveis taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*) (Figura 15 D), condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), concentração interna de CO<sub>2</sub> (*Ci*), eficiência instantânea da carboxilação (*EiCi*) e eficiência instantânea no uso da água (*EiUA*) foram expressivas em função das lâminas de irrigação e ao contrário para dióxido de silício.

Com o incremento da lâmina de irrigação os valores de transpiração (Figura 15 C) foram de 2,98; 3,26; 3,54; 3,62; 3,82, ou seja, aumentaram, o que aponta para maiores taxas de fotossíntese nas lâminas de 25%, 50%, 75%, 100% e 125%.

respectivamente. Na cultura do milho, as respostas de taxa de transpiração e assimilação de carbono foram interligadas, isto é, com a maior transpiração também ocorre maior assimilação de carbono, pois ambas dependem da abertura estomática. Portanto, para haver alta transpiração é necessário que os estômatos estejam abertos para possibilitar maior absorção de CO<sub>2</sub> e, em consequência, conversão em carbono assimilado (Mattos, 2016).

Em situação de ótima disponibilidade hídrica (capacidade de campo), geralmente, as plantas têm altas taxas transpiratórias de modo que, quando a água do solo se torna escassa, a planta começa a reduzir sua taxa transpiratória para reduzir a perda de água e economizar a disponível no solo. Tal fato justifica o aumento na transpiração e de condutância estomática quando as plantas de moringa foram irrigadas com maiores quantidades de água (Silva *et al.*, 2015).

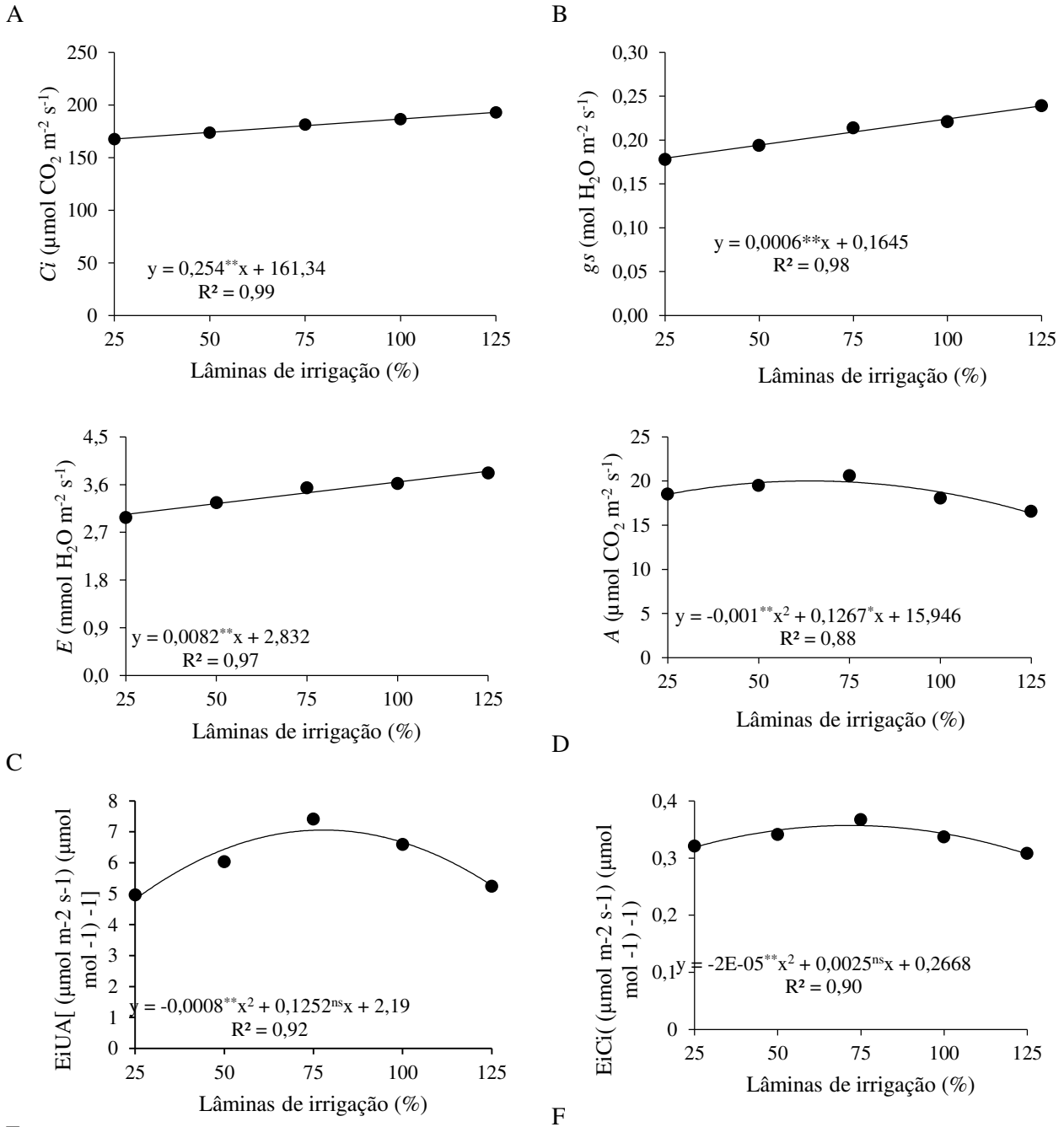
A eficiência instantânea no uso da água (*EiUA*) (Figura 15 E) com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,92 para lâminas de irrigação e regressão quadrática de modo que os níveis da reposição hídrica que as plantas de moringa foram submetidas, causaram limitação para eficiência do processo fisiológico.

Com o incremento da lâmina de irrigação, os valores de eficiência instantânea no uso da água (Figura 15 E) foram de 4,96; 6,03; 7,41; 6,59; 5,24 nas lâminas de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% respectivamente, com valores decrescentes nas lâminas de 100 e 125 %, 6,59 e 5,24, os níveis de reposição hídrica causaram limitação para eficiência do processo fisiológico. Sendo a melhor LI encontrada de 78,3% com valor máximo de 7,09 e o valor mínimo de 4,82 na lâmina de 25%. Plantas sob menor disponibilidade de água possuem uma menor abertura estomática para reduzir a perda d'água, portanto espera-se uma melhor eficiência no uso da água, uma vez que, tal parâmetro é calculado considerando a taxa de evapotranspiração da planta. (Mattos, 2016).

A análise de regressão apontou tendência linear positiva para a concentração interna de CO<sub>2</sub> e condutância em função das lâminas de irrigação (Figura 15B). Segundo o modelo proposto, 99% da variação da concentração interna de CO<sub>2</sub> em função da lâmina de irrigação pode ser explicada pela equação  $y = 0,254 **X + 161,34$ . Para 98% da variação da condutância estomática pela equação  $y=0,0006**X + 0,1645$ . Já para 97% da variação da transpiração pela equação  $y=0,0082**X + 2,832$ , correlações muito fortes e boas equações. A condutância estomática (Figura 41 B) apresentou os menores valores nas menores lâminas de irrigação aplicadas, o que está

relacionado diretamente com a disponibilidade hídrica do solo, pois, com o aumento das lâminas houve aumento da gs.

Com o aumento da LI houve elevação da curva de condutância estomática, (Figura 15 B) com isso, um acréscimo na abertura dos estômatos e como resultado, uma maior transpiração e fotossíntese.



**Figura 15.** Variáveis de trocas gasosas

A partir do incremento da lâmina de irrigação os valores da taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  (A), (Figura 15 D) de  $18,52 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ;  $19,52$ ;  $20,62$ ;  $18,06$ ;  $16,57 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  nas lâminas de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% respectivamente, com

valores decrescentes nas lâminas de 100 e 125% 18,06 e 16,57. A melhor LI encontrada foi de 63,4% com valor máximo de 19,96 e valor mínimo foi de 16,16 na lâmina de 125%. A taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (A) (Figura 15D) teve efeito significativo para lâminas de irrigação, com o aumento da disponibilidade hídrica, ocorre um fechamento estomático na planta, conseqüentemente, uma redução na taxa fotossintética, representada pela assimilação de CO<sub>2</sub>.

Com o incremento da lâmina de irrigação os valores de *g<sub>s</sub>* (Figura 15 B) foram de 0,178; 0,194; 0,214; 0,221; 0,239 nas lâminas de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% respectivamente. Galon *et al.*, (2010) mencionaram que a difusão de CO<sub>2</sub> da atmosfera até os locais onde ocorre a carboxilação está sujeita a uma série de fatores que oferecem resistência a entrada no interior da folha e alguns deles estão diretamente relacionados à condutância estomática, que por sua vez, regula as trocas gasosas e, portanto, possui relação direta com o processo fotossintético e também com crescimento e desenvolvimento dos vegetais. (Paiva *et al.*, 2005).

Conforme indicado na Tabela 4, a lâmina de irrigação exerceu efeito significativo na clorofila *b* (Cl *b*), clorofila total (Cl *t*) e carotenoides (Car). De modo contrário, o dióxido de silício e a interação com as lâminas de irrigação não interferiram sobre as variáveis analisadas.

Com relação ao efeito significativo para o dióxido de silício (Si) apenas para clorofila *a* e clorofila total (Tabela 4). A clorofila *a* das plantas de moringa (Figura 42A) irrigadas com água de 100% e submetidas a uma concentração de 6g se destacou com maior valor (12,09 mg g<sup>-1</sup> FM), correspondendo a um aumento de 31,35% (3,79 mg g<sup>-1</sup> FM) em comparação com a das plantas irrigadas com a mesma lâmina, mas sem aplicação de SiO<sub>2</sub> (0g).

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância referente à clorofila *a* (Cl *a*), clorofila *b* (Cl *b*), clorofila total (Cl t) e carotenoides (Car) em função das lâminas de irrigação e das concentrações de dióxido de silício.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		Cl <i>a</i>	Cl <i>b</i>	Cl t	Car
Lâminas de irrigação (LI)	4	10,61 <sup>ns</sup>	1,71 <sup>*</sup>	20,53 <sup>*</sup>	5,41 <sup>**</sup>
Regressão linear	1	0,21 <sup>ns</sup>	3,12 <sup>**</sup>	29,65 <sup>**</sup>	8,85 <sup>**</sup>
Regressão quadrática	1	20,93 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	3,41 <sup>ns</sup>
Dióxido de silício (CS)	4	11,56 <sup>*</sup>	1,11 <sup>ns</sup>	18,29 <sup>*</sup>	1,46 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	17,18 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>	22,91 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	25,89 <sup>**</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	38,07 <sup>*</sup>	0,65 <sup>ns</sup>
Interação (LI × DS)	16	4,75 <sup>ns</sup>	1,03 <sup>ns</sup>	8,25 <sup>ns</sup>	2,12 <sup>ns</sup>
Blocos	3	7,35 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>	4,49 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>
Resíduo	71	5,29	0,60	7,35	1,50
CV (%)		26,2	18,1	24,3	23,26

ns, \*, \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . GL: Grau de liberdade; CV: Coeficiente de variação

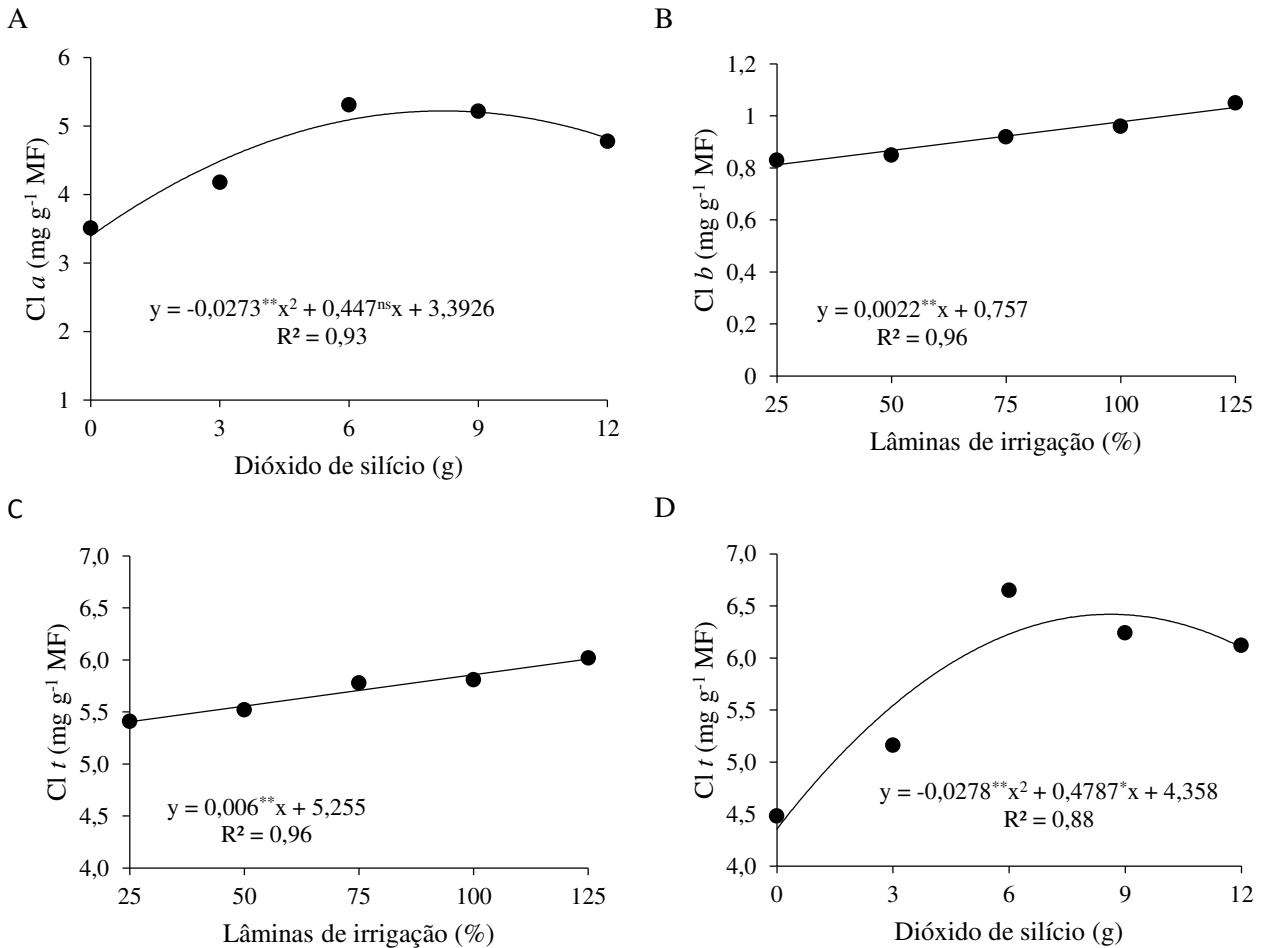
Quanto as variáveis de pigmentos fotossintéticos; A clorofila *a* (Cl *a*), com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,93 não significativo, clorofila *b* (Cl *b*), coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,96 considerado expressivo, clorofila total (Cl t) com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,96 para lâmina de irrigação e 0,88 para dióxido de silício considerado significativo e carotenoides (Car) com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,97 com efeito significativo. Além de correlação forte e positiva da clorofila *a* e *b* (0,93;0,96), no qual pode-se inferir que com o aumento da lâmina de irrigação há o aumento do conteúdo de pigmento clorofila *b*.

Segundo o modelo proposto, 96% da variação da clorofila *b* em função da lâmina (Figura 42 B) de irrigação pode ser explicada pela equação  $y = 0,0022 **X + 0,757$ . Para 98% da variação da clorofila total pela equação  $y=0,006**X + 5,255$ . Com 97% da variação dos carotenoides pela equação  $y=0,0032**X + 2,539$ . Para Parreira et al., (2018), nas plantas de *Jatropha curcas* os pigmentos fotossintéticos não foram afetados pelas diferentes doses de Si e os dados não corroboram com os de Farias et al., (2012) e Groth et al., (2017) que identificaram variações nas concentrações de clorofilas em plantas submetidas a doses de Si.

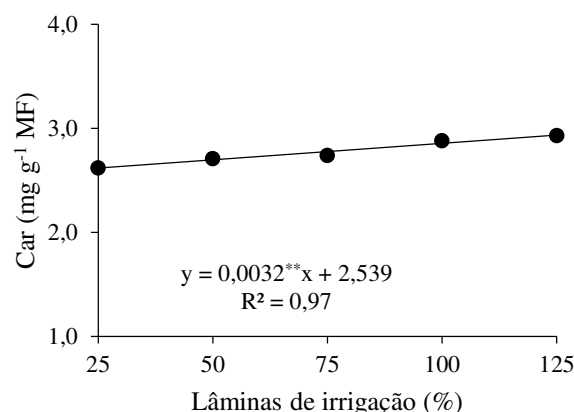
Com o aumento das doses de silício 0, 3, 6, 9 e 12g os valores de clorofila *a* (Figura 16 A) foram 3,51; 4,18; 5,31; 5,22; 4,78 mg g<sup>-1</sup> MF, na segunda avaliação decrescendo nas lâminas de 100% e 125%. Valor máximo de 5,22 e 8,2g e valor mínimo de 3,39 e 0g. O dióxido de silício foi benéfico até a dose de 6g com o aumento do silício os valores de clorofila *a* decresceram (Figura 16 D). A redução do teor de clorofila *a* em plantas de moringa pode estar relacionada ao estresse oxidativo causado

por espécies que reagem ao oxigênio no metabolismo por causa da foto-oxidação de pigmentos, associada à degradação de moléculas de clorofila (Silva *et al.*, 2016).

Segundo Ma e Yamaji (2006), o silício promove aumento na resistência e rigidez das paredes celulares, reduzindo assim a transpiração, acamamento e a perda de água pela planta.



**Figura 16.** Variáveis de pigmentos fotossintéticos



**Figura 17.** Carotenoides

Nas doses maiores de silício de 0, 3, 6, 9 e 12g os valores de clorofila *a* (Figura 16 A) foram 3,51; 4,18; 5,31; 5,22; 4,78 mg g<sup>-1</sup> MF, na segunda avaliação decrescendo nas lâminas de 75%, 100% e 125%. Valor máximo de 5,22 e 8,2g e valor mínimo de 3,39 e 0g. Com o aumento da irrigação houve uma inibição nos teores de clorofila *a*, causando desequilíbrio nas atividades fisiológicas, bioquímicas e efeito deletério sobre o processo fotossintético. Os pigmentos clorofiláticos no trigo, conforme Viana e Kiehl (2010), são atingidos pelo estado nutricional das plantas; o que significa declínios ou incrementos se estão com carência ou adequadamente supridas com os respectivos nutrientes.

No aumento das LI 25%, 50%, 75%, 100% e 125% os valores de clorofila *b* (Figura 16 B) foram 0,83; 0,85; 0,92; 0,96; 1,05 mg g<sup>-1</sup> MF com valor máximo de 1,03 e 125% e valor mínimo de 0,81 e 25%.

Com o aumento das LI 25%, 50%, 75%, 100% e 125% os valores de CAR (Figura 17) foram 2,62; 2,71; 2,74; 2,88; 2,93 mg g<sup>-1</sup> MF com valor máximo de 2,94 e 125% e valor mínimo de 2,62 e 25%. Os teores de carotenoides sofreram interferência do aumento da irrigação, pois são pigmentos que, durante a fotossíntese, podem desempenhar duas funções distintas: absorção de luz nos complexos de captação de luz, atuando como pigmentos acessórios e exercendo ação fotoprotetora do aparato fotoquímico (Kerbaui, 2004), prevendo danos foto-oxidativos às moléculas de clorofila (Raven *et al.*, 2007)

Na elevação das LI 25%, 50%, 75%, 100% e 125% os valores de Cl *t* (Figura 16 C) foram 5,41; 5,52; 5,78; 5,81; 6,02 mg g<sup>-1</sup> MF valor máximo de 6 e 125% e valor mínimo de 5,4 e 25%. O aumento nos teores de pigmentos fotossintéticos se deve ao maior fornecimento de silício, pois o Si atua indiretamente sobre alguns aspectos



fosforescentes e bioquímicos, especialmente, quando as plantas estão submetidas a algum tipo de estresse (Tahir *et al.*, 2012; Bae *et al.*, 2012; Yin *et al.*, 2013).

Com o aumento das doses de silício 0, 3, 6, 9 e 12g os valores de clorofila *Cl t* (Figura 16 D) foram 4,48; 5,16; 6,65; 6,24; 6,12 mg g<sup>-1</sup> MF houve um efeito benéfico com o valor máximo de 6,42 e 8,2g e valor mínimo de 4,36 e 0g. Até o valor de 6g a clorofila total foi aumentando, a partir desse, passou a ocorrer decréscimo, não sendo bom o seu aumento.

Na Tabela 5, observa-se efeito significativo do fator lâmina de irrigação sobre a variável número de folhas da moringa, as doses de adubação com silício e a interação entre os fatores (LI x DS) não tiveram efeito expressivo em nenhuma das variáveis estudadas.

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância referente aos números de folhas NF1, NF2, NF3 e NF4

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		NF1	NF2	NF3	NF4
Lâminas de irrigação (LI)	4	1120,81**	711,55**	403,76 <sup>ns</sup>	365,51 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	2905,72**	1364,01**	722,11 <sup>ns</sup>	22,44 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	959,2 <sup>ns</sup>	243,80 <sup>ns</sup>	636,01 <sup>ns</sup>	176,27 <sup>ns</sup>
Dióxido de silício (CS)	4	198,96 <sup>ns</sup>	109,51 <sup>ns</sup>	397,26 <sup>ns</sup>	456,04 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	2,64 <sup>ns</sup>	74,42 <sup>ns</sup>	380,88 <sup>ns</sup>	255,02 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	42,43 <sup>ns</sup>	202,3 <sup>ns</sup>	921,65 <sup>ns</sup>	3,08 <sup>ns</sup>
Interação (LI x DS)	16	296,25 <sup>ns</sup>	276,64 <sup>ns</sup>	235,95 <sup>ns</sup>	415,62 <sup>ns</sup>
Blocos	3	13,08 <sup>ns</sup>	24,38 <sup>ns</sup>	481,08 <sup>ns</sup>	354,99 <sup>ns</sup>
Resíduo	71	239,58	210,15	239,61	255,41
CV (%)		21,5	22,9	26,2	26,8

ns, \*, \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . GL: **lg** Grau de liberdade; CV:

Coefficiente de variação

A variável lâminas de irrigação foi significativa para a primeira e segunda avaliação e regressão quadrática. O que difere dos resultados encontrados por Lourenço (2016), que não identificou o mesmo resultado nos tratamentos para a variável número de folhas. Bem como Braga *et al.*, (2009) que trabalhando com plantas de morango micropropagadas em diferentes fontes de silício também não encontraram diferenças significativas no número de folhas por planta. E, Fehr *et al.*, (2012), notaram que, em aplicações de silício via solo em variedades de bananeira, o número de folhas não foi afetado durante o ciclo produtivo.

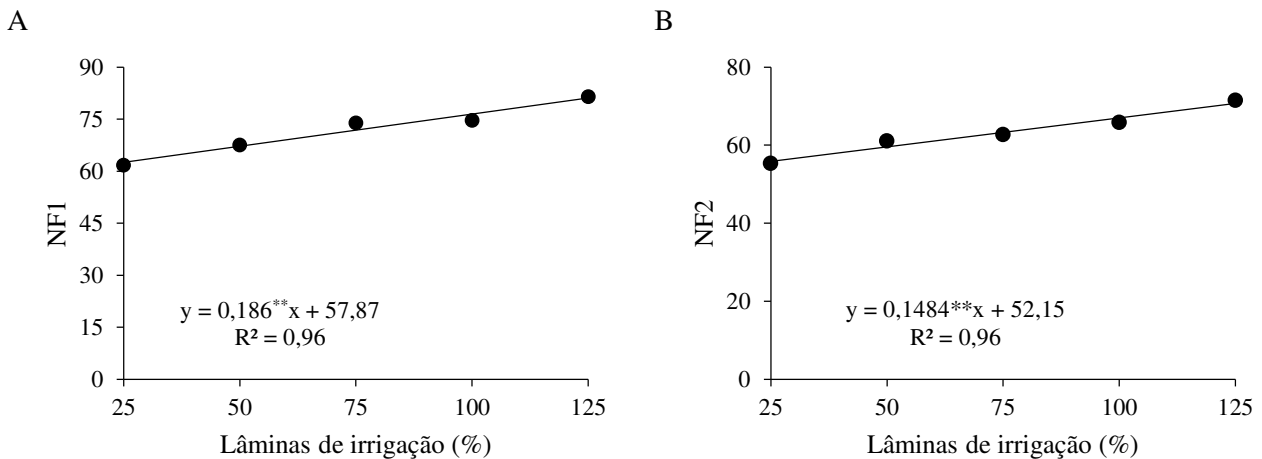
As Lâminas de irrigação foram significativas para a primeira e segunda avaliação e regressão quadrática. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva (2007), no cultivo *in vitro*, de gérberas simulando condições salinas e utilizando diferentes fontes de silício, em seus resultados encontrou valores significativos ao

número de folhas, pois, o aumento das doses propiciou o resultado, que pode ser explicado pela indução de resistência proporcionada pelo silício ao fator abiótico salinidade que limitava o desenvolvimento de gérberas.

No aumento da lâmina de irrigação os valores de NF (Figura 18A) foram de 61,7; 67,5; 73,9; 74,6; 81,4 nas lâminas de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% respectivamente, na primeira avaliação com o valor máximo de 81,1 lâmina de 125% e valor mínimo de 62,5 lâmina de 25% o que difere de Moline *et al.*, (2015), que aplicaram lâminas de irrigação variando de 50 a 110% de Etc na rúcula Cultivada em Vilhena-RO e encontraram maiores valores do número de folhas comercialmente viáveis no tratamento com lâmina de irrigação com 100% de substituição de ETC.

Na segunda avaliação os valores de NF (Figura 18B) foram de 55,3; 61,1; 62,7; 65,8; 71,5 nas lâminas de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% respectivamente, com o valor máximo de 70,7 de 125% e valor mínimo de 55,9 lâmina de 25%. A variável número de folhas teve seu aumento proporcional ao aumento da lâmina. É possível que a moringa tenha mecanismos mais eficientes para aproveitar o excesso de água. No entanto, também pode ser considerado uma causa e não um efeito, uma vez que o maior número de plantas no tratamento resultou em maior taxa de retirada de água.

Sobre a variável número de folhas, na primeira avaliação o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,96 e na segunda ( $R^2$ ) de 0,96 (Figura 18A), sendo uma correlação muito forte. A análise de regressão apontou tendência linear positiva para número de folhas em função das lâminas de irrigação (TABELA 5). Segundo o modelo proposto, 96% da variação do número de folhas em função da lâmina de irrigação pode ser explicada pela equação  $y = 0,186 **X + 57,87$ . Para 96% pela equação  $y=0,1484**X + 52,15$ .



**Figura 18.** Número de folhas na avaliação 1 e 2.

A análise de variância referente aos diâmetros de caule em função das lâminas de irrigação e das concentrações de dióxido de silício para lâminas de irrigação está exposta na Tabela 6. Para as plantas do algodoeiro a regressão polinomial que melhor se ajustou aos dados foi o modelo quadrático descrito pela equação  $Y = 4E - 7x^2 - 0,0004 + 0,3383$  com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,98. O diâmetro caulinar apresentou seu maior médio (0,34 mm) com a dosagem de silício correspondente a 0,0 Kg ha<sup>-1</sup>, apresentando uma redução no valor médio nas dosagens de 200 e 400 Kg ha<sup>-1</sup>. A partir da dosagem de 600 Kg ha<sup>-1</sup> ocorreu acréscimo no valor médio do diâmetro caulinar atingindo o máximo na dosagem de 800 Kg ha<sup>-1</sup> com o valor de 0,345 (Leite *et al.*, 2011). Esses resultados estão de acordo com os de Prado e Natale (2004) e Neri *et al.*, (2009), constatando aumento do diâmetro do caule das plantas de maracujá e de milho, respectivamente, quando adubadas com silício.

O dióxido de silício não foi expressivo em nenhuma das variáveis (TABELA 6). O que difere dos resultados encontrados por Leite *et al.*, (2011), em que as doses de silício atuaram nas variáveis altura da planta e diâmetro do caule. As plantas do tomateiro não foram beneficiadas pelas adubações com silício nem via solo nem foliar; para as variáveis: número de folhas, diâmetro do caule, altura de planta e número total de frutos de mini tomates, nos diferentes períodos de avaliações (Oliveira *et al.*, 2020).

Quanto a variável diâmetro do caule, na primeira avaliação (FIGURA 19A) o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,97 e na segunda de 0,96 (Figura 19A) ambos com uma alta correlação. Todas as equações de regressão apresentam ótimos ajustes aos dados analisados, com coeficientes de determinação muito altos (>0,80).

Com o incremento da lâmina de irrigação os valores de diâmetro do caule na segunda avaliação (Figura 19B) foram de 35,7; 37,56; 38,42; 39,04; 41,18 cm nas lâminas de 25%, 50%, 75%, 100% e 125%, respectivamente.

Na primeira avaliação para as lâminas de irrigação 25%, 50%, 75%, 100% e 125% os valores de diâmetro do caule foram 33,38; 34,96; 35,33; 36,7; 38,43 cm (Figura 19A). O menor valor encontrado para DC foi de 21,8 cm na primeira avaliação para lâmina de 100%, já para o maior valor foi na de 50% com o 54,9 cm na quarta avaliação. A maior média pertence a de 125%, com o valor de 45,32 cm.

Na segunda avaliação os DC cresceram nos valores de 35,7; 37,56; 38,42; 39,04; 41,18 cm (Figura 19B). De acordo com a equação de regressão, o linear foi o modelo que melhor se ajustou para o DC.

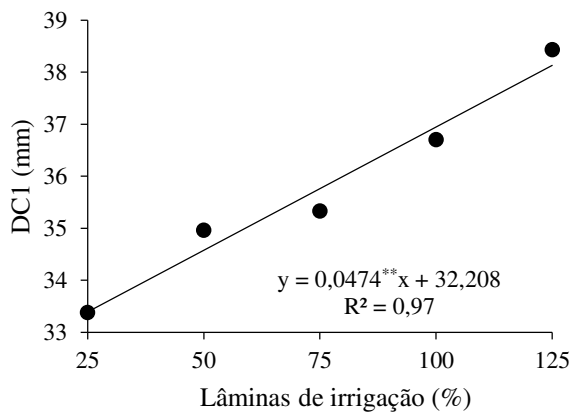
Conforme resultados estatísticos (Tabela 6) verifica-se que a lâmina de irrigação afetou bastante todas as variáveis, e também que o fator doses de silício, assim como a interação entre os fatores (LI x DS) promoveram efeito significativo apenas na terceira e quarta avaliações, dados semelhantes aos Dantas Junior *et al.*, (2011), pois o diâmetro caulinar das plantas recebeu influência da lâmina de irrigação de maneira significativa, em nível de 5 % de probabilidade.

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância referente aos diâmetros de caule DC1, DC2, DC3 e DC4

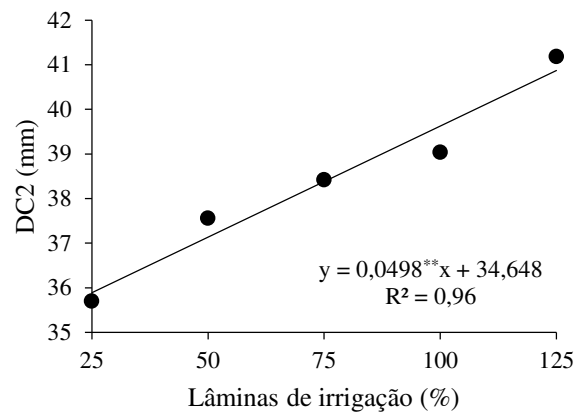
Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		DC1	DC2	DC3	DC4
Lâminas de irrigação (LI)	4	69,41*	84,35**	98,09**	88,03**
Regressão linear	1	158,25**	206,23**	223,03**	188,92**
Regressão quadrática	1	12,98 <sup>ns</sup>	76,75 <sup>ns</sup>	98,14*	90,31 <sup>ns</sup>
Dióxido de silício (CS)	4	6,35 <sup>ns</sup>	4,36 <sup>ns</sup>	8,85 <sup>ns</sup>	13,86 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	0,39 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	4,77 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	24,78 <sup>ns</sup>	15,84 <sup>ns</sup>	28,23 <sup>ns</sup>	39,75 <sup>ns</sup>
Interação (LI x DS)	16	22,17 <sup>ns</sup>	25,66 <sup>ns</sup>	35,79*	39,99*
Blocos	3	3,83 <sup>ns</sup>	11,28 <sup>ns</sup>	18,37 <sup>ns</sup>	18,11 <sup>ns</sup>
Resíduo	71	19,62	21,69	19,11	22,18
CV (%)		12,5	12,3	10,9	11,2

ns, \*, \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . GL: Grau de liberdade; CV: Coeficiente de variação

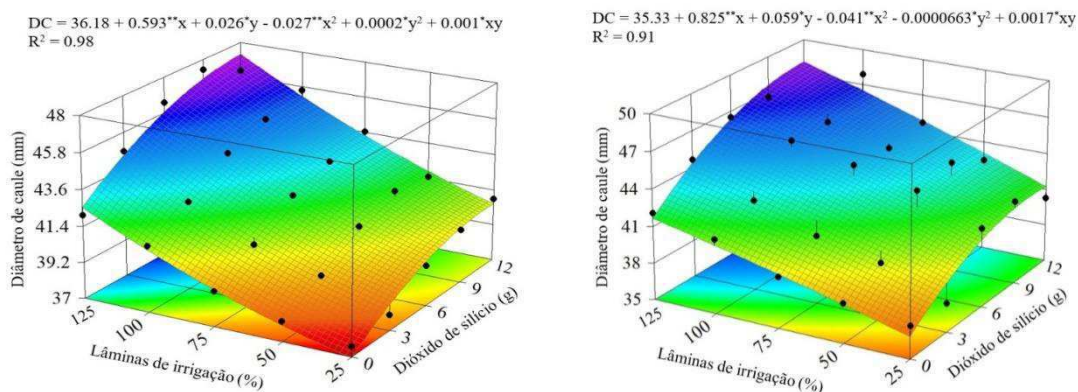
A



B



**Figura 19.** Diâmetro de caule das avaliações 1 e 2.



**Figura 20.** A interação ocorre entre os fatores lâmina e dióxido de silício.

Interação entre as lâminas de irrigação e dióxido de silício na terceira e quarta avaliação (Figura 20).

Não houve influência significativa do dióxido de silício nas avaliações, como também ocorreu com Dantas Junior *et al.*, (2011), em que os efeitos das doses de silício não refletiram em muitas diferenças do diâmetro do caule, corroborando com Chaves e Vasconcelos (2006) que, avaliando o efeito do xisto retornado (57% em peso de SiO<sub>2</sub>) na cultura do milho, não observaram efeitos relevantes sobre o diâmetro do caule. E Medeiros *et al.*, (2008), mostraram decréscimo no diâmetro caulinar de cana-de-açúcar quando adubada com doses crescentes de silício. Entretanto, Neri *et al.*, (2009), constataram aumento do diâmetro do caule das plantas de milho, quando adubadas com silício.

As regressões lineares e quadráticas não foram expressivas para todas as variáveis. E a interação entre as lâminas de irrigação e dióxido de silício não interferiram sobre as variáveis analisadas.

A análise de variância referente aos números de ramificações (Tabela 7) em função das lâminas de irrigação e das concentrações de dióxido de silício foi muito afetada pelas lâminas de irrigação na segunda e terceira avaliações.

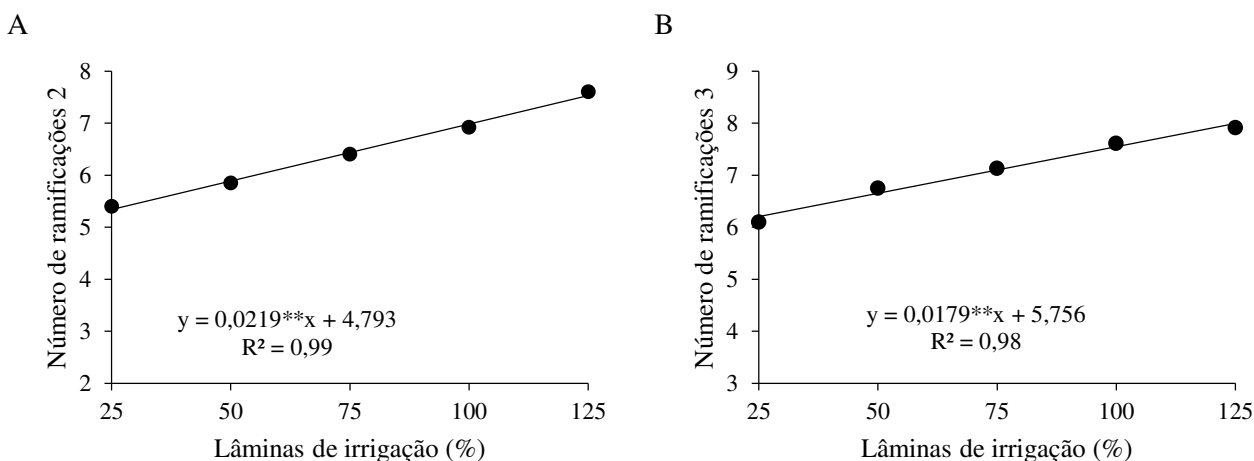
**Tabela 7.** Resumo da análise de variância referente aos números de ramificações NR1, NR2, NR3 e NR4

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		NR1	NR2	NR3	NR4
Lâminas de irrigação (LI)	4	4,26 <sup>ns</sup>	11,28 <sup>**</sup>	10,45 <sup>*</sup>	6,18 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	8,00 <sup>ns</sup>	35,71 <sup>**</sup>	23,42 <sup>**</sup>	0,84 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	4,13 <sup>ns</sup>	8,82 <sup>ns</sup>	6,85 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>
Dióxido de silício (CS)	4	1,77 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	2,42 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	0,08 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	4,63 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	4,62 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>
Interação (LI xDS)	16	2,24 <sup>ns</sup>	2,67 <sup>ns</sup>	3,19 <sup>ns</sup>	2,91 <sup>ns</sup>
Blocos	3	3,24 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>
Resíduo	71	2,02	2,59	3,31	3,05
CV (%)		26,4	24,8	25,5	25,9

ns, \*, \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . GL: Grau de liberdade; CV: Coeficiente de variação

Quanto a variável número de ramificações, na segunda avaliação o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,99 e na de 0,98 correlação fortemente positiva, propiciando o desenvolvimento de uma equação confiável (Figura 21).

De acordo com a equação de regressão, o modelo que melhor se ajustou para o NR foi o linear, a análise de regressão apontou tendência linear positiva para número de ramificações em função das lâminas de irrigação (TABELA 7). Segundo o modelo proposto, 99% da variação do número de ramificações em função da lâmina de irrigação pode ser explicada pela equação  $y = 0,0219 **X + 4,793$ . Para 98% da variação do número de folhas pela equação  $y=0,0179**X +5,756$ .



**Figura 21.** Número de ramificações das avaliações 2 e 3.

A análise de variância (TABELA 8) referente ao comprimento da folha em função das lâminas de irrigação e das concentrações de dióxido de silício é significativa para lâminas de irrigação na segunda, terceira e quarta avaliações. E para regressão linear na segunda, terceira e quarta avaliações.

**Tabela 8.** Resumo da análise de variância referente aos comprimentos de folha CF1, CF2, CF3 e CF4.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		CF1	CF2	CF3	CF4
Lâminas de irrigação (LI)	4	0,26 <sup>ns</sup>	168,87 <sup>**</sup>	175,93 <sup>**</sup>	158,84 <sup>**</sup>
Regressão linear	1	0,41 <sup>ns</sup>	504,83 <sup>**</sup>	525,97 <sup>**</sup>	290,16 <sup>**</sup>
Regressão quadrática	1	0,61 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	40,88 <sup>ns</sup>
Dióxido de silício (CS)	4	0,11 <sup>ns</sup>	23,92 <sup>ns</sup>	24,91 <sup>ns</sup>	4,86 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	0,17 <sup>ns</sup>	78,55 <sup>ns</sup>	81,79 <sup>ns</sup>	1,17 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	0,11 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>
Interação (LI × DS)	16	0,31 <sup>ns</sup>	21,78 <sup>ns</sup>	22,67 <sup>ns</sup>	17,87 <sup>ns</sup>
Blocos	3	0,06 <sup>ns</sup>	12,98 <sup>ns</sup>	13,49 <sup>ns</sup>	16,83 <sup>ns</sup>
Resíduo	71	0,24	19,22	20,01	22,69
CV (%)		8,22	10,44	10,52	11,98

ns, \*, \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . GL: Grau de liberdade; CV: Coeficiente de variação

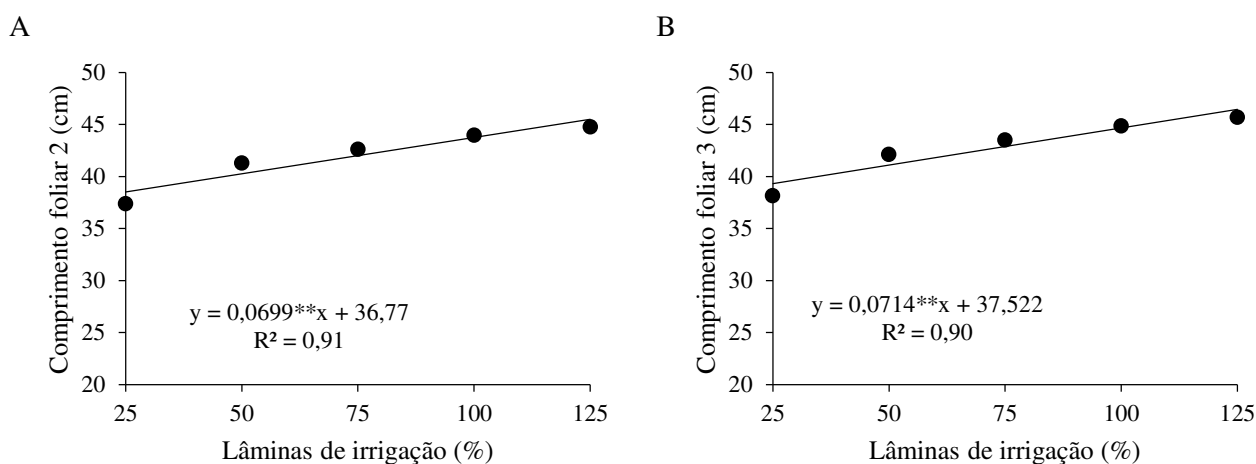
Os coeficientes de variação foram 8,22; 10,44, 10,52 e 11,98, que de acordo com Pimentel-Gomes (1985), CV abaixo de 20 % são considerados de médio erro e entre 20 e 30 % de alto erro, indicando moderada precisão experimental.

Com o aumento da lâmina de irrigação os valores de CF foram de 37,39; 41,29; 42,63; 43,97; 44,79 nas lâminas de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% respectivamente, na segunda avaliação (Figura 48A) com o valor máximo de 45,51 cm lâmina de 125% e valor mínimo de 38,52 cm e lâmina de 25%.

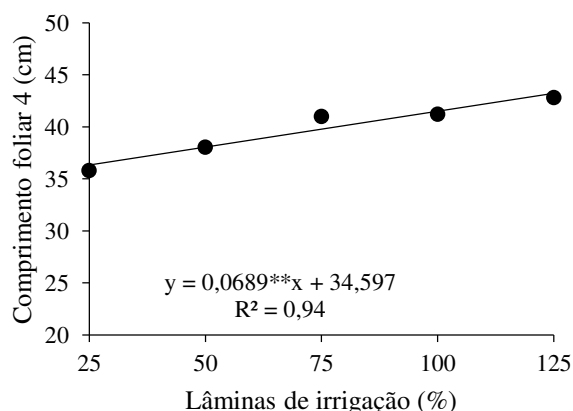
A análise de regressão apontou tendência linear positiva para comprimento foliar em função das lâminas de irrigação (Figura 22A). Segundo o modelo proposto, 91% da variação comprimento foliar em função da lâmina de irrigação pode ser explicada pela equação  $y = 0,0699 **X + 36,77$ . Para 90% pela equação  $y=0,0714**X +37,522$ .

Com o aumento da lâmina de irrigação os valores de CF foram de 38,15; 42,14; 43,51; 44,86; 45,71 nas lâminas de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% respectivamente, na terceira avaliação (Figura 22B) com o valor máximo de 46,45 lâmina de 125% e valor mínimo de 39,31 e lâmina de 25%.

Quanto a variável comprimento foliar, na segunda avaliação o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,91, na de 0,90 e na quarta ( $R^2$ ) de 0,94 (Figura 22A e B), as três equações de regressão apresentam ótimos ajustes aos dados analisados com coeficientes de correlação muito bons.



**Figura 22.** Comprimento foliar das avaliações 2 e 3.



**Figura 23.** Comprimento foliar da avaliação 4.



Pelo acréscimo da lâmina de irrigação os valores de CF foram de 35,78; 38,04; 40,99; 41,21; 42,81 nas lâminas de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% respectivamente, na quarta avaliação (Figura 23) com o valor máximo de 43,21 e lâmina de 125% e valor mínimo de 36,32 e lâmina de 25%.

A análise de variância referente à largura da folha em função das lâminas de irrigação e das concentrações de dióxido de silício possui dados expressivos para lâminas de irrigação na segunda, terceira e quarta avaliações. A regressão linear significativa na segunda, terceira e quarta avaliações (TABELA 9).

**Tabela 9.** Resumo da análise de variância referente à largura das folhas LF1, LF2, LF3 e LF4.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		LF1	LF2	LF3	LF4
Lâminas de irrigação (LI)	4	37,13 <sup>ns</sup>	77,39 <sup>**</sup>	80,63 <sup>**</sup>	133,17 <sup>**</sup>
Regressão linear	1	62,37 <sup>ns</sup>	258,87 <sup>**</sup>	269,63 <sup>**</sup>	258,68 <sup>**</sup>
Regressão quadrática	1	80,21 <sup>ns</sup>	10,72 <sup>ns</sup>	11,16 <sup>ns</sup>	5,78 <sup>ns</sup>
Dióxido de silício (CS)	4	15,47 <sup>ns</sup>	32,35 <sup>ns</sup>	33,66 <sup>ns</sup>	3,60 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	23,09 <sup>ns</sup>	4,83 <sup>ns</sup>	5,03 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	3,38 <sup>ns</sup>	4,40 <sup>ns</sup>	4,59 <sup>ns</sup>	3,18 <sup>ns</sup>
Interação (LI x DS)	16	48,84 <sup>ns</sup>	18,36 <sup>ns</sup>	19,13 <sup>ns</sup>	17,93 <sup>ns</sup>
Blocos	3	10,84 <sup>ns</sup>	28,89 <sup>ns</sup>	30,08 <sup>ns</sup>	9,89 <sup>ns</sup>
Resíduo	71	38,59	15,29	15,92	20,85
CV (%)		17,09	11,86	15,21	15,02

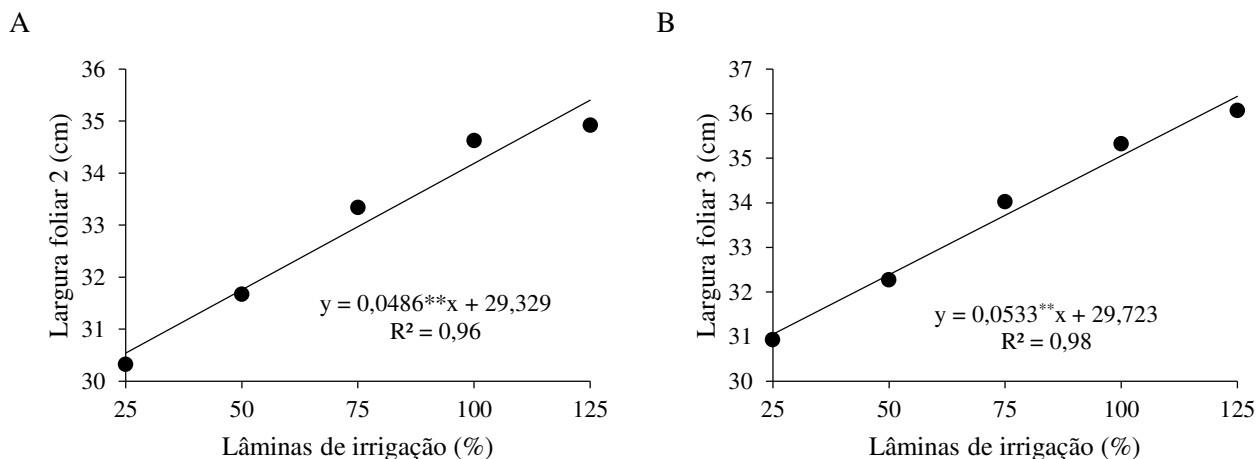
ns, \*, \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . GL: Grau de liberdade; CV: Coeficiente de variação

Os valores de LF foram de 37,39; 41,29; 42,63; 43,97; 44,79 cm nas lâminas de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% respectivamente, na segunda avaliação (Figura 24A) com o valor máximo de 35,40 na lâmina de 125% e valor mínimo de 30,54 lâmina de 25%.

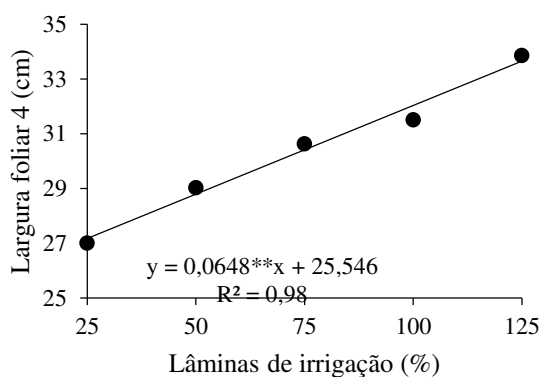
Com o aumento da lâmina de irrigação os valores de LF foram de 30,93; 32,27; 34,02; 35,32; 36,07 cm nas lâminas de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% respectivamente, na terceira avaliação (Figura 24B) com o valor máximo de 36,39 cm lâmina de 125% e valor mínimo de 31,06 cm lâmina de 25%. E também o comprimento foliar cresceu.

Quanto a variável largura foliar, na segunda avaliação o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,96, na terceira de 0,98 e na quarta avaliação ( $R^2$ ) de 0,98 (Figura 25). A análise de regressão apontou tendência linear positiva para largura foliar em função das lâminas de irrigação (Figura 25). Segundo o modelo proposto, 96% da variação largura foliar em função da lâmina de irrigação pode ser explicada pela

equação  $y = 0,0486 **X + 29,329$ . Na segunda avaliação para 98% da variação da largura foliar pode ser explicada pela equação  $y=0,0533**X +29,723$ . Na terceira avaliação para 98% da variação da largura foliar pode ser explicada pela equação  $y=0,0648**X +25,546$ .



**Figura 24.** Largura foliar das avaliações 2 e 3.



**Figura 25.** Largura foliar da avaliação 4

Na ampliação da lâmina de irrigação os valores de LF foram de 27; 29,03; 30,63; 31,51; 33,86 cm nas lâminas de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% respectivamente, na quarta avaliação (Figura 25) com o valor máximo de 33,65 cm lâmina de 125% e valor mínimo de 27,17 cm lâmina de 25%.

Análise de variância referente à altura de copa (Tabela 10) em função das lâminas de irrigação e das concentrações de dióxido de silício significativa para lâminas de irrigação na segunda, terceira avaliações. A altura de copa da moringa foi influenciada na segunda ( $p < 0,01$ ) e terceira avaliações ( $p < 0,05$ ) da lâmina de irrigação; de acordo com as equações de regressão (Figura 52 A e B), sendo o linear o modelo que os dados se ajustaram melhor.

**Tabela 10.** Resumo da análise de variância referente à altura de copa nas avaliações 1, 2 e 3.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio		
		AC1	AC2	AC3
Lâminas de irrigação (LI)	4	0,03 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>**</sup>	0,16 <sup>*</sup>
Regressão linear	1	0,02 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>**</sup>	0,55 <sup>**</sup>
Regressão quadrática	1	0,05 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
Dióxido de silício (CS)	4	0,01 <sup>ns</sup>	0,004 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	0,02 <sup>ns</sup>	0,005 <sup>ns</sup>	0,049 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	0,01 <sup>ns</sup>	0,004 <sup>ns</sup>	0,005 <sup>ns</sup>
Interação (LI xDS)	16	0,02 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
Blocos	3	0,02 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
Resíduo	71	0,02	0,05	0,04
CV (%)		9,00	10,89	9,95

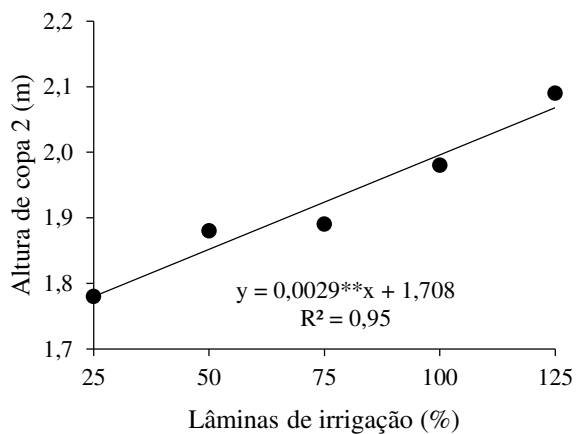
ns, \*, \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . GL: Grau de liberdade; CV: Coeficiente de variação

Com base na altura da copa, na segunda avaliação (Figura 26A) o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,95 e na terceira de 0,99 (Figura 26B), ou seja, uma alta correlação. E que os coeficientes de variação obtidos foram relativamente baixos, indicando boa precisão experimental. A análise de regressão apontou tendência linear positiva para altura de copa em função das lâminas de irrigação (Figura 26A e B). Segundo o modelo proposto, 95% da variação da altura de copa em função da lâmina de irrigação pode ser explicada pela equação  $y = 0,0029 **X + 1,708$ . Para 99% pela equação  $y=0,003**X + 1,916$ .

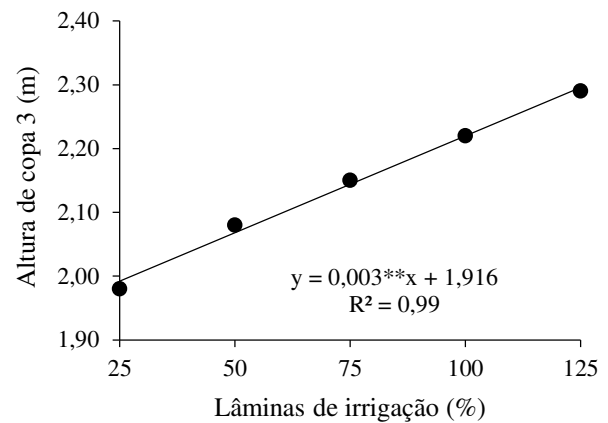
Com o aumento da lâmina de irrigação os valores de altura de copa foram de 1,78; 1,88; 1,89; 1,98; 2,09 cm nas lâminas de 25%, 50%, 75%, 100% e 125%, respectivamente, na segunda avaliação (Figura 26A) com o valor máximo de 2,09 cm lâmina de 125% e valor mínimo de 1,78 cm lâmina de 25%. O menor valor encontrado para AC foi na lâmina de 100% na primeira avaliação 1,4 m, já para o máximo foi da terceira avaliação, com 2,74 m na lâmina de 25%, com 9g de SiO<sub>2</sub>. A aplicação de silício aumenta a capacidade fotossintética refletindo no crescimento das culturas (Borges *et al.*, 2010).

Os valores de altura de copa foram de 1,98; 2,08; 2,15; 2,22; 2,29 cm nas lâminas de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% respectivamente, na terceira avaliação (Figura 26B) com o valor máximo de 2,29 cm lâmina de 125% e valor mínimo de 1,99 cm e lâmina de 25%.

A



B



**Figura 26.** Altura de copa das avaliações 2 e 3.

Segundo Leite *et al.*, (2011), aplicada a regressão polinomial, a adição de doses de silício no solo promoveu resultados relevantes. A regressão polinomial para altura da copa em função doses de silício que melhor se ajustou aos dados foi a linear, descrita pela equação  $Y = -0,0037x + 19,996$  com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,94. Ao passo que se aumentou as doses de silício ocorreu redução na altura da planta do algodoeiro, sendo o maior valor encontrado com a dose de  $0,0 \text{ Kg ha}^{-1}$  de silício e o menor valor (17,6 cm) na máxima dosagem de silício  $900 \text{ Kg ha}^{-1}$ . Resultados semelhantes foram encontrados por Medeiros *et al.*, (2009), com a aplicação de escória de siderurgia, rica em silicato de cálcio e magnésio, na cultura da cana-de-açúcar, não conseguiu agir com muita propriedade no crescimento das plantas.

Com a aplicação das lâminas de 25 a 125% Eto, foi verificada tendência linear positiva da curva de resposta da altura da copa. O emprego de lâminas superiores poderia, possivelmente, promover a alteração da inclinação do gráfico, gerando até mesmo valores negativos, uma vez que, segundo Marin *et al.*, (1995), o excesso de água na região em torno da raiz da planta diminui aeração e afeta absorção de nutrientes, aumenta o aparecimento de doenças, além de possibilitar a lixiviação dos nutrientes.

Análise de variância referente (TABELA 11) ao teor relativo de água (TRA), porcentagem de extravasamento de eletrólitos (% EE) e iluminância solar (IS) em função das lâminas de irrigação não foi significativa.

**Tabela 11.** Resumo da análise de variância referente ao teor relativo de água (TRA), porcentagem de extravasamento de eletrólitos (% EE) e iluminância solar (IS).

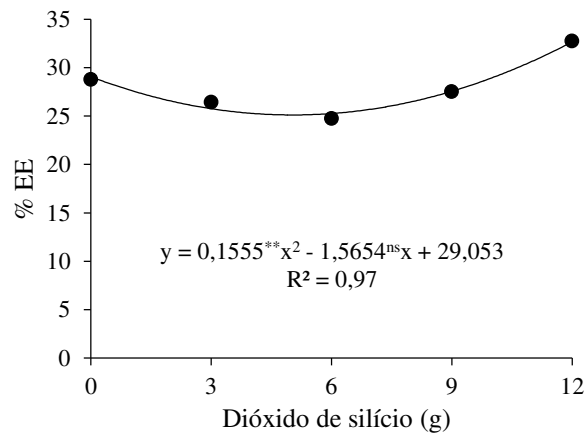
Fonte de variação	GL	Quadrado médio		
		TRA	% EE	IS
Lâminas de irrigação (LI)	4	364,69 <sup>ns</sup>	220,05 <sup>ns</sup>	4,19 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	65,33 <sup>ns</sup>	608,74 <sup>ns</sup>	10,95 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	74,23 <sup>ns</sup>	219,99 <sup>ns</sup>	4,28 <sup>ns</sup>
Dióxido de silício (CS)	4	236,54 <sup>ns</sup>	374,74 <sup>*</sup>	11,11 <sup>ns</sup>
Regressão linear	1	592,29 <sup>ns</sup>	366,14 <sup>ns</sup>	3,22 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	36,72 <sup>ns</sup>	403,01 <sup>**</sup>	1,54 <sup>ns</sup>
Interação (LI xDS)	16	287,67 <sup>ns</sup>	119,87 <sup>ns</sup>	9,93 <sup>ns</sup>
Blocos	3	101,83 <sup>ns</sup>	47,76 <sup>ns</sup>	42,24 <sup>ns</sup>
Resíduo	71	206,43	128,26	25,13
CV (%)		22,23	19,76	9,99

ns, \*, \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . GL: Grau de liberdade; CV: Coeficiente de variação

Os dados para as doses de 0, 3, 6g de DS apresentaram efeito quadrático decrescente indicando declínio de, 28,79; 26,45; 24,75, respectivamente, já para as doses de 9 e 12 g um aumento de 27,54; 32,75(Figura 27).

Quanto a variável extravasamento de eletrólitos o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,97(Figura 27). A análise de regressão apontou tendência quadrática para extravasamento de eletrólitos em função das lâminas de irrigação (Figura 27). Segundo o modelo proposto, 97% da variação do extravasamento de eletrólitos pode ser explicada pela equação de segundo grau  $y = 0,1555 **X^2 - 1,5654^{ns} X + 29,053$ .

É possível notar que, a equação de segundo grau teve tendência quadrática e que até 6g de silício ocorreu uma redução no extravasamento de eletrólitos sendo benéfico, mas a partir do aumento também houve um incremento do EE. Até certo momento, o silício mínimo foi benéfico, mas se for acima já é prejudicial. Pois, nas doses acima de 6g o aumento do extravasamento significa dano nas membranas celulares das plantas e, consequentemente, estresse oxidativo. Não sendo recomendado aplicar doses maiores que 6g. A referida variável indica a resistência da membrana celular aos danos que podem ser ocasionados por estresses, assim, quanto menor os valores obtidos no extravasamento, mais estável é a membrana celular (Sousa *et al.*, 2017)



**Figura 27.** Porcentagem de extravasamento de eletrólitos (% EE).

O valor máximo para o EE (Figura 27) foi de 32,66 na dose de 12g de dióxido de silício e valor mínimo encontrado de 25,11 de 5g. Não tendo dano na membrana plasmática e sem estresse oxidativo. As concentrações de 9 e 12-g provocam aumento no estresse, não sendo recomendado doses acima de 6g.

O resumo da análise de variância (TABELA 12) referente à fluorescência inicial (F0), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv) e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm). A variável fluorescência inicial e eficiência quântica do fotossistema II foram significativas para lâmina de irrigação. Já para as doses de silício a única variável significativa foi a eficiência quântica do fotossistema II.

**Tabela 12.** Resumo da análise de variância referente à fluorescência inicial (F0), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv) e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm).

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		F0	Fm	Fv	Fv/Fm
Lâminas de irrigação (LI)	4	31137,19**	102369,06 <sup>ns</sup>	89820,56 <sup>ns</sup>	0,0079**
Regressão linear	1	41992,02**	127209,68 <sup>ns</sup>	23026,58 <sup>ns</sup>	0,0037**
Regressão quadrática	1	18273,72 <sup>ns</sup>	198968,91 <sup>ns</sup>	96645,73 <sup>ns</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>
Dióxido de silício (CS)	4	6029,64 <sup>ns</sup>	98099,53 <sup>ns</sup>	91511,78 <sup>ns</sup>	0,0029*
Regressão linear	1	450,00 <sup>ns</sup>	111344,81 <sup>ns</sup>	97637,81 <sup>ns</sup>	0,0026 <sup>ns</sup>
Regressão quadrática	1	4480,00 <sup>ns</sup>	27304,38 <sup>ns</sup>	9664,38 <sup>ns</sup>	0,0006 <sup>ns</sup>
Interação (LI x DS)	16	4795,41 <sup>ns</sup>	150511,59 <sup>ns</sup>	114782,51 <sup>ns</sup>	0,0013 <sup>ns</sup>
Blocos	3	2606,69 <sup>ns</sup>	16360,19 <sup>ns</sup>	13421,82 <sup>ns</sup>	0,0007 <sup>ns</sup>
Resíduo	71	4638,63	106739,45	80279,99	0,0011
CV (%)		14,16	16,17	18,40	4,34

ns, \*, \*\* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . GL: Grau de liberdade; CV: Coeficiente de variação

Análise de variância referente à fluorescência inicial (F0) (Figura 28A) foi significativa para lâminas de irrigação com os valores de 428,15; 454,21; 496,15; 509,9;

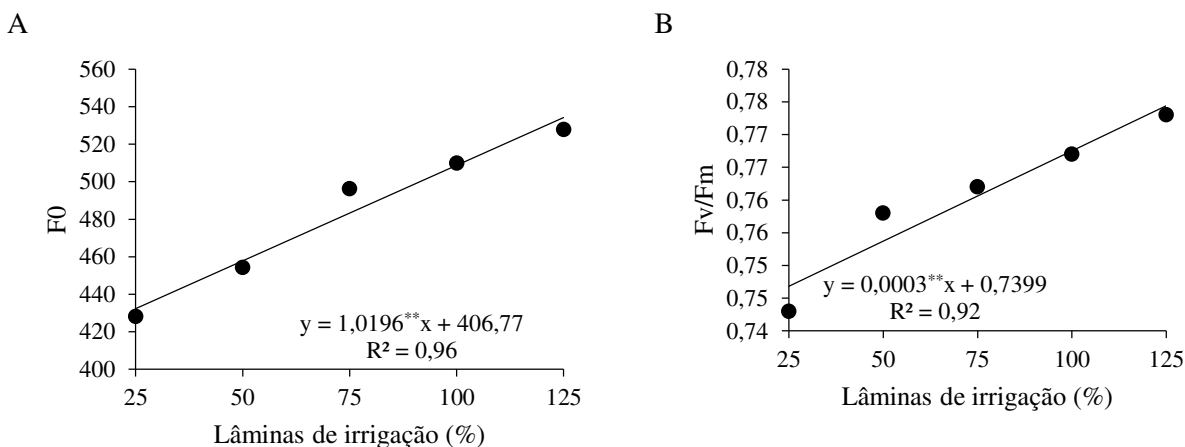
527,75 e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) 0,743; 0,758; 0,762; 0,767; 0,773, nas respectivas lâminas de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% (FIGURA 28B).

A fluorescência inicial (Fo) (Figura 28A) tem o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) de 0,96. O aumento de Fo é indicativo de dano ao aparelho fotossintético causado pelo estresse hídrico, uma vez que a variável indica a perda de energia luminosa, situação que ocorre em um estado de oxidação da quinona (elétron primário receptor) no centro de reação (P680), dificultando a transferência de energia do fotossistema II (Dias *et al.*, 2021).

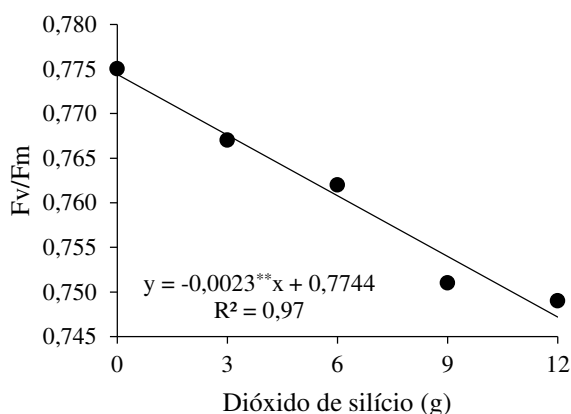
Em relação à fluorescência da clorofila *a*, na fluorescência inicial (Fo) (Figura 28A), constatou-se efeito significativo em relação às lâminas de irrigação se mensurando valor máximo de 534,22 elétrons quantum<sup>-1</sup> para análise. Portanto, a quantidade de água disponibilizada para as plantas da moringa interferiu na Fo, em que a mesma indica quando todos os centros de reação estão abertos (Silva *et al.*, 2015).

A análise de regressão apontou tendência linear positiva para a fluorescência inicial em função das lâminas de irrigação (Figura 28A). Segundo o modelo proposto, 96% da variação da fluorescência inicial pode ser explicada pela equação  $y = 1,0196 **X + 406,77$ . Para 92% da variação da eficiência quântica do fotossistema II pela equação  $y=0,0003**X + 0,7399$ .

A eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) com coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) de 0,92, para lâmina de irrigação (Figura 28B) e Fv/Fm para dióxido de silício com coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) de 0,97 todos com uma forte correlação (Figura 29).



**Figura 28.** Fluorescência inicial (F0) e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) em função das lâminas de irrigação e das doses de dióxido de silício.



**Figura 29.** Eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) em função das doses de dióxido de silício.

Com o aumento da concentração de dióxido de silício a eficiência quântica do fotossistema II teve um decréscimo linear; 0,775; 0,767; 0,762; 0,751; 0,749, o menor valor foi na dose de 12g (FIGURA 29).

A eficiência quântica do FSII da moringa, avaliada pela razão Fv/Fm, refere-se à capacidade de transferência da energia de excitação e expressa a eficiência de captura desta energia pelos centros de reação abertos do PSII (Melo *et al.*, 2010). Assim, ao analisar a equação de regressão para eficiência quântica do FSII (Figura 29) verifica-se que, os dados se ajustaram ao modelo linear sendo o valor máximo estimado (0,775



elétrons quantum<sup>-1</sup>) sem a aplicação do SiO<sub>2</sub>. A partir dessa concentração, ocorreu diminuição na eficiência quântica do FSII, sendo alcançado o menor valor (0,749 elétrons quantum<sup>-1</sup>) nas plantas de moringa com 12g de dióxido de silício. Desse modo, não teve dano no FSII na dose de 12 g de SiO<sub>2</sub>, pois, o valor máximo obtido para a razão Fv/Fm ficou no índice (0,75 elétrons quantum<sup>-1</sup>), considerado como limite para provocar danos no aparato fotossintético das plantas (Santos *et al.*, 2010), pois, conforme Reis & Campostrini (2011), quando o aparelho fotossintético se encontra intacto, os valores de Fv/Fm variam entre 0,75 e 0,85 elétrons quantum<sup>-1</sup>. A inibição na eficiência quântica do FSII detectada nas plantas cultivadas com lâminas de irrigação indica dano fotoinibitório nos centros de reação do PSII, fato que promove à formação de espécies reativas de oxigênio (Gonçalves et al., 2010).

Na figura 29 os valores permaneceram entre os indicados, por isso sem danos no aparelho fotossintético com variação na disponibilidade hídrica e aumento das lâminas de irrigação.

Segundo Reis & Campostrini (2011), quando o aparelho fotossintético se encontra intacto, ou seja, não houve situação de estresse e redução do potencial fotossintético na planta, os valores de Fv/Fm variam entre 0,75 e 0,85 elétrons quantum<sup>-1</sup> o que podemos observar (Figura 29) que os valores permaneceram entre esses valores, logo não houve dano no aparelho fotossintético quando houve variação na disponibilidade hídrica e aumento das lâminas de irrigação.

## 6. CONCLUSÃO

O SPAD, à taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*), condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), concentração interna de CO<sub>2</sub> (*Ci*), eficiência instantânea da carboxilação (*EiCi*) e eficiência instantânea no uso da água (*EiUA*), clorofila *a* (*Cl a*), clorofila *b* (*Cl b*), clorofila total (*Cl t*) e carotenoides (*Car*), número, comprimento e largura das folhas, o teor relativo de água (*TRA*), porcentagem de extravasamento de eletrólitos (% *EE*) e iluminância solar (*IS*), a fluorescência inicial (*F<sub>0</sub>*), fluorescência máxima (*F<sub>m</sub>*), fluorescência variável (*F<sub>v</sub>*) e eficiência quântica do fotossistema II (*F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>*), altura da copa e número de ramificações, não foram influenciados (*p* > 0,05) pela interação lâminas de irrigação versus dióxido de silício (*LI x DS*).

As lâminas de irrigação exerceram influência significativa (*p* < 0,01) em todas as variáveis estudadas, com exceção ao teor relativo de água (*TRA*), porcentagem de extravasamento de eletrólitos (% *EE*) e iluminância solar (*IS*).

O índice SPAD, a clorofila *b*, clorofila total, carotenoides, comprimento da folha, largura da folha, diâmetro do caule, número de ramificações, área da copa, número de folhas, fluorescência inicial, eficiência quântica do fotossistema II, taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, condutância estomática, transpiração, concentração interna de CO<sub>2</sub>, eficiência instantânea da carboxilação e eficiência instantânea no uso da água, não foram afetados pelas lâminas de irrigação.

A lâmina de irrigação que proporcionou as maiores médias de crescimento foi a de 125%. E a dose de silício que melhor contribuiu para o cultivo da moringa foi a de 6g de SiO<sub>2</sub>.

Para a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*) a melhor lâmina é a de 63,4%, já para a eficiência instantânea da carboxilação (*EiCi*) 62,5% eficiência instantânea no uso da água (*EiUA*) a de 78,3%.

A interação das lâminas de irrigação com as doses de silício só influenciou o diâmetro do caule, nas demais variáveis não teve efeito algum. A moringa responde significativamente à interação entre os fatores lâmina de irrigação e doses de silício para diâmetro de caule. O diâmetro do caule foi a única variável de crescimento afetada pela interação entre os fatores estudados.

Para o extravasamento de eletrólitos, clorofila total, clorofila *a*, eficiência quântica do fotossistema II a dose de silício de 12 g não foi benéfica causando danos oxidativo e no fotossistema.

## 7.REFERÊNCIAS

- Abdalhi, M. A. M. Cheng, J.; Feng,S.; Yi,G. Performance of drip irrigation and nitrogen fertilizer in irrigation water saving and nitrogen use efficiency for waxy maize (*Zea mays* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.) under solar greenhouse. *Grassland Science*, 62(3): 174-187, 2016.
- Al-Asmari, A. K.; Albalawi S. M.; Athar, M. T; Khan. A. Q.; Al-Shahrani. H.; ISLAM. M. *Moringa oleifera* as an Anti-Cancer Agent against Breast and Colorectal Cancer Cell Lines. *PLOS/ONE, Kingdom of Saudi Arabia*, v.10, n.8, p. 1-14, 2015
- Ali, M.H.; Talukder, M.S.U. Increasing water productivity in crop production—a synthesis. **Agricultural water management**, v.95, n.11, p.1201-1213, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.06.008>
- Allen, R. G. Standard Reference Evapotranspiration Calculations: REF-ET. In: *Irrigation and Drainage: Saving a Threatened Resource. In Search of Solutions*. ASCE, p.140-145. 1992
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: Food and Agriculture Organization. , v.56, p.297. 1998
- Alves, F, G, de C. Caracterização nutricional da torta de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFRSA, 2018
- Alves, M.C.S; Medeiros Filho, S.; Bezerra, A.M.E.; Oliveira, V.C. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de *Moringa oleifera* L. em diferentes locais de germinação e submetidas à pré-embebição. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 5, p. 1083-87.2005
- Anwar, F.; Sajid, L.; Muhammad, A.; Anwarul, H.G. . *Moringa oleifera* :a food plant with multiple medicinal uses. **Phytother.Res.**, v. 21, p.17- 25. 2007
- Anwar F, Latif S, Ashraf M, Gilani AH. *Moringa oleifera*: a food plant with multiple medicinal uses. **Phytother Res**.21(1):17- 25. 2007
- Amaglo N,K, Bennett R,N, LO Curto R,B, Rosa E,A,S, LO Turco V, Giuffrida A, LO Curto, A. Crea, F. Timpo, M.G. Profiling selected phytochemicals and nutrients in different tissues of the multipurpose tree *Moringa oleifera* L., grown in Ghana. **Food Chem**. 122(4):1047-54. 2010
- Amaya, D.R.; Kerr, W.E.; Gowi. H.T. de; OUBEIRA, A.L; Silva, F.R. da *Moringa*: Hortiça arbórea em beta-caroteno. *Horttaiftum Brdbira*, v. 10, n.2, p. 126, 1992.
- Arnon, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, v.24, p.1-15, 1949.
- Asensi, G. D.; Villadiego, A. M. D.; Berruezo, G. R. *Moringa oleifera*: Revisión sobre aplicaciones y usos en alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, v. 67, n. 2,

p. 86-97, 2017.

Aslam M, Anwar F, Nadeem R, Rashid U, Kazi TG, Nadeem M. Mineral Composition of *Moringa oleifera* Leaves and Pods from different regions of Punjab, Pakistan. **Asian J Plant Sci.** 2005;4(4):417-21.

Awodele, O. ; Oreagba.I,A ; Odoma, S.; Silva, J , A, T; Osunkaluc, V, O . Toxicological evaluation of the aqueous leaf extract of *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae). **Journal of Ethnopharmacology**, v.139, p.330-336, 2012.

Ayssiwede, S. B.; Zanmenou, J. C.; Issa, Y.; Hane, M. B. et al. Nutrient Composition of Some Unconventional and Local Feed Resources Available in Senegal and Recoverable in Indigenous Chickens or Animal Feeding. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 10, n. 8, p. 707-717, 2011.

Azam, A. Nouman, W. Rehman, U. Ahmed, U. Gull, T. & Shaheen, M. (2020). Adaptability of *Moringa oleifera* Lam. under different water holding capacities. *South African Journal of Botany*, 129, 299-303. 10.1016/j.sajb.2019.08.020

Bae, E. J., K. S. Lee, M. R. Huh, C. S. Lim. 2012. Silicon significantly alleviates the growth inhibitory effects of NaCl in salt-sensitive „Perfection“and „Midnight“Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.). *Hortic. Environ. Biotechnol.*, 53(6), 477-483. Doi: 10.1007/s13580-012- 0094-3.

Bakke, I. A.; Souto, J. S.; Bakke, O. A.; Souto, P. C. Potencial forrageiro da *Moringa*. In: Silva, G. F.; Santana, M. F. S.; Lima, A. K. V. O.; Beramasco, R.; Paiva, P. M. G.; Sant’anna, M. C. S.; Serafini, M. R.; Bery, C. C. S. (eds.). **Potencialidades da *Moringa oleifera* Lam.** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2018. 82-92 p

Benge, M.D. *Akwthge a vqptdh rnd lme mit puiWII wm.* Washington D.C: Science end Technology For Environment md Natural, 1987 (Resources Technology Series 27).

Bennett RN, Mellon FA, Foidl N, Pratt JH, Dupont MS, Perkins L. Kroon, P.A. Profiling glucosinolates and phenolics in vegetative and reproductive tissues of the multi-purpose trees *Moringa oleifera* L. (horseradish tree) and *Moringa stenopetala* L. **J Agric Food Chem.** 51(12):3546-53. 2003

Berchielli, T.T.; Pirez, A. V.; Oliveira, S. G. *Nutrição de ruminantes.* FUNEP, 2006.

Boumenjel, A.; Papadopoulos, A.; Ammari, Y. Growth response of *Moringa oleifera* (Lam) to water stress and to arid bio-climatic conditions. *Agroforestry Systems*, v. 95, p. 823- 833, 2021.

Borges L. S.; Guerrero, A. C.; Fernandes D. M. Adubação foliar com silício no crescimento de plantas de jambu. *Cultivando o Saber, Cascavel*, v. 3, n. 1, p. 160–170, 2010.

Braga,F.T.; Nunes,C.F.; Favero, A.C.; Pasqual,M.; de Carvalho,J.G.; de Castro,E.M.Características anatômicas de mudas de morangueiro micropropagadas com

diferentes fontes de silício. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.44, n.2, p.128-132, fev. 2009

Brown, W.H. Uraful phís of the PNlpphes. Manilla: Bureau of Sciences, Philippines. v.2, N.10, 1950 CTechnicd Bulletin).

Butrinowski, R.T.; Butrinowski, I.T.; Santos, E.L.; Picolotto, P.R.; Picolotto, R.A.; Santos, R.F. Disponibilidade hídrica no desenvolvimento inicial de mudas de *Eucalyptus grandis* em ambiente protegido. **Acta Iguazu**, v.2, n.3, p.84-93, 2013.

Camargo, M. S. Efeito do silício na tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos, *Informações Agronômicas*, Piracicaba-SP, n. 155, p. 1-8, 2016.

Cantuário, F.S.; Luz, J.M.Q.; Pereira A.I.A.; Salomão L.C.; Rebouças, T.N.H. Podridão apical e escaldadura em frutos de pimentão submetidos a estresse hídrico e doses de silício. **Horticultura Brasileira**, v.32, n.2, p.215-219, 2014.

Cardoso, A. R.; Carvalho, S.; Galvani, D. B.; Pires, C. C.; Gasperin, B. G.; Garcia, R. P. A. Comportamento ingestivo de cordeiros alimentados com dietas contendo diferentes níveis de fibra em detergente neutro. **Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p. 604- 609, 2006.

Carvalho, K. S.; Bonfim-Silva, E. M.; Silveira, M. H. D.; Cabral, C. E. A.; Leite, N. Rúcula submetida à adubação nitrogenada via fertirrigação. **Enciclopédia Biosfera**, 8, 15, 1545-1553.2012

Chaves, L. H. G.; Vasconcelos, A. C. F. Alterações de atributos químicos do solo e do crescimento de plantas de milho pela aplicação de xisto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.1, p.84-88, 2006.

Correia, K, G. Fernandes, P, D., Gheyi, H, R. Nobre, R, G. Santos,T,S. Crescimento, produção e características de fluorescência da clorofila *a* em amendoim sob condições de salinidade **Rev. Ciênc. Agron., Fortaleza**, v. 40, n. 4, p. 514-521, out-dez, 2009 Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil - [www.ccarevista.ufc.br](http://www.ccarevista.ufc.br)

Costa, P. S.; Ferraz, R. L. S.; Dantas Neto, J.; Martins, V. D.; Viéas, P. R. A.; Meira, K. S.; Ndhhlala, A. R.; Azevedo, C. A. V.; Melo, A. S. Seed priming with light quality and *Cyperus rotundus* L. extract modulate the germination and initial growth of *Moringa oleifera* Lam. seedlings. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. e255836, 2024.

Costa, J.R.; Pinho, J.L.N.; Parry, M.M. Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.5, p.443-450, 2008.

Dantas Júnior, E.E. Chaves, L, H,G. Costa, F, A, M. KORNDORFER, G,H.Desenvolvimento de milho irrigado e adubado com silicato de cálcio e magnésio. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, CE, v. 5, n. 4, p. 337 - 350, 2011

Dalla Rosa, K.R. Moringa o\*<sup>a</sup>: a perfect tree for home gardens. Hawaii: NFTA, 1993. 2p. (Agroforestry Species Highlights, 1).

Dias, J. D. Azevedo, P.V.; Bezerra, J.R. C.; Beltrão, N. E.M.; Oliveira, G.S.; Cavalcanti, M, I, P. Consumo Hídrico e Coeficiente de Cultivo da Mamoneira, Cultivar BRS Energia. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 3, p. 429-444, julho-setembro, 2015.

Dias, A. S.; Lima, G. S. de; Gheyi, H. R.; Furtado, G. de F.; Soares, L. A. dos A.; Nobre, R. G.; Fernandes, P. D. Chloroplast pigments and photochemical efficiency of West Indian cherry under salt stress and potassium-phosphorus fertilization. **Semina: Ciências Agrárias**, v.42, p.87-104, 2021. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n1p87>

Dias, A. S.; Lima, G. S. de; Gheyi, H. R.; Nobre, R. G.; Fernandes, P. D.; Silva, F. A. da. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica do gergelim sob estresse salino e adubação com nitrato-amônio. **Irriga**, v.23, p.220-234, 2018a. <https://doi.org/10.15809/irriga.2018v23n2p220-234>

Dias, A S.; Lima, G. S. de; Sá, F. V. da S.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. dos A.; Fernandes, P. D. Gas exchanges and photochemical efficiency of West Indian cherry cultivated with saline water and potassium fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 22 (9) Sept 628–633. 2018 <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n9p628-633>

Domenico, M.; Lina, C.; Francesca, B. Sustainable crops for food security: Moringa (*Moringa oleifera* Lam.). *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*, V. 1, P. 409-415, 2019.

Dranski, J.A.L.; Malavasi, U.C.; Malavasi, M.M. Manejo hídrico na rustificação em mudas de *Maytenus ilicifolia* [(Schrad.) Planch.]. *Biotemas*, v.30, n.1, p.45-54, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2017v30n1p45>

Duke, J.A. The quest of tolerant germplasm. In: YOUNG, G. (ed.) *Crop tolerance to subtropical land conditions*. Madison: AJA, 1978, p. 1-16. (American Society Agronomical Special Symposium, 32).

Duke, J.A. *Moringa oleifera* Lam. Disponível. site: New CROP Homepage. (29 de maio de 1997). <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke~energy/Moringa~oleifera>.

Duke, J.A. Moringaceae: horseradish- tree, drumstick-tree, sohnja, moringa, murungakai, malungay. In: BENGE, M.D. (ed.) *Moringa: a multipurpose tree that purifies water*. **Science and Technology for Environment and Natural Resources**, 1987. p. 19-28. 1987

EMBRAPA. Brasil está entre os países com maior área irrigada do mundo <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/12990229/brasil-esta-entre-os-paises-com-maior-area-irrigada-do-mundo> Acesso em 15/06/2022. 2016

Epstein, E.; Bloom, A.J. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas, Editora Planta, 403p. 2006.

Farias, A. T. V. Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro em função de doses de silício e ácido salicílico. 2012. 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias), Centro de Ciências Humanas e Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba, 2012.

Fehr, et al. Fontes de silício no crescimento, produtividade e teor de nutrientes na cultura da banana. XXIV Congresso de Iniciação Científica. São Pedro – SP, 2012.

Ferraz, R.L.de S.;Magalhães,I.D.;Beltrão,N.E. de M.;Melo,A.S.de.;Neto,J.F.de B.;Rocha,M.doS. Photosynthetic pigments, cell extrusion and relative leaf water content of the castor be anunder silicone and salinity. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.9, p.841–848.2015

Ferraz, R, L, de S. Palma forrageira fertirrigada no semiárido brasileiro: estimativa meta-analítica da produtividade, estado nutricional e composição bromatológica. TESE Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.2014

Ferreira, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.

Filgueiras, O. Silício na agricultura; Mineral é usado para controlar pragas, aumentar produtividade e qualidade de produtos agrícolas. [https://revistapesquisa.fapesp.br/silicio-na-agricultura/Edição 140](https://revistapesquisa.fapesp.br/silicio-na-agricultura/Edição%20140), out. 2007

Foidl, N.; Mayorga, L.; Vásquez, W. Utilizacion del morango (Moringa oleifera) como foraje fesco para ganado. Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua, 2003.

Foidl, N., Mayorga, L. & Vásquez, W.Utilización del marango (Moringa oleifera) como forraje frescopara ganado. Proyecto Biomasa. Managua. Nicaragua. Disponible en: [biomasa@ibw.com.ni](mailto:biomasa@ibw.com.ni)<http://www.fao.org/ag/aga/AGAP/frg/AGROFOR1/Agrofor1.htm>. Acesso em: [03/01/2020].2011

Galgaye, G. G.; Beshir, H. M.; Roro, A. G. Physiological responses of Moringa (Moringa stenopetala L.) seedlings to drought stress under greenhouse conditions, Southern Ethiopia. **Asian Journal of Biotechnology**, v. 12, p. 97-107, 2020.

Garcia, T. B.; Soares, A. A.; Costa, J. H.; Costa, H. P. S.; Neto, J. X. S.; Rocha-Bezerra, L. C. B.; Silva, F. D. A.; Arantes, M. R.; Sousa, D. O. B.; Vasconcelos, I. M.; Oliveira, J. T. A. Gene expression and spatiotemporal localization of antifungal chitin-binding proteins during Moringa oleifera seed development and germination. *Planta*, v. 249, p. 1503-1519, 2019.

Gaur, a. s; Kumar, j; Kumara, d; Chauhana,d,k;Prasa,s,m; Srivastavabd,P,K. Fascinating impact of silicon and silicon transporters in plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, [S. l.], v. 202, n. March, p. 2020. DOI:

10.1016/j.ecoenv.2020.110885. Disponível em:  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110885>. Acesso em 03/10/2020.

Ghazali, H. M; Mohammed, A. S. Moringa (*Moringa oleifera*) seed oil: composition, nutritional aspects and health attributes. In:\_\_\_\_\_. (Org.) Nuts & seeds in health and disease prevention. Edited by Victor R. Preedy, Ronald Ross Watson and Vinood B. Patel: **Elsevier Life Sciences**. USA. cap. 93, p 787- 93. 2011.

Ge, Y. Hawkesford, M. J. Rosolem, C. A. Mooney, S. J. Ashton, R. W. Evans, J. & Whalley, W. R. (2019). Multiple abiotic stress, nitrate availability and the growth of wheat. *Soil and Tillage Research*, 191, 171-184.  
<https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.005>

Gonçalves, E.R.; Ferreira, V.M.; Silva, J.V.; Endres, L.; Barbosa, T.P. & Duarte, W. de G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 14, n. 4, p. 378-386. 2010 <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000400006>

Gowrishankar R, Kumar M, Menon V, Divi SM, Saravanan M, Magudapathy P, ; Panirahi,B.K; Nair,K.G.M; Venkataramaniah, K Trace element studies on *Tinospora cordifolia* (Menispermaceae), *Ocimum sanctum* (Lamiaceae), *Moringa oleifera* (Moringaceae), and *Phyllanthus niruri* (Euphorbiaceae) using PIXE. **Biol Trace Elem Res**.133(3):357- 63. 2010

Gratão, P.L.; Polle, A.; Lea, P.J.; Azevedo, R.A. Making the life of heavy metalstressed plants a little easier. **Functional Plant Biology**, v.32, p.481-494, 2005.

Groth, M. Z.; Bellé, C.; Bernardi, D.; Filho, R. C. B. Pó-de-basalto no desenvolvimento de plantas de alface e na dinâmica populacional de insetos Powder-basalt in the development of lettuce plants and population dynamics of insects. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.16, n.4, p.433-440, 2017.

Gualberto, A.F.; Ferrari, G .M.; Abreu, K.M.P.; Preto, B.L.; Ferrari. Características, propriedades e potencialidades da moringa (*Moringa oleifera* Lam.): Aspectos agroecológicos **Revista Verde**, v 9, n. 5 , p. 19 - 25, dez, 2014

Guével, M.H.; Menzies, J.G. & Bélanger R.R. Effect of root and foliar applications of soluble silicon on powdery mildew control and growth of wheat plants. *Eur. J. Plant Pathol.*, 118:115-123, 2007.

Guntzer, F.; Keller, C.; Meunier, J. D. Benefits of plant silicon for crops: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, n. 1, p. 201-213, 2012.

Hannan, M. A.; Kang,J.Y.; Mohibbullah, M.; Hong,Y.K.; Lee,H.; Choi,J.S.; Choi,IS Moon,S. *Moringa oleifera* with promising neuronal survival and neurite outgrowth promoting potentials. **Journal of Ethnopharmacology**. v.152, p.142-50. 2014.



Heckman. Silicon: a beneficial substance. **Better Crops**,v.97,n.4,p. 14-16. 2013.

Huang, H.; LI, M.; Rizwan, M.; Dai, Z.; Yuan, Y.; Hossain, Md M.; CAO, M.; Xiong, S.; TU, S.. Synergistic effect of silicon and selenium on the alleviation of cadmium toxicity in rice plants. **Journal of Hazardous Materials**, [S. l.], v. 401, n. April, p. 123393, 2021. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.123393. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123393>. Acesso em 03/10/2020.

Imtiaz,M.;Rizwan,M.S.;Mushtaq,M.A.;Ashraf,M;Shahzad,S.M.;Yousa F,B.; Saeed,D.A.;Rizwan,M.;Nawaz,A.;Mehmood,S.;TU,S. Silicon occurrence, uptake, transport and mechanisms of heavy metals, minerals and salinity enhanced tolerance in plants with future prospects: A review. **Journal of Environmental Management**, v.183, v.3, p.521- 529, 2016.

Islam, W.; Tayyab, M.; Khalil, F.; Hua, Z.; Huang, Z.; Chen, H. Y. H. Silicon-mediated plant defense against pathogens and insect pests. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, [S. l.], v. 168, p. 104641, 2020. DOI: 10.1016/j.pestbp.2020.104641. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104641>. Acesso em 03/10/2020.

Jesus, A. R. Marques, N. S; Salve, E. J. N. R; Tuyuty, P. L. M ; Pereira. S. A. Cultivo da Moringa Oleífera. Instituto Euvaldo Lodi – IEL/BA. 23p. (Dossiê técnico) 2013.

Kayode, R. M. O.; Afolayan, A. J.. Cytotoxicity and Effect of Extraction Methods on the Chemical Composition of Essential Oils of Moringa oleifera Seeds. **Journal of Zhejiang University-Science B (Biomedicine & Biotechnology)**. v. 16, n. 8, p. 680–689, 2015.

Karthickeyan, V. Effect of cetane enhancer on Moringa oleifera biodiesel in a thermal coated direct injection diesel engine. *Fuel*, v. 235, p. 538-550, 2019.

Kerbauy, G.B. Fisiologia vegetal. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. 452p.

Khoshgoftarmanesh, A.H.; Khodarahmi, S.; Haghihghi, M. Effect of silicon nutrition on lipid peroxidation and antioxidant response of cucumber plants exposed to salinity stress. **Archives of Agronomy and Soil Science**,v. 60,n.5, p.639–653,2014.

Kill, L. H. P., Martins, C. T. V. O., Lima, P. C. F. Moringa oleifera: registro dos visitantes florais e potencial apícola para a região de Petrolina, PE. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2012. 19 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 101).

Koul, B.; Chase, N. Moringa oleifera Lam.: panacea to several maladies. **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research**, v. 7:6, 687-707, 2015.

Kumar PS, Mishra D, Ghosh G, Panda CS. Medicinal uses and pharmacological properties of Moringa oleifera. **Int J Phytomed.** ;2(3):210-6. 2010

Kuczynska, A. Cardenia, V. Ogradowicz, P. Kempa, M.; Rodriguez-Estrada, M. T. & Mikolajczak, K. (2019). Effects of multiple abiotic stresses on lipids and sterols profile

in barley leaves (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 141, 215-224. 10.1016/j.plaphy.2019.05.033

Laleye, Fernand.Arnould.Obafemi et al. - Etude bibliographique de trois plantes antidiabétiques de la flore béninoise : *Khaya senegalensis* (Desr) A . Juss (Meliaceae), *Momordica charantia* Linn (Cucurbitaceae) et *Moringa oleifera* Lam (Moringaceae) Bibliographic study of three antidiabetic. **Internacional Journal of Biological and Chemical Sciences**. 9:5 (2015) 2682–2700.

Leite, A,G; Junior,F,F,A ; Rodrigo Pereira Leite<sup>4</sup> ; Neto, J,F; Araujo,V,L ; Beltrão,N,E,M. Crescimento Inicial do Algodoeiro (*GOSSYPIUM HIRSUTUM* L.) BRS Topázio Submetido À Adução Silicatada e Estresse Hídrico, 8º Congresso Brasileiro de Algodão & I Cotton Expo 2011, São Paulo, SP – p.835-839, 2011

Lima, M. C; Amarante, L; Mariot, M, P; Serpa, R. Crescimento e produção de pigmentos fotossintéticos em *Achillea millefolium* L. cultivada sob diferentes níveis de sombreamento e doses de nitrogênio. *CIÊNCIA RURAL*, 41: 45-50, 2011

Lima, M. de A; Castro, V. F; Vidal, J. B; e Filho, J. E. Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino Silicon application on plants of maize and cowpea under salt stress. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 398-403, abr-jun, Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE www.ccarevista.ufc.br ISSN 1806-6690.2011

Lima, C. A. D., Montenegro, A. A. D. A., de Lima, J. L., Almeida, T. A. B., & Santos, J. C. N. D. Uso de coberturas alternativas do solo para o controle das perdas de solo em regiões semiáridas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 25, 531-542. 2020

Lorenzi, H.; Matos, F. J. Plantas medicinais no Brasil – Nativas e exóticas cultivadas. Nova Odessa, Instituto Plantarum, p.346-347, 2002.

Lourenço, F.M.; Influência de Diferentes Doses de Silício no Crescimento e Desenvolvimento de Variedades de Milho (*Zea mays* L.) Transgênica e Convencional, Trabalho de conclusão de curso, 2016.

Ma, J.F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 50:11-18, 2004.

Ma, J.F. & YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends Plant Sci.*, 11:342-397, 2006.

Ma, J. F.; Yamaji, N. Functions and transport of silicon in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences*, Basel, v. 65, p. 3049-3057, 2008.

Macambira, G.M. , Rabello C.B.V. , Navarro M.I.V. , Ludke M.C.M.M. , Silva, E.C. Lopes J.C.R, Nascimento G. R., Lopes C.C. , Bandeira J.M. , Silva D.A. Caracterização nutricional das folhas de *Moringa oleifera* (MOL) para frangos de corte [Chemical and nutritional characterization of moringa oleifera leaves for broilers] *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.70, n.2, p.570-578, 2018

Macambira, G. M.; Rabello, C.B.V.; Navarro, M.I.V.; Ludke, M.C.M.M.; Silva, J.C.R.; Lopes, E.C.; Nascimento, G. R.; Lopes, C.C.; Bandeira, J.M.; Silva, D.A. Uso da farinha de folhas de Moringa oleifera na alimentação de frangos de corte. *Arquivo Brasileiro de Medicina veterinária e Zootecnia*. v.70, n.2, p.570-578, 2018.

Machekposhti, M. F. Shahnazari , A.; Ahmadi, M.Z.; Aghajani,G.; Ritzema,H. Effect of irrigation with sea water on soil salinity and yield of oleic sunflower. *Agricultural Water Management*, 188(1): 69-78, 2017.

Magalhães, I.D.; Eficiência Fotoquímica e Rendimento de Pinhão-Manso Irrigado Com Águas Salinizadas. Dissertação. Universidade Estadual da Paraíba/ Embrapa Algodão. 2012.

Malavolta, E. Manual de nutrição mineral de plantas. Piracicaba: Editora Ceres, 631p 2006

Manguru LO, Lemmen P. Phenolics of Moringa oleifera leaves. *Nat Prod Res*. 21(1):56-68. 2007

Mantovani, E. C.; Bernado, S.; Paloretti, L. F. Irrigação: princípios e métodos. 6 ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 2006.

Marafon, A.C.; Endres, L. Silicon: fertilization and nutrition in higher plants. **Revista. Ciência. Agrária**, v.56, n.4, p.380-388, 2013

Marinho, J. B. M. Avaliação nutricional da folha de moringa com aves. 2016. 54 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, RN, 2016.

Marin, S.L.D.; Gomes, J.A.; Salgado, J.S.; Martins, D.S.; Fullin, E.A. Recomendações para a cultura do mamoeiro dos grupos Solo e Formosa no Estado do Espírito Santo. 4.ed. Vitória: **EMCAPA**. 57 p. 1995 (Circular Técnica, 3).

Martinez-Herrera, J.; Siddhuraju, P.; Francis, G.; Davila-Ortiz, G. ; Becker K. Chemical composition, toxic/anti-metabolic constituents, and effect of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. **Food Chemistry**, v.96, n.1, p. 80-89, 2006.

Mattos, P.M. Implicações Fisiológicas de Mistura de Produtos Fitossanitários para Controle de *Spodoptera frugiperda* na Cultura do Milho (*Zea Mays*) Trabalho de conclusão de curso.2016

Medeiros, L. B.; Vieira, A. O.; Aquino, B. F. Influência da escória siderúrgica sobre trocas gasosas e produção de biomassa da cana-de-açúcar. *Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal*, v. 6, n. 2, p. 121-129, 2009.

Medeiros, L. B.; Vieira, A. O.; Dantas Neto, J.; Beltrão, N. E. de M.; Aquino, B. F. Influência da escória siderúrgica sobre a produtividade e crescimento da cana-de-açúcar irrigada. *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal*, v. 5, n. 3, p.192-202, 2008.

Medeiros, R.L.S.; Cavalcante, A.G.; Cavalcante, A.C.P.; Souza, V.C. Crescimento e qualidade de mudas de Moringa oleifera Lam. em diferentes proporções de composto orgânico. **Revista IFES Ciência**, v.3, n.1, p.204-216, 2017

Meena, V.D.; Dotaniya, M.L.; Coumar, V.; Rajendiran, S.; Kundu, S.; RAO, A.S. A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: **Biological Sciences**, v.84, n.3, p.505-518, 2014.

Melo, S.S.N.S **Valor Nutritivo de Fenos de Moringa com diferentes idades de corte**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade federal do Rio Grande Do Norte. 60p, 2012.

Melo, A.S. de; Suassuna, J.F.; Fernandes, P.D.; Brito, M.E.B.; Suassuna, A.F. & Aguiar Netto, A. de O. Crescimento vegetativo, resistência estomática, eficiência fotossintética e rendimento do fruto da melancia em diferentes níveis de água. **Acta Scientiarum. Agronomy**, vol. 32, n. 1, p. 73-79. 2010 <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v32i1.2136>

Moline, E. F. V. Barboza, E. Strazeio, S. C. & Blind, A. D (2015). Diferentes lâminas de irrigação na cultura da rúcula no sul de Rondônia. *Nucleus*, 12(1): 371-378. [HTTPS://DOI.ORG/10.3738/1982.2278.1082](https://doi.org/10.3738/1982.2278.1082)

Morgan, H.; Dela, G.; Claves, N.; Plana, E.; Allveta, L.; Ban, R.; Veldez, L. R.; Fernandez, D. Evaluacion de La Moringa oleífera em vacas lecheras. Memorias del Taller, Nacional de Moringa Oleífera, Instituto del Ciencia Animal, San Jose de Las Lajas, Mayabeque, Cuba, 2012.

Moyo, B., Masika, P. J., Hugo, A., Muchenje, V. Nutricional Characterization of Moringa oleifera (Moringa oleifera Lam) leaves. **African Journal of Biotechnology** v. 10, n. 60, p. 12925-12933, 2011.

Nascimento, J. L. Crescimento e assimilação de carbono em plantas jovens de Attalea funifera Mart. submetidas ao sombreamento e ao estresse hídrico. Ilhéus: UESC, 110p. 2009. Dissertação Mestrado

Neri, D. K. P. Gomes, F. B. Moraes, J. C. Góes, G. B. & Marrocos, S. de T. P. (2009). Influência do silício na suscetibilidade de Spodoptera frugiperda (J.E.Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) ao inseticida lufenuron e no desenvolvimento de plantas de milho. *Ciência Rural*, Santa Maria, 39(6), 1633-1638. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000111>

Oliveira, F. DE A. DE; Oliveira, M. K. T. DE; Silva, R. C. P. DA; Silva, O. M. dos P. DA; Maia, P. DE M. E.; Cândido, W. dos S. Crescimento de mudas de moringa em função da salinidade da água e da posição das sementes nos frutos. **Revista Árvore**, v.37, p.79-87, 2013.

Oliveira Júnior, S. de; Souto, J. S.; Santos, R. V. dos; Souto, P. C.; Maior Júnior, S. G. S. Adubação com diferentes esterco no cultivo de moringa (Moringa oleifera LAM.).

**Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.4, n.1, p.125 – 134, 2009.

Oliveira, T. A. de, Silva, R. P., Silva, B. L., Santos, F. de F., Cavalcante, L. de S., Silva, M. C. da, Albuquerque, J. M. dos S., & Neto, A. L. dos S. Caracterização química, fisiológica e pós-colheita de plantas de tomateiro adubadas com silício via solo e foliar. **Brazilian Journal of Development**. 2020

Olugbemi, T. S.; Mutayoba, S. K.; Llkule, F. P. Effect of moringa (*Moringa oleifera*) inclusion in cassava based diets fed to broiler chickens. **International journal of Poultry Science**, v.9, n.4, p. 363-367, 2010.

Okuda, T.B.; Nishijima, A.U.W.; Okada, M. Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringaoleifera* seed by salt solution.Faculty of Engineering, Hiroshima University1-4-1 Kagamiyama.2000

Oyeyinka, A. T., & Oyeyinka, S. A. (2018). *Moringa oleifera* as a food fortificant: Recent trends and prospects. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17,127-136. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.02.002>.

Paiva, A. S.; Fernandes, E. J.; Rodrigues, T. J. D.; Turco, J. E. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido à diferentes regimes de irrigação. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v. 25, n. 1, p. 161-169, 2005.

Parreira, g, s. Lima, g, H, F. Freitas, i, a, s. Amaro, c, l. Oliveira, d, b. Zago, l,m. Caramori, S,S. Matos, F, S. Efeito da Adubação Silicatada no Crescimento e Produtividade de Plantas de Pinhão Manso sob Déficit Hídrico. v congresso de ensino pesquisa e extensão da UEG 2018

Passos, M.; Santos, D.M.C;Santos, B.L.;Souza, D,C,L,;Santos, J,A,B; Silva, G,F.Qualidade pós-colheita da moringa (*Moringa oleifera lam*) utilizada na forma in natura e seca. **Revista Geintec**. São Cristóvão, v. 3, n. 1, p.113-120. 2012.

Pereira, K. T. O. Efeito de níveis de fertilizantes na produção de mudas de moringa. In: *Inovagri International Meeting*, 2., 2014, Fortaleza-Ceara. Anais... Fortaleza: INOVAGRI, 2014.

Pereira, J.W.L.; Melo Filho, P.A.; Albuquerque, M.B.; Nogueira, R.J.M.C.; Santos, RC. Mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico moderado. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.4, p.766-773, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1806-66902012000400019>

Pereira, F. S. G.; Sobral, A. D.; Silva, A. M. R. B.; Rocha, M. A. G. *Moringa oleifera*: a promising agricultural crop and of social inclusion for Brazil and semi-arid regions for the production of energetic biomass (biodiesel and briquettes). *Oilseeds & fats Crops and Lipids*, v. 25, p. 1-11, 2018.

Peréz, A.; Sánchez, T.; Armengol, N. et al. Características y potencialidades de *Moringa oleifera*, Lamark.Una alternativa para la alimentación animal. **Pastos y Forrajes**, v.33, n. 4, p. 1-17, 2010.

- Pimentel-Gomes, F. Curso de estatística experimental. Piracicaba: Nobel. 466 p. 1985
- Pilon, C.; Soratto, R.P.; Broetto, F.; Fernandes, A.M. Foliar or soil application of silicon alleviate water-deficit stress of potato plants. **Agronomy Journal**, v.106, n.6, p.2325-2334, 2014.
- Putti, F. F. Filho, L.R.A.G.; Klar, A.E.; Junior, J.F.da S.; Cremasco, C.P.; Ludwig, R. Response of lettuce crop to magnetically treated irrigation water and different irrigation depths. *African Journal of Agricultural Research*, 10(22): 2300-2308, 2015.
- Prado, R. M. & Natale, W. (2004). Aplicação do silicato de cálcio em Argissolo Vermelho no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro. *Acta Scientiarum. Agronomy, Maringá*, v. 26, n. 4, p. 387-393. 10.4025/actasciagron.v26i4.1714
- Rahimi, R.; Roohi, A. M. V.; Aramand, N. Effects of salt stress and silicon nutrition on chlorophyll content, yield and yield components in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v.4,n. 21, p.1591-1595, 2012
- Ramachandran C, Peter KV, Gopalakrishnan PK. Drumstick (*Moringa oleifera*): a multipurpose Indian vegetable. **Econ Bot.**;34(3):276-83.1980
- Rangel, M.S. *Moringa oleifera*: um purificador natural de água e complemento alimentar para o nordeste do Brasil. 2007 Disponível em: Acesso em: out. 2019.
- Raven, P.H.; Evert, R.F.; Eichhorn, S.E. **Biologia vegetal**. 7.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 728p. 2007
- Reis, F. O.; Campostrini, E. Microaspersão de água sobre a copa: um estudo relacionado às trocas gasosas e à eficiência fotoquímica em plantas de mamoeiro. **Revista Brasileira Agrociência**, v.17, p.284-295, 2011
- Reis, T.H.P.; Figueiredo, F.C.; Guimarães, P.T.G.; Botrel, P.P. Efeito da associação silício líquido solúvel com fungicida no controle fitossanitário do cafeeiro. **Coffee Science**, v. 3, n.1, p.76-80, 2008.
- Rodrigues, F. A.; Oliveira, L. A.; Korndorfer, A. P. Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. **Informações Agronômicas, Piracicaba**, n. 134, p. 14-20, 2011.
- Safwat, A. M., A M Safwat, L Sarmiento-Franco, R H Santos-Ricalde, D Nieves, C A Sandoval-Castro. Estimating Apparent Nutrient Digestibility of Diets Containing *Leucaena leucocephala* or *Moringa oleifera* Leaf Meals for Growing Rabbits by Two Methods. **Asian-Australasian Journal of Animal Science**, v. 28, n.8, p.1155-1162, 2015.
- Salemi, F. Esfahani, M. N. & Tran, L. S. P. (2019). Mechanistic insights into enhanced tolerance of early growth of alfalfa (*Medicago sativa* L.) under low water potential by

seed-priming with ascorbic acid or polyethylene glycol solution. *Industrial Crops and Products*, 137, 436-445. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.049>

Santiago, M.T.B; Bezerra Neto, E. Ecophysiology of *Moringa oleifera* Lam in function of different rainfall conditions. **Revista Geama**, v.3, n.4, p.236-241, 2017.

Santos, C.S.; Montenegro, A.A.A.; Ribeiro, K,E,S.; Santos, D,P.; Santos Junior. Evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo da moringa em diferentes tipos de lisímetros. III SINPROVS Acesso Em: Jan 18. Disponível em: [http://www.editorarealize.com.br/revistas/sinprovs/trabalhos/TRABALHO\\_EV105\\_MD4\\_SA1\\_ID315\\_20042018200858.pdf](http://www.editorarealize.com.br/revistas/sinprovs/trabalhos/TRABALHO_EV105_MD4_SA1_ID315_20042018200858.pdf)

Sant'anna, M. C. S.; Silva, G. F.; Santana, M. F. S.; Bery, C. C. S.; Louzeiro, H. C. Biodiesel de Moringa. In: Silva, G. F.; Santana, M. F. S.; Lima, A. K. V. O.; Bergamasco, R.; Paiva, P. M. G.; Sant'anna, M. C. S.; Serafini, M. R.; BERY, C. C. S. (eds.). Potencialidades da Moringa oleifera Lam. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2018. 145-162 p.

Santos, A. F. S.; Luz, L. A.; Pontual, E. V.; Napoleão, T. H.; Paiva,; Coelho, L. C. B. B. Moringa oleifera: resource management and multiuse life tree. **Advances in Research**, v. 4, p. 388-402, 2015.

Satish, A. Kumar, R.P; RAKSHITH, D; Satish, S; Ahmed, F. Antimutagenic and antioxidant activity of *Ficus benghalensis* stem bark and *Moringa oleifera* root extract. **International Journal of Chemical and Analytical Science**, v. 4, n. 2, p. 45-48, 2003.

Santos, C.M.; Gonçalves, E.R.; Endres, L.; Gomes, T.C.A.; Jadoski, C.J.; Nascimento, L. A. & Santos, E. D. (2010) - Atividade fotossintética em alface (*Lactuca sativa* L.) submetidas a diferentes compostagens de resíduos agroindustriais. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, vol. 3, n. 3, 95-102.

Santos, C. S.; Montenegro, A. A. A.; Santos, M. A. L.; Pedrosa, E. M. R. Evapotranspiration and crop coefficients of *Moringa oleifera* under semi-arid conditions in Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, p. 840-845, 2017.

Savvas, D.; Ntatsi, G. Biostimulant activity of silicon in horticulture. **Scientia Horticultura**, v. 196,n.30, p. 66-81, 2015.

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

Scherrer, P. Bestimmung, der Grosse und der inneren Struktur von Kolloidteilchen mittels Röntgenstrahlen, *Göttinger Nachrichten Math. Phys.* 2, 98–100. (1918)

Scotti-Campos, P.; Pham-Thi, A. T.; Semedo, J. N.; Pais, I. P.; Ramalho, J. C.; Matos, M. C. Physiological responses and membrane integrity in three *Vigna* genotypes with

contrasting drought tolerance. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 25, n. 1, p. 1002-1013, 2013.

Silva, D.P.C.; Meios de cultura e fontes de silício no desenvolvimento in vitro de Gérbera. Dissertação. Universidade Federal de Lavras 2007

Silva, F. G.; Dutra, W. F.; Dutra, A. F.; Oliveira, I.M.; Figueiras, L. M.B.; Melo, A.S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* 19 (10) Out 2015

Silva, C, B. Silva.C. Junior, W, Q,B. Damasceno, F, A. Junior, M, R, B. Santos, M,A,L. Teor de Clorofila, Carotenóides e Índice Spad na Alface (*Lactuca sativa*) em Função De Lâminas de Irrigação e Níveis Salinos. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 18, n. 3, p. 19-22, 2020.

Silva, E.C.A.; Lucena, P.G.C.; Nascimento, R.M.; Santos, C.A.; Araújo, R.P.S.; Nogueira, R.J.M.C. Mecanismos bioquímicos em *Moringa oleifera* Lam. para tolerância à salinidade. **Acta Iguazu**, v.6, n.4, p.54-71, 2017.

Silva, M. J. M.; Paterniani, J.; Euclides, S.; Francisco, A. R.; Aplicação de sementes de *Moringa oleifera* como auxiliar de pré-filtração em sistema de filtração em múltiplas etapas. Anais. Encontro Nacional de *Moringa*. Aracaju, Sergipe, 2011.

Silva, F. G.; Dutra, W. F.; Oliveira, I.M.; Figueiras, L. M. B.; Melo, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 19: 946-952, 2015.

Silva, A. E.; Ferraz, R. L. de S.; Silva, J. P. da; Costa, P. da S.; Viegas, P. R. A.; Brito Neto, J. F. de; Melo, A. S. de; Meira, K. S.; Soares, C. S.; Magalhães, I. D.; Medeiros, A. de S. Microclimate changes, photomorphogenesis, and water consumption by *Moringa oleifera* cuttings under light spectrum variations and exogenous phytohormones concentrations. *Australian Journal Of Crop Science*. 2019.

Silva, A. A. R.; Lima. G. S.; Azevedo, C. A. V.; Gheyi, H.R.; Soares, L.A.; Veloso, L.L.S. Salicylic acid improves physiological indicators of soursop irrigated with saline water *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*.v.26, n.6, p.412-419, 2022.

Singh, A. Kumar, A. Yadav, S. & Singh, I. K. (2019). Reactive oxygen species-mediated signaling during abiotic stress. *Plant Gene*, v. 18, p. e100173. 10.1111/j.1399-3054.2009.01321.x

Soares, C. S.; Silva, J. A.; Silva, G. N. Produção de coentro em diferentes espaçamentos dos canais hidropônicos. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, Recife, 22, (1-5), 2017.

Sonobe K.; Hattori T.; AN P.; Tsuji W.; Eneji A. E.; Kobayashi S.; Kawamura Y.; Tanaka K.; Inanaga S. Effect of silicon application on sorghum root responses to water stress. **Journal of Plant Nutrition**, v.34,n.1, p. 71–82, 2011.



Sousa, J. V.; Rodrigues, C.R. Luz, J.M.Q. Valho, P.C. de.;Rodrigues,T.M. Foliar application of the potassium silicate in corn: Photosynthesis, growth and yield. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 4, p. 502-513, 2010.

Sreelatha, S; Jeyachitra, A; Padma, P. R. Antiproliferation and induction of apoptosis by Moringa oleifera leaf extract on human cancer cells. *Food and Chemical Toxicology: an international journal published for the British Industrial Biological Research Association*, v.49, n. 6, p. 1270-1275, 2011.

Tahir, M. A., T. Aziz, M. Farooq, G. Sarwar. 2012. Silicon-induced changes in growth, ionic composition, water relations, chlorophyll contents and membrane permeability in two saltstressed wheat genotypes. *Arch. Agron. Soil Sci.*, 58(3), 247-256. Doi: 10.1080/03650340.2010.518959.

Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia vegetal*. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009

Tiloke, C; Phulukdaree, A; Chuturgoon, A. A. The antiproliferative effect of Moringa oleifera crude aqueous leaf extract on cancerous human alveolar epithelial cells. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, v.13, n. 226. 2013.

Thilagam, V. K., Mohanty, S., Shahid, M., Tripathi,R., Nayak, A. K., Kumar, A. Role of Silicon as Beneficial Nutrient for Rice Crop. **Popular Kheti**, v. 2, n.1, p. 105-107, 2014.

Urbano, E. Moringa Oleífera. [Brasilia], [200-?]. Disponível em: <http://www.sempresustentavel.com.br/terrena/moringa-oleifera/moringa-oleifera.htm>. Acesso em: 07 jun. 2022.

Van Soest, P. J. **Nutritional ecology of the ruminat.** 2<sup>a</sup> ed. London: Constock Publishing Associates, USA, 476p. 1994.

Vasconcelos, M.C; (2013). Moringa oleifera Lam.: Aspectos Morfométricos, Fisiológicos e Cultivo em Gradiente de espaçamento

Vasconcelos, I. M.; Oliveira, J. T. A. Gene expression and spatiotemporal localization of antifungal chitinbinding proteins during Moringa oleifera seed development and germination. *Planta*, v. 249, p. 1503-1519, 2019.

Viana, E.M.; Kiehl, J.C. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p.975-982, 2010

Vieira, G. H. F.; Mourão,J,A,; Maria, A;Renata, A;Albuquerque, C, Vieira, R,H,S,F Antibacterial effect (in vitro) of Moringa oleifera and Annona muricata against Gram positive and Gram negative bacteria. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**. v. 52, n.3, p. 129-132, 2010.

Vilela, H. As fontes de silício (silicatos). *Agronomia: Artigos Científicos*, 2009. Disponível em: <[http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos\\_fontes\\_silicio\\_brasil.htm](http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_fontes_silicio_brasil.htm) > Acesso em 12/05/2020.

Vongsak, B. Sithisarn, P. Mangmool, S. Wongkrajang, Y. Gritsanapan, W. Maximizing total phenolics, total flavonoids contents and antioxidant activity of *Moringa oleifera* leaf extract by the appropriate extraction method. **Industrial Crops and Products**. v. 44, p. 566- 571, 2013.

Von Maydell, H.J. Trees and shrubs of the Sahel, their characterization and use. In: Von Maydell, H.J. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Berlin: Federal Republic of Germany, 1986. p.334-337.

Winder, A. R.S. Lâminas De Irrigação Na Cultura Da Rúcula No Cerrado. **Tese de Doutorado**, 2018.

Yao, W. Zhou, B. Zhang, X. Zhao, K. Cheng, Z. & Jiang, T. (2019). Transcriptome analysis of transcription factor genes under multiple abiotic stresses in *Populus simonii* × *P.nigra*. *Gene*, 707, 189-197. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2019.04.071>

Yin, L., S. Wang, J. Li, K. Tanaka, M. Oka. 2013. Application of silicon improves salt tolerance through ameliorating osmotic and ionic stresses in the seedling of *Sorghum bicolor*. *Acta Physiol. Plant.*, 35(11), 3099-3107. Doi: 10.1007/s11738-013-1343-5.

Zanetti, L.V.; Milanez, C.R.D.; Gama, V.N.; Aguilar, M.A.G.; Souza, C.A.S.; Campos Trini, E.; Ferraz, T.M.; Figueiredo, F.A.M.M. de A. Leaf application of silicon in young cacao plants subjected to water deficit. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.3, p.215-223, 2016.

Zhu, Z.; WEI, G.; LI, J.; QIAN Q. & YUET, J. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Sci.*, 167:527-533, 2004.