



**EFEITOS DA SALINIDADE SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE
PLANTAS JOVENS DE MOGNO AFRICANO (*Khaya senegalensis*)**

WILLIAN VIANA CAMPOS

2019

WILLIAN VIANA CAMPOS

**EFEITOS DA SALINIDADE SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE
PLANTAS JOVENS DE MOGNO AFRICANO (*Khaya senegalensis*)**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Araquém Ramos Cairo

VITÓRIA DA CONQUISTA – BA
MAIO DE 2019

C21e

Campos, Willian Viana .

Efeitos da salinidade sobre o desenvolvimento de plantas jovens de mogno africano (*Khaya senegalensis*). / William Viana Campos, 2019. 77f. : il.

Orientador (a): Dr. Paulo Araquém Ramos Cairo.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Fitotecnia. Vitória da Conquista, 2019.

Inclui referência F. 61 - 77.

1. Plantas lenhosas - Mogno. 2. Nutrição mineral. 3. Estresse salino. I. Cairo, Paulo Araquém Ramos. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós- Graduação em Agronomia. T.III.

CDD. 582.15

Catálogo na fonte: Juliana Teixeira de Assunção – CRB 5/1890

UESB – Campus Vitória da Conquista – BA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
Área de Concentração em Fitotecnia

Campus de Vitória da Conquista - BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: “EFEITOS DA SALINIDADE SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS JOVENS DE MOGNO AFRICANO (*Khaya senegalensis*).”

Autor: Willian Viana Campos

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA, pela Banca Examinadora:



Profº. Paulo Araújo Ramos Cairo, D.Sc., UESB



Pesq. Leandro Dias da Silva, D.Sc, PNPd/CAPES



Profº. Cristiano Tagliaferre, D.Sc, UESB

Data de realização: 16 de maio de 2019.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser o motivo de todo o meu esforço e a base sobre a qual está fundada a minha vida.

Aos meus pais, Manuel e Maria de Lourdes, pela educação a mim investida e pelo amor incondicional.

À minha irmã Michelle, pelo incentivo à dedicação aos estudos.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização do mestrado.

À CAPES, pelo auxílio financeiro e concessão da bolsa.

Ao Prof. Dr. Paulo Araquém Ramos Cairo, pela orientação, ensinamento, paciência, confiança e amizade.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Leandro Dias da Silva e Dr. Cristiano Tagliaferre, pelas correções e sugestões.

Aos professores Dr. Gilberto Chohaku Sedyama e Dr. Francisca Zenaide de Lima, da Universidade Federal de Viçosa, pelas indicações no ingresso no mestrado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pelos conhecimentos transmitidos.

Aos colegas do curso, pelo companheirismo e amizade.

Aos colegas do Laboratório de Fisiologia Vegetal, pelo apoio.

A todos que, diretamente e indiretamente, contribuíram para a realização deste sonho pessoal e profissional.

RESUMO

CAMPOS, W. V. **Efeitos da salinidade sobre o desenvolvimento de plantas jovens de mogno africano (*Khaya senegalensis*)**. Vitória da Conquista – BA: UESB, 2019. 77 p. (Dissertação – Mestrado em Agronomia, Área de Concentração em Fitotecnia)*.

A salinidade é um estresse abiótico que limita a produção vegetal. O plantio de árvores de madeira nobre, como o mogno, pode ser uma alternativa para o aproveitamento de áreas onde a exploração de muitas espécies agrícolas não é economicamente viável. Entretanto, informações sobre a adaptabilidade de espécies de mogno à salinidade ainda são escassas. Este estudo objetivou avaliar os efeitos de níveis de salinidade sobre plantas jovens de *Khaya senegalensis* cultivadas em vasos contendo areia lavada e solução nutritiva com cloreto de sódio (NaCl), em casa de vegetação. A salinidade foi estabelecida pela adição de NaCl à solução nutritiva, cujas concentrações equivaleram aos seguintes níveis de condutividade elétrica: 0,0 • 3,3 • 15,1 • 29,9 • 42,6 • 53,6 dS m⁻¹, em delineamento inteiramente casualizado (DIC). Foram avaliados altura de plantas, diâmetro de colo, taxa de crescimento relativo, número de folhas, área foliar total, potencial hídrico foliar, teor relativo de água, massa seca de folhas, caule e raízes, índice SPAD e os teores de clorofila (*a*, *b* e total) e açúcares redutores. A salinidade do substrato afetou a maioria das características avaliadas, o que causou prejuízos ao desenvolvimento das plantas. O nível de salinidade considerado crítico para as plantas variou em função da característica avaliada. As raízes foram a parte da planta mais sensível ao estresse salino, uma vez que a sua massa seca sofreu decréscimos até mesmo sob baixa concentração de NaCl. A restrição na absorção de água, devido à salinidade, levou ao aumento dos teores de açúcares redutores, como forma de promover ajuste osmótico, preservando o turgor celular. O acúmulo de NaCl causou toxidez à planta e, assim, produziu manchas foliares cloróticas, que evoluíram para necrose.

Palavras-chave: Plantas lenhosas, nutrição mineral, estresse salino.

*Orientador: Paulo Araquém Ramos Cairo, D.Sc., UESB.

ABSTRACT

CAMPOS, W.V. **Effects of salinity on the development of young plants of african mahogany (*Khaya senegalensis*)**. Vitória da Conquista – BA: UESB, 2019. 77 p. (Dissertation – Master in Agronomy; Area of Concentration – Crop Science)*.

Salinity is an abiotic stress which limits plant production. The noble wood trees planting, such as mahogany, may be an alternative to exploiting areas where many agricultural species exploitation is not economically viable. However, information on the mahogany species adaptability to salinity is still scarce. This study aimed to evaluate the effects of salinity levels on young plants of *Khaya senegalensis* cultivated in pots containing washed sand and nutrient solution with sodium chloride (NaCl) under greenhouse conditions. Salinity was established by adding NaCl to the nutrient solution, whose concentrations were equivalent to the following electrical conductivity levels: 0,0 • 3,3 • 15,1 • 29,9 • 42,6 • 53,6 dS m⁻¹, in a completely randomized design (DIC). Plant height, stem diameter, relative growth rate, leaf number, total leaf area, leaf water potential, relative water content, leaf, stem and root dry mass, SPAD index, chlorophylls content (*a*, *b* and total) and reducing sugar content were evaluated. The substrate salinity affected most of the evaluated characteristics, what caused damage to the plants development. The salinity critical level for the plants varied according to the evaluated trait. The roots were the part of the plant most sensitive to saline stress, since its dry mass suffered decreases even under low NaCl concentration. Restriction in water absorption, due to the salinity, led to reducing sugar increase, as a way of osmotic adjustment providing and cellular turgor preserving. The NaCl accumulation led to plant toxicity, exhibiting chlorotic leaf spots, which were evolved to necrosis.

Keywords: Woody plants, mineral nutrition, salt stress.

*Advisor: Paulo Araquém Ramos Cairo, *D.Sc.*, UESB.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição da solução nutritiva utilizada no experimento... 33

Tabela 2. Quadrados médios de altura de plantas (H); diâmetro do colo (DC); taxa de crescimento relativo (TCR); número de folhas (NF); área foliar (AF); índice SPAD (SPAD); potencial hídrico foliar (Ψ_w); teor relativo de água (TRA); massa seca das folhas (MSF); massa seca do caule (MSC); massa seca de raízes (MSR); relação massa seca da parte aérea/massa seca da raiz (MSPA/MSR); clorofila *a* (Ca); clorofila *b* (Cb); clorofila total (Ct); açúcares redutores (AR).... 38

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Dados de temperatura registrados na estação meteorológica da UESB durante o período experimental. Fonte: INMET..... 32
- Figura 2.** Diâmetro do colo de plantas jovens de *Khaya senegalensis* submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] e entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo ($p < 0,05$)..... 39
- Figura 3.** Taxa de crescimento relativo de plantas jovens de *Khaya senegalensis* submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] e entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo ($p < 0,05$) 40
- Figura 4.** Número de folhas de plantas jovens de *Khaya senegalensis* submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] e entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo ($p < 0,05$) 42
- Figura 5.** Área foliar (cm^2) de plantas jovens de *Khaya senegalensis* submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] e entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo ($p < 0,05$) 43
- Figura 6.** Sintomas de toxidez causada por concentrações elevadas de Na^+ em folhas adultas de plantas jovens de *Khaya senegalensis*.

Clorose na forma de manchas claras no limbo foliar, sob salinidade 29,9 dS m ⁻¹ , aos 60 DAT [A]; manchas cloróticas adquirem cor amarronzada, aos 90 DAT [B]; necrose no limbo foliar, sob salinidade 53,6 dS m ⁻¹ , aos 120 DAT [C]	45
Figura 7. Potencial hídrico foliar (MPa) na antemanhã, em plantas jovens de <i>Khaya senegalensis</i> submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] e entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo (p < 0,05)	46
Figura 8. Massa seca de folhas (g) de plantas jovens de <i>Khaya senegalensis</i> submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] e entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo (p < 0,05)	48
Figura 9. Massa seca do caule (g) de plantas jovens de <i>Khaya senegalensis</i> submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] e entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo (p < 0,05)	49
Figura 10. Massa seca de raízes (g) de plantas jovens de <i>Khaya senegalensis</i> submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] e entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo (p < 0,05)	50
Figura 11. Índice SPAD em folhas de plantas jovens de <i>Khaya senegalensis</i> submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] e entre os níveis crescentes de	

salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo ($p < 0,05$)	53
Figura 12. Teores de clorofila <i>a</i> em folhas de plantas jovens de <i>Khaya senegalensis</i> submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] e entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo ($p < 0,05$)	54
Figura 13. Teores de clorofila <i>b</i> em folhas de plantas jovens de <i>Khaya senegalensis</i> submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] e entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo ($p < 0,05$)	55
Figura 14. Teores de clorofila total em folhas de plantas jovens de <i>Khaya senegalensis</i> submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] e entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo ($p < 0,05$)	56
Figura 15. Relação entre os teores de clorofila total e índices SPAD em folhas de plantas jovens de <i>Khaya senegalensis</i> submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT. * Significativo ($p < 0,05$)	57
Figura 16. Teores de açúcares redutores em folhas de plantas jovens de <i>Khaya senegalensis</i> submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] e entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo ($p < 0,05$)	59

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS


AF	Área foliar
AR	Açúcares redutores
CE	Condutividade elétrica
D	Diâmetro de colo
DAT	Dias após transplântio
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
g	Gramma
H	Altura da parte aérea
L	Litro
mg	Miligramma
MSPA	Massa seca da parte aérea
MSR	Massa seca de raiz
MST	Massa seca total
ERO	Espécies reativas de oxigênio
TCR	Taxa de crescimento relativo
TRA	Teor relativo de água
UESB	Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Ψ_w	Potencial hídrico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1 Aspectos gerais sobre a cultura do mogno africano.....	16
2.2 Gênese e características dos solos salinos.....	17
2.3 Efeitos da salinidade sobre as plantas.....	19
2.4 Transporte de íons por meio das membranas.....	25
2.5 Cultivo de plantas em solução nutritiva.....	28
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.1 Caracterização da área experimental.....	31
3.2 Delineamento experimental, transplanito e condições de cultivo.....	31
3.3 Características avaliadas.....	33
3.4 Análise estatística	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1 Avaliações morfológicas.....	37
4.1.1 Altura de plantas, diâmetro de colo e taxa de crescimento relativo.....	37
4.1.2 Área foliar total e número de folhas	41
4.2 Avaliações fisiológicas e bioquímicas	45
4.2.1 Potencial hídrico foliar e teor relativo de água.....	45
4.2.2 Massa seca de folhas, caule e raízes.....	47
4.2.3 Índice SPAD e teores de clorofila <i>a</i> , <i>b</i> e total.....	52
4.2.4 Teores de açúcares redutores.....	58
5 CONCLUSÕES.....	60
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

1 INTRODUÇÃO


A notável expansão do setor florestal brasileiro tem se caracterizado pelo crescente investimento no cultivo de espécies produtoras de madeira nobre. Dentre as espécies mais cultivadas, o mogno tem sido bastante valorizado, devido ao alto valor comercial da sua madeira – em torno de R\$ 3 mil (CEPEA, 2016) por metro cúbico –, a qual pode ser empregada nas indústrias moveleira e naval, na construção civil e em painéis e laminados.

No mercado de madeiras nobres, o mogno africano tem grande destaque; é considerado como uma das mais valiosas espécies madeireiras de clima tropical do mundo (NIKIEMA  ASTERNAK, 2008). Além de atender ao exigente mercado, o mogno africano também possui importantes características que favorecem o seu cultivo, tais como crescimento relativamente rápido e tolerância a fatores abióticos.

As principais espécies de mogno africano são *Khaya antiothea*, *K. senegalensis*, *K. grandifoliola* e *K. ivorensis*. Dentre estas, a *Khaya senegalensis* possui maior rusticidade e relativa vantagem para o cultivo em áreas sob condições adversas, especialmente em regiões com baixos índices pluviométricos (PINHEIRO e outros, 2011).

A característica de rusticidade da *Khaya senegalensis* é muito valorizada por pesquisadores e produtores, sobretudo, devido à disseminação de plantios em áreas onde há frequentes limitações de fatores abióticos, que afetam o sucesso produtivo. No Brasil, já são, aproximadamente, 10 mil hectares plantados com o mogno africano, porém a maioria dos plantios ainda é recente, com produtividade média de 7,2 m³ ha⁻¹ (PINHEIRO e outros, 2011).

A expansão das fronteiras agrícolas tem se dado de maneira associada à baixa disponibilidade de água e ao uso excessivo de fertilizantes, o que favorece o surgimento de áreas afetadas por sais (SOUZA e outros,

2017). A salinidade é um dos fatores ambientais que podem limitar o crescimento e a produtividade de mogno, sobretudo em regiões áridas e semiáridas, devido aos grandes contrastes ambientais (DAS  ARIDA, 2005; MUNNS e TESTER, 2008).

Em, pelo menos, sete estados brasileiros, aproximadamente 9 milhões de hectares são afetados pela elevada concentração de sais na solução do solo. A maior área afetada corresponde a 44% do total e está localizada no Estado da Bahia (DIAS e BLANCO, 2010).

Os longos períodos de estiagem aumentam o risco de salinidade do solo, que pode ser decisivo para o estabelecimento do mogno nessa região. O solo é considerado salino quando a sua condutividade elétrica atinge 4 dSm^{-1} (equivalente a 40 mM de NaCl), o que leva ao acúmulo de sais no tecido vegetal (MUNNS e TESTER, 2008).

O acúmulo de sais ocasiona toxicidade iônica, desequilíbrio nutricional e mudanças nas relações hídricas (ZHU, 2007; PESSARAKLI, 2016), e isso afeta negativamente a produtividade vegetal. No solo, o excesso de sais reduz o potencial hídrico e compromete a absorção de água pelas plantas, ao mesmo tempo em que os elevados teores de Na^+ alteram a relação Na^+/K^+ e, assim, causam desequilíbrio nutricional (MENDES e outros, 2011), que afeta também a absorção de NO_3^- (ARAGÃO e outros, 2011).

A irrigação intensiva tem sido praticada como solução para lixiviar o excesso de sais na zona radicular (MENDONÇA e outros, 2007). Entretanto, essa prática tem custo elevado e não resolve o problema, o que pode acarretar o desperdício de água pelo seu uso intenso (SOUZA e outros, 2017). Espécies tolerantes à salinidade podem constituir alternativas tanto para a reabilitação do solo quanto para a produção vegetal (SU e outros, 2005).

Em solos com alta concentração de sais, o desempenho de cultivos agrícolas tradicionais tem sido frequentemente avaliado. Contudo, ainda são escassos os estudos sobre o comportamento de espécies de plantas lenhosas

submetidas a essa condição, particularmente em relação ao cultivo de mogno africano, atualmente em expansão no Brasil.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de concentrações elevadas de cloreto de sódio no solo sobre algumas características morfológicas, fisiológicas e bioquímicas que influenciam o crescimento de plantas jovens de mogno africano.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos gerais sobre a cultura do mogno africano

O mogno africano (*Khaya senegalensis*) é uma espécie pertencente à família botânica Meliaceae, monoica, que atinge de 30 a 35 m de altura; é considerada uma árvore mediana, cujo diâmetro pode chegar a 250 cm. Seu fuste alcança entre 10 e 16 m, com densidade média de $0,78 \text{ g cm}^{-3}$, variando entre $0,69$ e $0,91 \text{ g cm}^{-3}$ (PINHEIRO e outros, 2011). Sua ocorrência dá-se em áreas com precipitação anual entre 650 e 1800 mm por ano, estação seca com variação entre 4 e 7 meses, e dispersão vertical ocorrendo de 0 a 400 m de altitude; é encontrada naturalmente na Costa do Marfim, em Gana, Togo, Benim, Nigéria e sul de Camarões (OPUNI-FRIMPONG e outros, 2008).

O mogno africano possui madeira nobre, com grande potencial econômico para comercialização interna e externa; pode ser empregada na indústria naval, como decoração no interior de embarcações; na indústria moveleira, a exemplo de mesas, cadeiras e armários; na construção civil e, ainda, na indústria automotiva, como peças decorativas no interior de veículos de luxo (PINHEIRO e outros, 2011).

O setor brasileiro de florestas ocupa uma área de 7,8 milhões de hectares de árvores plantadas e é responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais no país (IBÁ, 2016). Nesse cenário, o mogno tem um valor de mercado, aproximadamente, 15 vezes maior que o eucalipto; chega a atingir, no final do seu ciclo produtivo, um retorno líquido acima de $\text{R\$}23 \text{ mil ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (PINHEIRO e outros, 2011; RIBEIRO e outros, 2017). Devido às restrições impostas ao comércio do mogno brasileiro, os plantios de mogno africano expandiram-se em diferentes regiões do país, tendo excelente desenvolvimento nas regiões Centro-Oeste, Nordeste e Sudeste (FRANÇA e outros, 2016).

Segundo Albuquerque e outros (2013), o mogno africano, na fase juvenil, pode desenvolver maior tolerância ao déficit hídrico que outras espécies da família Meliaceae, devido à sua capacidade de reduzir a abertura estomática, preservando o maior teor de água nas folhas, viabilizando plantios comerciais em áreas sujeitas a períodos de estiagem.

2.2 Gênese e características dos solos salinos

Salinidade é um termo relacionado ao acúmulo excessivo de sais, especialmente NaCl, no solo ou água, que afeta negativamente o crescimento e desenvolvimento de muitos organismos vivos (MUNNS, 2002; JAMIL e outros, 2011). A salinidade na água de irrigação tem se tornado cada vez mais limitante para os cultivos agrícolas, sobretudo nos últimos 20 anos, devido ao aumento da irrigação em regiões áridas e semiáridas (COLLA e outros, 2012; CIRILLO e outros, 2016).

Os solos afetados por sais são também conhecidos como halomórficos, salinos ou sódicos e se caracterizam pela presença de sais solúveis, sódio trocável ou ambos, em horizontes ou camadas próximas à superfície. Quando a concentração de sais se eleva ao ponto de prejudicar o rendimento econômico das culturas, diz-se que tal solo está salinizado (RIBEIRO e outros, 2016).

A gênese de solos salinos tem uma alta relação tanto com a formação geológica predominante na paisagem como com a drenagem. Logo, a origem dos problemas de salinidade confunde-se com a própria formação dos solos (RIBEIRO e outros, 2003). Daker (1988) destaca que os sais resultantes dos minerais primários, encontrados nos solos e nas rochas, são transportados pelas águas e armazenados nos solos e se acumulam à medida que a água é evaporada ou consumida pelas culturas, o que origina o processo de salinização.

Um solo é considerado salino quando a condutividade elétrica (CE) da sua solução atinge 4 dS m^{-1} (equivalente a 40 mM de NaCl) e, assim, gera

uma pressão osmótica de cerca de $-0,2$ MPa (MUNNS e TESTER, 2008). No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), a salinidade é considerada no caráter sálico ($CEes \geq 7$ dS m^{-1} , a 25 °C) e no caráter salino ($4 < CEes < 7$ dS m^{-1} , a 25 °C), cujos conceitos são utilizados para separar classes no segundo, terceiro e quarto níveis categóricos (EMBRAPA, 2006).

Os principais íons relacionados à salinidade são os cátions sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+) e os ânions cloro (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-), carbonato (CO_3^{2-}) e nitrato (NO_3^-) (LEMES, 2013). No nordeste brasileiro, onde a água utilizada para irrigação tem alta salinidade, a relação iônica Na:Ca é predominantemente 3:2 (MEDEIROS, 1992).

A salinização do solo e da água é um fenômeno natural, mas intervenções antropogênicas podem multiplicar a escala do problema em muitos aspectos (RENGASAMY, 2002). Além disso, o desmatamento e práticas inadequadas de irrigação resultam na elevação do lençol freático, transportando os sais na superfície do solo, o que interfere no desenvolvimento da planta.

A água da chuva, por outro lado, também pode aumentar a salinidade, pois pode conter de 6 a 50 mg kg^{-1} de NaCl. A água da chuva contendo 10 mg kg^{-1} de NaCl, por exemplo, pode resultar em um adicional de 10 kg de sal em 100 mm de chuva, por ano. Estima-se que 830 milhões de ha de terra cultivada total estejam sob os efeitos da salinidade, enquanto, dos 230 milhões de ha de terra irrigada, 45 milhões são classificados como afetados por sal (RENGASAMY, 2002). Em média, 2.000 km^2 de terras irrigadas, abrangendo 75 países, estão sendo continuamente degradados pela salinidade (FLOWERS, 2004; SINGH e outros, 2013; REDDY e outros, 2017).

No Brasil, solos salinos e sódicos ocorrem predominantemente na região semiárida do Nordeste (RIBEIRO e outros, 2003), onde, aproximadamente, 9 milhões de hectares são afetados por acúmulo de sais

(SILVA e outros, 2011), chegando a alcançar 25% das áreas irrigadas (GHEYI, 2000).

O acúmulo de sal no solo aumenta o pH e a taxa de absorção de sódio e reduz a permeabilidade à água (WONG e outros, 2008; SHUKLA e outros, 2011; SINGH e outros, 2012). A acumulação de sal é prejudicial às funções microbianas e bioquímicas do solo (RIETZ e HAYNES, 2003), o que limita a produtividade agrícola (TEJADA e GONZALEZ, 2005; RADY e outros, 2013).

2.3 Efeitos da salinidade sobre as plantas

As duas principais ameaças da salinidade são induzidas por estresse osmótico e toxicidade iônica, associados à absorção excessiva de Cl^- e Na^+ , o que leva à deficiência de Ca^{2+} e K^+ e a outros desequilíbrios nutricionais (MARSCHNER, 2012). A salinidade tem efeito duplo – além de causar desnutrição e acúmulo de íons em níveis potencialmente tóxicos nas plantas, pode também causar estresse hídrico (RADY e outros, 2018).

A tolerância ao sal nas plantas é determinada por três características distintas: tolerância osmótica, capacidade de excluir Na^+ ou Cl^- e capacidade de o tecido tolerar altas concentrações de Na^+ ou Cl^- (MUNNS e TESTER, 2008). Muitas vezes, as plantas tolerantes ao sal têm uma característica, mas não a outra. No entanto, é possível que plantas tolerantes ao sal apresentem mais de uma dessas características (LÄUCHLI e GRATTAN, 2014).

O efeito nocivo da salinidade sobre as plantas pode variar, dependendo das condições climáticas, intensidade da luz, espécie e condições do solo (TANG e outros, 2015). O estresse salino é percebido inicialmente pelo sistema radicular e prejudica o crescimento das plantas pela diminuição da condutividade hidráulica, tanto no curto prazo, induzindo o estresse osmótico causado pela menor disponibilidade de água, como em longo prazo, por toxicidade iônica, devido ao desequilíbrio de nutrientes no citosol (STEUDLE, 2000).

Os sais absorvidos pelas plantas não controlam diretamente o crescimento, mas influenciam o turgor, a fotossíntese e/ou a atividade de enzimas (ACOSTA e outros, 2015). Em condições salinas, as plantas ativam diferentes mecanismos de propriedades fisiológicas e bioquímicas para lidar com o estresse resultante. Tais mecanismos incluem mudanças na morfologia, anatomia, relações hídricas, fotossíntese, perfil hormonal, distribuição de íons tóxicos e adaptação bioquímica, como a resposta ao metabolismo antioxidante (HERNÁNDEZ e outros, 2001; DAS e PARIDA, 2005).

Altas concentrações de íons Na^+ e Cl^- no solo ou na água reduzem o potencial hídrico, o que leva à redução inicial do crescimento e à baixa produtividade (DAS e PARIDA, 2005). A supressão do crescimento ocorre em todas as plantas, mas seu nível de tolerância à salinidade e a taxa de redução do crescimento diferem entre as espécies vegetais (SAIED e outros, 2005). A salinidade afeta severamente os estágios iniciais do crescimento das plântulas (ANDRIOLO e outros, 2005).

Além disso, respostas precoces das plantas à salinidade incluem a redução na expansão da superfície da folha, seguida pela cessação da expansão (COLLA e outros, 2006), quase sempre devido à redução no teor relativo de água (SAIRAM e TYAGI, 2004). A massa seca de raízes e parte aérea também foram significativamente reduzidas em plantas de grão sob salinidade (TEJERA e outros, 2006).

O crescimento das plantas é inibido pela salinidade como consequência do estresse osmótico e da diminuição do turgor celular (SEMIDA e outros, 2016). Se o potencial osmótico do meio externo diminuir mais que o das células da planta, as células perdem o turgor e sofrem dessecação osmótica (LÄUCHLI e GRATAN, 2014).

A morfologia e a fisiologia das plantas são afetadas pelo excesso de sais devido a alterações nas relações hídricas e ao desequilíbrio iônico (MUNNS, 2002). O excesso de sais gera um estresse oxidativo nos tecidos vegetais e, com isso, causa a degradação da clorofila, dos lipídios de

membrana, proteínas e DNA, em termos de propanodial acumulado (MDA) (YASAR e outros, 2006). O acúmulo de MDA é considerado um indicador de estresse oxidativo, que é uma ferramenta testada para avaliar a tolerância ao sal em plantas de cultivo (YILDIRIM e outros, 2008).

O estresse osmótico, induzido pelo estresse salino, pode levar a uma diminuição na abertura estomática, além da degradação de clorofila (ZHU, 2003; YANG e outros, 2005; MUNNS e outros, 2008; JIANG e outros, 2012), danos na ultraestrutura do cloroplasto (SHU e outros, 2013; GENGMAO e outros, 2015) e a degradação de proteínas de membrana e enzimáticas no aparelho fotossintético (CHAVES e outros, 2009; MITTAL e outros, 2012), e, assim, diminuir a capacidade fotossintética (MUNNS e outros, 2008). Além disso, em muitas plantas, a inibição do crescimento está intimamente relacionada à diminuição da fotossíntese sob estresse salino (CHAVES e outros, 2009; JIANG e outros, 2012; DIAO e outros, 2014).

Os fatores que afetam a biomassa da planta também afetam a atividade fotossintética (SZABADOS e SAVOURE, 2010; PORCEL e outros, 2012). Sob condições salinas, os teores de clorofila e carotenoides totais das folhas diminuem (DAS e PARIDA, 2005). Quando a salinidade do solo aumenta de 40 para 160 mM NaCl, os teores de clorofilas *a* e *b* e totais diminuem em oliveiras (MOUSAVI e outros, 2008). Sob o nível de condutividade manifestada pelo cloreto, a fotossíntese é reduzida mais do que o nível de condutividade determinada pelo sulfato, mas o conteúdo de clorofila diminui sob ambos os níveis de salinidade (MOUSAVI e outros, 2008).

Os teores de clorofila são significativamente afetados pela salinidade com uma redução de 50-60% no teor de clorofilas totais (JAMPEETONG e BRIX, 2009). Em plântulas de *Sesbania grandiflora*, os teores de pigmentos foliares diminuem bastante, sob níveis de salinidade de até 50 mM (DHANAPACKIAM e YAS, 2010).

O estresse salino também se manifesta como estresse oxidativo, resultante do acúmulo excessivo de Espécies Reativas de Oxigênio (ERO)

nas células vegetais, especialmente H_2O_2 e os ânions O_2^- e OH^- (MOLLER e outros, 2007). As EROs são subprodutos do metabolismo aeróbico e fotossintético e, em concentrações compatíveis com a homeostase redox celular, são componentes de diversas vias de sinalização (FOYER e NOCTOR, 2003).

O excesso de EROs causa danos oxidativos em proteínas, lipídios e ácidos nucleicos, o que caracteriza o estresse oxidativo secundário (BEN e outros, 2005). Para evitar os danos oxidativos, a concentração das EROs é mantida em níveis não tóxicos, por meio de mecanismos antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos (MOLLER e outros, 2007).

A acumulação de sal nas folhas velhas acelera a sua senescência, diminuindo a oferta de carboidratos e/ou hormônios de crescimento para as regiões meristemáticas (KARLEN e outros, 2008). A redução na área foliar pode ser considerada como um mecanismo que minimiza a perda de água pela transpiração, quando os estômatos estão abertos, mas provoca redução da taxa de fotossíntese, o que inibe diretamente o crescimento (COLMER e outros, 2006).

Níveis elevados de Na^+ e Cl^- no solo e na água de irrigação reduzem os atributos fotossintéticos e impulsionam atividades de sistemas de defesa antioxidante (SAIRAM e YAGI, 2004; RADY e outros, 2001). Os pigmentos fotossintéticos também são afetados pelo estresse salino. Segundo Taiz e outros (2017), a concentração de pigmentos fotossintéticos varia conforme a espécie vegetal, cujo teor demonstra a adaptabilidade das plantas a estresses ambientais. Esse teor é influenciado por fatores bióticos e abióticos e está diretamente relacionado com o potencial de atividade fotossintética da planta (ABDEL-MAGEED e outros, 2017).

A alta salinidade altera a relação iônica nos vacúolos das plantas, que, direta ou indiretamente, resulta em mudanças nos processos de remoção de nutrientes (SUN e outros, 2017). Nesta condição, a taxa fotossintética é menor, mas a taxa de respiração aumenta, associada com o crescimento

reduzido (FERNÁNDEZ-TORQUEMADA e SÁNCHEZ-LIZASO, 2005; MARÍN-GUIRAO e outros, 2011; SANDOVAL-GIL e outros, 2012).

A fotossíntese, por si só, em muitas espécies, parece não determinar o crescimento das plantas sob estresse salino (LÄUCHLI e GRATTAN, 2014). Embora a condutância estomática seja frequentemente reduzida, quando as plantas são expostas a condições salinas, as taxas de fotossíntese por área foliar não são afetadas (MUNNS e TESTER, 2008; JAMPEETONG e BRIX, 2009; TANG e outros, 2011), porque a densidade de cloroplasto por unidade de área foliar nessas plantas é maior. A salinidade diminui a fotossíntese, também, devido à redução na área foliar total da planta (MUNNS e TESTER, 2008; LÄUCHLI e GRATTAN, 2014).

Em algumas espécies, verifica-se um aumento da razão massa seca de raiz / parte aérea, ao tempo em que diminui a área foliar, o potencial hídrico foliar e a condutância estomática, para limitar a perda de água em condições salinas (BOSE e outros, 2014). Para melhor proteger o aparato fotossintético, as plantas também podem promover o acúmulo limitado de íons tóxicos nas folhas, aumento no teor de clorofila, mudanças nos parâmetros de fluorescência da clorofila, na anatomia foliar e nos mecanismos de defesa antioxidante (GIL e outros, 2014). Modificações anatômicas nas folhas, incluindo aumentos do parênquima paliçádico e dos espaços intercelulares e diminuição do parênquima esponjoso, facilitam a difusão do CO₂ em uma situação de redução da abertura estomática (OZGUR e outros, 2013).

O estresse salino, em geral, afeta negativamente o tamanho da folha, o crescimento da parte aérea, o comprimento da raiz, o acúmulo de massa seca da parte aérea e o número de brotos por planta (LAUCHLI e GRATTAN, 2007). Concentrações de Na⁺ acima de 10 mM, no citosol, são consideradas tóxicas e reduzem o crescimento das plantas. Em contraste, o K⁺ é requerido em concentrações de 100-200 mM para o funcionamento metabólico ideal da célula (WALKER e outros, 1996; CUIN e outros, 2003; TAIZ e outros, 2017).

A taxa de crescimento foliar diminui após um aumento na salinidade do solo, principalmente devido ao efeito osmótico do sal na rizosfera (FRICKE e PETERS, 2002). Com isso, as células foliares perdem água, mas essa perda de volume e turgescência é transitória (MOLLER e outros, 2009). Em pouco tempo, as células recuperam seu volume original e turgor, devido ao ajuste osmótico, mas, apesar disso, as taxas de alongamento celular são reduzidas (GARTHWAITE e outros, 2005).

Ao longo dos dias, as reduções no alongamento celular e divisão celular prejudicam a expansão foliar (GONG e outros, 2006). As dimensões das células mudam, com maior redução da área do que em espessura, de modo que as folhas tornam-se menores e mais espessas (HU e outros, 2007). Sob estresse salino moderado, uma inibição do desenvolvimento da parte aérea torna-se aparente ao longo de semanas, enquanto, ao longo dos meses, tornam-se perceptíveis efeitos no desenvolvimento reprodutivo, como a floração precoce (MILLER e outros, 2007).

Em resposta ao estresse salino, compostos orgânicos, como prolina, açúcares solúveis, polióis e aminoácidos, assim como a glicina betaína (AHMAD e SHARMA, 2008; CHEN e MURATA, 2011; KOYRO e outros, 2012), são sintetizados endogenamente em quantidades excessivas (SANDOVAL-GIL e outros, 2012), para ajustar a salinidade induzida pelo estresse osmótico, sendo referidos como metabólitos compatíveis, porque, aparentemente, não interferem no metabolismo celular normal da célula (AHMAD e SHARMA 2008; AHMAD e outros, 2012).

A raiz é o primeiro órgão vegetal que encontra a salinidade (WU, 2018). O Na^+ entra primeiro nas raízes e é, então, transportado na planta, com a zona meristemática da raiz atuando como um sensor de estresse salino ou, pelo menos, como um tecido que abriga componentes do sensor de estresse salino (WU e outros, 2015).

As células radiculares estão em contato com os componentes iônicos e osmóticos da adição de Na^+ e, então, respondem rapidamente às mudanças na sua concentração externa (TRACY e outros, 2008).

Para manter o crescimento normal, as plantas devem reduzir seu potencial hídrico interno para se ajustarem à queda do potencial osmótico externo (ZHANG e outros, 2010). O ajuste osmótico pode ser alcançado por absorção e acumulação de íons do meio ou por síntese e acumulação de solutos orgânicos. Ambos os processos ocorrem, mas a extensão pela qual um processo domina o outro depende do tipo de planta e do nível de salinidade (YUAN e outros, 2007; KARLEN e outros, 2008). Altas concentrações salinas no citoplasma danificam enzimas e organelas (WICHELNS e QADIR, 2015).

Sais absorvidos da solução do solo, aparentemente, atuam como regulador osmótico no vacúolo, sendo que, no citoplasma, o ajuste osmótico ocorre principalmente por solutos orgânicos sintetizados pela planta (WYN JONES e GORHAM, 2002). Os osmólitos orgânicos são usados, em grande parte, em apenas uma pequena fração do volume total da célula, e o sal deve ser transportado do tonoplasto para o citoplasma e, de volta, para o vacúolo, onde ele pode se acumular (LÄUCHLI e GRATTAN, 2014).

Para manter o turgor celular e proteger as atividades metabólicas, o mecanismo de ajuste osmótico pode ocorrer em espécies tolerantes de duas maneiras: sequestro de excesso de íons do sal no vacúolo e biossíntese de compostos orgânicos osmoprotetores (MUNNS, 2002). Os principais compostos orgânicos envolvidos no ajuste osmótico são prolina (AHMAD e outros, 2013), glicina-betaína e açúcares solúveis (KOZLOWSKI, 1997). O ajuste osmótico também contribui para manter estruturas subcelulares e reduzir os danos oxidativos causados por espécies reativas de oxigênio, sob alta salinidade (KOYRO e outros, 2012).

2.4 Transporte de íons por meio das membranas

O interior de uma célula vegetal é separado da parede celular e do ambiente por uma membrana plasmática, cuja espessura é de apenas duas camadas de moléculas lipídicas. Essa camada delgada separa um ambiente

interno relativamente constante do entorno variável. Além de formar uma barreira hidrofóbica à difusão, a membrana deve facilitar e regular continuamente o tráfego de íons e moléculas selecionados para dentro e para fora, à medida que a célula absorve nutrientes, exporta resíduos e regula sua pressão de turgor (TAIZ e outros, 2017).

As proteínas transportadoras dentro das membranas são alvos fundamentais para melhorar a eficiência com que as plantas absorvem e usam água e nutrientes (RYAN e outros, 2001; FOLEY e outros, 2011). Além disso, os transportadores também são centrais para mecanismos que permitem às plantas tolerar ambientes adversos, como solos salinos ou ácidos (MOLLER e outros, 2009; CHEN e outros, 2010). A similaridade dos raios iônicos hidratados de Na^+ e K^+ leva à toxicidade de Na^+ em plantas sob estresse salino (BLUMWALD e outros, 2000; RODRÍGUEZ e outros, 2009).

O transporte local de solutos para dentro ou dentro de células é regulado principalmente por proteínas de membrana. O transporte, em maior escala, entre os órgãos vegetais, ou entre eles e o ambiente, também é controlado pelo transporte de membranas em nível celular (AHMAD e outros, 2013; TAIZ e outros, 2017).

A acumulação de Na^+ elevado no citosol não só pode causar deficiência de K^+ e, assim, interromper vários processos enzimáticos, mas também impor uma carga energética à célula, devido à exigência de síntese de solutos orgânicos para compensar a exportação de Na^+ no ajuste osmótico (MUNNS e TESTER, 2008).

Sob estresse salino, o acúmulo de Na^+ nas células vegetais é determinado pela atividade de troca iônica do influxo e efluxo de Na^+ . A entrada de Na^+ ocorre principalmente por meio de canais iônicos, como o transportador de alta afinidade HKT e canais de cátions não seletivos, e se sabe que o efluxo de Na^+ é mediado por SOS1, um antiportador Na^+ / H^+ . Na presença de níveis elevados de Na^+ externo, sob condições salinas, o efluxo

de Na^+ das células vegetais é um processo ativo (APSE e outros, 2007; WU, 2018).

As evidências sugerem que, em plantas, o Na^+ é transportado para fora da célula por um transportador de $\text{Na}^+ - \text{H}^+$ do tipo antiporte e que Cl^- , NO_3^- , H_2PO_4^- , sacarose, aminoácidos e outras substâncias entram na célula via transportadores específicos de H^+ do tipo simporte. Transportadores de $\text{Na}^+ - \text{H}^+$ do tipo antiporte no tonoplasto e na membrana plasmática excluem Na^+ para o vacúolo e para o apoplasto, respectivamente, e, assim, impedem a acumulação de níveis tóxicos de Na^+ no citosol (TAIZ e outros, 2017).

Esses processos de transporte de Na^+ incluem o influxo passivo desse íon no sistema radicular, que, provavelmente, é mediado por canais não seletivos de cátions (DEMIDCHIK e TESTER, 2002; DAVENPORT e outros, 2005) com canais cíclicos, e os receptores Glu são provavelmente as possíveis famílias de genes codificadores dessas proteínas (DEMIDCHIK e TESTER, 2002; ROY e outros, 2013). O influxo de Na^+ no sistema radicular é contrabalançado pelo efluxo de Na^+ na solução do solo, um processo ativo que pode ocorrer como antiporte com H^+ (RUBIO e outros, 1995; MASER e outros, 2002; QIU e outros, 2002; MIAN e outros, 2011).

Em plantas cultivadas, um componente significativo da tolerância à salinidade é a capacidade de excluir o Na^+ da parte aérea (TESTER e DAVENPORT, 2003; MOLLER e TESTER, 2007). Baseando-se no entendimento atual da tolerância à salinidade de plantas, parece provável que a modificação de processos específicos de transporte de Na^+ possa melhorar a exclusão desse íon da parte aérea e resultar, pelo menos em algumas plantas, em um aumento na tolerância à salinidade (MOLLER e outros, 2009).

Mais de 50 enzimas são ativadas por K^+ como cofator no citosol, porém essas enzimas são sensíveis a altas proporções de Na^+ citosólico e alto Na^+/K^+ (MUNNS e outros, 2006). Portanto, além das baixas concentrações de Na^+ no citosol, a manutenção da baixa relação Na^+ / K^+ citosólica é crítica no funcionamento normal das células vegetais (RUBIO e outros, 1995).

Em condições de salinidade, ocorre uma competição dinâmica entre Na^+ e K^+ na absorção, já que ambos são cátions monovalentes similares. Portanto, altos níveis de concentrações de Na^+ no citosol (maior relação Na^+ / K^+) resultam em toxicidade metabólica, devido à competição pelos sítios de ligação de muitas enzimas (TESTER e DAVENPORT, 2003).

Existe também a possibilidade de que o Na^+ substitua o Ca^{2+} da membrana plasmática, o que causa uma alteração na permeabilidade e integridade da membrana; isso pode levar à perda de K^+ das células (CRAMER e outros, 1989) e, assim, criar um desequilíbrio na relação Na^+ / K^+ dentro do citosol e afetar as reações enzimáticas na célula.

2.5 Cultivo de plantas em solução nutritiva

Uma solução nutritiva é um sistema aquoso contendo principalmente íons inorgânicos de sais solúveis de elementos essenciais para plantas superiores (JUÁREZ e outros, 2006). Eventualmente, alguns compostos orgânicos, como quelatos de ferro, podem estar presentes (KANG e VAN IERSEL, 2004). As soluções nutricionais mais básicas consideram em sua composição apenas nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, suplementados com micronutrientes (NXAWE e outros, 2009).

As plantas necessitam de nutrientes, com três elementos não minerais, como carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O), provenientes do ar e da água, e nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), necessários em pequenas quantidades (> 0,1% da massa seca) (MAATHUIS, 2009; COLE e outros, 2016).

Normalmente, esses minerais são absorvidos pelas raízes em suas formas iônicas: Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ presentes como cátions livres; P e S, como fosfato (PO_4^{3-}) e sulfato (SO_4^{2-}), respectivamente; e N, como ânion nitrato (NO_3^-) ou cátion amônio (NH_4^+) (MARSCHNER, 2012; BACHA e outros, 2015; DEL AMOR e outros, 2015; IMTIAZ e outros, 2017). Os elementos boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), níquel (Ni), manganês (Mn), molibdênio

(Mo) e zinco (Zn) são classificados como metais pesados essenciais. Eles são necessários em quantidades menores nas funções fisiológicas vitais da planta (ALI e outros, 2013; O'CARRIGAN e outros, 2014; MORENO-JIMÉNEZ e outros, 2016).

A solução de Hoagland contém todos os elementos minerais necessários ao rápido crescimento vegetal. As concentrações desses elementos são estabelecidas no nível mais alto possível, sem produzirem sintomas de toxicidade ou estresse salino; assim, elas podem ser várias ordens de grandeza mais elevadas do que as encontradas no solo ao redor das raízes. Por exemplo, enquanto o fósforo está presente na solução do solo em concentrações normalmente menores do que $0,06 \mu\text{g g}^{-1}$ ou $2 \mu\text{M}$, na solução de Hoagland, ele é oferecido a $62 \mu\text{g g}^{-1}$ ou 2mM (TAIZ e outros, 2017).

Quando uma solução nutritiva é fornecida continuamente, as plantas podem absorver íons em concentrações muito baixas (SAMARAKOON e outros, 2006). Assim, uma alta proporção dos nutrientes não é usada pelas plantas ou sua absorção não afeta a produção (SANDOVAL e outros, 2012). No entanto, espera-se que, em situações particulares, concentrações muito baixas não cubram a demanda mínima de certos nutrientes (SONNEVELD e outros, 2009). Por outro lado, soluções concentradas de nutrientes levam ao consumo excessivo de nutrientes, e, portanto, efeitos tóxicos podem ser esperados (TREJO-TÉLLEZ e outros, 2012).

Existem três variáveis que determinam a disponibilidade de íons numa solução nutritiva: (1) força iônica da solução, que atua sobre a atividade iônica dos elementos minerais; (2) pH, que influencia na disponibilidade de várias espécies iônicas em solução; e (3) a presença de agentes quelantes responsáveis pelo sequestro de íons. Quanto maior a CE, maior é a força iônica (XU e outros, 2009; BARON e outros, 2015).

De acordo com Hoagland e Arnon (1950), não há solução ideal para todas as espécies vegetais, portanto a escolha da solução nutritiva é de fundamental importância, uma vez que cada espécie vegetal possui uma exigência nutricional diferente. Assim, a composição da solução nutritiva

envolve a escolha de um sistema nutritivo apropriado, considerando a idade da planta, período do ano e fatores ambientais.

É necessário realizar controle contínuo da solução nutritiva, com adição de sais, monitoramento de temperatura e controle da CE (FAN e outros, 2012). O controle do pH é relevante para a manutenção da integridade da membrana e para evitar a precipitação de micronutrientes, como Fe, B e Mn (ROOSTA e HAMIDPOUR, 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), *campus* de Vitória da Conquista, cujas coordenadas geográficas são 14° 53' 08'' de latitude sul e 40° 48' 02'' de longitude oeste de Greenwich, com altitude de 881 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é tipicamente tropical de altitude (*Cwb*), com estação seca no inverno e verões quentes e úmidos.

A estação chuvosa na região compreende os meses de novembro a março. O total pluviométrico anual é de cerca de 700 mm, e as médias térmicas mostram máximas de 26,4 °C e mínimas de 16,1 °C, com média anual de 20,2 °C (Figura 1).

3.2 Delineamento experimental, transplântio e condições de cultivo

Em um experimento inteiramente ao acaso, as plantas jovens de mogno africano foram cultivadas em vasos contendo areia lavada e soluções nutritivas com NaCl em concentrações variáveis – 0, 20, 145, 270, 395 e 520 mM de NaCl, cujas concentrações equivaleram aos seguintes níveis de condutividade elétrica: 1,0 • 3,38 • 15,14 • 29,90 • 42,61 • 53,60 dS m⁻¹ – com quatro repetições, totalizando 24 parcelas.

As mudas foram produzidas pelo Instituto Brasileiro de Florestas, em tubetes de modelo cônico, e adquiridas com 180 dias de idade.

O transplântio das mudas deu-se em vasos com volume de 15 L, previamente preenchidos com areia passada em peneira de 0,005 mm de malha. Pequenas perfurações na base dos vasos permitiram a coleta da água de drenagem, para posterior análise das suas características químicas.

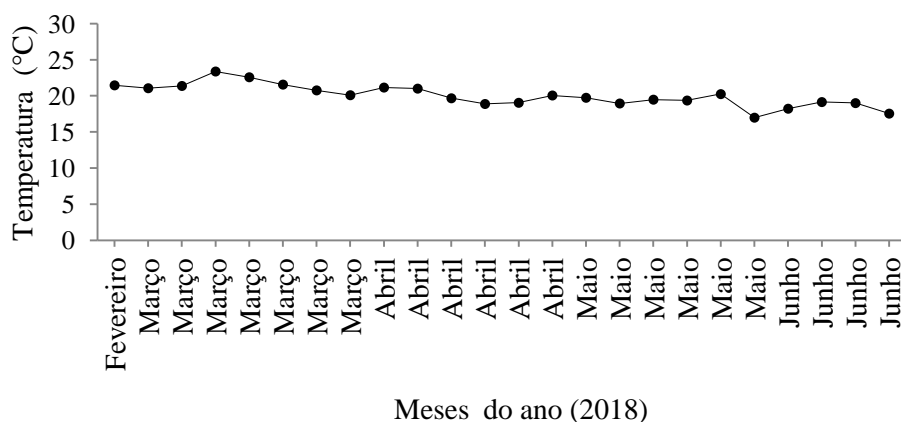


Figura 1. Dados de temperatura registrados na estação meteorológica da UESB durante o período experimental. Fonte: INMET.

O suprimento de água e nutrientes baseou-se na solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950), com algumas adaptações direcionadas a atender as demandas nutricionais de plantas lenhosas (Tabela 1).

A quantidade de água aplicada foi determinada pelo método da capacidade de vaso, no qual o teor de água da areia foi mantido próximo à capacidade de campo. O monitoramento do teor de água do solo baseou-se na verificação diária do peso dos vasos.

No transplântio, cada vaso recebeu solução nutritiva em quantidade suficiente para atingir a capacidade de vaso. A cada 10 dias, a irrigação foi realizada até drenar 50% da capacidade de vaso, para evitar o aumento da concentração de sais na solução.

A adição de NaCl à solução nutritiva, em concentrações variáveis, foi feita a cada 15 dias. A condutividade elétrica (dS m^{-1}) foi monitorada por meio de um condutímetro portátil. No tratamento sem adição de NaCl, a condutividade elétrica foi de 1 dS m^{-1} . Nos demais tratamentos, houve aumento da condutividade elétrica, em função da adição de NaCl à solução nutritiva, em concentrações variáveis.

Tabela 1. Composição da solução nutritiva utilizada no experimento.

Composto	Peso molecular	Concentração na solução estoque		Volume da solução estoque, por litro da solução final
	g mol ⁻¹	mM	g L ⁻¹	mL
Macronutrientes				
MgSO ₄ •7H ₂ O	246,48	1000	246,48	2
KH ₂ PO ₄	136,00	1000	136,00	1
KNO ₃	101,10	1000	101,10	5
Ca(NO ₃) ₂ •4H ₂ O	236,16	1000	236,16	5
Micronutrientes				
H ₃ BO ₃	61,83	46,250	2,850	1
MnSO ₄ •H ₂ O	169,01	118,33	19,90	1
ZnSO ₄ •7H ₂ O	287,54	0,7600	0,210	1
CuSO ₄ •5H ₂ O	249,68	0,3200	0,079	1
NH ₄ MO•2H ₂ O	149,98	0,2000	0,030	1

3.3 Características avaliadas

Altura de plantas, diâmetro de colo e taxa de crescimento relativo

A cada cinco dias, mediu-se a altura das plantas, com o auxílio de uma régua graduada, posicionada paralelamente ao caule. Considerou-se como altura de planta a medida a partir do colo até a inserção da última folha (gema apical do fuste). No final do período experimental, aos 120 dias após o início dos tratamentos (DAT), mediu-se o diâmetro do colo, com o auxílio de um paquímetro manual. A taxa de crescimento relativo (TCR) utilizou como referência a altura das plantas e foi obtida com base na seguinte equação:

$$TCR = \frac{\left(\frac{Af - Ai}{Ai}\right)}{t}$$

Em que: Af = altura final; Ai = altura inicial; t = intervalo de tempo.

Número de folhas e área foliar

No final do período experimental, aos 120 DAT, realizou-se a contagem manual das folhas de cada planta, para a obtenção do número de folhas. Em seguida, verificou-se a área foliar em amostras de 20 folhas representativas de cada planta, com o auxílio de um medidor de área foliar Área Meter (LICOR, modelo LI-3100). O valor médio por folha foi multiplicado pelo número de folhas de cada planta, para a obtenção da área foliar total.

Estimativa do teor de clorofilas (índice SPAD)

Durante o período experimental, verificou-se o índice SPAD, como uma estimativa do teor de clorofilas, utilizando-se um clorofilômetro SPAD-502 (Minolta Corporation, Ltda., Osaka, Japan), cujas leituras foram feitas em três pontos a cada lado da nervura central da folha, na face adaxial, entre 8 e 10 horas da manhã, a cada cinco dias.

Potencial hídrico foliar (Ψ_w)

Aos 120 DAT, em cada planta, coletou-se uma folha localizada no terço médio da parte aérea, para avaliação do potencial hídrico foliar. As folhas foram coletadas às 5 horas da manhã, e o potencial hídrico foliar foi determinado com o auxílio de uma câmara de pressão (Modelo 1000, PMS) de acordo com o método de Scholander e outros (1965).

Teor relativo de água (TRA)

O teor relativo de água (TRA) foi avaliado nas mesmas folhas coletadas para a avaliação do potencial hídrico foliar. Com o auxílio de um perfurador, foram retirados 10 discos do limbo foliar, registrando-se a sua

massa fresca (MF) em uma balança de precisão. Logo após, os discos foliares permaneceram submersos em água deionizada durante 24 horas, para a obtenção da sua massa túrgida (MT). Posteriormente, os discos foliares foram submetidos à secagem em estufa de ar, a 65 °C, durante 48 horas, para a obtenção da sua massa seca (MS). O teor relativo de água foi determinado com base na seguinte fórmula (WEATHERLEY, 1950):

$$\text{TRA} = \frac{(\text{MF} - \text{MS})}{(\text{MT} - \text{MS})} \times 100$$

Massa seca de folhas, caule e raízes

No final do período experimental, as plantas foram removidas dos vasos, e as suas folhas, caule e raízes foram submetidos à secagem em estufa, a 65 °C, por 48 horas, para obtenção da massa seca de cada uma dessas partes da planta. Em seguida, esses dados foram utilizados para a obtenção da relação entre a massa seca da parte aérea (folhas + caule) e a massa seca das raízes (MSPA / MSR).

Extração e quantificação de clorofilas *a*, *b* e totais

No final do período experimental, foram retirados cinco discos do limbo da segunda folha completamente expandida. Os pigmentos foram extraídos por meio de maceração dos discos foliares, utilizando-se acetona a 80% (v/v) como extrator. Após filtração dos extratos, os teores de clorofilas *a* e *b* foram determinados por meio de leituras espectrofotométricas a 645 e 470 nm, respectivamente, conforme Arnon (1949). Considerou-se o teor de clorofilas totais como a soma dos teores de clorofilas *a* e *b*.

Extração e quantificação de açúcares redutores

Os teores de açúcares redutores (AR) foram verificados em folhas adultas, localizadas no terço médio de cada planta, no final do período experimental. Para a obtenção do extrato, 15 mL de solução tampão fosfato de potássio 0,1 M foram utilizados como extrator, para cada 200 mg de massa seca homogeneizada e triturada. O volume total do extrator foi submetido a três centrifugações de 45 minutos, a 2.500 rpm. Após cada centrifugação, coletou-se o sobrenadante para a quantificação dos teores de AR pelo método do ácido dinitrosalicílico (DNS), conforme descrição de Miller (1959), com modificações. Alíquotas de 0,6 mL do extrato foram adicionadas a 0,5 mL de solução de DNS e 0,4 mL de água deionizada, totalizando um volume reacional de 1,5 mL, o qual foi submetido ao banho-maria, a 100 °C, por cinco minutos. Após o resfriamento à temperatura ambiente, foram adicionados 3,5 mL de água deionizada, e se completou o volume para 5,0 mL. Em seguida, a leitura foi realizada em espectrofotômetro, a 540 nm, e os resultados, expressos em mmol de AR g⁻¹ massa seca.

3.4 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância, por meio do teste F para a comparação das médias, e análise de regressão para o estudo quantitativo das características morfofisiológicas avaliadas, utilizando-se o programa estatístico SISVAR 5.6, com posterior análise de regressão no estudo entre cada tratamento sem incluir a testemunha, sendo que o tratamento controle foi comparado com os demais pelo teste de Dunnet ($p < 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados indicaram que as características avaliadas, em sua maioria, foram significativamente afetadas pelas concentrações variáveis de NaCl na solução nutritiva (Tabela 2).

4.1 Avaliações morfológicas

4.1.1 Altura de plantas, diâmetro de colo e taxa de crescimento relativo

Dentre as avaliações morfológicas, a altura média de plantas foi de 50,3 cm, e esta foi a única característica não afetada pelas concentrações variáveis de NaCl (Tabela 2). Por outro lado, o diâmetro do colo nos tratamentos com salinidade foi menor que nas plantas controle; porém, essas diferenças ocorreram somente em níveis de salinidade iguais ou superiores a 29,9 dS m⁻¹ (Figura 2A). Comparando-se somente as plantas submetidas à adição de NaCl à solução nutritiva, os níveis crescentes de salinidade causaram efeito linear decrescente sobre esta variável (Figura 2B).

A taxa de crescimento relativo nas plantas submetidas a concentrações variáveis de NaCl foi menor que nas plantas controle; porém, essas diferenças ocorreram somente em níveis de salinidade iguais ou superiores a 42,61 dS m⁻¹ (Figura 3A). Comparando-se somente as plantas submetidas à adição de NaCl à solução nutritiva, os níveis crescentes de salinidade causaram efeito linear decrescente sobre esta variável (Figura 3B).

Tabela 2. Quadrados médios de altura de plantas (H); diâmetro do colo (DC); taxa de crescimento relativo (TCR); número de folhas (NF); área foliar (AF); índice SPAD (SPAD); potencial hídrico foliar (Ψ_w); teor relativo de água (TRA); massa seca das folhas (MSF); massa seca do caule (MSC); massa seca de raízes (MSR); relação massa seca da parte aérea / massa seca da raiz (MSPA/MSR); clorofila *a* (Ca); clorofila *b* (Cb); clorofila total (Ct); açúcares redutores (AR).

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios							
		H	DC	TCR	NF	AF	SPAD	Ψ_w	TRA
[NaCl]	5	23,09 ^{ns}	28,99*	0,000022*	1479*	1240000*	140*	0,7383*	147,10 ^{ns}
Erro	18	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	23	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		18,33	7,78	21,34	23,27	60,30	6,13	12,02	25,46

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios							
		MSF	MSC	MSR	MSPA/MSR	Ca	Cb	Ct	AR
[NaCl]	5	29,84*	7,81*	87,93*	0,0638 ^{ns}	28,60*	67,17*	175,80*	0,9821*
Erro	18	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	23	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		33,64	26,64	16,00	25,04	22,93	37,27	28,26	5,26

*significativo ($p < 0,05$); ns = não significativo; CV = Coeficiente de variação.

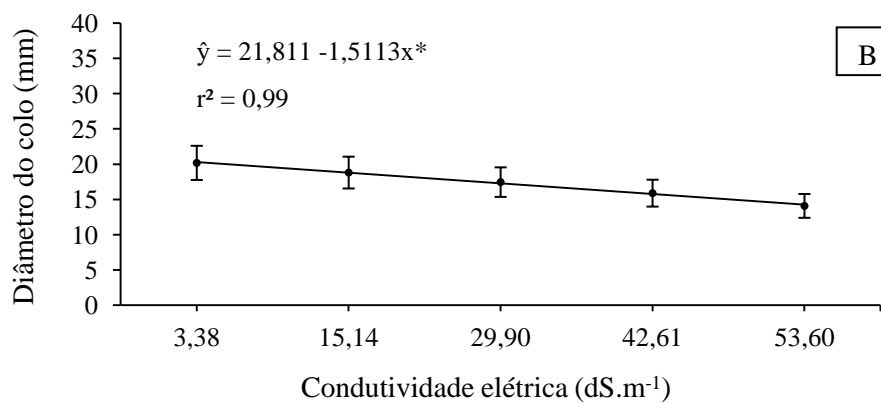
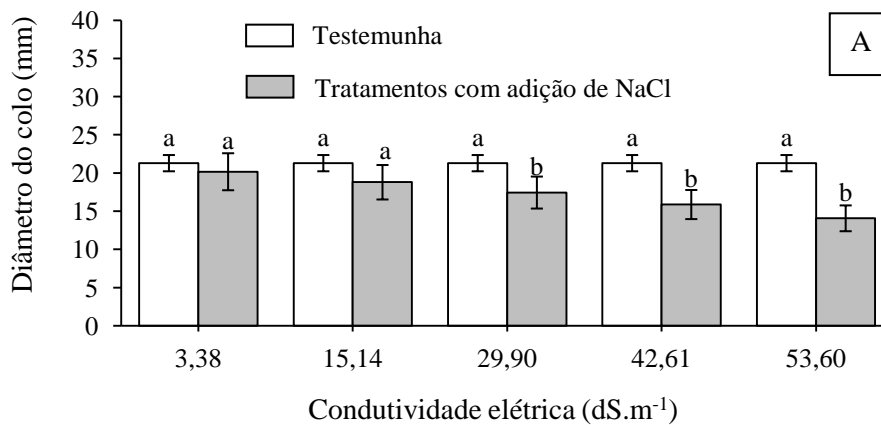


Figura 2. Diâmetro do colo de plantas jovens de *Khaya senegalensis* submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo ($p < 0,05$).

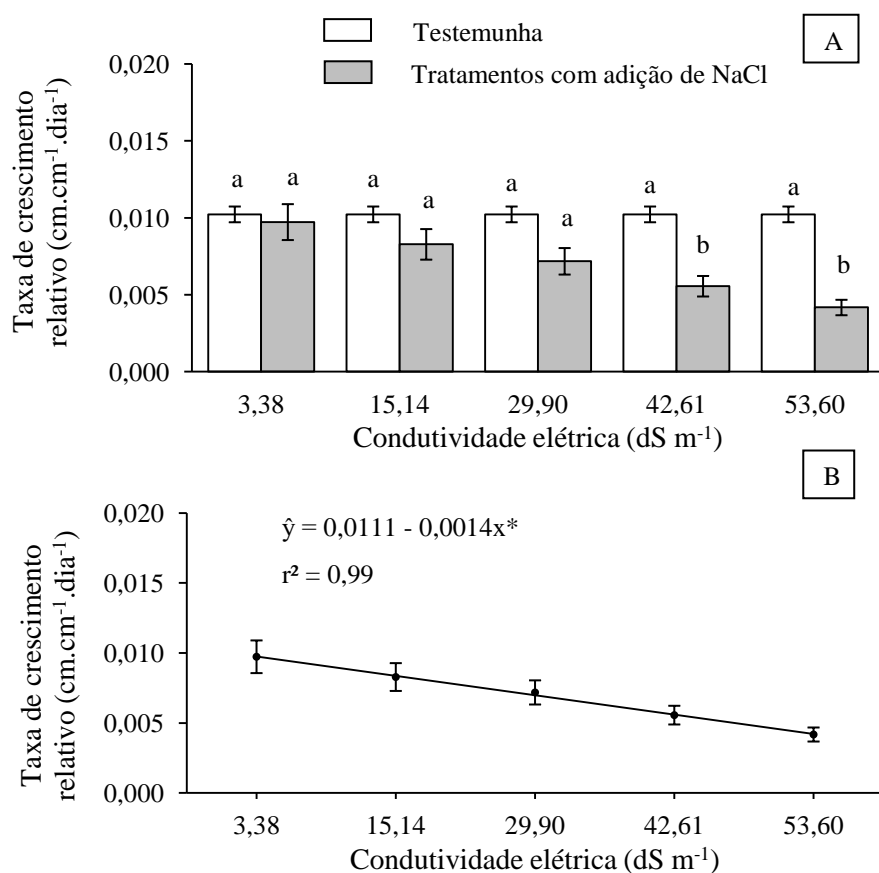


Figura 3. Taxa de crescimento relativo de plantas jovens de *Khaya senegalensis* submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] e entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo ($p < 0,05$).

A adição de NaCl não acarretou prejuízos à altura de plantas jovens de mogno africano. Este fato sugere a existência de mecanismos fisiológicos ou bioquímicos internos, capazes de conferir algum grau de tolerância das plantas à salinidade. Em estudos sobre o comportamento de *Eugenia*

myrtifolia L. submetida a condições salinas, Acosta e outros (2015) concluíram que a sobrevivência das plantas pode ser atribuída à sua habilidade em evitar o acúmulo de sal na parte aérea, seja reduzindo a sua absorção, seja controlando a sua translocação para as folhas, acumulando-o nas raízes.

Os prejuízos causados ao diâmetro de colo e à taxa de crescimento relativo, devido à adição de NaCl, contudo, podem ser interpretados como possível efeito negativo da salinidade sobre outros aspectos bioquímicos e fisiológicos específicos na planta. Segundo Sudério e outros (2011), que avaliaram plantas de feijão submetidas à salinidade, a menor expansão de tecidos e órgãos de diversas partes da planta pode ser atribuída à inibição da atividade ou menor expressão gênica das enzimas α e β galactosidase, que atuam sobre a degradação dos componentes de parede celular, o que resulta em diminuição ou retardamento do crescimento do caule.

Os efeitos negativos da salinidade sobre a morfologia da planta têm sido observados em intensidades variáveis e em diversos órgãos, em culturas como bananeira (SILVA JUNIOR e outros, 2012), *Moringa oleifera* Lam (OLIVEIRA e outros, 2013) e goiabeira (SOUZA e outros, 2015). Em espécies de *Eucalyptus*, restrições à expansão do diâmetro do colo foram observadas em *E. pellita* e *E. camaldulensis* (MENDONÇA e outros, 2007) e em *E. urophylla* (LOPES e KLAR, 2009) a partir de 30 dias de exposição à salinidade. A expansão do diâmetro do colo não foi prejudicada pelo aumento da salinidade até o nível de $8,33 \text{ dS m}^{-1}$ em *E. tereticornis* (MENDONÇA e outros, 2007) e até 8 dS m^{-1} em *E. urophylla* (SOUZA e outros, 2015).

4.1.2 Número de folhas e área foliar total

As concentrações de NaCl afetaram o número de folhas e a área foliar total (Tabela 2). Em relação ao número de folhas, essas diferenças ocorreram a partir de níveis de salinidade iguais ou superiores a $42,61 \text{ dS m}^{-1}$

(Figura 4A), ao passo que, na área foliar total, a diferença se verificou somente a 53,6 dS m⁻¹ (Figura 5A). Comparando-se somente as plantas submetidas à adição de NaCl à solução nutritiva, os níveis crescentes de salinidade causaram efeito linear decrescente sobre essas duas características (Figuras 4B e 5B).

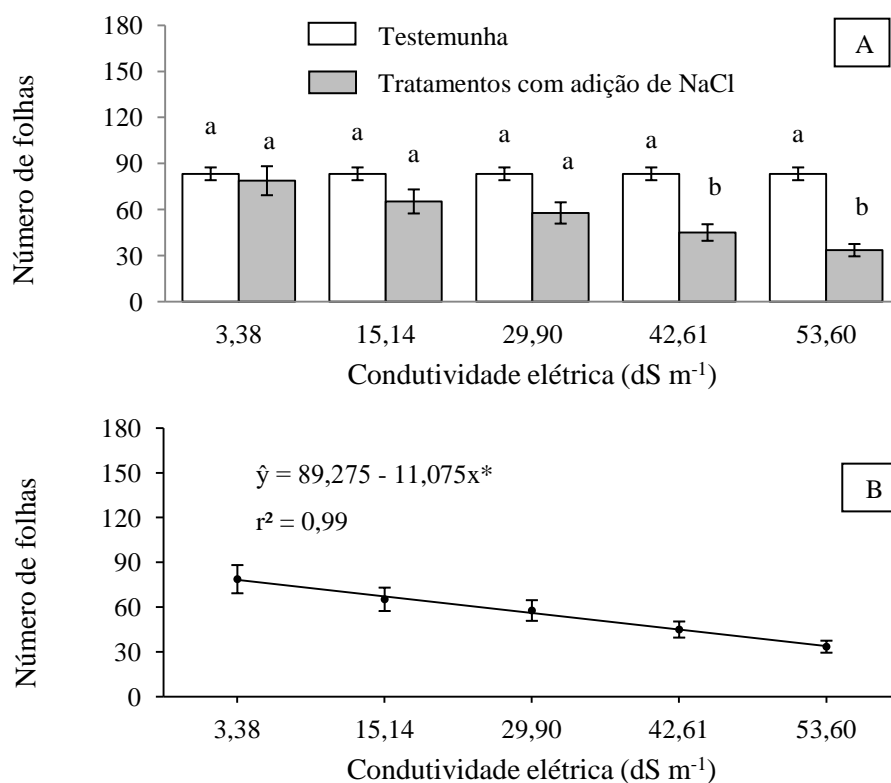


Figura 4. Número de folhas de plantas jovens de *Khaya senegalensis* submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo ($p < 0,05$).

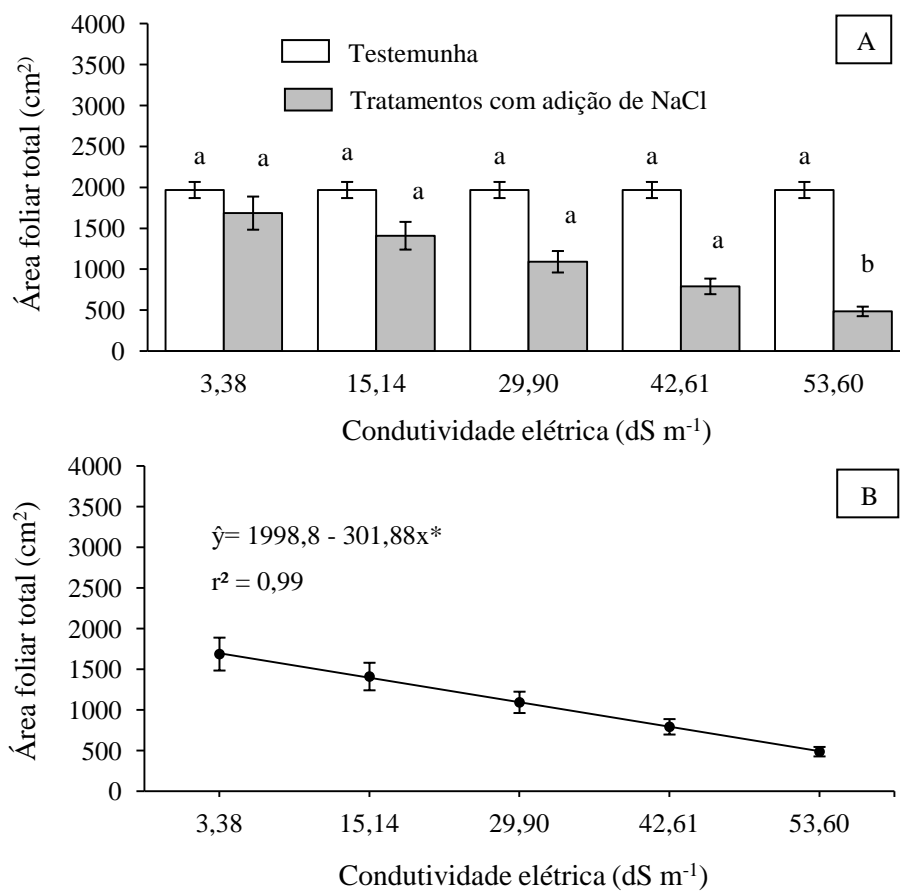


Figura 5. Área foliar (cm²) de plantas jovens de *Khaya senegalensis* submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo (p < 0,05).

Em plantas submetidas a concentrações elevadas de sais, a formação de um menor número de folhas, associada à menor área foliar, é uma conhecida resposta fisiológica que busca reduzir as taxas de transpiração, como forma de compensar a absorção de água limitada, devido ao menor

potencial hídrico do substrato salino (FERNÁNDEZ-GARCÍA e outros, 2010; LISAR e outros, 2012).

Estudos sobre mecanismos fisiológicos e bioquímicos de plantas de *Eugenia myrtifolia* L., realizados por Acosta e outros (2015), revelaram que, em condições de salinidade, a redução da área foliar produz menos massa seca de folhas, que pode acarretar aumento na razão raiz / parte aérea. Ainda segundo esses autores, podem ocorrer alterações anatômicas nas folhas, incluindo aumento na camada do parênquima paliçádico e diminuição do parênquima esponjoso, para facilitar a difusão de CO₂ em situação de abertura estomática reduzida (ACOSTA e outros, 2015).

A redução da área foliar pode produzir, ainda, um efeito indireto benéfico, porque a diminuição da perda de água pela transpiração pode favorecer a retenção dos sais nas raízes e, assim, dificultar a translocação dos íons para a parte aérea da planta (MUNNS e TESTER, 2008).

No presente estudo, sintomas de clorose, na forma de manchas claras sobre o limbo das folhas mais velhas, resultantes da toxidez causada pelo excesso de Na⁺, tornaram-se perceptíveis em níveis de salinidade igual e maiores que 29,9 dS m⁻¹, a partir de 60 DAT (Figura 6A). Desde então, essas manchas adquiriram cor amarronzada e evoluíram para sintomas de necrose, até o final do período experimental (Figuras 6B e 6C).

Esses sintomas assemelham-se aos que foram observados em estudos sobre mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*) (SOUZA e outros, 2017) e cajueiro (FERREIRA-SILVA e outros, 2009), submetidos ao estresse salino. Segundo Munns e Tester (2008), esses sintomas devem-se ao acúmulo de íons Na⁺ e Cl⁻ no tecido foliar, o que resulta em alterações na estrutura das membranas celulares.



Figura 6. Sintomas de toxidez causada por concentrações elevadas de Na^+ em folhas adultas de plantas jovens de *Khaya senegalensis*. Clorose na forma de manchas claras no limbo foliar, sob salinidade $29,9 \text{ dS m}^{-1}$, aos 60 DAT [A]; manchas cloróticas adquirem cor amarronzada, aos 90 DAT [B]; necrose no limbo foliar, sob salinidade $53,6 \text{ dS m}^{-1}$, aos 120 DAT [C].

4.2 Avaliações fisiológicas e bioquímicas

4.2.1 Potencial hídrico foliar e teor relativo de água

As concentrações de NaCl afetaram o estado hídrico das plantas apenas no que se refere ao potencial hídrico foliar (Tabela 2). Essas diferenças ocorreram a partir de níveis de salinidade igual ou superiores a $15,14 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 7A). Comparando-se somente as plantas submetidas à adição de NaCl à solução nutritiva, os níveis crescentes de salinidade causaram efeito quadrático decrescente sobre o potencial hídrico foliar (Figura 7B). O teor relativo de água, no entanto, não sofreu alterações significativas, em função da adição de NaCl à solução nutritiva (Tabela 2).

A redução do potencial hídrico foliar, em decorrência da adição de NaCl à solução nutritiva, é uma tendência de resposta natural, uma vez que o aumento da concentração de sais no substrato provoca redução no potencial hídrico externo, o que limita a absorção de água pelas plantas (ALVAREZ e outros, 2008; HARDIKAR e PANDEY, 2008).

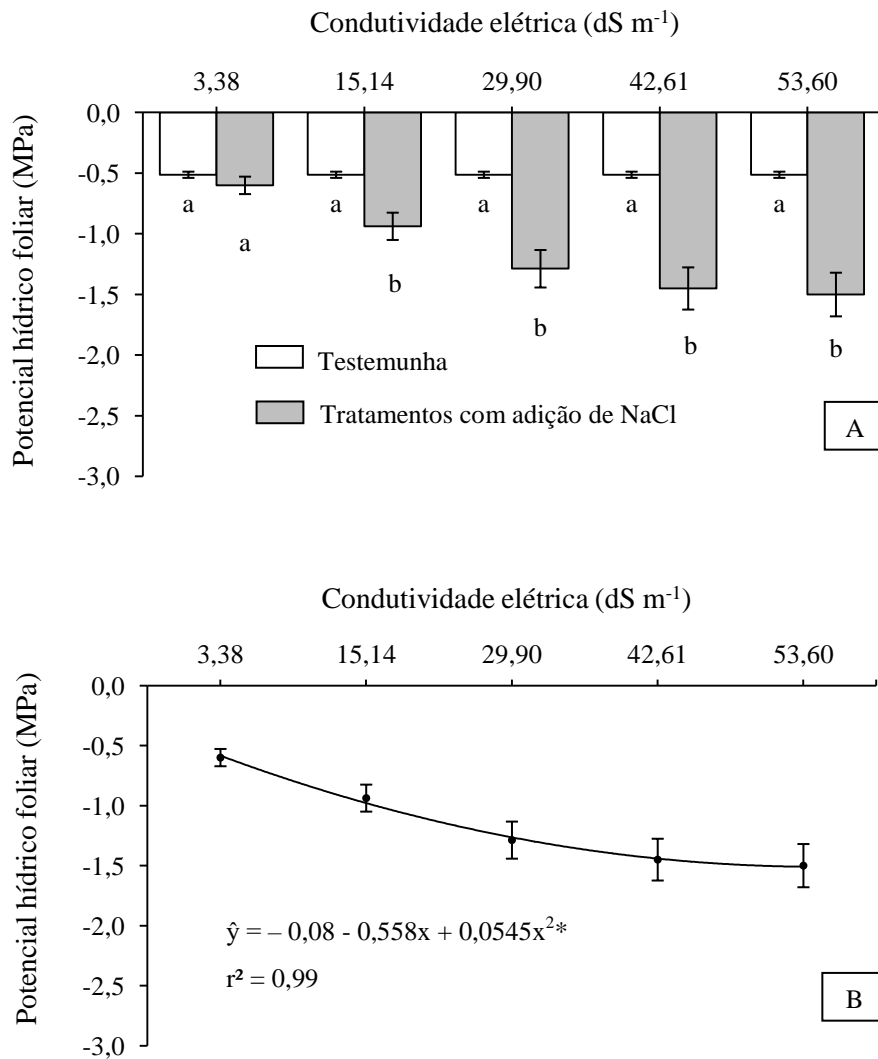


Figura 7. Potencial hídrico foliar (MPa) na antemanhã, em plantas jovens de *Khaya senegalensis* submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] e entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo ($p < 0,05$).

Por outro lado, o teor relativo de água foi mantido em torno de 80%, até mesmo nas concentrações mais elevadas de NaCl na solução nutritiva. A redução do potencial hídrico foliar, associada à preservação parcial do teor relativo de água, sugere a ocorrência de ajuste osmótico.

O ajuste osmótico é uma importante estratégia mitigadora do estresse causado por restrições ao suprimento de água à planta. A diminuição do potencial hídrico foliar, sob condições de estresse salino, desde que não seja causada pela redução no conteúdo de água da célula, favorece a absorção e translocação de água das raízes para as folhas e tende a reduzir as perdas por transpiração. Com isso, é possível manter o turgor celular, evitando – ou amenizando – decréscimos na expansão dos tecidos e no crescimento da planta (TESTER e DAVENPORT, 2003; AHMAD e SHARMA, 2008).

Em geral, o ajuste osmótico está relacionado com o acúmulo, no citosol, de íons essenciais, como K^+ , ou de solutos orgânicos, como açúcares solúveis (KEREPESI e outros, 2004; AHMAD e outros, 2012). Assim, o teor de açúcares solúveis pode ser usado como um dos indicadores fisiológicos para se avaliar a tolerância das plantas ao estresse salino (LIANG e outros, 2017).

4.2.2 Massa seca de folhas, caule e raízes

As concentrações de NaCl afetaram a massa seca de folhas, caule e raízes (Tabela 2). Nas folhas, a massa seca foi afetada pela salinidade somente a $53,6 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 8A); no caule, em todos os níveis de salinidade (Figura 9A); e, nas raízes, em níveis de salinidade igual ou superiores a $15,14 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 10A). Comparando-se somente as plantas submetidas à adição de NaCl à solução nutritiva, os níveis crescentes de salinidade causaram efeito linear decrescente sobre essas três características

(Figuras 8B, 9B e 10B). A relação entre a massa seca de raízes e parte aérea não foi afetada pela salinidade (Tabela 2).

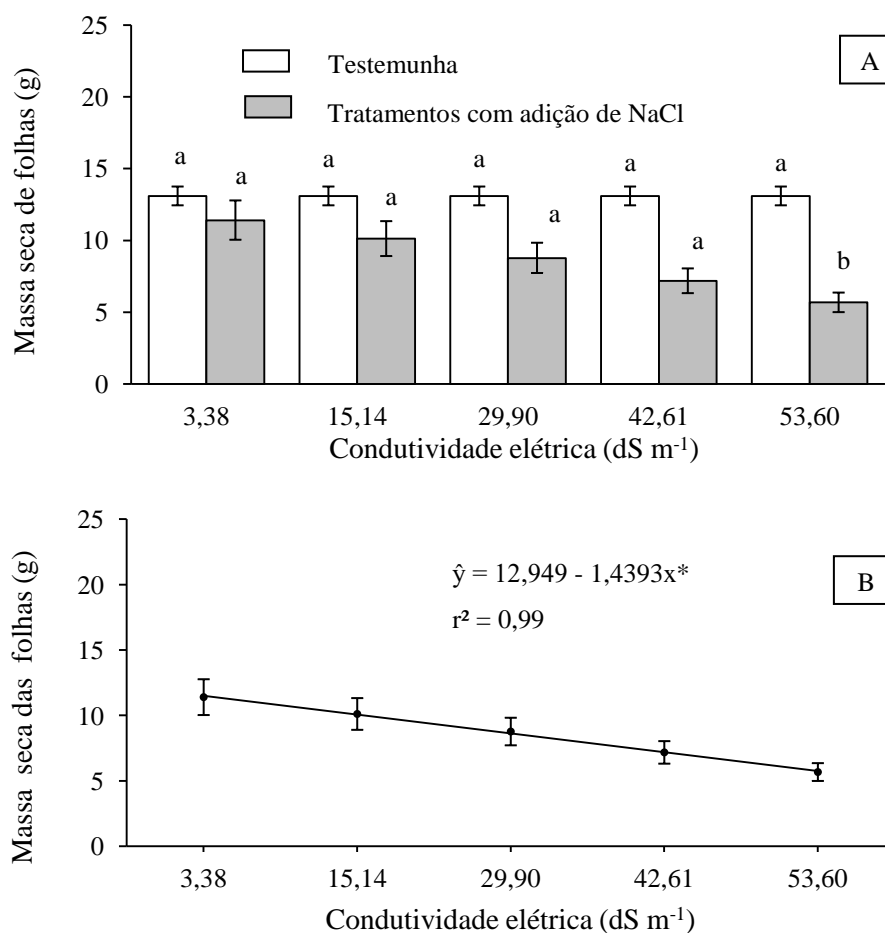


Figura 8. Massa seca de folhas (g) de plantas jovens de *Khaya senegalensis* submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] e entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo ($p < 0,05$).

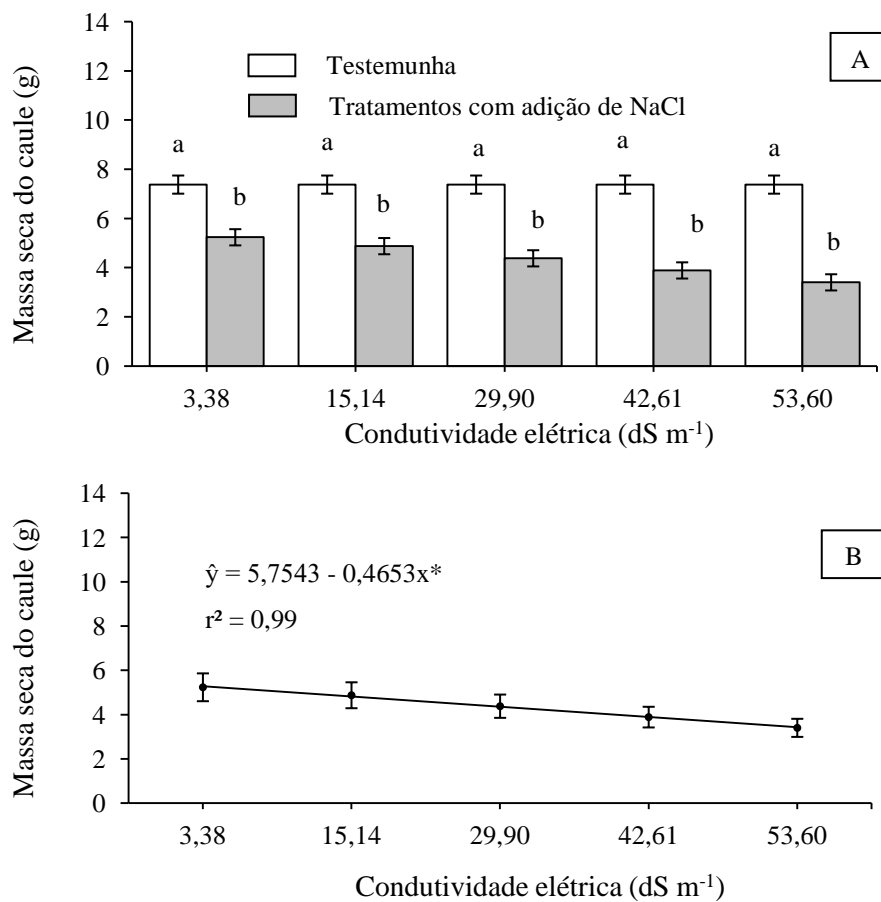


Figura 9. Massa seca do caule (g) de plantas jovens de *Khaya senegalensis* submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] e entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo ($p < 0,05$).

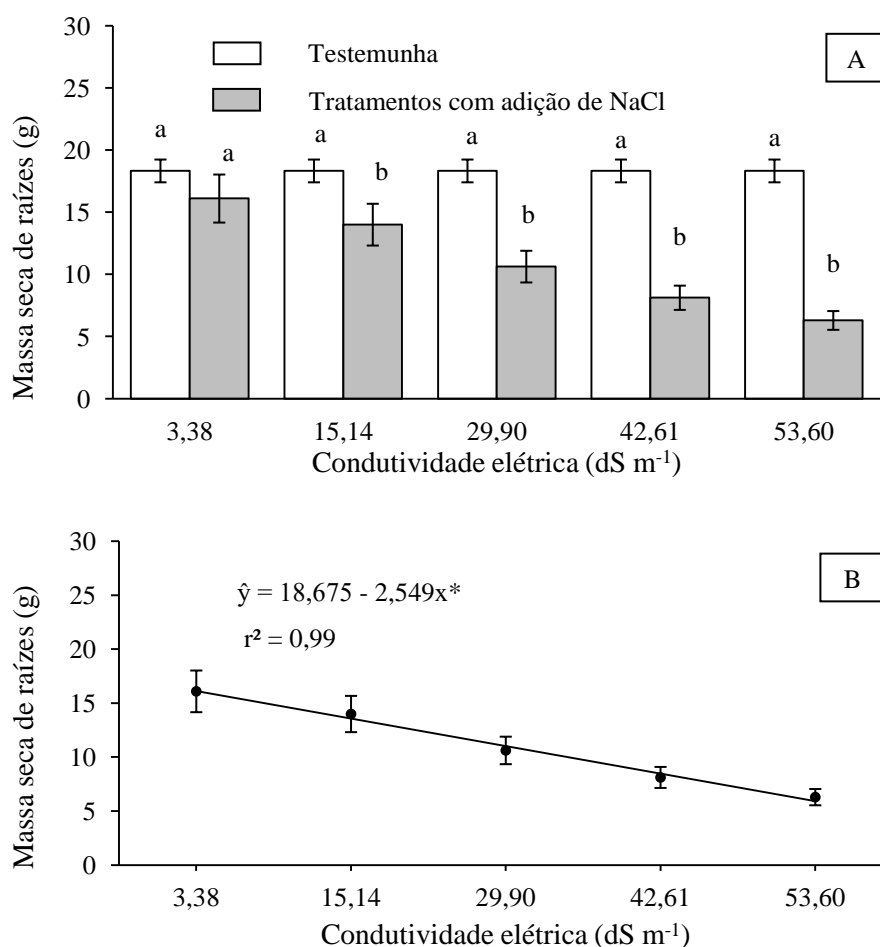


Figura 10. Massa seca de raízes (g) de plantas jovens de *Khaya senegalensis* submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] e entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo ($p < 0,05$).

A massa seca das folhas, nos tratamentos com adição de concentrações crescentes de NaCl na solução nutritiva, foi até 50,22% menor que nas plantas controle. Esse decréscimo pode estar relacionado, em grande

parte, ao efeito da salinidade sobre o número de folhas, que foi até 43,35% menor (Figura 4B). Contudo, além disso, a redução na massa seca das folhas também pode ser interpretada como uma consequência dos efeitos da salinidade sobre a fotossíntese e a produção primária de assimilados, que constituem a maior parte da massa seca (DUARTE e outros, 2013).

Acosta e outros (2015), em estudos com plantas de *Eugenia myrtifolia* submetidas à salinidade, verificaram decréscimo de 40% na massa seca de folhas e caule, em relação às plantas controle. Em plantas de mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*), o tratamento com salinidade a 8,37 dS m⁻¹ causou redução de 58% na massa seca da parte aérea, em comparação com as plantas controle.

A salinidade afeta o processo fotossintético devido a limitações estomáticas e não estomáticas, incluindo até mesmo o fechamento estomático, além de redução do conteúdo de clorofilas, inibição das enzimas do ciclo Calvin-Benson e degradação de proteínas associadas à membrana, no aparato fotossintético (MITTAL e outros, 2012; SHU e outros, 2013).

Em relação ao caule, os efeitos da salinidade sobre a massa seca foram menos intensos que nas folhas e raízes. É possível que isso se justifique por se tratar de uma parte da planta que é mais envolvida com o transporte de água e solutos do que com atividades metabólicas. Mesmo assim, a massa seca de caule até 34,99% menor, encontrada nos tratamentos com concentrações crescentes de NaCl, pode ser também interpretada como consequência da limitada produção primária de assimilados, devido ao aumento da salinidade. Esse efeito pode, ainda, ser uma das causas para que o diâmetro de colo tenha sido até 30,22% menor que nas plantas controle (Figura 2B).

As raízes foram a parte da planta em que se verificou a mais expressiva resposta à salinidade. Comparando-se com as plantas controle, a massa seca das raízes foi até 61,93% menor, nos tratamentos com adição de NaCl. A redução da massa seca de raízes pode ser resultante de uma combinação de efeitos osmóticos e, especificamente, dos íons Na⁺ e Cl⁻

(TAFFOUO e outros, 2010). Lesões na raiz e a morte de células por toxicidade iônica podem ter afetado a absorção de água pelas plantas. A redução da massa seca nos tecidos vegetais reflete o aumento do custo de energia metabólica e a redução do ganho de carbono, que estão associados à adaptação ao sal (NETONDO e outros, 2004).

4.2.3 Índice SPAD e teores de clorofilas *a*, *b* e total

As concentrações de NaCl afetaram o índice SPAD e os teores de clorofilas *a*, *b* e total (Tabela 2). O índice SPAD tornou-se diferente das plantas controle a partir da salinidade 15,14 dS m⁻¹ (Figura 11A); o teor de clorofilas *a*, a partir de 29,9 dS m⁻¹ (Figura 12A); clorofilas *b*, em todos os níveis de salinidade (Figura 13A); e clorofila total, a partir de 15,14 dS m⁻¹ (Figura 14A). Comparando-se somente as plantas submetidas à adição de NaCl à solução nutritiva, verificou-se que os níveis crescentes de salinidade causaram efeito linear decrescente sobre essas quatro características (Figuras 11B, 12B, 13B e 14B).

Neste estudo, os menores valores encontrados em todos os indicadores do conteúdo de clorofilas, nos tratamentos com adição de NaCl, podem ser atribuídos à formação generalizada de espécies reativas de oxigênio (EROs), que causam danos aos componentes celulares (VAN BREUSEGEM e DAT, 2006). As EROs causam a degradação de clorofilas e a peroxidação de lipídios de membrana, o que reduz a sua fluidez e seletividade (VERMA e MISHRA, 2005).

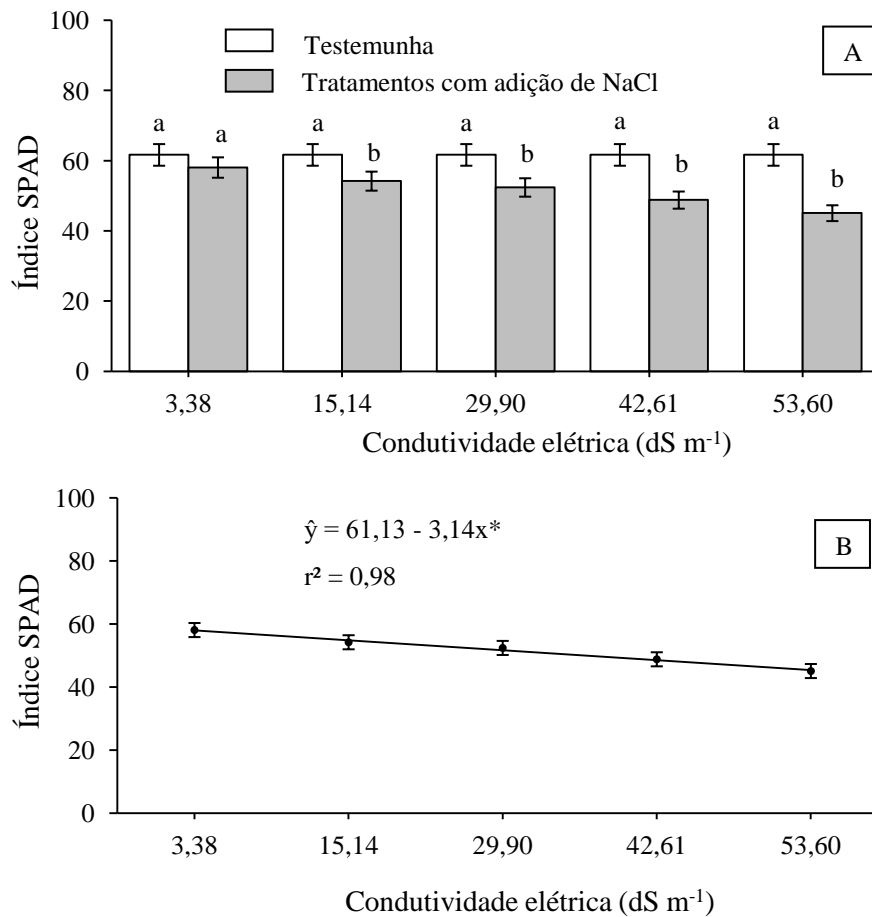


Figura 11. Índice SPAD em folhas de plantas jovens de *Khaya senegalensis* submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] e entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo ($p < 0,05$).

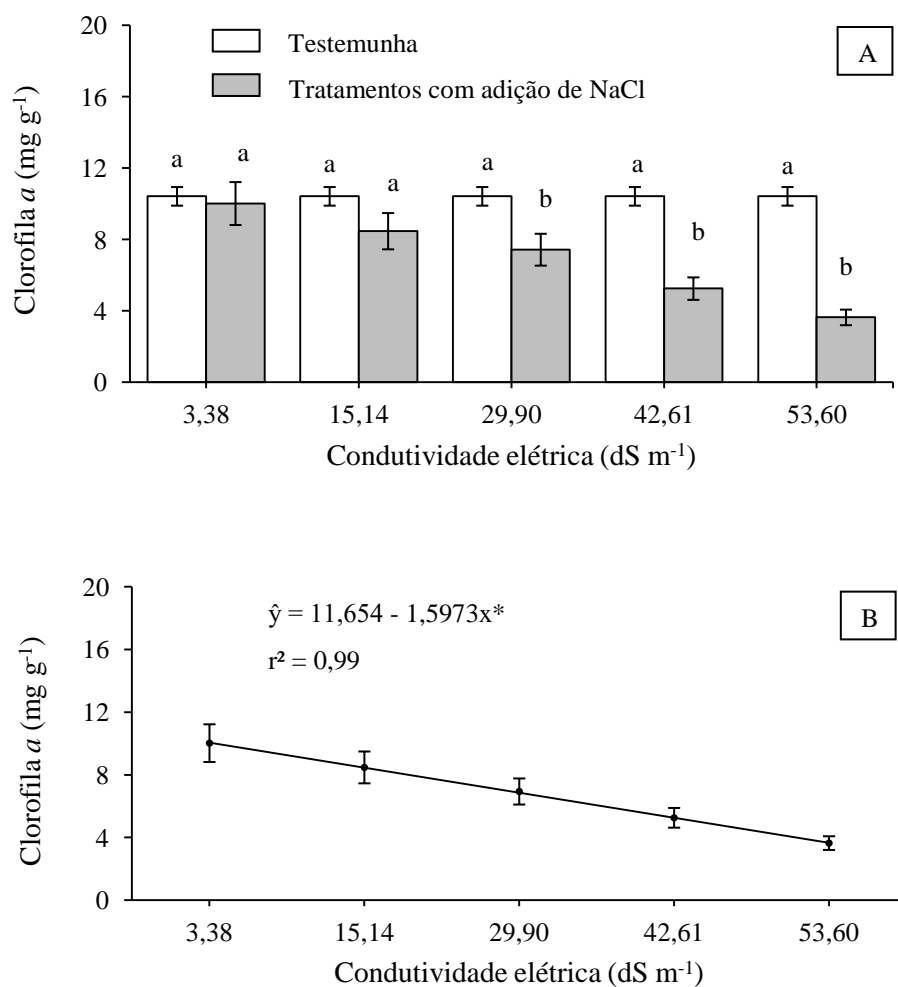


Figura 12. Teores de clorofila *a* em folhas de plantas jovens de *Khaya senegalensis* submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] e entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo ($p < 0,05$).

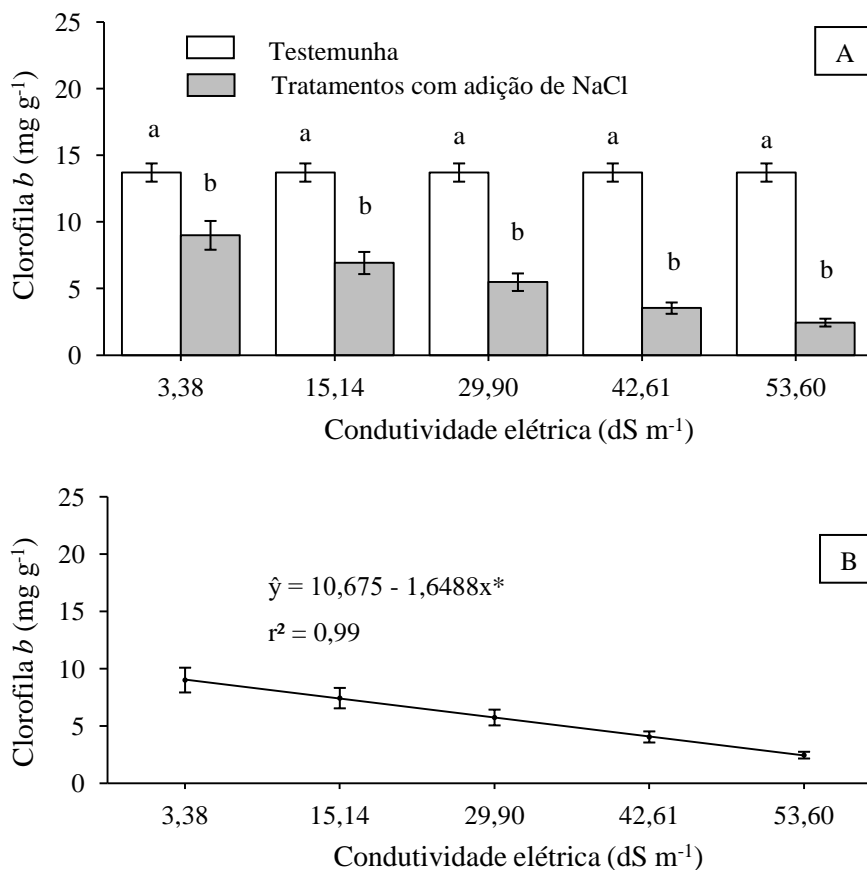


Figura 13. Teores de clorofila *b* em folhas de plantas jovens de *Khaya senegalensis* submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] e entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo ($p < 0,05$).

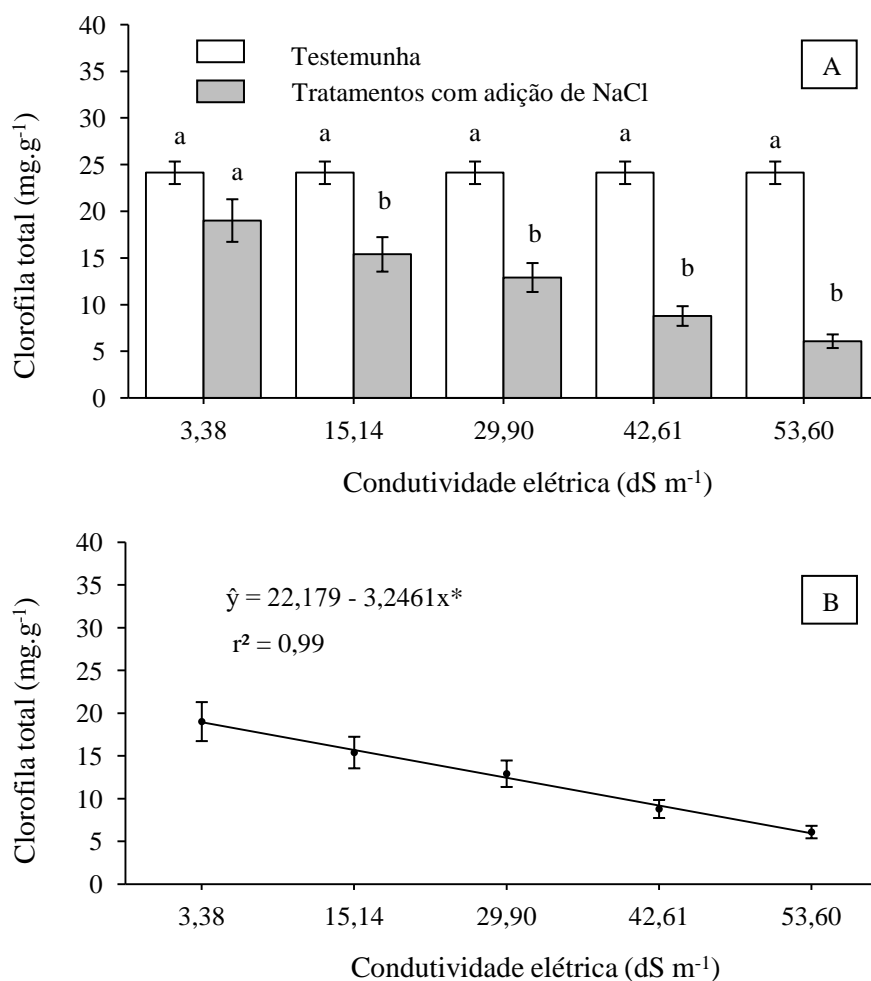


Figura 14. Teores de clorofila total em folhas de plantas jovens de *Khaya senegalensis* submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] e entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo ($p < 0,05$).

Os dados referentes aos teores de clorofila total e aos índices SPAD revelaram a existência de uma correlação positiva entre essas duas variáveis (Figura 15). Isso indica que o emprego do clorofilômetro portátil SPAD-512 pode ser uma alternativa confiável para se estimarem os teores de clorofila total em folhas de plantas jovens de *Khaya senegalensis*, em substituição ao método de extração e quantificação dos teores desses pigmentos.

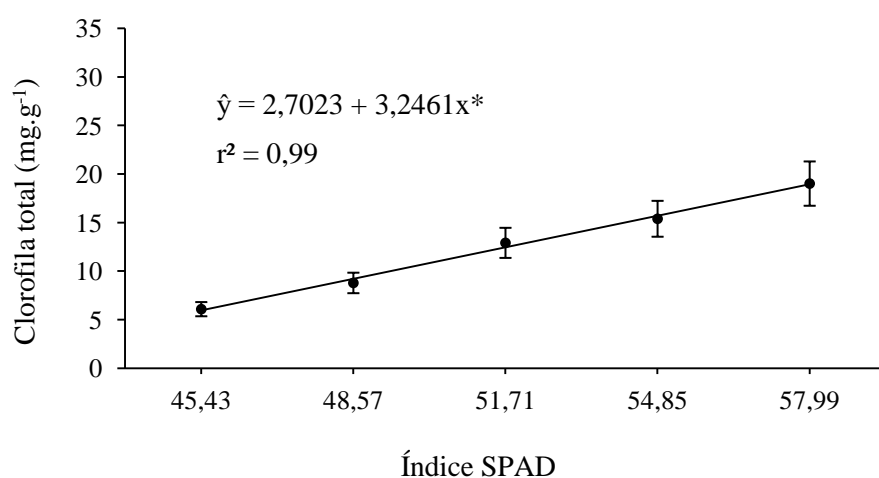


Figura 15. Relação entre os teores de clorofila total e índices SPAD em folhas de plantas jovens de *Khaya senegalensis* submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT. * Significativo ($p < 0,05$).

Correlações lineares positivas entre os teores de clorofila e os índices SPAD têm sido observados em estudos com outras espécies, como *Aniba rosaeodora* e *Swietenia macrophylla*, que são árvores tropicais da Amazônia (SALLA e outros, 2007), e no abacaxizeiro (LEONARDO e outros, 2013). Em termos práticos, a estimativa dos teores de clorofila total por meio de um método que produz resultados instantâneos e de baixo custo, como o índice SPAD, representa uma vantagem em relação ao método de extração e quantificação de clorofilas, que, além de ser um procedimento

destrutivo do material vegetal, demanda maior custo e tempo para a realização das análises e obtenção dos resultados.

4.2.4 Teores de açúcares redutores

As concentrações de NaCl afetaram os teores de açúcares redutores nas folhas (Tabela 2). As diferenças em relação às plantas controle ocorreram em todos os níveis de salinidade (Figura 16A). Comparando-se somente as plantas submetidas à adição de NaCl à solução nutritiva, constatou-se que os níveis crescentes de salinidade causaram efeito linear crescente sobre os teores de açúcares redutores (Figura 16B).

A ativação de mecanismos mitigadores do estresse osmótico induz à biossíntese e ao acúmulo de solutos osmoticamente ativos, para reduzir o potencial osmótico da célula e preservar o teor relativo de água, mantendo estáveis as estruturas celulares (BLUMWALD, 2003). Essas reações metabólicas são comuns a todas as formas de estresse osmótico, isto é, não são especificamente induzidas por excesso de sal (MUNSS, 2002). Solutos osmóticos podem reduzir a perda de água e favorecer o turgor celular e a expansão da célula, sob estresse salino contínuo (APSE e BLUMWALD, 2002).

Vários metabólitos osmóticos podem ser sintetizados sob estresse salino, e os açúcares redutores são alguns deles (LIU e STADEN, 2001; GIL e outros, 2011). Neste estudo, o aumento dos teores de açúcares redutores, em decorrência do aumento da salinidade, pode ser atribuído a uma provável intensificação da hidrólise de amido, o que produz glicoses que se acumulam nas folhas, onde cumprem suas funções no ajuste osmótico (YANG e GUO, 2017).

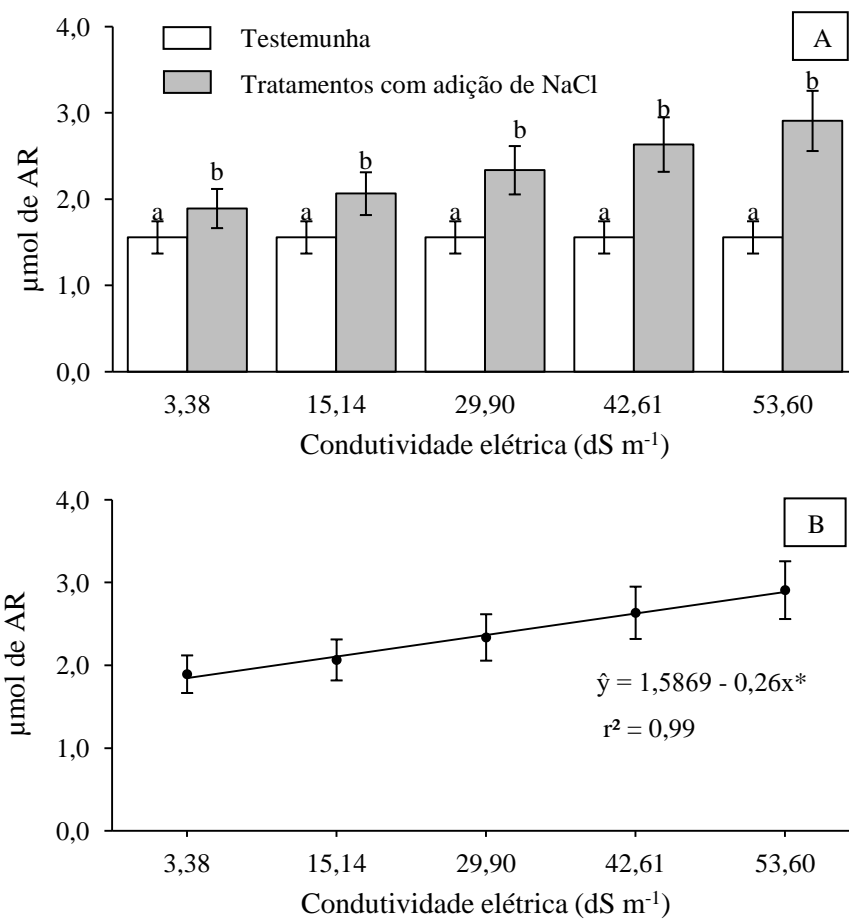


Figura 16. Teores de açúcares redutores em folhas de plantas jovens de *Khaya senegalensis* submetidas a concentrações variáveis de NaCl, aos 120 DAT: avaliação comparativa dos efeitos entre as plantas controle e os tratamentos com adição de NaCl [A] e entre os níveis crescentes de salinidade [B]. As barras, em cada coluna, representam a variação do erro padrão da média. Em cada nível de CE, letras iguais nas barras indicam que os dados não diferem entre si, pelo teste de Dunnett. * Significativo ($p < 0,05$).

5 CONCLUSÕES

- A salinidade afeta a maioria das características morfológicas, fisiológicas e bioquímicas avaliadas em plantas jovens de *Khaya senegalensis* e, assim, causa prejuízos ao seu desenvolvimento.
- O nível de salinidade considerado crítico para as plantas é variável, a depender da característica avaliada.
- As raízes parecem ser a parte da planta mais sensível ao estresse salino, uma vez que a sua massa seca é afetada negativamente, mesmo sob baixa salinidade.
- Os efeitos negativos da salinidade ocorrem tanto pela restrição à absorção de água como pela toxidez gerada por acúmulo de sal nos tecidos.
- Para amenizar as dificuldades na absorção de água, as folhas promovem ajuste osmótico, por meio do aumento da concentração de açúcares redutores, e, com isso, preserva-se parcialmente o teor relativo de água.
- A toxidez causada pelo acúmulo de NaCl reduz o teor de clorofilas e produz manchas cloróticas nas folhas adultas, aos 60 dias após o transplante, a partir de condutividade elétrica 29,9 dS m⁻¹, e evolui para necrose, em função do aumento da salinidade.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-MAGEED, T. A.; SEMIDA, W. M.; RADY, M. M. Moringa leaf extract as biostimulant improves water use efficiency, physio-biochemical attributes of squash plants under deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 193, p. 46-54, 2017.

ACOSTA, J. R.; DÍAZ-VIVANCOS, P.; ÁLVAREZ, S.; FERNÁNDEZ-GARCÍA, N.; SÁNCHEZ-BLANCO, M. J.; HERNÁNDEZ, J. A. Physiological and biochemical mechanisms of the ornamental *Eugenia myrtifolia* L. plants for coping with NaCl stress and recovery. **Planta**, Murcia, Spain, v. 242, n. 4, p. 829-846. 2015.

AHMAD, M.; ZAHIR, Z. A.; ASGHAR, H. N.; ARSHAD, M. The combined application of rhizobial strains and plant growth promoting rhizobacteria improves growth and productivity of mung bean (*Vigna radiata* L.) under salt-stressed conditions. **Annals of Microbiology**, v. 62, n. 3, p. 1321-1330, 2012.

AHMAD, M.; ZAHIR, Z. A.; NAZLI, F.; AKRAM, F.; ARSHAD, M.; KHALID, M. Effectiveness of halo-tolerant, auxin producing *Pseudomonas* and *Rhizobium* strains to improve osmotic stress tolerance in mung bean (*Vigna radiata* L.). **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 44, n. 4, p. 1341-1348, 2013.

AHMAD, P.; SHARMA, S. Salt stress and phyto-biochemical responses of plants – a review. **Plant, Soil and Environment**, v. 54, n. 3, p. 89-99, 2008.

ALBUQUERQUE, M. P. F.; MORAES, F. K. C.; SANTOS, R. I. N.; CASTRO, G. L. S.; RAMOS, E. M. L. S.; PINHEIRO, H. A. Ecofisiologia de plantas jovens de mogno-africano submetidas a deficit hídrico e reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 1, p. 9-16, 2013.

ALI, H.; KHAN, E.; SAJAD, M. A. Phytoremediation of heavy metals- concepts and applications. **Chemosphere**, v. 91, n. 7, p. 869-881, 2013.

ÁLVAREZ, S.; MARSH, E. L.; SCHROEDER, S. G.; SCHACHTMAN, D. P. Metabolomic and proteomic changes in the xylem sap of maize under drought. **Plant, Cell and Environment**, v. 31, n. 3, p. 325-340, 2008.

ANDRIOLO, J. L.; LUZ, G. L.; WITTER, M. H.; GODOI, R. S.; BARROS, G. T.; BORTOLOTO, O. C. Growth and yield of lettuce plants under salinity. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 4, p. 931-934, 2005.

APSE, M. P.; BLUMWALD, E. Na⁺ transport in plants. **FEBS Letters**, v. 581, n. 12, p. 2247-2254, 2007.

APSE, M. P.; BLUMWALD, E. Engineering salt tolerance. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 13, p. 146-150, 2002.

ARAGÃO, R. M.; SILVA, J. S.; LIMA, C. S.; SILVEIRA, J. A. G. Salinidade modula negativamente a absorção e assimilação de NO₃⁻ em plantas de feijão de corda. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 382-389. 2011.

ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 24, n. 1, p. 1-15, 1949.

BACHA, H.; RÓDENAS, R.; LÓPEZ-GÓMEZ, E.; GARCÍA-LEGAZ, M. F.; NIEVES-CORDONES, M.; RIVERO, R. M. High Ca²⁺ reverts the repression of high-affinity K⁺ uptake produced by Na⁺ in *Solanum lycopersicum* L. (var. microtom) plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 180, p. 72-79, 2015.

BARON, D.; FERREIRA, G.; BOARO, C. S. F.; RODRIGUES, J. D.; AMARO, A. C. E.; MISCHAN, M. M. The effect of the ionic strength of nutrient solution on gas exchange, ionic concentration and leaf biomass of *Annona emarginata* (Schltdl.) H. Rainer variety 'Terra-Fria' seedlings. **Journal of Plant Nutrition**, v. 38, n. 12, p. 1944-1960, 2015.

BEN, N.; BEN HAMED, K.; DEBEZA, A.; GRIGNONB, C.; ABDELLY, C. Physiological and antioxidant responses of the perennial halophyte *Crithmum maritimum* to salinity. **Plant Science**, v. 168, n. 4, p. 889-899, 2005.

BLUMWALD, E. Engineering salt tolerance in plants. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 13, p. 261-275, 2003.

BLUMWALD, E.; AHARON, G. S.; APSE, M. P. Sodium transport in plant cells. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1465, n. 1-2, p. 140-151, 2000.

BOSE, J.; RODRIGO-MORENO, A.; SHABALA, S. ROS homeostasis in halophytes in the context of salinity stress tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 5, p. 1241-1257, 2014.

CEPEA – CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **Exportações de madeira, celulose e papel no mês de setembro**. São Paulo, USP, 2016. 30 p.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 551-560, 2009.

CHEN, L. Q.; HOU, B. H.; LALONDE, S. Sugar transporters for intercellular exchange and nutrition of pathogens. **Nature**, v. 468, n. 7323, p. 527-532, 2010.

CHEN, T. H. H.; MURATA, N. Glycinebetaine protects plants against abiotic stress: mechanisms and biotechnological applications. **Plant, Cell and Environment**, v. 34, n. 1, p. 1-20, 2011.

CIRILLO, C.; ROUPHAEL, Y.; CAPUTO, R.; RAIMONDI, G.; SIFOLA, M. I.; DE PASCALE, S. Effects of high salinity and the exogenous application of an osmolyte on growth, photosynthesis, and mineral composition in two ornamental shrubs. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 91, n. 1, p. 14-22, 2016.

COLE, J. C.; SMITH, M. W.; PENN, C. J.; CHEARY, B. S.; CONAGHAN, K. J. Nitrogen, phosphorus, calcium, and magnesium applied individually or as a slow release or controlled release fertilizer increase growth and yield and affect macronutrient and micronutrient concentration and content of field-grown tomato plants. **Scientia Horticulturae**, v. 211, p. 420-430, 2016.

COLLA, G.; ROUPHAEL, Y.; REA, E.; CARDARELLI, M. Grafting cucumber plants enhance tolerance to sodium chloride and sulfate salinization. **Scientia Horticulturae**, v. 135, p. 177-185, 2012.

COLLA, G.; ROUPAHEL, Y.; CARDARELLI, M. Effect of salinity on yield, fruit quality, leaf gas exchange, and mineral composition of grafted watermelon plants. **HortScience**, v. 41, n. 3, p. 622-627, 2006.

COLMER, T. D.; MUÑIZ, R.; FLOWERS, T. J. Improving salt tolerance of wheat and barley: future prospects. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 45, n. 11, p. 1425-1443, 2006.

CRAMER, G. R.; EPSTEIN, E.; LAUCHLI, A. Na-Ca interactions in barley seedlings: relationship to ion transport and growth. **Plant, Cell and Environment**, v. 12, n. 5, p. 551-558, 1989.

CUIN, T. A.; **MILLER**, A. J.; LAURIE, S. A.; LEIGH, R. A. Potassium activities in cell compartments of salt-grown barley leaves. **Journal of Experimental Botany**, v. 54, n. 383, p. 657-661, 2003.

DAKER, A. **A água na agricultura: Irrigação e drenagem**. 7 ed. Rio de Janeiro, RJ: Freitas Bastos, 1988. 543 p.

DAS, A. B.; PARIDA, A. K. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 60, n. 3, p. 324-349, 2005.

DAVENPORT, R.; JAMES, R. A.; ZAKRISSON-PLOGANDER, A.; TESTER, M.; MUNNS, R. Control of sodium transport in durum wheat. **Plant Physiology**, v. 137, n. 3, p. 807-818, 2005.

DEL AMOR, F. M.; PIÑERO, M. C.; OTÁLORA-ALCÓN, G.; PÉREZ-JIMENEZ, M.; MARÍN-MIÑANO, M. Effect of different nitrogen forms and CO₂ enrichment on the nutrient uptake and water relations of pepper plants (*Capsicum annuum* L.). **Procedia Environmental Sciences**, v. 29, p. 203-204, 2015.

DEMIDCHIK, V. M.; TESTER, M. Sodium fluxes through nonselective cation channels in the plasma membrane of protoplasts from Arabidopsis roots. **Plant Physiology**, v. 128, n. 2, p. 379-387, 2002.

DHANAPACKIAM, S.; ILYAS, M. H. M. Effect of salinity on chlorophyll and carbohydrate contents of *Sesbania grandiflora* seedlings. **Indian Journal of Science and Technology**, v. 3, n. 1, p. 64-66, 2010.

DIAO, M.; MA, L.; WANG, J.; CUI, J.; FU, A.; LIU, H. Y. Selenium promotes the growth and photosynthesis of tomato seedlings under salt stress by enhancing chloroplast antioxidant defense system. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 33, n. 3, p. 671-682, 2014.

DIAS, N. da S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de. (Ed.) **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, INCTSal, 2010. p. 129-141.

DUARTE, B.; SANTOS, D.; MARQUES, J. C. Ecophysiological adaptations of two halophytes to salt stress: photosynthesis, PS II photochemistry and anti-oxidant feedback – implications for resilience in climate change. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 67, p. 178-188, 2013.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FAN, R.; YANG, X.; XIE, H.; REEB, M. A. Determination of nutrients in hydroponic solutions using mid-infrared spectroscopy. **Scientia Horticulturae**, v. 144, p. 48-54, 2012.

FERNANDEZ-GARCIA A.; ZARZA, E.; VALENZUELA, L.; PÉREZ, M. Parabolic-trough solar collectors and their applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 7, p. 1695-1721, 2010.

FERNÁNDEZ-TORQUEMADA, Y.; SÁNCHEZ-LIZASO, J. L.; GÓNZALEZ, J. M. Preliminary results of the monitoring of the brine discharge produced by the SWRO desalination plant of Alicante (SE Spain). **Desalination**, v. 182, n. 1-3, p. 395-402, 2005.

FERREIRA-SILVA, S. L.; VOIGT, E. L.; VIÉGAS, R. A.; PAIVA, J. R. de.; SILVEIRA, J. A. G. Influência de porta-enxertos na resistência de mudas de cajueiro ao estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 4, p. 361-367, 2009.

FLOWERS, T. J. Improving crop salt tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 396, p. 307-319, 2004.

FOLEY, J. A.; RAMANKUTTY, N.; SHEEHAN, J.; SIEBERT, S. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 337, 2011.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Redox sensing and signalling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria. **Physiologia Plantarum**, v. 119, n. 3, p. 355-364, 2003.

FRANÇA, T. S. F. A.; FRANÇA, F. J. N.; ARANGO, R. A.; WOODWARD, B. M.; ARANTES, M. D. C. Natural resistance of plantation grown African mahogany (*Khaya ivorensis* and *Khaya senegalensis*) from Brazil to wood-rot fungi and subterranean termites. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 107, p. 88-91, 2016.

FRICKE, W.; PETERS, W. S. The biophysics of leaf growth in salt-stressed barley. A study at the cell level. **Plant Physiology**, v. 129, n. 1, p. 374-388, 2002.

GARTHWAITE, A. J.; BOTHMER, R.; COLMER, T. D. Salt tolerance in wild *Hordeum* species is associated with restricted entry of Na⁺ and Cl⁻ into the shoots. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, n. 419, p. 2365-2378, 2005.

GENGMAO, Z.; SHIHUI, L.; XING, S.; YIZHOU, W.; ZIPAN, C. The role of silicon in physiology of the medicinal plant (*Lonicera japonica* L.) under salt stress. **Scientific Reports**, v. 5, n. 12696, p. 1-11, 2015.

GHEYI, H. R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: OLIVEIRA, T.; ASSIS, J. R. R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. (Eds.). **Agricultura, sustentabilidade e o semiárido**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 329-345.

GIL, R.; BAUTISTA, I.; BOSCAIU, M.; LIDÓN, A.; WANKHADE, S.; LLINARES, J.; VICENTE, O. Responses of five Mediterranean halophytes to seasonal changes in environmental conditions. **AoB Plants**, v. 6, p. 1-18, 2014.

GIL, R.; LULL, C.; BOSCAIU, M.; BAUTISTA, I.; VICENTE, O. Soluble carbohydrates as osmolytes in several halophytes from a mediterranean salt marsh. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 39, p. 9-17, 2011.

GONG, H. J.; RANDALL, D. P.; FLOWERS, T. J. Silicon deposition in the root reduces sodium uptake in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings by reducing bypass flow. **Plant, Cell & Environment**, v. 29, n. 10, p. 1970-1979, 2006.

HARDIKAR, S. A.; PANDEY, A. N. Growth, water status and nutrient accumulation of seedlings of *Acacia senegal* (L.) Willd. in response to soil salinity. **Anales de Biologia**, v. 30, p. 17-28, 2008.

HERNÁNDEZ, J. A.; FERRER, M. A.; JIMÉNEZ, A.; ROS-BARCELÓ, A.; SEVILLA, F. Antioxidant systems and O₂⁻/H₂O₂ production in the apoplast of pea leaves. Its relation with salt-induced necrotic lesions in minor veins. **Plant Physiology**, v. 127, n. 3, p. 817-831, 2001.

HOAGLAND, D. R.; ARNON D. I. **The waterculture method for growing plants without soil**. Berkeley, California: College of Agriculture, University of California, 1950. 34 p.

HU, Y. B. Z.; TUCHER, S.; SCHMIDHALTER, U. Short-term effects of drought and salinity on mineral nutrient distribution along growing leaves of maize seedlings. **Environmental and Experimental Botany**, v. 60, n. 2, p. 268-275, 2007.

IBÁ. **Relatório da Indústria Brasileira de Árvores**. 2016. 72 p.

IMTIAZ, M.; RIZWAN, M. S.; MUSHTAQ, M. A.; YOUSAF, B.; ASHRAF, M.; ALI, M. Interactive effects of vanadium and phosphorus on their uptake, growth and heat shock proteins in chickpea genotypes under hydroponic conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 134, p. 72-81, 2017.

JAMIL, A.; RIAZ, S.; ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Gene expression profiling of plants under salt stress. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 30, n. 5, p. 435-458, 2011.

JAMPEETONG, A.; BRIX, H. Effects of NaCl salinity on growth, morphology, photosynthesis and proline accumulation of *Salvinia natans*. **Aquatic Botany**, v. 91, n. 3, p. 181-186, 2009.

JIANG, C.; ZHENG, Q.; LIU, Z.; XU, W.; LIU, L.; ZHAO, G.; LONG, X. Overexpression of *Arabidopsis thaliana* Na⁺/H⁺ antiporter gene enhanced salt resistance in transgenic poplar (*Populus × euramericana* ‘Neva’). **Trees**, v. 26, n. 3, p. 685-694, 2012.

JUÁREZ, H. M. J.; BACA, C. G. A.; ACEVES, N. L. A.; SÁNCHEZ, G. P.; TIRADO, T. J. L.; SAHAGÚN, C. J.; COLINAS, D. L. M. T. Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal. **Interciencia**, v. 31, n. 4, p. 246-253, 2006.

KANG, J. G.; VAN IERSEL, M. W. Nutrient solution concentration affects shoot: root ratio, leaf area ratio, and growth of subirrigated salvia (*Salvia splendens*). **HortScience**, v. 39, n. 1, p. 49-54, 2004.

KARLEN, D. L.; TOMER, M. D.; NEPPEL, J.; CAMBARDELLA, A. A preliminary watershed scale soil quality assessment in north central Iowa, USA. **Soil and Tillage Research**, v. 99, n. 2, p. 291-299, 2008.

KEREPESI, I.; BÁNYAI-STEFANOVITS, E.; GALIBA, G. Cold acclimation and abscisic acid induced alterations in carbohydrate content in calli of wheat genotypes differing in frost tolerance. **Journal of Plant Physiology**, v. 161, n. 1, p. 131-133, 2004.

KHAN, H. A.; SIDDIQUE, K. H. M.; MUNIR, R.; COLMER, T. D. Salt sensitivity in chickpea: growth, photosynthesis, seed yield components and tissue ion regulation in contrasting genotypes. **Journal of Plant Physiology**, v. 182, p. 1-12, 2015.

KLOOSTER, W. S.; CREGG, B. M.; FERNANDEZ, R. T.; NZOKOU, P. Growth and physiology of deciduous shade trees in response to controlled-release fertilizer. **Scientia Horticulturae**, v. 135, p. 71-79, 2012.

KOYRO, H-W.; AHMAD, P.; GEISSLER, N. Abiotic stress responses in plants: an overview. In: AHMAD, P.; PRASAD, M. N. V. **Environmental adaptations and stress tolerance of plants in the era of climate change**. New York, Springer, 2012. p. 1-28.

- KOZLOWSKI, T. T. Responses of woody plants to flooding and salinity. **Tree Physiology Monograph**, n. 1, p. 1-29, 1997.
- LÄUCHLI, A.; GRATTAN, S. R. Plant abiotic stress: salt. In: VAN ALFEN, N. K. (Ed.). **Encyclopedia of agriculture and food systems**. 2 ed. London, Elsevier / Academic Press, 2014. p. 313-329.
- LÄUCHLI, A.; GRATTAN, S. R. Plant growth and development under salinity stress. In: JENKS, M. A.; HASEGAWA, P. M.; JAIN, S. M. (Eds.). **Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops**. Dordrecht, Netherland, Springer, 2007. p. 1-32.
- LEMES, E. S. **Aplicação de cinza da casca de arroz, via solo, como fonte de silício em arroz irrigado sob estresse salino**. 2013. 66 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.
- LEONARDO, F. A. P.; ESFRAIN, W. P.; SILVA, S. M.; J. P. Teor de clorofila e índice spad no abacaxizeiro cv. Vitória em função da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 2, p. 377-383, 2013.
- LIANG, W.; MA, X.; WAN, P.; LIU, L. Plant salt-tolerance mechanism: A review. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, China, v. 13, n. 8, p. 1-6, 2017.
- LISAR, S. Y. S.; MOTAFAKKERAZAD, R.; HOSSAIN, M. M.; RAHMAN, I. M. M. Water stress in plants: causes, effects and responses. In: RAHMAN, I. M. M.; HASEGAWA, H. (Eds.) **Water stress**. Rijeka, Croatia, InTech, 2012. p. 1-14.
- LIU, T.; STADEN, J. V. Partitioning of carbohydrates in salt-sensitive and salt-tolerant soybean callus cultures under salinity stress and its subsequent relief. **Plant Growth Regulation**, v. 33, p. 13-17, 2001.
- LOPES, T. C.; KLAR, A. E. Influência de diferentes níveis de salinidade sobre aspectos morfofisiológicos de mudas de *Eucalytus urograndis*. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 68-75, 2009.
- MAATHUIS, F. J. Physiological functions of mineral macronutrients. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 12, n. 3, p. 250-258, 2009.
- MARÍN-GUIRAO, L.; SANDOVAL-GIL, J. M.; RUÍZ, J. M.; SÁNCHEZ-LIZASO, J. L. Photosynthesis, growth and survival of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* in response to simulated salinity increases in a

laboratory mesocosm system. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 92, n. 2, p. 286-296, 2011.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. London: Academic Press, 2012. 643 p.

MASER, P.; ECKELMAN, B.; VAIDYANATHAN, R. Altered shoot/root Na⁺ distribution and bifurcating salt sensitivity in *Arabidopsis* by genetic disruption of the Na⁺ transporter AtHKT1. **FEBS Letters**, v. 531, n. 2, p. 157-161, 2002.

MEDEIROS, J. F. **Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo gat, nos estados do RN, PB e CE**. 1992. 137 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB.

MENDES, B. S. S.; WILLADINO, L.; CUNHA, P. C.; OLIVEIRA FILHO, R. A.; CAMARA, T. R. Mecanismos fisiológicos e bioquímicos do abacaxi ornamental sob estresse salino. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 71-77, 2011.

MENDONÇA, A. V. R.; CARNEIRO, J. G. A.; BARROSO, D. G.; SANTIAGO, A. R.; RODRIGUES, L. A.; FREITAS, T. A. S. Características biométricas de mudas de *Eucalyptus* sp sob estresse salino. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 365-372, 2007.

MIAN, A.; OOMEN, R. J. F. J.; ISAYENKOW, S.; SENTENAC, H.; MAATHUIS, F. J. M.; VERY, A. A. Over expression of a Na⁺ and K⁺-permeable HKT transporter in barley improves salt tolerance. **Plant Journal**, v. 68, n. 5, p. 468-479. 2011.

MILLER, G.; SUZUKI, N.; RIZHSKY, L.; HEGIE, A.; KOUSSEVITZKY, S.; MITTLER, R. Double mutants deficient in cytosolic and thylakoid ascorbate peroxidase reveal a complex mode of interaction between reactive oxygen species, plant development, and response to abiotic stresses. **Plant Physiology**, v. 144, n. 4, p. 1777-1785, 2007.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Biochemistry**, Washington, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.

MITTAL, S.; KUMARI, N.; SHARMA, V. Differential response of salt stress on *Brassica juncea*: photosynthetic performance, pigment, proline, D1 and antioxidant enzymes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 54, p. 17-26, 2012.

MOLLER, I. S.; GILLIHAM, M.; JHA, D.; MAYO, G. M.; ROY, S. J. Shoot Na⁺ exclusion and increased salinity tolerance engineered by cell type-specific alteration of Na⁺ transport in Arabidopsis. **The Plant Cell**, v. 21, n. 7, p. 2163-2178, 2009.

MOLLER, I. M.; JENSEN, P. E.; HANSSON, A. Oxidative modifications to cellular components in plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 58, p. 459-481, 2007.

MOLLER, I. S.; TESTER, M. Salinity tolerance of Arabidopsis: a good model for cereals? **Trends in Plant Science**, v. 12, n. 12, p. 534-540, 2007.

MORENO-JIMÉNEZ, E.; FERNÁNDEZ, J. M.; PUSCHENREITER, M.; WILLIAMS, P. N.; PLAZA, C. Availability and transfer to grain of As, Cd, Cu, Ni, Pb and Zn in a barley agri-system: Impact of biochar, organic and mineral fertilizers. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 219, p. 171-178, 2016.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell & Environment**, v. 25, n. 2, p. 239-250, 2002.

MUNNS, R.; JAMES, R. A.; LAUCHLI, A. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 5, p. 1025-1043, 2006.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 651-681, 2008.

NETONDO, G. W.; ONYANGO, J. C.; BECK, E. Sorghum and salinity. **Crop Science**, v. 44, n. 3, p. 797-805, 2004.

NIKIEMA, A.; PASTERNAK, D. *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. In: LOUPPE, D., OTENG-AMOAKO, A. A.; BRINK, M. (Eds.). **Plant resources of tropical Africa (PROTA)**. Wageningen. Netherlands, 2008, p. 339-344.

NXAWWE, S.; LAUBSCHER, C. P.; NDAKIDEMI, P. A. Effect of regulated irrigation water temperature on hydroponics production of spinach (*Spinacia oleracea* L.). **African Journal of Agricultural Research**, v. 4, n. 8, p. 1442-1446, 2009.

O'CARRIGAN, A.; BABLA, M.; WANG, F.; LIU, X.; MAK, M.; THOMAS, R.; BELLOTTI, B.; CHEN, Z. H. Analysis of gas exchange, stomatal behaviour and micronutrients uncovers dynamic response and adaptation of tomato plants to monochromatic light treatments. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 82, p. 105-115, 2014.

OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA, M. K. T.; SILVA, R. C. P.; SILVA, O. M. P.; MAIA, P. M. E.; CÂNDIDO, W. S. Crescimento de mudas de moringa em função da salinidade da água e da posição das sementes nos frutos. **Revista Árvore**, v. 37, n. 1, p. 79-87, 2013.

OPUNI-FRIMPONG, E.; KARNOSKY, D. F.; STORER, A. J.; ABENEY, E. A.; COBBINAH, J. R. Relative susceptibility of four species of African mahogany to the shoot borer *Hypsipyla robusta* (Lepidoptera: Pyralidae) in the moist semideciduous forest of Ghana. **Forest Ecology and Management**, v. 255, n. 2, p. 313-319, 2008.

OZGUR, R.; UZILDAY, B.; SEKMEN, A. H.; TURKAN, I. Reactive oxygen species regulation and antioxidant defence in halophytes. **Functional Plant Biology**, v. 40, n. 9, p. 832-847, 2013.

PESSARAKLI, M. **Handbook of plant and crop stress**. 3 ed. Boca Raton, CRC Press, 2016. 1245 p.

PINHEIRO A. L.; COUTO, L.; PINHEIRO, D. T.; BRUNETTA, J. M. F. **Ecologia, silvicultura e tecnologia de utilização dos mognos africanos (*Khaya spp.*)**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura, 2011. 102 p.

PORCEL, R.; AROCA, R.; RUIZ-LOZANO, J. M. Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, n. 1, p. 181-200, 2012.

QIU, Q. S.; GUO, Y.; DIETRICH, M. A.; SCHUMAKER, K. S.; RADY, M. M.; BHAVIA VARMA, C.; HOWLADAR, S. M. Common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) seedlings overcome NaCl stress as a result of presoaking in *Moringa oleifera* leaf extract. **Scientia Horticulturae**, v. 162, p. 63-70, 2013.

QIU, Q. S.; GUO, Y.; DIETRICH, M. A.; SCHUMAKER, K. S.; ZHU, J. K. Regulation of SOS1, a plasma membrane Na⁺/H⁺ exchanger in *Arabidopsis thaliana*, by SOS2 and SOS3. **Proceeding of the National Academy of Sciences**, v. 99, n. 12, p. 8436-8441, 2002.

RADY, M. O. A.; SEMIDA, W. M.; ABD EL-MAGEED, T. A.; HERMIDA, K. A.; RADY, M. M. Up-regulation of antioxidative defense systems by glycine betaine foliar application in onion plants confer tolerance to salinity stress. **Scientia Horticulturae**, v. 240, p. 614-622, 2018.

REDDY, I. N. B. L.; KIM, B.; YOON, I.; KIM, K.; KWON, T. Salt tolerance in rice: focus on mechanisms and approaches. **Rice Science**, v. 24, n. 3, p. 123-144, 2017.

RENGASAMY, P. Transient salinity and subsoil constraints to dryland farming in australian sodic soils: an overview. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 42, n. 3, p. 351-361, 2002.

RIBEIRO, A.; FILHO, A. C. F.; SCOLFORO, J. R. S. O cultivo do mogno africano (*Khaya* spp.) e o crescimento da atividade no Brasil. **Floresta e Ambiente**, v. 24, n. 8, p. 2-11, 2017.

RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. 2 ed. Fortaleza, INCTSal, 2016. cap. 2, p. 9-15.

RIBEIRO, M. R.; FREIRE, F. J.; MONTENEGRO, A. A. A. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 3, n. 5, p. 165-208, 2003.

RIETZ, D. N.; HAYNES, R. J. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 35, n. 6, p. 845-854, 2003.

RODRÍGUEZ, A. A.; **MAIALE**, S. J.; MENÉNDEZ, A. B.; RUIZ, O. A. Polyamine oxidase activity contributes to sustain maize leaf elongation under saline stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 15, p. 4249-4262, 2009.

ROOSTA, H. R.; HAMIDPOUR, M. Effects of foliar application of some macro- and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. **Scientia Horticulturae**, v. 129, n. 3, p. 396-402, 2011.

ROY, S. J. W.; **HUANG**, X. J.; WANG, A.; EVRARD, S. M.; SCHMOCKEL, Z. U.; ZAFAR, M. A novel protein kinase involved in Na⁺ exclusion revealed from positional cloning. **Plant, Cell & Environment**, v. 36, n. 3, p. 553-568, 2013.

RUBIO, F.; GASSMANN, W.; SCHROEDER, J. I. Sodium-driven potassium uptake by the plant potassium transporter HKT1 and mutations conferring salt tolerance. **Science**, v. 270, n. 5242, p. 1660-1663, 1995.

RYAN, P. R.; DELHAIZE, E.; JONES, D. L. Function and mechanism of organic anion exudation from plant roots. **Annual Review of Plant Biology**, v. 52, n. 1, p. 527-560, 2001.

SAIED, A. S.; KEUTGEN, A. J.; NOGA, G. The influence of NaCl salinity on growth, yield and fruit quality of strawberry cvs. 'Elsanta' and 'Korona'. **Scientia Horticulturae**, v. 103, n. 3, p. 289-303, 2005.

SAIRAM, R. K.; TYAGI, A. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. **Current Science**, v. 86, n. 3, p. 407-421, 2004.

SALLA, L.; RODRIGUES, J. C.; MARENCO, R. A. Teores de clorofila em árvores tropicais determinados com o SPAD-502. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 159-161, 2007.

SAMARAKOON, U. C.; WEERASINGHE, P. A.; WEERAKKODY, W. A. P. Effect of electrical conductivity (EC) of the nutrient solution on nutrient uptake, growth and yield of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) in stationary culture. **Tropical Agricultural Research**, v. 18, n. 1, p. 14-23. 2006.

SANDOVAL-GIL, J. M.; MARÍN-GUIRAO, L.; RUÍZ, J. M. Tolerance of Mediterranean seagrasses (*Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa*) to hypersaline stress: water relations and osmolyte concentrations. **Marine Biology**, v. 159, n. 5, p. 1129-1141, 2012.

SCHOLANDER, P. F.; BRADSTERRET, E. D.; HEMMINGSEN, E. A.; HAMMEL, H. T. Sap pressure in vascular plants. **Science**, Lancaster, v. 148, n. 3668, p. 339-346, 1965.

SEMIDA, W. M.; ABD, T. A.; HOWLADAR, S. M.; RADY, M. M. Foliar-applied alpha-tocopherol enhances salt-tolerance in onion plants by improving antioxidant defence system. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 7, p. 1030, 2016.

SHU, S.; YUAN, L. Y.; GUO, S. R.; SUN, J.; YUAN, Y. H. Effects of exogenous spermine on chlorophyll fluorescence, antioxidant system and ultrastructure of chloroplasts in *Cucumis sativus* L. under salt stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 63, p. 209-216, 2013.

SHUKLA, S. K.; SINGH, K.; SINGH, B.; GAUTAM, N. N. Biomass productivity and nutrient availability of *Cynodon dactylon* (L.) Pers. growing on soils of different sodicity stress. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 8, p. 3440-3447, 2011.

SILVA JUNIOR, G. S.; MORAIS, M. B.; CAMARA, T. R.; WILLADINO, L. Crescimento de genótipos diplóides de bananeira submetidos ao estresse

salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 11, p. 1145-1151, 2012.

SILVA, E. N.; RIBEIRO, R. V.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VIEGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. **Scientia Agrícola**, v. 68, n. 1, p. 62-68, 2011.

SINGH, K.; PANDEY, V. C.; SINGH, B.; SINGH, R. R. Ecological restoration of degraded sodic lands through afforestation and cropping. **Ecological Engineering**, v. 43, p. 70-80, 2012.

SINGH, K.; SINGH, B.; SINGH, R. R. Effect of land rehabilitation on physicochemical and microbial properties of a sodic soil. **Catena**, v. 109, p. 49-57, 2013.

SOUZA, R. S.; WEBER, O. L. S.; SCARAMUZZA, J. F.; RIBEIRO, E. S. Concentração de macronutrientes e de sódio em mudas de mogno submetidas ao estresse salino. **Nativa**, v. 5, p. 127-132, 2017.

SOUZA, B. R.; FREITAS, I. A. S.; LOPES, V. A.; ROSA, V. R.; MATOS, F. S. Growth of Eucalyptus plants irrigated with saline water. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 10, p. 1091-1096, 2015.

STEUDLE, E. Water uptake by roots: effects of water deficit. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 350, p. 1531-1542, 2000.

SU, N.; BETHUNE, M.; MANN, L.; HEUPERMAN, A. Simulating water and salt movement in tile-drained fields irrigated with saline water under a Serial Biological Concentration management scenario. **Agricultural Water Management**, v. 78, n. 3, p. 165-180, 2005.

SUDÉRIO, F. B.; BARBOSA, G. K. DA C.; GOMES-FILHO, E.; ENÉAS-FILHO, J. O estresse salino retarda o desenvolvimento morfofisiológico e a ativação de galactosidases de parede celular em caules de *Vigna unguiculata*. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 1, p. 17-24, 2011.

SUN, W.; ZHAO, H.; WANG, F. Effect of salinity on nitrogen and phosphorus removal pathways in a hydroponic micro-ecosystem planted with *Lythrum salicaria* L. **Ecological Engineering**, v. 105, p. 205-210, 2017.

SZABADOS, L.; SAVOURE, A. Proline: a multifunctional amino acid. **Trends in Plant Science**, v. 15, n. 2, p. 89-97, 2010.

TAFFOUO, V. D.; WAMBA, O. F.; YOUNBI, E.; NONO, G. V.; AKOA, A. Growth, yield, water status and ionic distribution response of three

bambara groundnut [*Vigna subterranea* (L.) Verdc.] landraces grown under saline conditions. **International Journal of Botany**, v. 6, n. 1, p. 53-58, 2010.

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

TANG, X.; MU, X.; SHAO, H.; WANG, H.; BRESTIC, M. Global plant-responding mechanisms to salt stress: physiological and molecular levels and implications in biotechnology. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 35, n. 4, p. 425-437, 2015.

TANG, Z. H.; LIU, Y. J.; GUO, X.; ZU, Y. G. The combined effects of salinity and nitrogen forms on *Catharanthus roseus*: the role of internal ammonium and free amino acids during salt stress. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 174, n. 1, p. 135-144, 2011.

TEJADA, M.; GONZALEZ, J. L. Beet vinasse applied to wheat under dryland conditions affects soil properties and yield. **European Journal of Agronomy**, v. 23, n. 4, p. 336-347, 2005.

TEJERA, N. A.; SOUSSI, M.; LLUCH, C. Physiological and nutritional indicators of tolerance to salinity in chickpea plants growing under symbiotic conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 58, n. 1-3, p. 17-24, 2006.

TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. **Annals of Botany**, v. 91, n. 5, p. 503-527, 2003.

TRACY, F. E.; GILLIHAM, M.; DODD, A. N.; WEBB, A. A. R.; TESTER, M. NaCl-induced changes in cytosolic free Ca²⁺ in *Arabidopsis thaliana* are heterogeneous and modified by external ionic composition. **Plant, Cell & Environment**, v. 31, n. 8, p. 1063-1073, 2008.

TREJO-TÉLLEZ, L. I.; GÓMEZ-MERINO, F. C. Nutrient solutions for hydroponic systems. **Chemical Sciences and Biotechnology**, México, v. 7, n. 9, p. 48-49, 2012.

VAN BREUSEGEM, F.; DAT, J. F. Reactive oxygen species in plant cell death. **Plant Physiology**, v. 141, n. 2, p. 384-390, 2006.

VERMA, S.; MISHRA, S. N. Putrescine alleviation of growth in salt stressed *Brassica juncea* by inducing antioxidative defense system. **Journal of Plant Physiology**, v. 162, n. 6, p. 669-677, 2005.

- WALKER, N. A.; SANDERS, D.; MAATHUIS, F. J. M. High-affinity potassium uptake in plants. **Science**, v. 35, n. 273, p. 977-978, 1996.
- WEATHERLEY, P. E. Studies in the water relations of the cotton plant: I. The field measurement of water deficits in leaves. **New Phytologist**, v. 49, n. 1, p. 81-97, 1950.
- WICHELNS, D.; QADIR, M. Achieving sustainable irrigation requires effective management of salts, soil salinity, and shallow groundwater. **Agricultural Water Management**, v. 157, p. 31-38, 2015.
- WONG, V. N. L.; GREENE, S. B.; DALAL, R. C. Salinity and sodicity effects on respiration and microbial biomass of soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 44, n. 7, p. 943-953, 2008.
- WU, H. Science direct plant salt tolerance and Na⁺ sensing and transport. **The Crop Journal**, v. 6, n. 12, p. 215-225, 2018.
- WU, H.; ZHANG, J.**; NGO, H. H.; GUO, W.; HU, Z.; LIANG, S.; FAN, J.; LIU, H. A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: design and operation. **Bioresource Technology**, v. 175, p. 594-601, 2015.
- WYN JONES, R. G.; GORHAM, J. Intra- and inter-cellular compartmentation of ions: a study in specificity and plasticity. In: LÄUCHLI, A.; LÜTTGE, U. (Eds.). **Salinity: Environment – Plants Molecules**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2002. p. 159-180.
- XU, H.; QIN, F.; GAUTHIER, L.; GOSSELIN, A. Green house tomato growth and physiological responses to high nutrient solution and electrical conductivity and low substrate water content. **Fruits, Vegetables and Cereals Science and Biotechnology**, v. 3, n. 1, p. 54-61, 2009.
- YANG, Y.; GUO, Y. Elucidating the molecular mechanisms mediating plant salt-stress responses. **New Phytologist**, v. 217, p. 523-539, 2017.
- YANG, Z.; TIAN, L.**; LATOSZEK-GREEN, M.; BROWN, D. *Arabidopsis* ERF4 is a transcriptional repressor capable of modulating ethylene and abscisic acid responses. **Plant Molecular Biology**, v. 58, n. 65, p. 585-596. 2005.
- YASAR, F.; KUSVURAN, S.; ELLIALTIOGLU, S. Determination of antioxidant activities in some melon (*Cucumis melo* L.) varieties and cultivars under salt stress. **Journal of Biotechnological Science Horticulture**, v. 55, n. 81, p. 627-630, 2006.

YILDIRIM, B.; YASAR, F.; OZPAY, T.; TURKOZU, D.; TERZIODLU, O.; TAMKO, A. Variations in response to salt stress among field pea genotypes (*Pisum sativum* sp. arvense L.). **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v. 7, n. 8, p. 907-910, 2008.

YUAN, B. C.; LI, Z. Z.; LIU, H.; GAO, M.; ZHANG, Y. Y. Microbial biomass and activity in salt affected soils under arid conditions. **Applied Soil Ecology**, v. 35, n. 2, p. 319-328, 2007.

ZHANG, H.; MURZELLO, C.; SUN, Y.; KIM, M. S.; XIE, X.; JETER, R. M.; ZAK, J. C.; DOWD, S. E.; PARÉ, P. W. Choline and osmotic-stress tolerance induced in *Arabidopsis* by the soil microbe *Bacillus subtilis* (GB03). **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 23, n. 8, p. 1097-1104, 2010.

ZHU, J. K. Plant salt stress. **Encyclopedia of life sciences**. John Wiley & Sons, Ltda, 2007. p. 1-3.

ZHU, J. K. Regulation of ion homeostasis under salt stress. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 3, n. 6, p. 441-445, 2003.