

Uso eficiência de macronutrientes e água em erva sal (*Atriplex nummularia*
Lindl.) expostas a níveis crescentes de NaCl e ciclos de seca

SANDRO ALEXANDRE MARINHO DE ARAUJO

MAIO - 2006
FORTALEZA - CEARÁ
BRASIL

Uso eficiência de macronutrientes e água em erva sal (*Atriplex nummularia* Lindl.) expostas a níveis crescentes de NaCl e ciclos de seca

SANDRO ALEXANDRE MARINHO DE ARAUJO

Dissertação submetida
à Coordenação do Curso de Pós-Graduação
em Agronomia, Área de Concentração em
Solos e Nutrição de Plantas da Universidade
Federal do Ceará, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Mestre.

MAIO - 2006
FORTALEZA - CEARÁ
BRASIL

Esta dissertação foi submetida como parte dos requisitos, necessários à obtenção do grau de Mestre em Agronomia, Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas, outorgado pela Universidade Federal do Ceará. Uma via do presente estudo encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca de Tecnologia da referida Universidade.

A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

Sandro Alexandre Marinho de Araujo

Dissertação aprovada em 18 de Maio de 2006

Prof. Joaquim Albenísio Gomes da Silveira, Dr.
Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular
Universidade Federal do Ceará
(Orientador)

Prof. Fernando Felipe Ferreira Hernandez, Dr.
Universidade Federal do Ceará
Departamento de Ciências do Solo
(Examinador)

Prof. Ricardo Almeida Viégas, Dr.
Departamento de Engenharia Florestal
Universidade Federal de Campina Grande
(Examinador)

A Deus, que mesmo diante das adversidades me esconde no recôndito do seu pavilhão, e me fortalece e mostra-me que o choro pode durar uma noite mas a alegria sempre vem ao amanhecer. Ainda que passe pelo vale da sombra e da morte não temerei mal algum, por que tu estás comigo. Certamente tu me saciarás com tua longevidade e me mostrarás a tua salvação.

À minha mãe Dona Albertina por sempre me incentivar a continuar nos estudos e não medindo esforços em prover uma boa educação para este filho, minha sincera gratidão e admiração. **À Marisa, minha esposa**, pelo amor e compreensão pelas noites que me ausentei, pelo incentivo e compartilhamento deste sonho, minha singela gratidão.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Funcap, pelo suporte financeiro sem o qual seria inviável a realização deste trabalho.

Ao professor e orientador Dr. Joaquim Albenísio Gomes da Silveira pela amizade construída, pela orientação precisa e coerente, pelas palavras de alento, pelo estímulo a busca de novos conhecimentos, e principalmente pelo entusiasmo e dedicação com que se envolveu na realização deste trabalho.

Aos professores do Departamento de Ciências do Solo, muito obrigado pelos ensinamentos, amizade e convivência.

Aos funcionários do Departamento de Ciências do Solo, em especial Edílson, Fátima e Vilalba pela amizade.

Aos amigos de turma no mestrado: Luciano, Eliezer, Adervan, Regis, Antônio José, Ana Maria e Regilia pela interação durante os estudos, pela amizade e as palavras de incentivo nos momentos de dificuldade.

Ao amigo de turma de graduação e companheiro de jornadas no LABPLANT: Eng^o Agrônomo Jean Carlos de Araújo Brilhante, pela amizade, pela ajuda, pelo intercâmbio de idéias e melhoramento de métodos utilizados nesta pesquisa.

A Dra. Iza Marineves Almeida da Rocha pela amizade, pela ajuda, pelos conselhos e principalmente pelas palavras de encorajamento durante a realização deste mestrado.

Aos amigos do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular (UFC), e de forma especial, com respeito e admiração aos amigos do LABPLANT: Francisco Abel, Flavia Carinne, Geórgia, Sergio Luis, Josemir Maia, João Paulo, Luiz Aguiar, Fabio Rossi, Cristine Russo e Eduardo Voigt. A todos agradeço pela ajuda, pela amizade, pelos conselhos que contribuíram sobremaneira para o amadurecimento deste trabalho. A funcionária Maria Edinilda (Nega) pela amizade e companherismo, pelos preciosos cafés, fonte de inspiração.

Aos Profs. Drs. Fernando Felipe Ferreira Hernandez e Ricardo Almeida Viégas que prontamente, de bom grado, aceitaram ao convite para participarem desta banca examinadora. Pelas preciosas contribuições, críticas e/ou sugestões para aprimoramento deste trabalho.

A todos que de alguma maneira contribuíram para realização deste trabalho.

ÍNDICE

I. Introdução geral.....	01
II. Hipótese e objetivo geral.....	02
2.1. Hipótese geral.....	02
2.2. Objetivo geral.....	02
2.3. Objetivos específicos.....	02
III. Revisão de literatura.....	04
3.1. A salinidade dos solos e suas conseqüências sobre as plantas.....	04
3.1.1. Efeitos sobre os solos.....	04
3.1.2. Efeitos sobre as plantas.....	06
3.1.2.1. Classificação das plantas segundo o ambiente em que se desenvolvem.....	06
3.1.2.2. Principais componentes de estresse para o crescimento da planta em meio salino.....	06
3.2. O mecanismo de tolerância ao sal em halófitas.....	07
3.3. A erva sal (<i>Atriplex nummularia</i>).....	08
3.4. Origem, caracterização botânica e obtenção de mudas.....	09
3.5. Potencialidades agrícolas.....	10
3.5.1. Potencial forrageiro.....	10
3.5.2. Potencial para remediação de solos salinizados.....	11
3.6. Transpiração e fotossíntese de plantas sob estresses salino e hídrico.....	12
3.7. Redutase de nitrato: bioquímica, fisiologia e importância no crescimento.....	13
3.9. Tolerância cruzada: pré-acondicionamento de plantas para outros estresses.....	17
IV. Literatura citada.....	18
CAPÍTULO I: Uso eficiência de macronutrientes e água em erva sal (<i>Atriplex nummularia</i>) expostas a níveis crescentes de NaCl.....	24
Resumo.....	25
Abstract.....	26
1. Introdução.....	27
2. Material e métodos.....	29
2.1. Material vegetal.....	29
2.2. Local e condições do experimento.....	29
2.3. Solução nutritiva.....	30
2.4. Condução e tratamento das plantas.....	30
2.5. Colheita das plantas e determinação da massa fresca e massa seca.....	31
2.6. Conteúdo relativo de água (CRA), umidade, suculência, densidade foliar e área foliar média.....	31
2.7. Determinação da transpiração, resistência estomática, temperatura foliar, fotossíntese e uso eficiência da água.....	32
2.8. Determinação do teor de clorofilas.....	32

2.9. Determinação da atividade da redutase de nitrato.....	33
2.10. Determinação do teor de cinzas.....	33
2.11. Determinação da concentração de sódio e potássio.....	33
2.12. Determinação da concentração de cloreto.....	34
2.13. Determinação da concentração de cálcio e magnésio.....	34
2.14. Determinação da concentração de fosfato e sulfato.....	35
2.15. Determinação do teor de nitrato.....	36
2.16. Determinação da concentração de nitrogênio total.....	36
2.17. Determinação de aminoácidos livres totais (N- α -amino livre).....	36
2.18. Determinação de proteínas solúveis.....	37
2.19. Delineamento experimental e análises dos resultados.....	37
3. Resultados.....	38
4. Discussão.....	57
5. Conclusões.....	63
6. Literatura citada.....	64
CAPÍTULO II: Uso eficiência de macronutrientes e água em erva sal (<i>Atriplex nummularia</i>) pré-condicionadas com NaCl, e submetidas a ciclos de seca/re-hidratação.....	69
Resumo.....	70
Abstract.....	71
1. Introdução.....	72
2. Materiais e métodos.....	74
2.1. Material vegetal.....	74
2.2. Local e condições do experimento.....	74
2.3. Solução nutritiva.....	75
2.4. Condução e tratamentos das plantas.....	75
2.5. Colheita das plantas e determinações analíticas.....	75
2.6. Conteúdo relativo de água (CRA), umidade e suculência.....	76
2.7. Determinação da transpiração, resistência estomática, temperatura e uso eficiência da água.....	76
2.8. Determinação do teor de clorofilas.....	76
2.9. Determinação da atividade da redutase de nitrato.....	76
2.10. Determinação do teor de cinzas.....	76
2.11. Determinação da concentração de sódio e potássio.....	76
2.12. Determinação da concentração de cloreto.....	77
2.13. Determinação da concentração de cálcio e magnésio.....	77
2.14. Determinação da concentração de fosfato e sulfato.....	77
2.15. Determinação do teor de nitrato.....	77
2.16. Determinação da concentração de nitrogênio total.....	77
2.17. Determinação de aminoácidos livres totais (N- α -amino livre).....	77
2.18. Determinação de proteínas solúveis.....	77

2.19. Delineamento experimental e análises de resultados.....	77
3. Resultados.....	79
4. Discussão.....	97
5. Conclusões.....	103
6. Literatura citada.....	104
Conclusões gerais.....	107

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1	Composição da solução nutritiva utilizada na irrigação semanal das plantas de <i>Atriplex nummularia</i> Lindl.	30
----------	---	----

CAPÍTULO 2

Tabela 1	Teores de íons inorgânicos em caule e folha de erva sal (<i>A. nummularia</i>) expostas a seca durante três ciclos de desidratação seguidos por irrigação ao final de cada ciclo. No último, as plantas foram irrigadas após 2 dias (tratamento de recuperação) e colhidas em seguida. Cont (+H ₂ O) corresponde ao controle irrigado a cada três dias; Cont (-H ₂ O) são plantas não pré-tratadas com NaCl e expostas a seca; NaCl (-H ₂ O), plantas pré-tratadas com 200 mmol L ⁻¹ de NaCl e expostas a seca e NaCl (+H ₂ O) corresponde as plantas sempre tratadas com 200 mmol L ⁻¹ de NaCl durante todo período experimental. Os valores representam médias de quatro repetições.	80
Tabela 2	Acumulação de íons inorgânicos em folha de erva sal (<i>A. nummularia</i>) expostas a seca durante três ciclos de desidratação seguidos por irrigação ao final de cada ciclo. No último, as plantas foram irrigadas após 2 dias (tratamento de recuperação) e colhidas em seguida. Cont (+H ₂ O) corresponde ao controle irrigado a cada três dias; Cont (-H ₂ O) são plantas não pré-tratadas com NaCl e expostas a seca; NaCl (-H ₂ O), plantas pré-tratadas com 200 mmol L ⁻¹ de NaCl e expostas a seca e NaCl (+H ₂ O) corresponde as plantas sempre tratadas com 200 mmol L ⁻¹ de NaCl durante todo período experimental. Os valores representam médias de quatro repetições.	81
Tabela 3	Eficiência de uso de macronutrientes em folha de erva sal (<i>A. nummularia</i>) expostas a seca durante três ciclos de desidratação seguidos por irrigação ao final de cada ciclo. No último, as plantas foram irrigadas após 2 dias (tratamento de recuperação) e colhidas em seguida. Cont (+H ₂ O) corresponde ao controle irrigado a cada três dias; Cont (-H ₂ O) são plantas não pré-tratadas com NaCl e expostas a seca; NaCl (-H ₂ O), plantas pré-tratadas com 200 mmol L ⁻¹ de NaCl e expostas a seca e NaCl (+H ₂ O) corresponde as plantas sempre tratadas com 200 mmol L ⁻¹ de NaCl durante todo período experimental. Os valores representam médias de quatro repetições.	82

Tabela 4	Massa fresca, Massa seca, Cinzas e Massa Orgânica Seca (MOS) em raiz, caule e folha de erva sal (<i>A. nummularia</i>) expostas a seca durante três ciclos de desidratação seguidos por irrigação ao final de cada ciclo. No último, as plantas foram irrigadas após 2 dias (tratamento de recuperação) e colhidas em seguida. Cont (+H ₂ O) corresponde ao controle irrigado a cada três dias; Cont (-H ₂ O) são plantas não pré-tratadas com NaCl e expostas a seca; NaCl (-H ₂ O), plantas pré-tratadas com 200 mmol L ⁻¹ de NaCl e expostas a seca e NaCl (+H ₂ O) corresponde as plantas sempre tratadas com 200 mmol L ⁻¹ de NaCl durante todo período experimental. Os valores representam médias de quatro repetições.	83
Tabela 5	Formas nitrogenadas de folhas de plantas de erva sal (<i>A. nummularia</i>) expostas a seca durante três ciclos de desidratação seguidos por irrigação ao final de cada ciclo. No último, as plantas foram irrigadas após 2 dias (tratamento de recuperação) e colhidas em seguida. Cont (+H ₂ O) corresponde ao controle irrigado a cada três dias; Cont (-H ₂ O) são plantas não pré-tratadas com NaCl e expostas a seca; NaCl (-H ₂ O), plantas pré-tratadas com 200 mmol L ⁻¹ de NaCl e expostas a seca e NaCl (+H ₂ O) corresponde as plantas sempre tratadas com 200 mmol L ⁻¹ de NaCl durante todo período experimental. Os valores representam médias de quatro repetições.	84
Tabela 6	Atividade da Redutase de Nitrato de folhas de plantas de erva sal (<i>A. nummularia</i>) expostas a seca durante três ciclos de desidratação seguidos por irrigação ao final de cada ciclo. No último, as plantas foram irrigadas após 2 dias (tratamento de recuperação) e colhidas em seguida. Cont (+H ₂ O) corresponde ao controle irrigado a cada três dias; Cont (-H ₂ O) são plantas não pré-tratadas com NaCl e expostas a seca; NaCl (-H ₂ O), plantas pré-tratadas com 200 mmol L ⁻¹ de NaCl e expostas a seca e NaCl (+H ₂ O) corresponde as plantas sempre tratadas com 200 mmol L ⁻¹ de NaCl durante todo período experimental. Os valores representam médias de quatro repetições.	85
Tabela 7	Medida de Umidade Foliar de plantas de erva sal (<i>A. nummularia</i>) expostas a seca durante três ciclos de desidratação seguidos por irrigação ao final de cada ciclo. No último, as plantas foram irrigadas após 2 dias (tratamento de recuperação) e colhidas em seguida. Cont (+H ₂ O) corresponde ao controle irrigado a cada três dias; Cont (-H ₂ O) são plantas não pré-tratadas com NaCl e expostas a seca; NaCl (-H ₂ O), plantas pré-tratadas com 200 mmol L ⁻¹ de NaCl e expostas a seca e NaCl (+H ₂ O) corresponde as plantas sempre tratadas com 200 mmol L ⁻¹ de NaCl durante todo período experimental. Os valores representam médias de quatro repetições.	86
Tabela 8	Medida de suculência foliar de plantas de erva sal (<i>A.</i>	87

nummularia) expostas a seca durante três ciclos de desidratação seguidos por irrigação ao final de cada ciclo. No último, as plantas foram irrigadas após 2 dias (tratamento de recuperação) e colhidas em seguida. Cont (+H₂O) corresponde ao controle irrigado a cada três dias; Cont (-H₂O) são plantas não pré-tratadas com NaCl e expostas a seca; NaCl (-H₂O), plantas pré-tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl e expostas a seca e NaCl (+H₂O) corresponde as plantas sempre tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl durante todo período experimental. Os valores representam médias de quatro repetições.

Tabela 9	Medida de Conteúdo Relativo de Água de plantas de erva sal (<i>A. nummularia</i>) expostas a seca durante três ciclos de desidratação seguidos por irrigação ao final de cada ciclo. No último, as plantas foram irrigadas após 2 dias (tratamento de recuperação) e colhidas em seguida. Cont (+H ₂ O) corresponde ao controle irrigado a cada três dias; Cont (-H ₂ O) são plantas não pré-tratadas com NaCl e expostas a seca; NaCl (-H ₂ O), plantas pré-tratadas com 200 mmol L ⁻¹ de NaCl e expostas a seca e NaCl (+H ₂ O) corresponde as plantas sempre tratadas com 200 mmol L ⁻¹ de NaCl durante todo período experimental. Os valores representam médias de quatro repetições.	88
Tabela 10	Parâmetros de Transpiração medidas em folhas de plantas de erva sal (<i>A. nummularia</i>) expostas a seca durante três ciclos de desidratação seguidos por irrigação ao final de cada ciclo. No último, as plantas foram irrigadas após 2 dias (tratamento de recuperação) e colhidas em seguida. Cont (+H ₂ O) corresponde ao controle irrigado a cada três dias; Cont (-H ₂ O) são plantas não pré-tratadas com NaCl e expostas a seca; NaCl (-H ₂ O), plantas pré-tratadas com 200 mmol L ⁻¹ de NaCl e expostas a seca e NaCl (+H ₂ O) corresponde as plantas sempre tratadas com 200 mmol L ⁻¹ de NaCl durante todo período experimental. Os valores representam médias de quatro repetições.	89
Tabela 11	Parâmetros de Resistência Estomática medidas em folhas de plantas de erva sal (<i>A. nummularia</i>) expostas a seca durante três ciclos de desidratação seguidos por irrigação ao final de cada ciclo. No último, as plantas foram irrigadas após 2 dias (tratamento de recuperação) e colhidas em seguida. Cont (+H ₂ O) corresponde ao controle irrigado a cada três dias; Cont (-H ₂ O) são plantas não pré-tratadas com NaCl e expostas a seca; NaCl (-H ₂ O), plantas pré-tratadas com 200 mmol L ⁻¹ de NaCl e expostas a seca e NaCl (+H ₂ O) corresponde as plantas sempre tratadas com 200 mmol L ⁻¹ de NaCl durante todo período experimental. Os valores representam médias de quatro repetições.	90
Tabela 12	Parâmetros de Temperatura Foliar medidas em folhas de plantas de erva sal (<i>A. nummularia</i>) expostas a seca durante três ciclos de desidratação seguidos por irrigação ao final de cada ciclo. No	91

último, as plantas foram irrigadas após 2 dias (tratamento de recuperação) e colhidas em seguida. Cont (+H₂O) corresponde ao controle irrigado a cada três dias; Cont (-H₂O) são plantas não pré-tratadas com NaCl e expostas a seca; NaCl (-H₂O), plantas pré-tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl e expostas a seca e NaCl (+H₂O) corresponde as plantas sempre tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl durante todo período experimental. Os valores representam médias de quatro repetições.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1	Medidas de transpiração (A) e resistência estomática (B) de folhas de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de NaCl na água de irrigação, obtidas durante 24 horas. Os pontos representam média de quatro repetições.	38
Figura 2	Medidas de temperatura foliar de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de NaCl na água de irrigação, obtidas durante 24 horas. Os pontos representam média de quatro repetições.	39
Figura 3	Teores de potássio em raiz (A), caule (B) e folha (C) de erva sal (<i>A. nummularia</i>) expostas a doses crescentes de NaCl durante 4 meses. Os valores representam médias de quatro repetições.	40
Figura 4	Teores de sódio em raiz (A), caule (B) e folha (C) de erva sal (<i>A. nummularia</i>) expostas a doses crescentes de NaCl durante 4 meses. Os valores representam médias de quatro repetições.	41
Figura 5	Teores de cloreto em raiz (A), caule (B) e folha (C) de erva sal (<i>A. nummularia</i>) expostas a doses crescentes de NaCl durante 4 meses. Os valores representam médias de quatro repetições.	42
Figura 6	Teores de cálcio (A), magnésio (B), fosfato (C) e sulfato (D) em folha de erva sal (<i>A. nummularia</i>) expostas a doses crescentes de NaCl durante 4 meses. Os valores representam médias de quatro repetições	43
Figura 7	Teores de potássio em raiz (A), caule (B) e folha (C) de erva sal (<i>A. nummularia</i>) expostas a doses crescentes de NaCl durante 4 meses. Os valores representam médias de quatro repetições.	44
Figura 8	Teores de sódio em raiz (A), caule (B) e folha (C) de erva sal (<i>A. nummularia</i>) expostas a doses crescentes de NaCl durante 4 meses. Os valores representam médias de quatro repetições.	45
Figura 9	Teores de sódio em raiz (A), caule (B) e folha (C) de erva sal (<i>A. nummularia</i>) expostas a doses crescentes de NaCl durante 4 meses. Os valores representam médias de quatro repetições.	46
Figura 10	Teores de sódio em raiz (A), caule (B) e folha (C) de erva sal (<i>A. nummularia</i>) expostas a doses crescentes de NaCl durante 4 meses. Os valores representam médias de quatro repetições	47

Figura 11	Teores de clorofila a (A), clorofila b (B) e clorofilas totais (C) de folha de erva sal (<i>A. nummularia</i>) expostas a doses crescentes de NaCl durante 4 meses. Os valores representam médias de quatro repetições.	48
Figura 12	Medidas de transpiração e fotossíntese (A), condutância estomática e CO ₂ interno (B), temperatura foliar (C) e uso eficiência da água (D) em folha de erva sal (<i>A. nummularia</i>) expostas a doses crescentes de NaCl durante 4 meses. Os valores representam médias de quatro repetições.	49
Figura 13	Teores de nitrogênio total (A), nitrato (B) e atividade de redutase de nitrato (C) em folha de erva sal (<i>A. nummularia</i>) expostas a doses crescentes de NaCl durante 4 meses. Os valores representam médias de quatro repetições.	50
Figura 14	Uso eficiência de nitrogênio (A), proteínas solúveis (B) e aminoácidos livres totais (C) em folha de erva sal (<i>A. nummularia</i>) expostas a doses crescentes de NaCl durante 4 meses. Os valores representam médias de quatro repetições.	51

LISTA DE ABREVIATURAS

AALT	Aminoácidos livres totais
AIB	Ácido indolbutírico
CE	Condutividade elétrica
Chl a	Clorofila a
Chl b	Clorofila b
CRA	Conteúdo relativo de água
CTC	Capacidade de troca de cátions
GOGAT	Glutamato sintase
GS	Glutamina sintetase
IRGA	Infra red gas analyzer
MF	Massa fresca
MOS	Matéria orgânica seca
mRNA	Ácido ribonucléico mensageiro
MS	Massa seca
PEG	Polietileno glicol
PST	Porcentagem de sódio trocável
RN	Redutase de nitrato
STD	Sólidos totais dissolvidos
UEA	Uso eficiência da água
UEAe	Uso eficiência da água específico
UEM	Uso eficiência de macronutrientes
UEN	Uso eficiência do nitrogênio

I – INTRODUÇÃO GERAL

A região Nordeste, de clima semi-árido, caracteriza-se por elevadas taxas de evapotranspiração aliada a uma estação chuvosa irregular que contribuem de forma substancial para o surgimento de áreas salinizadas. A maioria dos solos nordestinos se encontra na chamada depressão sertaneja sobre o embasamento cristalino, ricos em íons salinos, onde predominam solos de textura arenosa, rasos, pouco intemperizados, pobres do ponto de vista da fertilidade e com constantes afloramentos rochosos que revelam a fragilidade destes solos no que tange a sua utilização para agricultura e/ou pecuária.

No Nordeste brasileiro é comum a ocorrência de águas subterrâneas (poços) e superficiais (açudes e lagoas) com problemas de salinidade, que as tornam inadequadas para irrigação e também para outros usos como consumo humano e animal. Ademais, a concentração salina nestas águas aumenta no período seco, quando o volume de água é significativamente reduzido. Já as águas de rios ou riachos podem apresentar problemas de salinidade, dependendo dos solos por onde estes passam, e também do retorno da água de drenagem, que é mais rica em sais do que a água de irrigação.

Atualmente tem-se aumentado a perfuração de poços no embasamento cristalino e a utilização de águas salobras, paralelamente também, tem-se aumentado a instalação de dessalinizadores para através do processo de osmose reversa eliminar os sais tornando estas águas próprias para consumo humano e animal. No entanto, a utilização dos dessalinizadores cria um problema ambiental, visto que sua eficiência é relativamente baixa (aproximadamente 50%), gerando assim grande quantidade de rejeito, que é o produto da dessalinização rico em sais principalmente cloreto e sódio.

Este rejeito se não tratado ou aproveitado poderá ocasionar, a médio e longo prazo, degradação de solos.

Diante deste contexto de degradação ambiental, faz-se necessário a adoção de práticas de manejo de solo e de culturas que contribuam para a sustentabilidade do sistema solo-planta-atmosfera. Dentre as práticas vegetativas, podemos indicar a utilização da halófito erva sal (*Atriplex nummularia* Lindl.) como estratégia de convivência com o semi-árido, pois esta espécie é capaz de resistir a este ambiente hostil e ainda fornecer forragem para os animais com bom teor de proteína bruta (em torno de 15%), lenha e cobertura vegetal.

II – HIPÓTESE E OBJETIVOS

2.1 – HIPÓTESE GERAL

Plantas de erva sal (*Atriplex nummularia*) apresentam uma maior uso eficiência de macronutrientes e água na presença de NaCl.

2.2 – OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de doses crescentes de NaCl e seca no uso eficiência de macronutrientes e água de plantas de erva sal (*A. nummularia*) levando em consideração parâmetros de crescimento, trocas gasosas e partição de íons inorgânicos.

2.3 – Objetivos específicos

- Avaliar a massa seca, conteúdo relativo de água, umidade, suculência e teores de cinzas das folhas de erva sal;
- Quantificar as concentrações dos macronutrientes: N, P, K⁺, S, Ca²⁺ e Mg²⁺ de folhas de erva sal submetida a diferentes concentrações de NaCl, e em condições de seca;
- Avaliar a fotossíntese, quantificar a clorofila, transpiração, resistência estomática e temperatura foliar da erva sal submetida a diferentes concentrações de NaCl, ;

- Quantificar as concentrações de Cl^- , NO_3^- e Na^+ de folhas de erva sal submetida a diferentes concentrações de NaCl, e em condições de estresse hídrico;
- Averiguar o comportamento da redutase de nitrato, tanto em condições de seca quanto de doses crescentes de NaCl;
- Quantificar o uso eficiência dos macronutrientes, Cl^- e Na de folhas de erva sal submetida a diferentes níveis de NaCl, e em condições de seca;
- Quantificar o uso eficiência da água de erva sal submetidas a diferentes concentrações de NaCl, e em condições de estresse hídrico.

III – REVISÃO DE LITERATURA

3.1 - A salinidade dos solos e suas conseqüências sobre as plantas

3.1.1 - Efeitos sobre os solos

O halomorfismo naturalmente induzido ao solo é conseqüência de processos pedogenéticos específicos. A concentração salina da solução do solo, antes da ação antrópica, é definida como salinização primária. A salinização decorrente quase sempre do manejo inadequado do solo e da água dá-se o nome de salinização induzida ou salinização secundária (Santos & Muraoka, 1997). Em alguns casos, a salinização secundária é responsável por perdas irreparáveis na qualidade de vida do solo, tornando estéreis grandes extensões de terras cultivadas. Assim sendo, águas de qualidade duvidosa (com elevados riscos de salinidade e sodicidade), adubos com elevado índice salino, drenagem ineficiente, dentre outros, são fatores que podem acelerar o processo de salinização secundária. Carter (1975) atribui à irrigação uma das principais causas da salinização induzida.

Os solos são considerados salinos se contêm sais solúveis em quantidades suficientes para interferir no desenvolvimento da maioria das espécies cultivadas. Isto não se refere a uma quantidade determinada de sais, mas depende da espécie da planta, da textura, da capacidade de armazenagem de água no solo e da composição dos sais. Portanto, o critério para se diferenciar solos salinos de não salinos é arbitrário. De acordo com a definição do laboratório de salinidade dos Estados Unidos o extrato de saturação de um solo salino tem uma condutividade elétrica (CE) maior que 4 mmho

cm^{-1} ou 4 deciSiemens m^{-1} (equivalente a 40 mmol.L^{-1}) e uma percentagem de sódio trocável (PST) menor que 15. Embora o pH de solos salinos possa variar bastante, ele normalmente, se situa próximo da neutralidade, com uma ligeira tendência a alcalinidade. Solos salinos com PST maior que 15 são denominados de salinos sódicos e apresentam pH elevado sendo normalmente impermeáveis a água e a aeração quando os sais solúveis são removidos por lixiviação. A CE do extrato de saturação não é um indicador suficiente para o cultivo de plantas em solos salinos por dois motivos principais: (1) a concentração real de sais na superfície radicular pode ser maior que no solo propriamente dito e (2) a CE caracteriza apenas o conteúdo total dos sais, mas não expressa sua composição (Soil Science Society of America, 1987).

Os sais solúveis consistem, normalmente de várias proporções dos cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , dos ânions Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- e às vezes de K^+ , CO_3^{2-} e NO_3^- . As principais alterações químicas provocadas pela salinização dos solos são na composição e balanço de cátions nos complexos de troca e na solução do solo, com reflexos no pH e na capacidade de troca catiônica (CTC) e disponibilidade dos nutrientes (Santos & Muraoka, 1997). No caso dos solos sódicos, o excesso de Na^+ provoca alterações nas propriedades físicas do solo, reduzindo a floculação das argilas e a estabilidade dos agregados, provocando reduções na porosidade e capacidade de retenção de água (Barros, 1998). O excesso de sais provoca diminuição na pressão osmótica e toxicidade para o desenvolvimento da fauna e flora, diminuindo as taxas de mineralização e humificação da matéria orgânica, favorecendo a redução da fertilidade dos solos (Santos & Muraoka, 1997).

A ocorrência de solos salinos e sódicos é comum nas regiões áridas e semi-áridas, devido à baixa precipitação e à alta taxa de evaporação. Por isso, os sais não são lixiviados, acumulando-se em grandes quantidades prejudiciais ao crescimento normal das plantas. A salinização também ocorre em regiões do litoral em consequência da inundação do solo pela água salgada dos mares ou oceanos.

Neste ambiente de degradação dos solos surgem as plantas halófitas, como a *Atriplex nummularia* Lindl, contribuindo para a redução de solos salinizados, além de servir como cobertura do solo diminuindo a erosão laminar, fornece também, forragem no período mais seco do ano fazendo com que o rebanho não sofra tanto com a falta de alimentação de boa qualidade.

3.1.2 - Efeitos sobre as plantas

3.1.2.1 - Classificação das plantas segundo o ambiente em que se desenvolvem

As plantas quando classificadas de acordo com tipo de ambiente em que se desenvolvem podem ser divididas em: hidrófitas, quando crescem em ambientes que sempre apresentam ampla disponibilidade de água; mesófitas, em ambientes com disponibilidade intermediária de água; xerófitas em ambientes com escassez de água; halófitas, em ambientes com alta concentração de sal e glicófitas quando não são capazes de desenvolverem em ambientes com alta concentração salina (Prisco & Pahlich, 1989). Esta classificação nem sempre satisfaz os fisiologistas, pois, não considera o mecanismo pelo qual as plantas resistem ao meio estressante. Por exemplo, todas as plantas que se desenvolvem no deserto são consideradas xerófitas, mas cada espécie desenvolveu ao longo da evolução suas próprias adaptações para a sobrevivência no ambiente árido. As halófitas possuem características morfo-fisiológicas específicas que permitem realizar suas funções vitais na presença de sais, sem muita dificuldade e superar baixos potenciais osmóticos no ambiente radicular (Poljakoff-Mayber, 1975).

As glicófitas, onde se enquadra a maioria das plantas exploradas economicamente ao contrário das halófitas, são caracterizadas por uma reação negativa à presença excessiva de sais solúveis na solução do solo. Essas plantas não apresentam as características morfo-fisiológicas das halófitas, sendo a capacidade que possuem para crescerem e produzirem em solos salinos bastante limitada (Greenway & Munns, 1980).

3.1.2.2 - Principais componentes de estresse para o crescimento da planta em meio salino

Existem três componentes de estresse principais para o crescimento da planta em meio salino: (1) déficit hídrico, proveniente do potencial de água mais baixo na raiz; (2) toxicidade iônica associada à absorção excessiva, principalmente, de Cl^- e Na^+ e (3) desbalanço nutricional através da redução na absorção e/ou transporte para a parte aérea da planta. Normalmente, não é possível prever a contribuição relativa destes três componentes, tendo em vista que muitos fatores estão envolvidos, podendo-se incluir: a

concentração iônica e sua relação com o substrato, a duração do tempo de exposição, a espécie/cultivar, o estágio de desenvolvimento da planta, a parte da planta e as condições ambientais. A exposição a longo prazo de uma planta pode, por exemplo, resultar na toxicidade iônica nas folhas mais velhas e em déficit hídrico nas folhas mais novas (Munns, 2002).

3.2 - O mecanismo de tolerância ao sal em halófitas

De acordo com Flowers *et al.*, (1977), uma planta halófito é aquela que consegue sobreviver completando seu ciclo de vida sob condições de alta salinidade. As glicófitas são na prática, excludoras foliares e podem acumular altos níveis de Na^+ em suas raízes e caules. Enquanto que, as halófitas possuem a capacidade de acumulação de sais em suas folhas, e nestas espécies esta acumulação tem sido benéfica (Läuchli, 1976).

Segundo Porto & Araújo (2000), a erva sal é uma planta C_4 , o que lhe confere uma alta eficiência no uso da água. O aumento da salinidade resulta em maior suculência, conservando a água no interior do tecido vegetal, reduzindo a taxa de transpiração. A *Atriplex nummularia* é uma das halófitas que apresentam maior tolerância. Conforme Glenn *et al.*, (1998), vários experimentos têm sido conduzidos com esta planta, onde elas são irrigadas com água do Mar Vermelho e do Mar do Golfo Pérsico, que apresentam elevados teores de sais da ordem de 40 gramas de sal por litro, superiores aos teores de sais encontrados na maioria dos oceanos, que é de 35 a 36 gramas por litro, demonstrando assim, grande avidez por sais principalmente Na^+ e Cl^- .

Segundo Sharma (1982), o turgor e a percentagem de saturação das folhas da *Atriplex* aumentam com aumento da salinidade, enquanto as taxas de transpiração e fotossíntese decrescem. No entanto, a redução na taxa de transpiração é, proporcionalmente, maior do que na fotossíntese. Este mesmo autor apresenta dados de que para uma redução de 50% na taxa de transpiração, a redução na fotossíntese é de apenas 20%.

Conforme Porto & Araújo (2000) a tolerância desta planta é devida ao desenvolvimento de mecanismos especializados de acumulação de sal no interior da planta, ou de eliminação por meio de vesículas especiais existentes na superfície das folhas. Quando cheias, essas vesículas ou pústulas se rompem liberando o sal, através de finas camadas de cristais, que se aderem à superfície da foliar.

Segundo Glenn *et al.*, (1998), esses cristais de sal ajudam na economia de água pela planta, por meio da reflexão da radiação solar, reduzindo conseqüentemente, a temperatura da folha e mantendo a turgidez das células. Assim sendo, a planta age desta forma, não com o objetivo de se tornar especialista em absorção de sais, mas, como forma de ajustar-se ao ambiente adverso (Sharma, 1982).

3.3 - A erva sal (*Atriplex nummularia*)

É sabido que a erva sal (*Atriplex nummularia* Lindl.) foi introduzida no semi-árido brasileiro na década de quarenta, através dos trabalhos de pesquisa de Guimarães Duque. Mas somente nestas últimas décadas é que ela tem recebido mais atenção por parte dos pesquisadores brasileiros. O nome erva sal é devido à particularidade desta planta em absorver sal através de seu sistema fisiológico tendo, portanto, o sabor salgado.

Em conformidade com a FAO (1996), as características que lhe dão importância são: alta resistência a condições de aridez, bom rendimento forrageiro com valor nutritivo entre 14 e 17% de proteína bruta, alto poder calorífico, fácil propagação e pouca susceptibilidade a pragas e doenças. Uma peculiaridade desta planta é que ela requer sódio como elemento essencial em sua nutrição. Ainda de acordo com a FAO (1996) somente no Chile, existem mais de 48.000 ha plantados com esta espécie.

Segundo Mckell (1994), várias espécies de *Atriplex* mostraram-se como excelentes forrageiras para consumo animal, devido o seu favorável conteúdo de proteína bruta. Nesse contexto se insere a erva sal (*A. nummularia*, Lindl), no semi-árido com grande potencial para fornecimento de alimentação animal, principalmente no período de seca em que é escassa a pastagem nativa.

De acordo com vários autores, baixos níveis de salinidade não apresentaram efeitos deletérios sobre o crescimento de espécies de *Atriplex* pelo contrário estimularam o seu crescimento (Ashby & Beadle, 1957; Chatterton & Mckell, 1969). Porém, altos níveis de salinidade podem causar redução no crescimento total em espécies de *Atriplex*, principalmente da biomassa foliar (Greenway, 1968; Mozafar *et al.*, 1970; Richardson & Mckell, 1980).

3.4 - Origem, caracterização botânica e obtenção de mudas

A erva sal (*A. nummularia*, Lindl) é uma das espécies forrageiras da família *Chenopodiaceae*, originária da Austrália, que tem se adaptado muito bem às regiões áridas e semi-áridas da América do Sul, em particular da Argentina, Chile e Brasil (Nordeste). A planta é do tipo arbusto, considerada perene, que dependendo do favorecimento do ambiente de cultivo, pode atingir altura de até 3,00 m, apresentando uma média de 1,50 m. Plantas cultivadas no semi-árido brasileiro com um ano de idade atingiram uma média de 2,20 m e seu sistema radicular atingiu uma profundidade de 3,50 m (Porto & Araújo, 2000).

Classificação Botânica:

Reino: *Plantae*

Subreino: *Tracheobionta*

Superdivisão: *Spermatophyta*

Divisão: *Magnoliophyta*

Classe: *Magnoliopsida*

Subclasse: *Caryophyllidae*

Ordem: *Caryophyllales*

Família: *Chenopodiaceae*

Gênero: *Atriplex spp*

Espécie: *Atriplex nummularia* Lindl.

Segundo Campbell & Matthewson (1999) a produção de mudas por meio de sementes apresenta limitações em função das dificuldades de germinação. Devido a este motivo, as mudas são obtidas por meio de propagação vegetativa, o que garante um padrão genético uniforme. De acordo com Porto & Araújo (2000) os melhores ramos para enraizamento são os semi-lenhosos, com diâmetro inferior a 0,50 cm apresentando um índice de aproveitamento das estacas de 60%. Utilizando o hormônio indutor de enraizamento AIB (ácido indolbutírico) na forma de polvilho misturado com talco inodoro na concentração de 330 ppm, este índice subiu para 90%.

3.5 - Potencialidades agrícolas

3.5.1 - Potencial forrageiro

A planta *A.nummularia* tem sido utilizada em várias regiões áridas e semi-áridas do mundo como recurso forrageiro importante na complementação de dietas para ruminantes e não ruminantes. O pastoreio de áreas estrategicamente reservadas para serem usadas no período mais crítico do ano (pastejo diferido), tem sido a sua principal forma de uso. Entretanto, pode-se utilizá-la na forma de feno, sempre em consórcio com outro tipo de volumoso presente na região (palma, leucena e capins), de forma que estes possam neutralizar o efeito do excesso de sódio (Na^+). Para não comprometer o consumo, geralmente utiliza-se 30% de erva sal e 70% de volumoso (Porto & Araújo, 1999).

Por ser uma planta de regiões áridas, a sua produtividade reflete muito nas condições ambientais. A produção de matéria seca conseguida em diversas partes do mundo tem variado de 2,8 t a 15,3 t por hectare por ano, englobando condições ambientais onde chovem 200 mm por ano até áreas irrigadas com água do mar ou rejeito proveniente da dessalinização de água salobra (Porto & Araújo, 1999). Vale ressaltar que quanto maior a sua performance produtiva, melhor será a mobilização dos sais do solo e a produção de lenha e de material forrageiro. De acordo com O'Leary (1986) a *Atriplex nummularia* está entre as mais nutritivas espécies da família *Chenopodiaceae*, devido bom valor protéico compara-se com forrageiras consideradas nobres como a alfafa. Segundo Last & Llewellyn (1997), sementes da erva sal produzem substâncias antifúngicas, principalmente contra *Fusarium spp.*

Segundo a FAO (1996), a produção de leite em rebanho caprino aumentou, quando se utilizou a pastagem natural associada à erva sal e à palma forrageira em relação ao uso somente da pastagem natural. Os altos teores de água contidos nos tecidos da palma com o alto teor de sal dos tecidos da *Atriplex*, atuaram como fator láctico. Furtado (2002), em teste de palatabilidade, constatou que houve uma maior aceitação da erva sal por parte de suínos, que mesmo na concorrência com outras forragens foi bem consumida. As ovelhas e galinhas tiveram aceitação semelhante, porém consumiram na ausência de outra forrageira e com incentivo de grãos de milho.

Furtado (2002), recomenda o manejo da poda em determinados intervalos de tempo, como forma de rejuvenescer a planta, bem como a obtenção de lenha em regiões áridas e semi-áridas. Portanto, a erva sal como outras espécies do gênero *Atriplex* apresenta boa performance e produtividade em ambientes adversos com alta escassez de água e problemas de salinidade quando equiparadas com plantas de outros gêneros.

3.5.2 - Potencial para remediação de solos salinizados

Nos últimos anos têm sido crescente o uso da dessalinização de água salobra, proveniente de poços perfurados no cristalino, com o objetivo de garantir água potável para as populações da zona rural que são acometidas pelos efeitos da seca, dando origem a um produto de rejeito da osmose reversa, que sem sofrer nenhum tratamento é depositado no solo gerando a degradação do mesmo. Segundo Porto et al., (1997), a deposição deste rejeito poderá trazer, em um curto intervalo de tempo, sérios problemas para as comunidades que estão se beneficiando desta tecnologia, principalmente em termos de perdas de solo.

Em muitos países, o cultivo de plantas halófitas forrageiras, em especial a erva sal, tem sido usada não apenas para recuperar solos salinizados, mas também, como estratégia para uso do rejeito da dessalinização de água salobra, reduzindo o impacto da degradação ambiental e ao mesmo tempo, possibilitando a produção de forragem em áreas com baixo potencial produtivo (Boegli & Thullen, 1996).

Segundo Porto & Araújo (2000), a maior acumulação de sais ocorre nas folhas de *Atriplex*, em experimentos conduzidos na Embrapa Semi-Árido (Petrolina – PE), numa plantação irrigada com rejeito da dessalinização, o teor de cinzas das diferentes partes da planta em relação à matéria seca foi o seguinte: folha 25,23%, caule fino 8,62%, caule grosso 4,04% e lenha 3,18%. A partir destes dados, a estimativa é que a acumulação de sais na planta foi correspondente a $1.145 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ nas condições do semi-árido brasileiro. Plantas de *Atriplex* também podem ser usadas no combate à erosão e na fixação de dunas (Herrera, 2001). Esta planta tem se destacado na perspectiva de melhoramento e desenvolvimento de espécies apropriadas para irrigação com água do mar (Glenn et al., 1995).

De acordo com os resultados obtidos por Porto et al., (2001) pode-se considerar a *Atriplex nummularia*, como cultivo que suporta ambientes de alta salinidade, podendo

mesmo ser tida como de grande habilidade na remoção de sais encontrados no solo de áreas salinizadas.

Atualmente tem-se sido proposto que espécies de *Atriplex* podem acumular metais pesados, tais como: Cádmio e Zinco, dentre outros, e que estas poderiam ser usadas na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados. Conforme Lutts et al., (2004) trabalhando com *Atriplex halimus* em condições de casa de vegetação, verificou que a taxa de translocação de metais pesados (Cd e Zn) para parte aérea foi aumentando de acordo com a duração ao estresse por metais pesados, e que esta é capaz de produzir até $5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de matéria seca.

Segundo Furtado (2002), a *Atriplex nummularia* apresentou uma larga tolerância para diferentes condições de solo. Tolera solos poucos profundos, com alto nível de salinidade, registrando bom crescimento em solos que apresentam condutividades elétrica até 57 mmho cm^{-1} ou 57 dS m^{-1} aproximadamente 50 g L^{-1} de sólidos totais dissolvidos (STD). No entanto, os melhores crescimentos ocorreram em solos de textura franca a franca-argilosa, mas suporta bem a textura arenosa.

3.6 – Transpiração e fotossíntese de plantas sob estresses salino e hídrico

As halófitas são plantas com habilidade de suportar não apenas altos níveis de salinidade no complexo solo-água mas, também, suportar períodos de estiagem, ainda assim acumular significativas quantidades de sais em seus tecidos. Dentre as halófitas, a erva sal (*A. nummularia*) é uma das mais importantes por ser originária de regiões de deserto salino na Austrália o que lhe confere uma melhor adaptação ao clima semi-árido como é caso do nordeste brasileiro.

Em condições de climas semi-árido, a desertificação está se tornando um problema sério, com uma progressiva redução da cobertura vegetal acompanhada a rápida erosão do solo. A resistência a seca é um complexo que envolve a interação de propriedades severas, e isso tem feito que se aumente o interesse em estudar características fisiológicas de espécies xero-halófitas, ou seja, espécies que resistem a seca e a salinidade, para identificar e entender mecanismos de resistência a seca.

Espécies de *Atriplex* são bem adaptadas às condições de deserto, e estas se constituem num grande potencial para a identificação de mecanismos fisiológicos e genes

envolvidos na resistência a estresses abióticos, como a salinidade e a seca (Shen et al., 2003; Cabello-Hurtado & Ramos, 2004; Wang & Showalter, 2004).

O principal mecanismo que contribui para resistência ao estresse hídrico é o ajustamento osmótico, o qual envolve a acumulação de solutos nas células em resposta a queda do potencial hídrico do solo (Zhang et al., 1999). Em estudos conduzidos por Miyamoto *et al.*, (1996) sobre o uso de espécies de *Atriplex* irrigadas com água de alta salinidade, constatou que a evapotranspiração vai reduzindo à medida que a salinidade da água de irrigação aumenta. Em águas com salinidades de 1, 10, 20 e 40 gramas por litro, durante 14 semanas de verão, em Puerto Peñasco no México, os totais evapotranspirados foram 480, 440, 270 e 140 mm, respectivamente. No entanto, neste mesmo local e período, a evaporação potencial, medida com o tanque classe A foi de 705,6 mm.

Gale & Poljakoff-Mayber (1970) trabalhando com *Atriplex halimus* verificou que tanto a fotossíntese como a transpiração decrescem com o aumento da salinidade, sendo que neste caso a fotossíntese foi reduzida mais drasticamente do que a transpiração, aumentando por sua vez, o uso eficiência da água.

3.7 – Redutase de nitrato: bioquímica, fisiologia e importância no crescimento

O nitrato representa a principal forma de N inorgânico disponível para as plantas cultivadas em solos aerados (Redinbaugh & Campbell, 1991). As principais fontes de NO_3^- é a mineralização do N-orgânico, através dos processos de amonificação e nitrificação (Lea, 1997). O NH_4^+ oriundo dos fertilizantes ou da matéria orgânica é facilmente nitrificado através das bactérias do gênero nitrosomonas e nitrobacter (Pilbeam & Kirkby, 1990). Em solos com carga líquida negativa, como no caso dos que possuem grandes proporções de argilas do tipo 2:1, o NO_3^- predomina na solução do solo e, nestas condições, é facilmente lixiviado para as camadas inferiores. Ao contrário, nos solos ácidos, com carga residual positiva, esse ânion é retido pela superfície sólida (Pilbeam & Kirkby, 1990).

A assimilação do nitrato é realizada através de duas reações consecutivas catalisadas por redutase de nitrato e redutase de nitrito, com formação de NH_4^+ (Lea, 1997). O processo de redução assimilatória de nitrato requer o consumo de 8 elétrons através de NAD(P)H e ferredoxina reduzida. A primeira reação é considerada como

marca-passo, controlando todo o fluxo assimilatório do N-NO_3^- até amônia e aminoácidos (Redinbaugh & Campbell, 1991). Entretanto, a regulação do fluxo global da conversão do N-NO_3^- até amônia e aminoácidos é realizada primariamente pelas taxas de absorção de nitrato sobre a atividade de RN (Imsande & Touraine, 1994).

De qualquer maneira, a atividade de RN regula a conversão de nitrato em amônia e aminoácidos, controlando assim, todo o fluxo de N-reduzido "novo" para a síntese protéica e crescimento (Lea, 1997). Redutase de nitrato apresenta mecanismos complexos de regulação por fatores metabólicos e do ambiente externo, nos níveis de indução da síntese (expressão do gene, síntese do mRNA e síntese da proteína RN), modulação no estado pós-tradução, inibição e degradação proteolítica da enzima (Lea, 1997). Os diversos fatores (produtos da fotossíntese, nível de aminoácidos, hormônios, carga energética da célula, poder redutor) e outros externos (luz, fluxo de NO_3^- , temperatura etc) podem afetar a atividade de RN, através da alteração de um ou mais eventos determinantes da concentração da enzima na forma ativa no tecido (Crawford, 1995).

O tipo predominante de RN nas plantas superiores é uma forma dependente de NADH, a qual contém duas sub-unidades idênticas de 110-115 kDa, cada uma contendo os grupos prostéticos FAD, heme (citocromo b_{557}) e um cofator de Mo. Os elétrons são passados do NADH para o NO_3^- através de uma pequena cadeia, conforme abaixo indicado:



A enzima pode catalisar outras reações parciais a exemplo da redução do citocromo c, cujo papel fisiológico ainda não está claro. A enzima também pode converter o ClO_3^- (clorato) até ClO_2^- (clorito), o qual é tóxico às plantas. Essa reação é o princípio de ação dos herbicidas do tipo clorato, além de ser utilizada (o clorato) para fins de obtenção de mutantes deficientes em RN.

A indução de RN por NO_3^- depende mais do fluxo desse nutriente até o citosol do que de sua concentração no tecido. As evidências experimentais indicam, segundo Helmer & Filner (1971), a existência de dois reservatórios de nitrato. Um pequeno, denominado "reservatório metabólico", que compreende o NO_3^- transiente no citosol. O segundo, denominado "reservatório de armazenamento", corresponde ao nitrato dos vacúolos, relativamente inacessível à redução. O "pool metabólico" depende do fluxo de nitrato na célula que por sua vez é dependente da absorção pelas raízes e do fluxo NO_3^-

no xilema. As relações entre as interconversões a partir dos dois "pools" são pouco compreendidas e apresentam uma grande dependência genética (Crawford, 1995).

O nível de nitrato no "pool metabólico" é responsável pela indução da síntese de RN. Baixas concentrações de NO_3^- citosólico são suficientes para a completa indução da enzima. Por outro lado, níveis elevados de nitrato têm efeitos positivos somente sobre a atividade "steady-state" de RN. Assim, baixos fluxos de nitrato são necessários para a indução na síntese e manutenção da concentração necessários para obtenção de alta atividade da enzima em condições de altos fluxos de nitrato (Pilbeam & Kirkby, 1990). Os mecanismos de mobilização de nitrato armazenado nos vacúolos para o citosol ainda são pouco compreendidos.

A luz exerce efeitos diretos e indiretos sobre a atividade de RN nas plantas superiores (Solomonson & Barber, 1990). Com efeito direto, a luz atua na indução da síntese e ativação da enzima. Indiretamente, a luz atua através da fotossíntese, abertura de estômatos e indução da mobilização de nitrato dos vacúolos das folhas (Crawford, 1995). Alguns produtos da fotossíntese como trioses-fosfato e hexoses-fosfato atuam na indução da síntese e modulação positiva de RN. A assimilação fotossintética de CO_2 também estimula a atividade de RN. A fotossíntese fornece, direta ou indiretamente, o poder redutor (NAD(P)H e ferredoxina reduzida) necessários para as reduções de nitrato e nitrito. Por outro lado, a luz induz a abertura dos estômatos, promovendo aumentos na transpiração e no fluxo de nitrato para as folhas (Salisbury & Rossi, 1992).

A enzima RN de plantas superiores está localizada no citosol enquanto que a redutase de nitrito localiza-se dentro dos cloroplastos ou em plastídios das raízes. Na maioria das espécies vegetais, particularmente as anuais e de ambiente tropical, a redutase de nitrato se localiza mais intensamente nas folhas. As leguminosas de clima temperado e as espécies lenhosas em geral têm a redução do nitrato distribuída entre raízes e folhas. Em algumas espécies a atividade de RN é várias vezes maior nas raízes como no caso de plantas jovens de cajueiro (Viégas et al., 1999). A partição da redução de nitrato entre raízes e folhas pode variar com as condições do ambiente, mas em geral a componente genética comanda a localização de RN (Silveira, 1987).

Além do NO_3^- , freqüentemente a atividade de RN pode ser limitada pela disponibilidade de NADH na célula (Lea, 1997). No caso das folhas, os cloroplastos são as principais fontes de poder redutor através do suprimento de trioses-fosfato para o citosol. Assim, a principal fonte de NADH para a atividade de RN parece ser a partir de

gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase (Lea, 1997). A respiração mitocondrial e outros processos biossintéticos com demanda por poder redutor e esqueletos de carbono podem competir com a redução do nitrato (Silveira & Crocomo, 1985).

Alguns trabalhos têm demonstrado que o Cl^- exerce efeitos negativos sobre a absorção de NO_3^- (Deane-Drummond, 1996). Sob condições de limitação no nível externo de nitrato, verificou-se uma absorção preferencial de Cl^- às custas da absorção de NO_3^- provocado tanto pela realimentação negativa exercida pelo Cl^- interno como pela redução no influxo de nitrato por efeito direto do Cl^- (Deane-Drummond, 1996). Entretanto, os mecanismos de realimentação por Cl^- , mesmo na presença de NO_3^- externos, assim como a interação entre os dois, são ainda obscuros.

Plantas jovens de cevada submetidas à salinidade com NaCl, em experimento de curta duração (minutos), apresentaram redução nas taxas de absorção de NO_3^- (Klobus et al., 1998). Estudando a absorção e a redução de nitrato em plantas de cevada inicialmente submetidas a diferentes concentrações de NaCl, Aslam et al. (1984) observaram decréscimos na absorção de nitrato e atribuíram-nas às diminuições na atividade de redutase de nitrato ao nível de plasmalema. Resultados semelhantes foram obtidos por Gouia et al., 1994, trabalhando com plantas sensíveis (feijão) e outras tolerantes (algodão) à salinidade e submetidas ao NaCl durante longa duração (30 dias). Esses autores também observaram redução na atividade de RN.

Apesar de alguns trabalhos evidenciarem que a presença de Cl^- no meio externo induz reduções na absorção (influxo) de nitrato e de existir uma unanimidade em relação àquela tendência geral, o mesmo não pode ser afirmado a respeito dos efeitos do NaCl sobre a atividade de RN (Silveira et al., 1999). Apesar do déficit hídrico provocar drásticas reduções na atividade de RN, mesmo a partir de pequenas reduções no potenciais hídricos da planta (Sinha & Nicholas, 1981; Costa, 1999), e de que a salinidade provoca inicialmente uma diminuição na absorção da água e transpiração, seguido de diminuição no potencial hídrico, observa-se que a literatura apresenta resultados contraditórios quanto aos efeitos da salinidade sobre a atividade de RN.

A contradição dos resultados sobre os efeitos do NaCl na atividade de RN, segundo Silveira et al. (1999). Está relacionada com diversos fatores, além das diferenças genéticas entre as espécies utilizadas, em termos da tolerância à salinidade, deve-se destacar, principalmente as questões metodológicas dos trabalhos. Parece fundamental definir claramente o tipo e a intensidade do estresse utilizado. Assim, a

aplicação de um estresse moderado durante longa duração pode permitir uma adaptação ou ajustamento osmótico àquelas concentrações de NaCl ou a outras impostas posteriormente. Por outro lado, diferenças nas condições de temperatura, luminosidade e transpiração durante os experimentos podem levar à respostas diferentes (Viégas et al., 1999).

3.9 – Tolerância cruzada: pré-acondicionamento de plantas para outros estresses

Diante dos mais diversos estresses, tais como: seca, altas temperaturas e salinidade, e para assegurar sua sobrevivência as plantas utilizam vias e componentes comuns durante a resposta a esses diferentes tipos de estresses (Pastori e Foyer, 2002). Este fenômeno, conhecido como tolerância cruzada, permite a planta se adaptar/aclimatar a uma gama de estresses, após exposição a um único estresse específico (Pastori e Foyer, 2002). Vale ressaltar que, aos mecanismos utilizados para responder os estresses ambientais, sob estas circunstâncias, é dado o nome de resposta cruzada (Knight e Knight, 2001).

As respostas cruzadas ocorrem quando duas ou mais vias de sinalização de estressores diferentes convergem para um mesmo ponto, ou em vias de sinalização que interagem, interferindo nas respostas, uma das outras, para atingir objetivos diferentes. As vias de sinalização de diversos estresses utilizam componentes comuns das vias de sinalização do etileno. As respostas cruzadas, também podem ocorrer entre vias, em diferentes órgãos das plantas. Nessa situação, um sinal sistêmico, assim como o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e outros sinalizadores, deslocam-se de uma célula estimulada para outro tecido (Knight e Knight, 2001).

No caso da tolerância à seca e à salinidade, elas também podem ser obtidas através da manutenção, ativação ou promoção de sistemas fisiológicos comuns. Zhu (2002) propõe que, para sobreviver sob condições de estresse salino ou seca, o organismo vegetal utiliza três processos: (a) homeostase, que inclui a homeostase iônica, relevante principalmente durante o estresse salino, e homeostase osmótica ou ajustamento osmótico; (b) controle de danos e reparos, ou desintoxicação; e (c) controle do crescimento.

IV – LITERATURA CITADA:

- ASHBY W.C. BEADLE N.C.W. Salinity factors in the growth of Australian saltbushes. **Ecology**, v.38, p. 344-352. 1957.
- ASLAM M. HUFFAKER R.C. RAINS D.W. Early effects of salinity on nitrate assimilation in barlei seedlings. **Plant Physiology**, v.76, p. 321-325.1984.
- BARROS L. M. SOLOS. In: Lima, V. P. M. S. A cultura do cajueiro no Nordeste do Brasil. Fortaleza, BNB, ETENE, **Estudos Econômicos Sociais**, v.35, p.81-105. 1998.
- BOEGLI W.J. THULLEN J.S. **Eastern municipal water district treatment/saline vegetated wetlands pilot study**. Water Treatment Technology, Program Report, v.16: final report. 116p. Il. 1996.
- CABELLO-HURTADO F. RAMOS. J. Isolation and functional analysis of glycerol permease activity of two nodulin-like intrinsic proteins from salt stressed roots of the halophyte *Atriplex nummularia*. **Plant Science**, v.166, p. 633-640. 2004.
- CAMPBELL E.G. MATTHEWSON W.J. Optimizing germination in *Atriplex nummularia* Lind. for commercial cultivation. **South African Journal Botany**, v.58, n.6, p. 478-481. 1999.
- CARTER D.L. Problems of salinity interroganda agriculture. In: Poljakoff-Mayber A. Gale J. (Eds). **Plants in saline environments**. New York. Heidelberg, p.25-35. 1975.
- CHATTERTON N.J. MCKELL C.M. *Atriplex polycarpa*. I. Germination and growth as affected by sodium chloride in water cultures. **Agronomy Journal**, v.61, p. 451-453. 1969.

- COSTA R. C. L. **Assimilação de nitrogênio e ajustamento osmótico em plantas noduladas de feijão de corda submetidas ao estresse hídrico.** Tese de Doutorado. UFC. Fortaleza-CE, 255p. 1999.
- CRAWFORD N. M. Nitrate: nutrient and sinal for plant growth. **The Plant Cell**, v. 7, p. 859-868. 1995.
- DEANE-DRUMMOND C. E. A comparison of regulatory effects of chloride on nitrate uptake, and of nitrate on chloride uptake into *Pisum sativum* seedlings. **Physiology Plant**, v.66, p. 115-121. 1996.
- FAO (Roma, Itália). **Estudios de caso de especies vegetales para zonas aridas y semiaridas. Santiago: Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe** 143p.il (FAO. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Zonas Aridas y Semi-aridas, 10). 1996.
- FLOWERS T.J. TROKE P.F. YEO A.R. The mechanism of salt tolerance in halophytes. **Annual Rev. Plant Physiol.**,v.28, p. 89-121. 1977.
- FURTADO F.N. **Aproveitamento de rejeitos de dessalinizadores de água na irrigação da *Atriplex nummularia* Lindl (erva sal).** Dissertação de Mestrado, UFC, Fortaleza, CE. 2002.
- GALE J. POLJAKOFF-MAYBER A. Interrelations between growth and photosynthesis of salt bush (*Atriplex halimus* L.) grown in saline media. **Australia Journal Biology Science**, v. 23, p. 937-945. 1970.
- GOUIA H. GHORBAL M. H. TOURAINE B. Effects of NaCl on flows of N and mineral ions and on nitrate reduction rate within whole plants of salt-sensitive bean and salt-tolerant cotton. **Plant Physiology**, v.105, p. 1409-1418. 1994.
- GLEEN E. HICKS N. RILEY J. SWINGLE S. Seawater irrigation of halophytes for animal feed. In: Choukr-Allah R. Malcolm C.V. Hamdy A. **Halophytes and biosaline agriculture.** New York: M. Dekker,v.11, p.221-236. 1995.
- GLEEN E.P. BROWN J.J. O'LEARY J.W. Irrigating crops with seawater. **Scientific American**, v.278, n.1, p. 76-81. 1998.
- GLENN E. TANNER R. MIYAMOTO S. FITZSIMMONS K. BOYER J. Water use, productivity and forage quality of the halophyte *Atriplex nummularia* grow on saline waster water in a desert environment. **Journal of Arid Environments**, v.38, p.45-62. 1998.

- GREENWAY H. Growth stimulation by high chloride concentrations in halophytes. **Israel Journal of Botany**, v.17, p. 169-177. 1968.
- GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanism of salt tolerance in nonhalophytes. **Annual Review of Plant Physiology**, v.30, p.149-155. 1980.
- HEIMER Y. FILNER P. Regulation of the nitrate assimilation pathway in cultured tobacco cells. III. The nitrate system. **Biochemistry and Biophysic Acta**, v.230, p. 362-372. 1971.
- HERRERA, O. **Uso das águas salobras no cultivo de plantas**. Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA), São Bento do Una, PE. 2001.
- IMSANDE J. TOURAINE B. N demand and the regulation of nitrate uptake. **Plant Physiology**, v.105, p. 3-7. 1994.
- KLOBUS G. WARD M. R. HUFFAKER R. C. Characteristics of injury and recovery of net nitrate transport of barlei seedlings from treatments of NaCl. **Plant Physiology**, v.87, p. 878-882. 1998.
- KNIGHT H.; KNIGHT M.R. Abiotic stress signaling pathways: specificity and cross-talk, **Trends in Plant Science**, v.6, n.6, p.262-267. 2001.
- LAST D.I. LLEWELLYN D.J. Antifungal proteins from seeds of Australian native plants and isolation of an antifungal peptide from *Atriplex nummularia* Lindl. **New Zealand Journal of Botany**, v.35, n^o 3, p.385-394. 1997.
- LÄUCHLI, A. **Symplastic transport and ion release to the xylem. In transport and transfer processes in plants**, ed. I.F. Wardlaw, J.S. Passioura. New York. 1976.
- LEA P. J. Primary nitrogen metabolism. **In: Plant Biochemistry**(Dey, P.M. Harbone J.B. eds). Academic press, San Diego, California, USA, p. 273-306. 1997.
- LUTTS S. LEFRÉVRE I. DELPÉRÉE C. KIVITS S. DECHAMPS C. ROBLEDO A. CORREAL E. Heavy metal accumulation by the halophyte species Mediterranean saltbush. **Journal of Environmental Quality**, v.33, p. 1271-1279. 2004.
- MCKELL C.M. **Salinity tolerance in *Atriplex* species: Fodder shrubs of arid lands**. In: Pessarakli P, ed. Handbook of plant and crop stress. New York: Marcel Dekker, inc., p. 497-503. 1994.
- MIYAMOTO S. GLENN E.P. SINGH N.T. Utilization of halophytic plants for fodder production with brackish water in subtropic deserts. In: SQUIRES, V.R; AYOUB, A.T. eds. **Halophytes as a resource for livestock and for rehabilitation of degraded lands**. The Wetherlands: Kluwer Academic, p.43-75. 1996.

- MOZAFAR A. GOODIN J.R. OERTLI J.J. Na and K interactions in increasing the salt tolerance of *Atriplex halimus* L. II. Na⁺ and K⁺ uptake characteristics. **Agronomy Journal**, v.62, p. 481-484. 1970.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v.25. p. 239-250. 2002.
- O'LEARY J.W. **A critical analysis of the use of *Atriplex* species as crop plant for irrigation with highly saline water.** In: Ahmad, R; San Pietro, A. Ed. Prospects for biosaline research. Pakistan: Karachi University, Botany Dept., p.416-432. 1986.
- PASTORI G.M.; FOYER C.H. Common components, networks, and pathways of cross-tolerance to stress. The central role of "Redox" and abscisic acid-mediated controls. Update on stress tolerance. **Plant Physiology**, v.129, p.460-468. 2002.
- POLJAKOFF-MAYBER, A. **Morphological and anatomical changes in plants as a response to salinity stress.** In: Poljakoff-Mayber, A.; Gale J. (Eds). Plants in saline environments. New York: Springer-Verlag. p. 97-117. 1975.
- PORTO E.R. AMORIM M.C.C. DE. ARAÚJO O.J. SILVA JÚNIOR L.G.A. **Aproveitamento dos rejeitos da dessalinização. In: Simpósio Sobre Captação de Água de Chuva No Semi-Árido Brasileiro**, 1., Petrolina, PE. 1997.
- PORTO, E.R, ARAÚJO, G.G. **Erva Sal (*Atriplex nummularia*).** EMBRAPA SEMI-ÁRIDO. Instruções Técnicas nº 22. Petrolina, PE. 1999.
- PORTO, E.R. ARAÚJO,G.G. Uso da Erva Sal (*Atriplex nummularia*) como forrageira irrigada com água salobra. EMBRAPA SEMI-ÁRIDO. **Circular Técnica nº 53. Petrolina**, PE. 2000.
- PORTO E.R. AMORIM M.C.C. JUNIOR. L.G.A.S. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da Erva Sal (*Atriplex nummularia*). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, nº 1, p. 111-114. 2001.
- PILBEAM D.J. KIRKBY E.A. The physiology of nitrate uptake. **In: Nitrogen in Higher Plants**, (ABROL, Y.P. ed.), p. 39-64. 1990.
- PRISCO J.T. PAHLICH E. **Recent Advances on the Physiology of Water and Salt Stresses.** In: Reunião Brasileira de Fisiologia Vegetal, 2, Piracicaba. Anais... Piracicaba. SBFV; ESALQ, p.24. 1989.
- REDINBAUGH M.G. CAMPBELL W.H. Higher plant responses to environmental nitrate. **Physiology Plantarum**, v.82, p. 640-650. 1990.

- RICHARDSON S.G, MCKELL C.M. Water relations of *Atriplex canescens* as affected by salinity and moisture percentages of processed oil shale. **Agronomy Journal**, v.72, p. 946-950. 1980.
- SALISBURY F.B. ROSS C.W. **Plant Physiology**, 4th ed. Wadsworth publishing company, Belmont, California. 1992.
- SANTOS R.V. MURAOCA T. Interações salinidade e fertilidade do solo. In: XXVI Congresso Brasileiro De Engenharia Agrícola, 26, Campina Grande. **Anais...Campina Grande: UFPB**, p. 289-317. 1997.
- SARRUGE J.R. HAAG H.P. **Análise química de plantas**. Piracicaba. Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 56 p. 1974.
- SHARMA, M.L. **Aspects of salinity and water relations of Australian chenopods**. In: Sen, D.N; Rajpurohit, K.S. Contributions to the ecology of halophytes. Hague: W. Junk, Cap. 4, p. 155- 175. 1982.
- SHARNER D. L. BOYER J. S. Nitrate reductase activity in maize (*Zea mays* L.) leaves. I. Regulation by nitrate flux. **Plant Physiology**, v.58, p. 499-504. 1976.
- SHEN Y.G. ZHANG W.K. YAN D.Q. DU B.X. ZHANG J.S. LIU Q. CHEN S.Y. Characterization of a DRE-binding transcription factor from a halophyte *Atriplex hortensis*. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 107, p. 155-161. 2003.
- SILVEIRA J. A. G. Carbono e nitrogênio: partição e produtividade. **In: Anais do V Seminário de Biotecnologia Agrícola** (CROCOMO O.J. SILVEIRA J. A. G. eds.), p. 305-354. CEBTEC/FEALQ/USP, São Paulo. 1987.
- SILVEIRA J. A. G. MATOS J. C. S. CECCATO V. M. SAMPAIO A. H. COSTA R. C. L. Induction of nitrate reductase activity and nitrogen fixation in two *Phaseolus* species in relation to exogenous nitrate level. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 4, p. 19-26. 1998.
- SILVEIRA J.A.G. CARDOSO B.B. MELO A.R.B. VIÉGAS R.A. Salt-induced decrease in nitrate uptake and assimilation in cowpea plants. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.11, p –77-82. 1999.
- SINHA S. K. NICHOLAS D. J. D. Nitrate reductase. **In: The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants**. (PALEG L. G. ASPINAL D. eds.) p. 145-169, academic press, Sidney. 1981.

- SOLOMONSON L. P. BARBER M. J. Assimilatory nitrate reductase: functional properties and regulation. Annual review of plant physiology. **Plant Molecular Biology**, v. 41, p. 187-223. 1990.
- SOIL SCIENCE OF AMERICA. Glossary of salt science terms. Madison: **American Society of Soil Science**, p.44. 1987.
- VIÉGAS R.A. MELO A. R. B. SILVEIRA J. A. G. Nitrate reductase activity and proline accumulation in cashew in response to NaCl salt shock. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.11, p . 21-28. 1999.
- WANG L.W. SHOWALTER A.M. Cloning and salt-induced, ABA independent expression of choline mono-oxygenase in *Atriplex prostrata*. **Physiologia Plantarum**, v. 120, p. 405-412. 2004.
- ZHANG J. NGUYEN H.T. BLUM A. Genetics analysis of osmotic adjustment in crop plants. **Journal Experimental Botany**, v. 50, p. 291-302. 1999.
- ZHU J. K. Salt and drought stress signal transduction in plants. **Annual Review in plant Biology**, v.53, p.247-273. 2002.

**CAPÍTULO I: “USO EFICIÊNCIA DE MACRONUTRIENTES E ÁGUA EM
ERVA SAL (*Atriplex nummularia*) EXPOSTAS A NÍVEIS CRESCENTES DE
NaCl”**

RESUMO

A erva sal (*Atriplex nummularia* Lindl.) é uma espécie halófito com elevada capacidade de acumular íons salinos em suas folhas. Não obstante, devido ao seu grande potencial agrícola e ambiental, existem poucos estudos sobre a nutrição mineral destas plantas expostas a níveis contrastantes de salinidade. Este presente trabalho teve como objetivo estudar as respostas de plantas de erva sal no que tange o uso eficiência de macronutrientes e água quando submetidas a doses crescentes de NaCl. Mudanças de *A. nummularia* com quatro meses de idade, foram cultivadas em vasos de argila com capacidade de 3.0 L, contendo como substrato areia, foram irrigadas a cada 2 dias com solução de diferentes níveis de NaCl (0, 100, 200, 300 e 400 mmol L⁻¹) durante 120 dias. O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação. As plantas controle transpiraram bem mais que as plantas tratadas com 400 mmol L⁻¹ de NaCl, e apresentaram menor resistência estomática. As variáveis de crescimento em folhas (massa fresca, massa seca e matéria orgânica seca) tiveram um aumento nas plantas tratadas com NaCl. Os resultados evidenciam que o NaCl influenciou positivamente o crescimento de *A. nummularia*, o qual, entretanto, não foi dependente da dose de sal. Apesar do NaCl ter influenciado o acúmulo de massa seca nas plantas, estas apresentaram um efeito maior na diminuição da transpiração e em menor extensão na fotossíntese, demonstrando assim um melhor uso eficiência da água em todos os tratamentos salinos. As plantas de *A. nummularia* tratadas com NaCl apresentaram um melhor uso eficiência de macronutrientes.

ABSTRACT

The oldman saltbush (*Atriplex nummularia* Lindl.) is a halophyte species with high capacity to accumulate salt ions in the leaves. In spite of the agricultural and environmental importance of this species, few studies focusing mineral nutrition of *A. nummularia* plants exposed to salinity were available. The aim of this work was the study of responses presented by *A. nummularia* plants exposed to NaCl external concentration in terms of macronutrient use efficiency and water use efficiency. Four-month-old *A. nummularia* plants were cultivated under greenhouse conditions in sand soil contained in clay pots with 3.0 L capacity. The plants were irrigated each two days with solutions containing different levels of NaCl (0, 100, 200, 300 e 400 mmol L⁻¹) during four months. The control plants showed a higher transpiration rate than that of the plants treated with 400 mmol L⁻¹ NaCl. Additionally, the control plants showed a small stomatal resistance than that of the salt-treated plants. Although, the salt-treated plants presented increase in some growth parameters, like fresh matter, dry matter and dry organic matter. The results showed that NaCl presented positive influenced in *A. nummularia* growth, nevertheless, it was not dose-dependent. The NaCl treatments induced accumulation of the dry matter in the plants, but triggered a strong decrease in the transpiration rate and a slight decrease in the photosynthesis rate. Thus, salt-treated plants demonstrated better water use efficiency and macronutrient use efficiency in all external salt concentrations.

1 - INTRODUÇÃO

As regiões áridas e semi-áridas constituem aproximadamente um terço da superfície terrestre (Archibold, 1995), e nestas regiões é comum problemas de salinidade associado à seca, elevadas temperaturas e má utilização dos recursos hídricos, como é o caso do nordeste brasileiro. Diante deste ambiente hostil, a utilização de plantas halófitas, que conseguem sobreviver e completam seu ciclo de vida é recomendado para atenuar e/ou amenizar os efeitos adversos principalmente da salinidade, evidentemente espécies com tolerância a salinidade, seca e temperaturas extremas serão melhores competidoras neste tipo de ambiente.

As halófitas são conhecidas pela sua habilidade de se adaptar e sobreviver em meio ambiente salinizado alterando seu metabolismo energético (Winicov & Bastola, 1997). Plantas do gênero *Atriplex* possuem adaptações capazes de tolerar os efeitos adversos causados pelo sais internamente, ou excretam esses sais das células e tecidos (McKell, 1994; Khan et al., 2000). E estas têm vantagem sobre as plantas cultivadas, pois são originárias de ambientes salinos.

As halófitas representam um importante grupo de plantas em potencial, estas podem ser usadas como forragem, madeira, óleo, lenha, polpa, saladas e produção de fibras. Elas também podem ser usadas para recuperação de áreas degradadas e estabilização de dunas, visto que existe mais de 2500 espécies de halófitas entre gramíneas, arbustos e árvores, e ocorrem em desertos salinos e áreas sob influência das marés. Tem-se aumentado substancialmente pesquisas com halófitas utilizando água do mar para irrigação de áreas, principalmente no oriente médio (Pasternak & Nerd, 1996; Lieth et al., 1999).

O estresse salino comumente reduz o crescimento das plantas (Munns & Termaat, 1986). O declínio no crescimento observado em várias espécies quando submetida ao estresse salino é frequentemente associado com um decréscimo na sua capacidade fotossintética. O decréscimo na fotossíntese induzido pelo estresse salino é principalmente associado com o fechamento parcial dos estômatos e/ou limitações não-estomáticas nos quais estão envolvidos os processos de assimilação de CO₂, como o decréscimo do conteúdo e atividade da Rubisco, RuBP ou capacidade de regeneração de Pi (Downton et al., 1985; Ziska et al., 1990; Brugnoli & Björkman 1992). A maioria das espécies de C₄, tais com a *A. nummularia* requerem Na⁺ em pequenas quantidades para converter piruvato a fosfoenolpiruvato em condições de luminosidade (Murata et al., 1992), para controlar a translocação de piruvato através das membranas via um simporte Na⁺/H⁺ (Ohnishi et al., 1990), e assim ajudar a manutenção da integridade da estrutura dos cloroplastos (Brownell & Bieligi, 1996).

A atividade de redutase de nitrato, a primeira enzima da redução assimilatória do nitrato, exerce regulação sobre a absorção de nitrato. E esta por sua vez, é influenciada pela presença de sal no substrato (Viégas et al., 1999; Costa, 1999). Não obstante, em espécies de halófitas como a erva sal (*A. nummularia*) existem poucos trabalhos com atividade de redutase de nitrato e muito menos com o uso eficiência do nitrogênio e de outros macronutrientes por estas plantas, como estas plantas conseguem produzir fitomassa diante do ambiente tão desfavorável.

Este trabalho teve como objetivo estudar as respostas de plantas de erva sal no que tange o uso eficiência de macronutrientes e água quando submetidas a doses crescentes de NaCl, levando em consideração a produção de massa seca, partição de íons inorgânicos e parâmetros de trocas gasosas.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 - Material vegetal

Em toda fase experimental, foram utilizadas mudas de erva-sal (*Atriplex nummularia* Lindl.) que foram propagadas vegetativamente por estaquia, obtidas a partir de matrizes oriundas do campo. Na época do experimento as mudas tinham quatro meses de idade, sendo cultivadas em vasos de argila com capacidade de 3 L, contendo como substrato areia lavada de rio.

2.2 -- Local e condições do experimento

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação, do Laboratório de Nutrição de Plantas e Estresse Ambiental – (LABPLANT) do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza-CE cuja localização é de latitude 3° 44' sul e longitude 38° 33' W e clima local do tipo AW na classificação de Koeppen. O período experimental foi compreendido entre os meses de Abril e Agosto de 2005. Durante o experimento as condições ambientais, no interior da casa de vegetação, foram: fotoperíodo de 12 horas de luz, temperaturas mínima 24°C, máxima 36°C, temperaturas médias diárias de 28°C, umidade relativa do ar mínima de 45%, máxima de 85%, médias diárias de 65% e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) de 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

2.3 – Solução nutritiva

Durante o experimento, foi utilizada a solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1950) modificada conforme a composição descrita na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição da solução nutritiva utilizada na irrigação das plantas de *Atriplex nummularia* Lindl.

Sais	[M]	(mL/L)
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	1	2,5
NH ₄ Cl	1	1,0
K ₂ HPO ₄	1	0,5
MgSO ₄	1	0,5
KNO ₃	1	2,0
Fe – EDTA	FeSO ₄ ·7H ₂ O	0,1
	Na ₂ (EDTA)	0,08
H ₃ BO ₃	0,04	1
MnCl ₂ ·4H ₂ O	0,009	1
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,003	1
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0,007	1
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0,0001	1

2.4 - Condução e tratamento das plantas

As mudas de *Atriplex nummularia*, com idade de quatro meses foram transplantadas diretamente para os vasos contendo areia (uma planta/vaso). Todos os vasos foram lavados exaustivamente com água destilada visando lixiviar o excesso de sais do substrato arenoso. Inicialmente as plantas foram submetidas a um período de aclimação durante 30 dias, onde nesta fase as mesmas foram irrigadas, com água destilada e solução nutritiva a cada dois dias intercalados, até próximo da capacidade de saturação do substrato (Araújo, 2003). Após o período de aclimação, foram selecionadas 20 plantas homogêneas quanto ao tamanho, quando assim se iniciaram os tratamentos salinos. As plantas foram irrigadas a cada dois dias com aproximadamente 250 mL de solução de NaCl (100, 200, 300 e 400 mmol L⁻¹). O tratamento controle consistiu na substituição do NaCl por igual volume de água destilada. Semanalmente era monitorada a condutividade elétrica e pH do lixiviado dos vasos, quando as plantas

atingiam concentrações próximas as nominais era realizada uma intensa lixiviação visando manter as plantas dentro das concentrações nominais, e assim evitar o acúmulo de sais. A cada semana as plantas eram irrigadas com solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1950) modificada.

2.5 – Colheita das plantas e determinação da massa fresca e massa seca

Foi realizada uma única coleta aos 120 dias de tratamento salino. As plantas foram regularmente fotografadas com o objetivo de registrar os sintomas visuais do estresse e/ou quaisquer outras modificações morfológicas na parte aérea das plantas. Na colheita, foi feita pesagem da massa fresca de raízes, caules e folhas, e posteriormente transferidas para secagem em estufa com circulação de ar a 70 °C, até peso constante, sendo pesados novamente para determinação da massa seca.

2.6 – Conteúdo relativo de água (CRA), umidade, suculência, densidade foliar e área foliar média

Na coleta foram retirados 30 discos foliares de 10 mm de diâmetro, onde posteriormente foi determinada a massa fresca dos mesmos (MF_1), em balança analítica. Após transferidos para placa de petri, contendo água destilada e deixados sobre uma bancada por período de 6 horas. Depois os discos foram removidos e colocados entre folhas de papel de filtro e submetidos a uma pressão, visando eliminar o excesso de água, em seguida foram pesados novamente (MF_2). Em seguida, foram colocados em sacos de papel, para secar em estufa (75°C) por um período de 48 horas, para depois ser determinada a massa seca do material (MS). O conteúdo relativo de água das folhas foi calculado, usando a relação descrita por Irigoyen et al., (1992):

$$CRA = (MF_1 - MS / MF_2 - MS) \times 100 (\%)$$

A umidade das folhas foi determinada segundo Slavik (1974), utilizando-se a seguinte relação:

$$UMIDADE = (MF_1 - MS) / (MF_1) \times 100 (\%)$$

A suculência foliar foi calculada usando a equação:

$SUCULÊNCIA = (MF_1) / (A)$. Onde (A) representa a área de 30 discos cujo diâmetro é de 10 mm. Sendo expressa em $mg MF cm^{-2}$.

DENSIDADE FOLIAR= (MS)/(A). Sendo expressa em mg MS cm⁻².

A área foliar média individual foi estimada levando em consideração área de um losango (base x altura) de 10 folhas de cada planta.

2.7 – Determinação da transpiração, resistência estomática, temperatura foliar, fotossíntese e uso eficiência da água

A transpiração, resistência estomática e temperatura foliar das plantas de *A. nummularia* foram avaliadas utilizando-se de um porômetro modelo Li cor – 1600 USA. Para esta determinação foram escolhidas plantas uniformes, apresentando o mesmo porte. Em seguida cada planta foi marcada para que todas as leituras fossem feitas na mesma folha da parte mediana do dossel das plantas. As leituras eram anotadas em planilhas, após a estabilização do aparelho que em média ocorria entre um e dois minutos. A fotossíntese foi medida no aparelho IRGA (Infra Red Gas Analyzer) modelo LCA2. O uso eficiência da água foi obtida através da relação fotossíntese dividido pela transpiração, foi também determinado por outro método através da massa seca dividida pela transpiração de cada planta, que denominou-se uso eficiência da água específico.

2.8 – Determinação do teor de clorofilas

A determinação da quantidade de clorofilas foi realizada de acordo com o método clássico de Arnon descrito e adaptado por Whitham et al., (1971) com pequenas modificações. 25 mg de massa fresca de folhas (matéria recém colhido e congelado em N₂ líquido) foram macerados por 5 minutos com 5 mL de acetona a 80%. As amostras foram, então, centrifugadas (5.000 x g) e o volume do sobrenadante aferido para 5.0 mL com acetona 80%. As amostras foram lidas em espectrofotômetro nos comprimentos de onda 645, 652 e 663 nm. As concentrações de clorofilas (mg. g⁻¹ MF) foram calculadas através das seguintes expressões: Chl a =(63,5 x A₆₆₃ – 13,45 x A₆₄₅)/25; Chl b =(114,5 x A₆₄₅ – 23,4 x A₆₆₃)/25 e Chl total = 5,79 x A₆₅₂

2.9 - Determinação da atividade da redutase de nitrato

O método utilizado para determinação da atividade de redutase de nitrato (RN) foi o de Hageman & Hucklesby (1971), com modificações. 15 discos foliares com diâmetro de 6 mm (aproximadamente 200 mg de tecido vegetal) foram acondicionados em tubos de ensaio, tipo “vacuntiner”, contendo 5 mL da solução de incubação (tampão fosfato 0,1 mol L⁻¹, pH 7,5; isopropanol 1,0% (v/v); KNO₃ 50 mmol L⁻¹; cloranfenicol 1,5% (m/v). Os tubos foram envolvidos com papel alumínio de forma a proteger da luz o meio de reação. Em seguida, procedeu-se a realização de vácuo, com auxílio de uma bomba de sucção por dois minutos, de forma a produzir no interior dos tubos de ensaio um ambiente anaeróbico.

Logo após, os tubos de ensaio foram acondicionados em banho-maria, durante 30 minutos, a uma temperatura de 35°C, seguindo-se a retirada de alíquotas de 2,0 mL que foram adicionadas em tubos de ensaio contendo 1,0 mL da solução tampão fosfato, 1,0 mL de sulfanilamida 1,0% em HCl 2,4 mol L⁻¹; e 1,0 mL de N-1-naftilenodiamina dicloridato (NNEDA) 0,02%. Decorridos 15 minutos, as amostras foram lidas em espectrofotômetro, a 540 nm. A atividade de RN foi mensurada, a partir da formação de NO₂⁻ no meio de reação, por meio de uma curva padrão ajustadas com concentrações crescentes de NaNO₂.

2.10 – Determinação do teor de cinzas

0,5 g de massa seca de folhas foram colocados em cadinhos de porcelana de peso conhecido e incinerados em mufla à temperatura de 550°C durante 5 horas, fazendo-se em seguida uma nova pesagem para determinação do peso total de cinzas.

2.11 – Determinação da concentração de sódio e potássio

A concentração de sódio e potássio foi realizada segundo Sarruge & Haag (1974) com algumas modificações. A extração de sódio e potássio em farinha de folhas foi feita utilizando 50 mg de tecido vegetal para 20 mL de H₂O deionizada em banho-maria a 100 °C por 1 hora (Amzallag et al., 1990). O extrato obtido foi centrifugado e

seu sobrenadante foi analisado em fotômetro de chama (Micronal B462) para determinação dos conteúdos de Na^+ e K^+ .

2.12 – Determinação da concentração de cloreto

A concentração de cloreto foi determinada segundo Malavolta et al., (1997). Tecidos de folhas (100 mg) foram submetidos a extração com 25 mL de água deionizada com agitação ocasional durante 30 minutos. Em seguida alíquotas de 20 mL do extrato foram filtradas em papel de filtro e adicionadas 1 mL da solução indicadora de cromato de potássio K_2CrO_4 5% (p/V). Cada amostra foi titulada lentamente com nitrato de prata AgNO_3 28 mmol L^{-1} em bureta automática até a viragem do indicador através da formação do precipitado de Ag_2CrO_4 (coloração marrom pálido persistente). Cada 1 mL de nitrato de prata gasto na titulação correspondeu a 2,5 mg de cloreto em 100 mg de matéria seca. Foi utilizado um branco com 20 mL de água deionizada + indicador + algumas gotas de Ag_2NO_3 até obtenção da coloração marrom pálido. O volume do branco foi subtraído de cada amostra.

2.13 – Determinação da concentração de cálcio e magnésio

Para a determinação do teor de cálcio e magnésio foi realizado uma digestão branda preconizada por Miyazawa et al, (1984). Foi pesado 500 mg de massa seca de folhas, previamente seca em estufa, e foram transferidas para erlenmayer de 50 mL e adicionado 25 mL de uma solução 1N de HCl e colocadas em agitação por 1 hora, e depois foram filtradas e completadas o volume para 50 mL.

Procedida a extração branda, seguiu-se a marcha analítica da quelatometria do EDTA desenvolvida por Malavolta et al, (1997). As amostras passaram por um processo de eliminação do ânion fosfato, logo em seguida foram tituladas com uma solução 0,01 M de ácido etileno diamino tetracético dissódico (EDTA) até a obtenção de cor azul estável. Sendo que para determinação do cálcio foi utilizado como indicador o eriocromo azul negro R (Calcon) a 1%(m/v). E para determinação do cálcio+magnésio foi utilizado como indicador negro de eriocromo T, a partir da subtração do cálcio obteve-se o teor de magnésio. Foi utilizado um branco que foi subtraído de cada amostra.

2.14 – Determinação da concentração de fosfato e sulfato

O teor de fosfato e sulfato foi obtido segundo Malavolta et al., (1997). A extração foi feita com a pesagem de 200 mg de material liofilizado de folhas colocados em tubos de ensaio, onde foi adicionado 25 mL de ácido acético 2% (v/v). Após foi feita três agitações com aproximadamente 30 segundos cada agitação em cada tubo, para em seguida ser realizada uma filtração em papel de filtro.

A determinação da concentração de fosfato foi feita pelo método da colorimetria do azul de molibdênio (fósforo solúvel em ácido acético) segundo Malavolta et al., (1997). No ensaio, alíquotas de 2 mL do filtrado foram adicionadas em erlenmayer de 125 mL, contendo 95 mL de água deionizada. Após foi adicionado em cada erlenmayer 4,0 mL da solução de molibdato de amônio 2,5% e 4 gotas da solução redutora de estanho (1g estanho metálico: 20 mL HCl concentrado: 4 gotas de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 4% m/v). Após a homogeneização as amostras foram deixadas em repouso por 8 minutos e em seguida lidas em espectrofotômetro na absorvância de 580 nm. Para o cálculo do teor de fosfato nas amostras foi utilizada uma curva padrão a partir de concentrações crescentes de fosfato (0, 0,01, 0,02, 0,03, 0,04, 0,05 $\text{mg PO}_4^{-3} \text{ mL}^{-1}$).

A determinação da concentração de sulfato foi feita pelo método turbidimetria do sulfato de bário segundo Malavolta et al., (1997). No ensaio, alíquotas de 10 mL do filtrado foram colocadas em tubos de ensaio, onde foi adicionado 1mL de HCl 6N (contendo 20 ppm de S). Após foi adicionado 500 mg de cristais de cloreto de Bário ($\text{BaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), deixando um minuto sem agitação para dissolução. Em seguida, foi feita uma agitação em cada tubo de ensaio de 30 segundos, deixando posteriormente em repouso por cerca de 3 minutos. É recomendado fazer o ensaio de até 11 amostras simultaneamente, atingindo um tempo total de cerca de 8 minutos desde a adição dos cristais de bário no branco. Após o repouso foram feitas leituras em espectrofotômetro na absorvância de 420 nm. Para o cálculo do teor de sulfato nas amostras foi utilizada uma curva padrão a partir de concentrações crescentes de sulfato (0, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 e 50 $\mu\text{g SO}_4^{-2} \text{ mL}^{-1}$).

2.15 – Determinação do teor de nitrato

Amostras de 50 mg de folhas previamente liofilizadas, foram adicionadas em tubos de ensaio contendo 5,0 mL de água destilada, e estes incubados em banho-maria por 30 minutos a 100 °C. Em seguida foi feita uma filtração para obtenção do extrato. O método utilizado foi o de Cataldo et al., (1975), a reação foi preparada em tubo de ensaio contendo 100 µL do extrato + 200 µL de solução de ácido salicílico 5 % (p/v), em ácido sulfúrico concentrado. Após vigorosa agitação em agitador do tipo vortex, os tubos foram adicionados lentamente 4700 µL de NaOH 2N. Em seguida os tubos foram deixados em repouso até atingirem a temperatura ambiente por cerca de 20 minutos. Após foram feitas leituras em espectrofotômetro na absorbância de 410 nm. O branco foi feito usando no ensaio água deionizada em substituição ao extrato. A concentração de nitrato foi obtida a partir de uma curva padrão com concentrações crescentes de NO_3^- (0, 0,5, 1,0, 2,0, 3,0, 4,0 e 5,0 $\mu\text{mol mL}^{-1}$). Os resultados foram expressos em $\text{mmol de NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ MS de tecido.

2.16 – Determinação da concentração de nitrogênio total

Amostras de 30 mg de folhas, previamente secas, foram adicionados a tubos de micro-destilação contendo 1,5 mL de H_2SO_4 concentrado e 1,10 g de uma mistura catalizadora composta por sulfato de potássio, sulfato de cobre e selênio, na proporção em massa de 100:10:1, respectivamente. Posteriormente, esses tubos foram acondicionados em placa digestora quando então se deu início ao processo de mineralização. A temperatura da placa foi elevada gradualmente até 400°C, ao final do processo de mineralização o conteúdo de cada tubo foi ressuspensionado com água destilada para 25 mL. O teor de nitrogênio total foi determinado segundo o método descrito por Baethgen & Allen (1979), utilizando uma curva padrão ajustada a partir de concentrações crescentes de sulfato de amônio.

2.17 – Determinação de aminoácidos livres totais (N- α -amino livre)

A extração de aminoácidos livres totais (AALT) em folhas liofilizadas foi realizada segundo Brilhante, (2003). As concentrações de AALT foram determinadas

com base em uma curva padrão ajustada a partir de concentrações crescentes de uma solução padrão de L-glutamina (Peoples et al., 1989).

2.18 – Determinação de proteínas solúveis

Para determinação de proteínas solúveis totais em tecidos de folhas foi utilizado o método descrito por Bradford (1976). Amostras de tecidos de folhas foram macerados em almofariz, na presença de nitrogênio líquido. Em seguida, essas amostras foram submetidas a uma extração em presença de 12 mL de uma solução tampão (tris-HCl 100 mmol L⁻¹; EDTA-Na 5,0 mmol L⁻¹; polyvinylpyrrolidone 5% m/v; mercaptoethanol 10,0 mmol L⁻¹), por 5 minutos a uma temperatura de 4 °C. Após filtração em polietileno microporoso, o extrato foi submetido a uma centrifugação (30.000xg), em condições de temperatura àquela da extração durante um período de 15 minutos.

As concentrações das proteínas solúveis totais foram calculadas com base em uma reta padrão ajustada a partir de doses crescentes de albumina de soro bovino (BSA), e as leituras feitas em espectrofotômetro a 595 nm.

2.19 - Delineamento experimental e análises dos resultados

Os tratamentos foram distribuídos de acordo com um delineamento inteiramente casualizado, obedecendo a um esquema (5 x 4), correspondendo respectivamente a cinco níveis de NaCl (0, 100, 200, 300 e 400 mmol L⁻¹) e quatro repetições, sendo cada parcela experimental representada por um vaso contendo uma planta, perfazendo um total de 20 parcelas experimentais. Os resultados foram analisados estatisticamente com base no teste de comparação de médias (Tukey, p < 0,05) e análise de tendência das médias através de curvas ajustadas por regressão polinomial.

3 – RESULTADOS

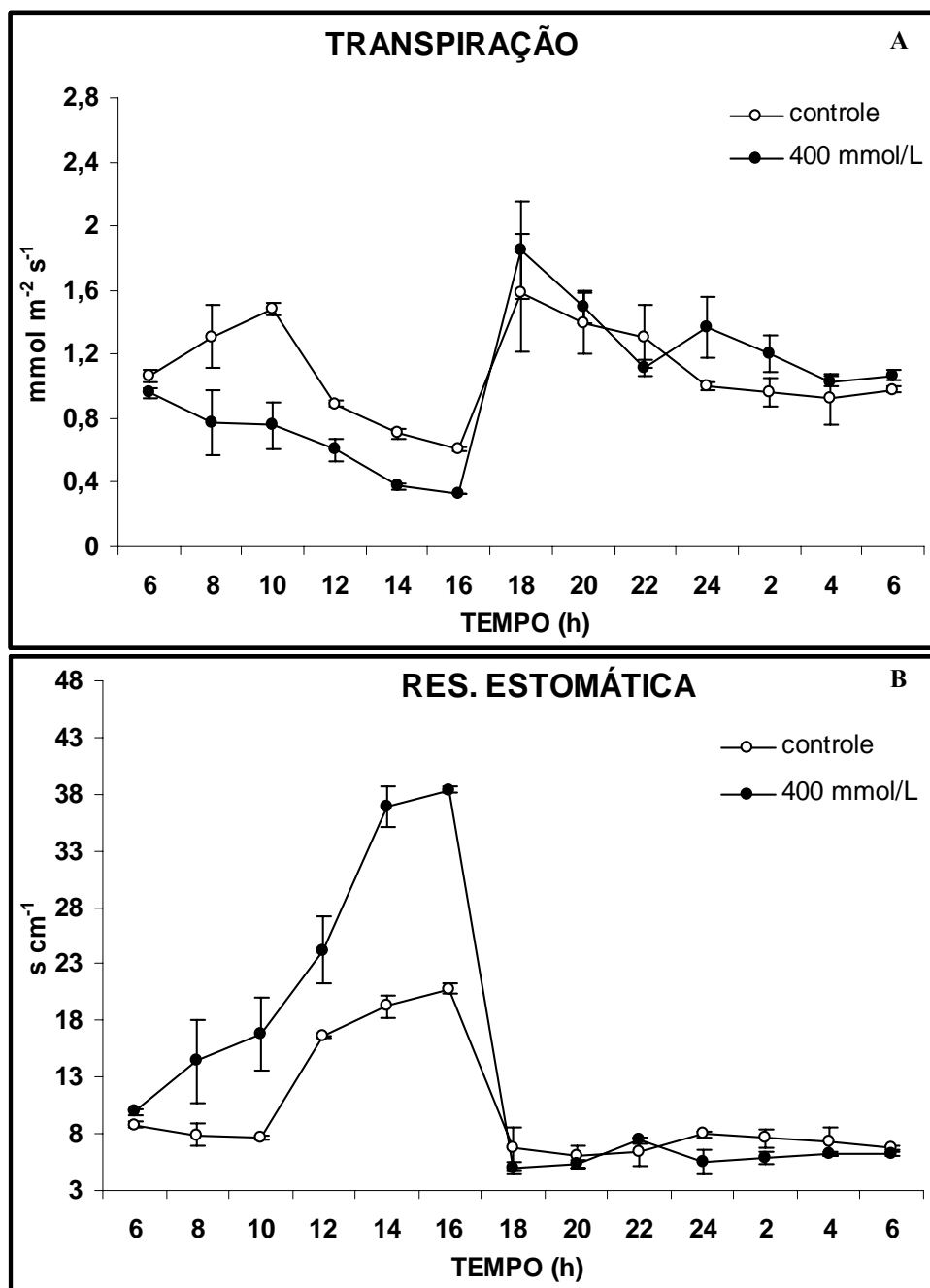


Figura 1 – Medidas de transpiração (A) e resistência estomática (B) de folhas de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de NaCl na água de irrigação, obtidas durante 24 horas. Os pontos representam média de quatro repetições.

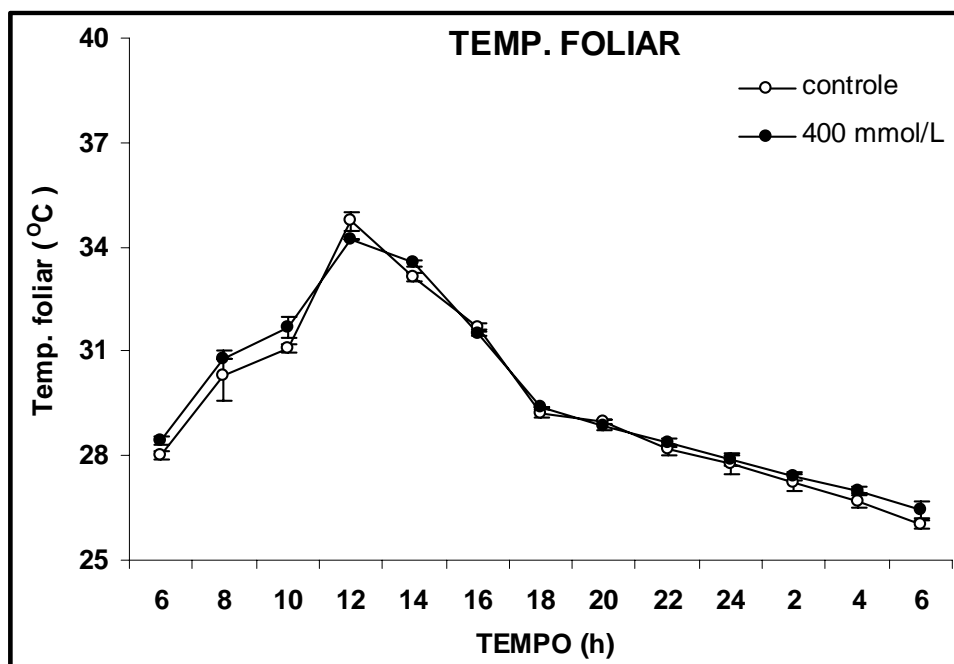


Figura 2 – Medidas de temperatura foliar de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de NaCl na água de irrigação, obtidas durante 24 horas. Os pontos representam média de quatro repetições.

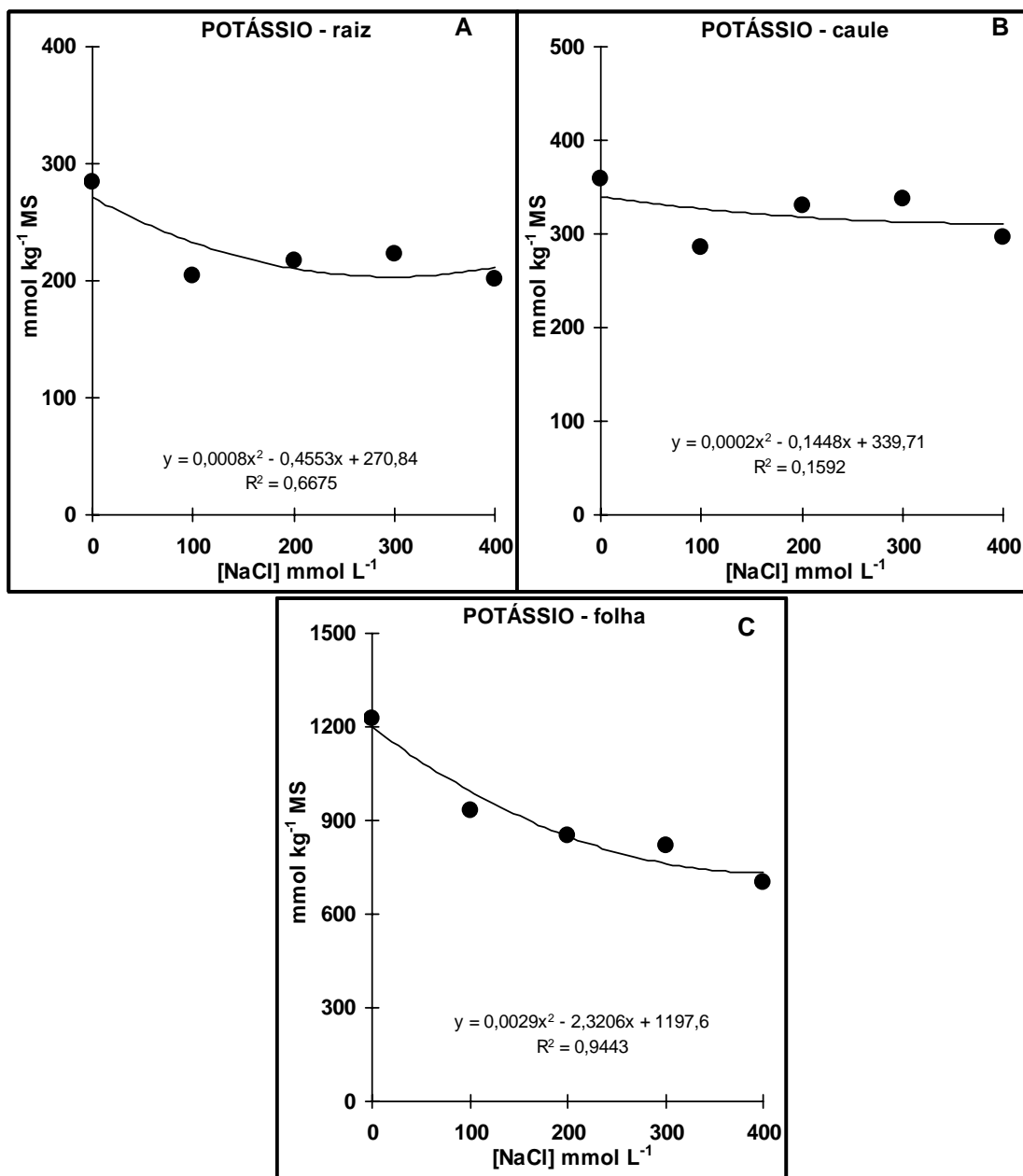


Figura 3 – Teores de potássio em raiz (A), caule (B) e folha (C) de erva sal (*A. nummularia*) expostas a doses crescentes de NaCl durante 4 meses. Os valores representam médias de quatro repetições.

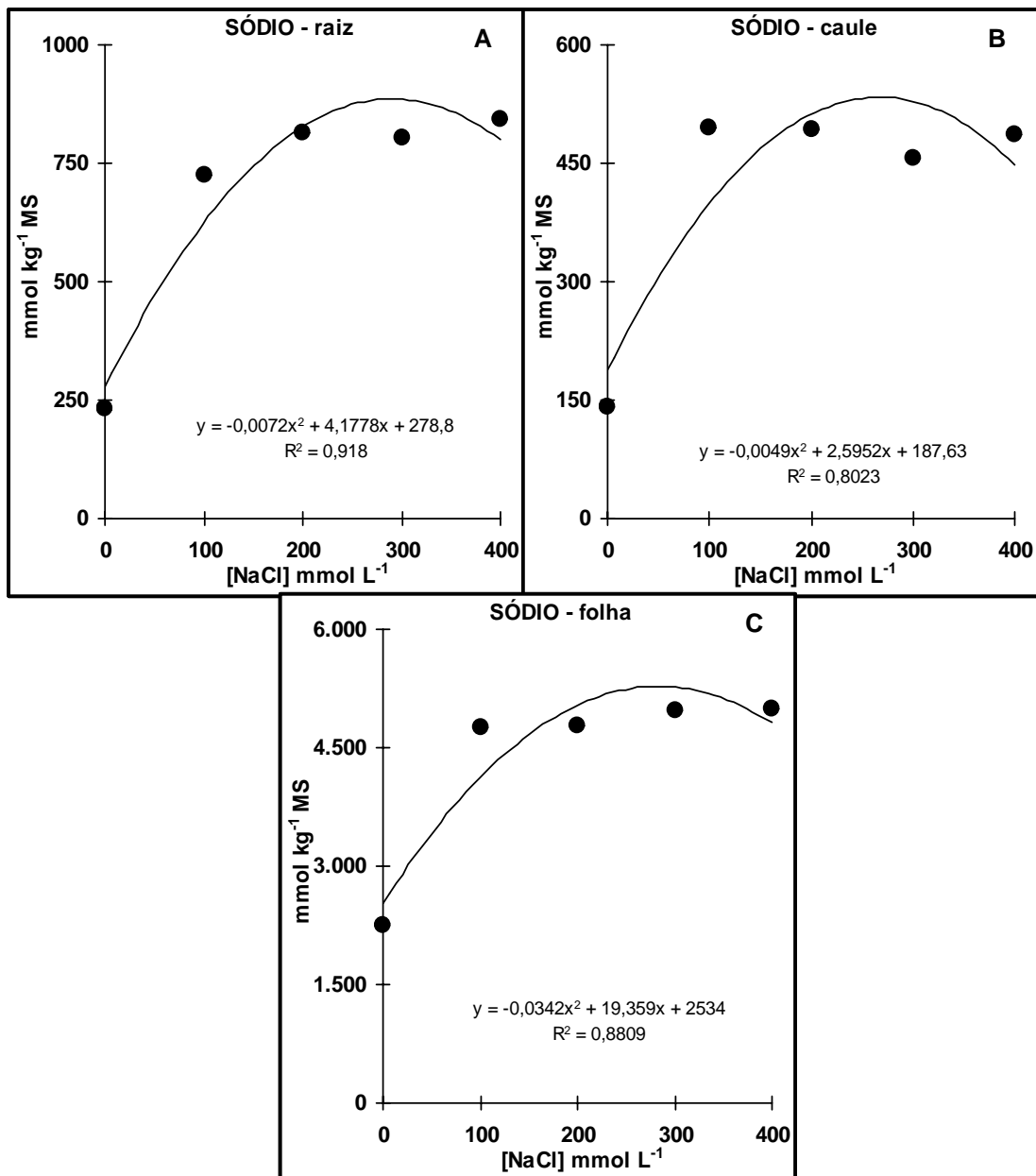


Figura 4 – Teores de sódio em raiz (A), caule (B) e folha (C) de erva sal (*A. nummularia*) expostas a doses crescentes de NaCl durante 4 meses. Os valores representam médias de quatro repetições.

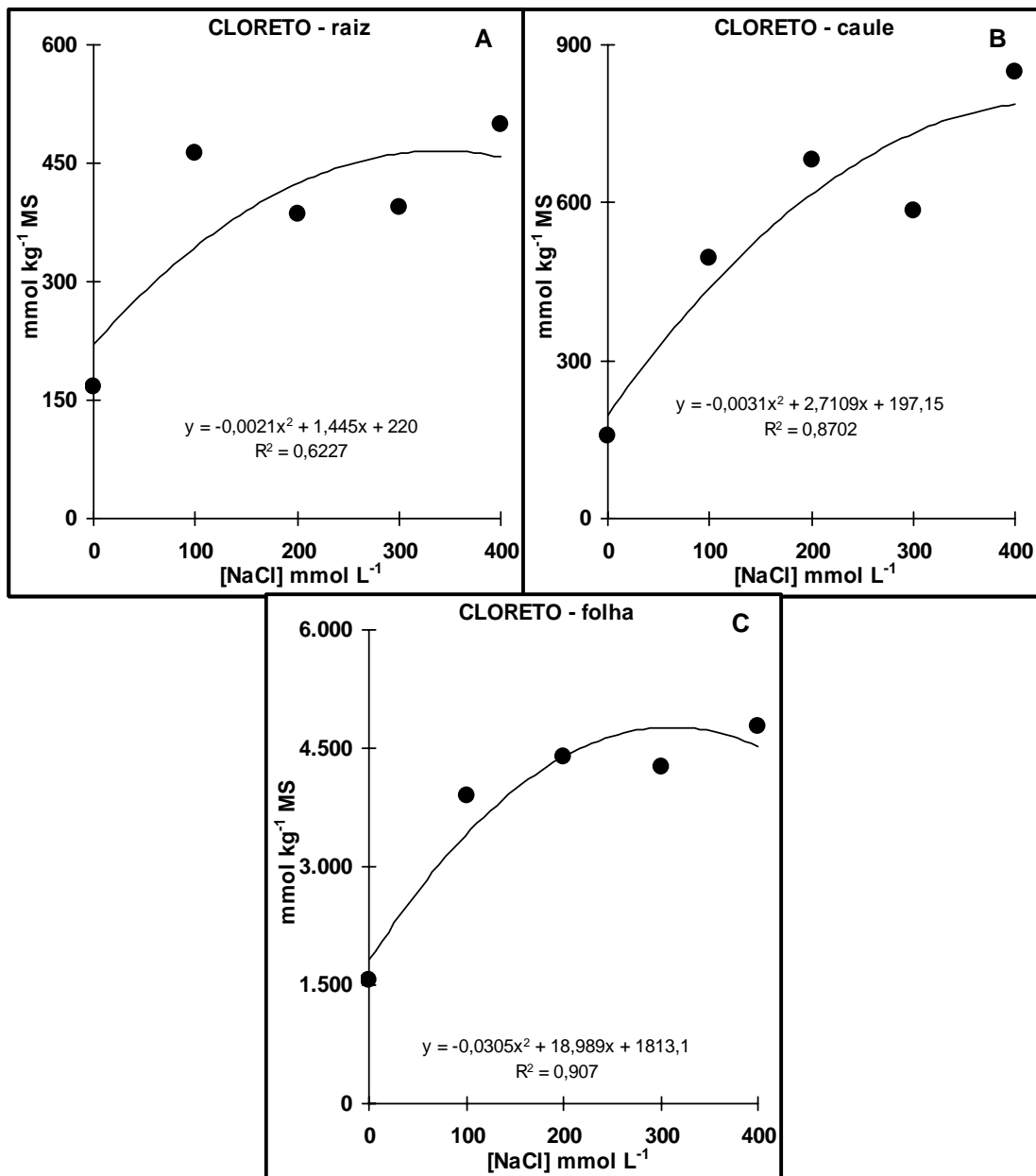


Figura 5 – Teores de cloreto em raiz (A), caule (B) e folha (C) de erva sal (*A. nummularia*) expostas a doses crescentes de NaCl durante 4 meses. Os valores representam médias de quatro repetições.

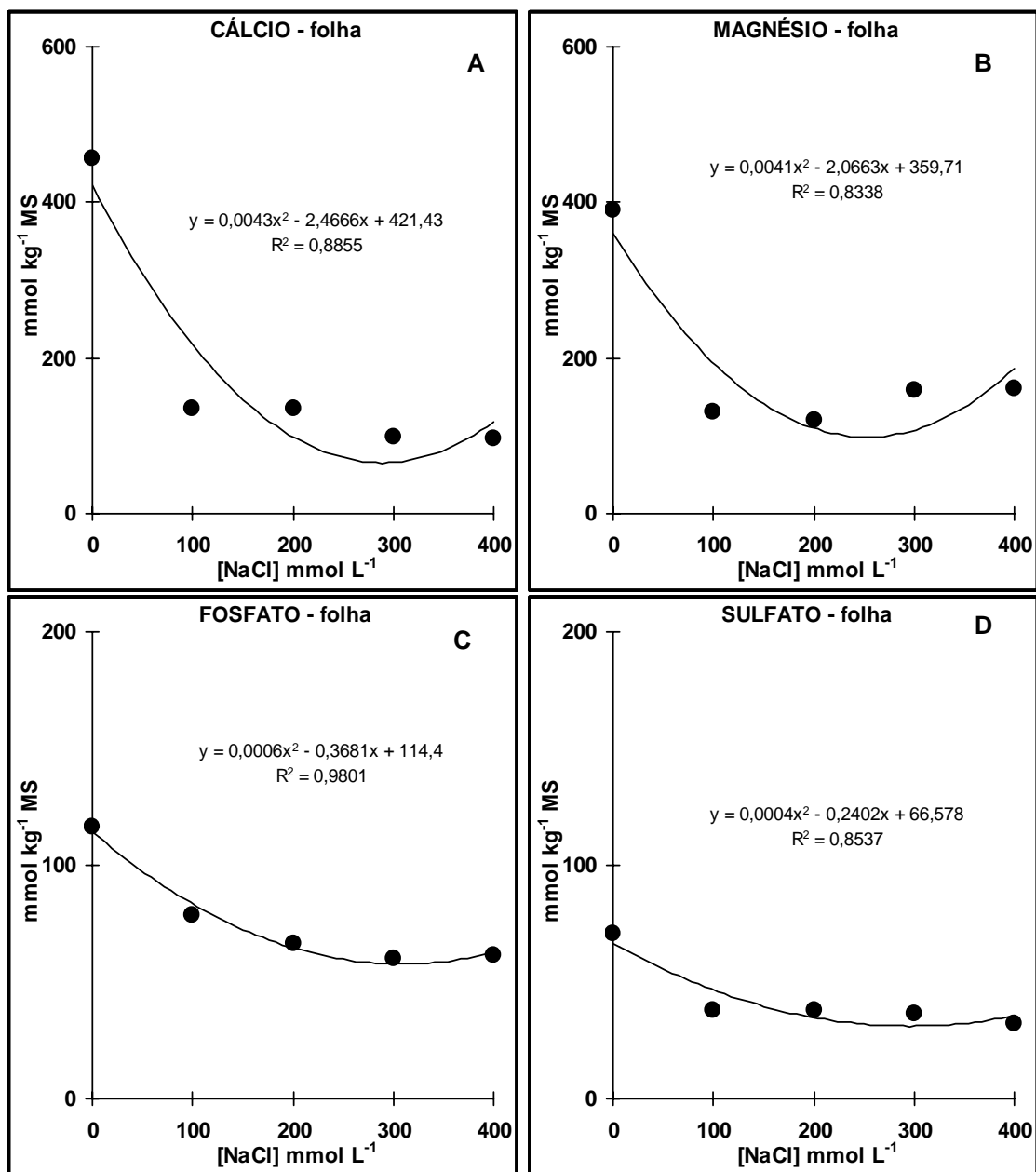


Figura 6 – Teores de cálcio (A), magnésio (B), fosfato (C) e sulfato (D) em folha de erva sal (*A. nummularia*) expostas a doses crescentes de NaCl durante 4 meses. Os valores representam médias de quatro repetições.

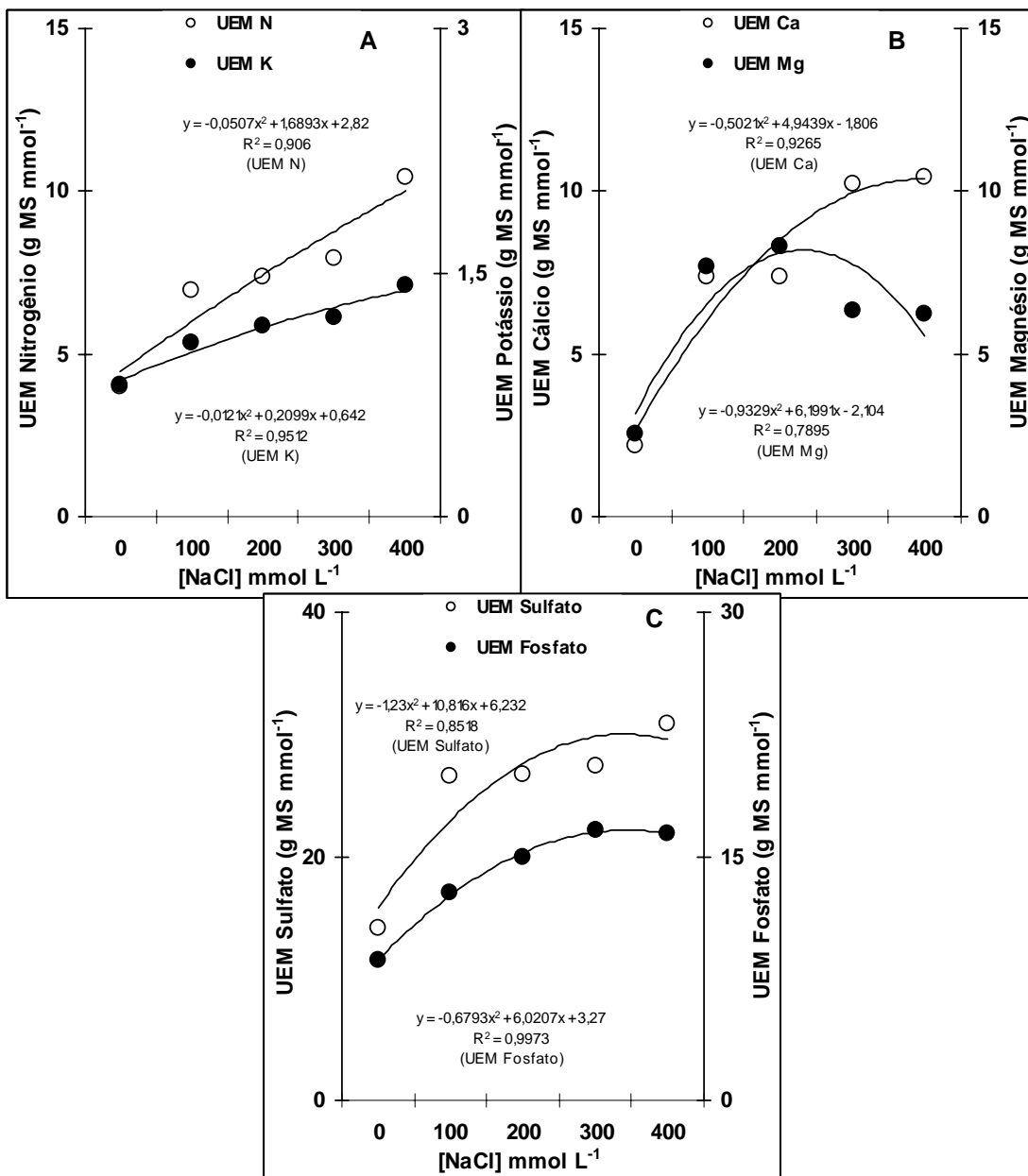


Figura 7 – Uso eficiência de macronutrientes N e K (A), Ca e Mg (B), sulfato e fosfato (C) em folha de erva sal (*A. nummularia*) expostas a doses crescentes de NaCl durante 4 meses. Os valores representam médias de quatro repetições.

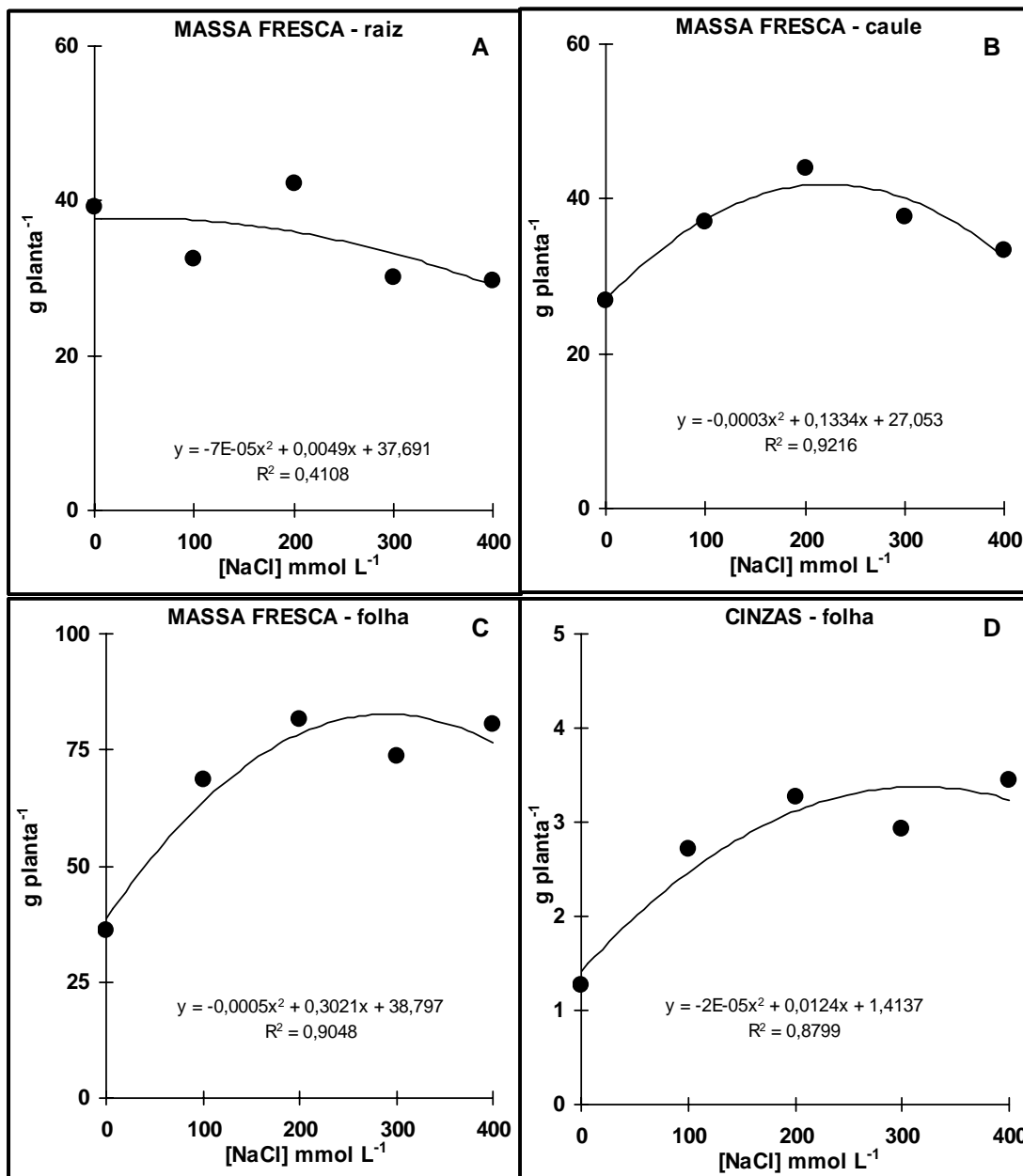


Figura 8 – Massa fresca de raiz (A), caule (B), folha (C) e teor de cinzas de folhas (D) de erva sal (*A. nummularia*) expostas a doses crescentes de NaCl durante 4 meses. Os valores representam médias de quatro repetições.

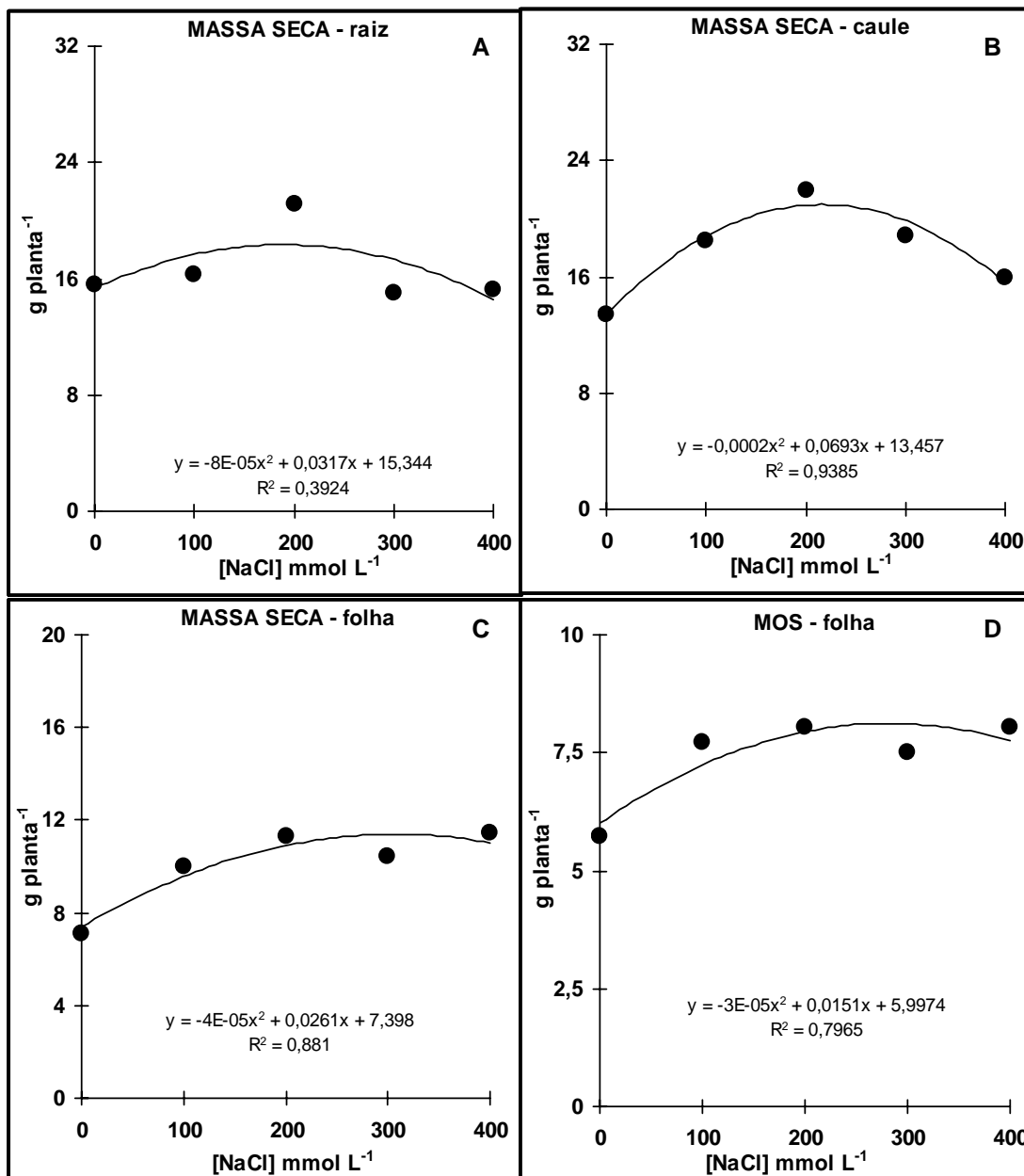


Figura 9 – Massa seca de raiz (A), caule (B), folha (C) e matéria orgânica seca (D) de erva sal (*A. nummularia*) expostas a doses crescentes de NaCl durante 4 meses. Os valores representam médias de quatro repetições.

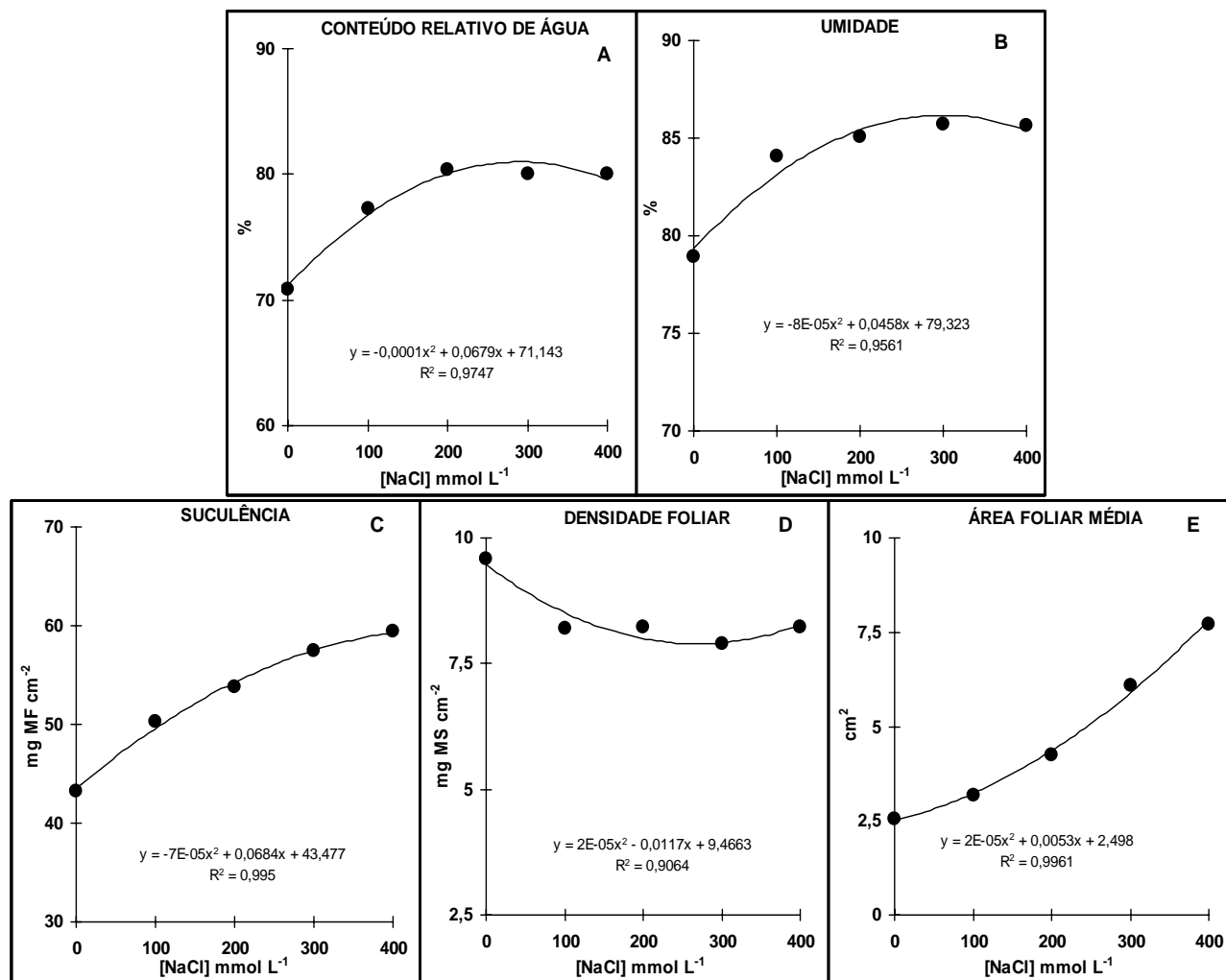


Figura 10 – Medidas de conteúdo relativo de água (A), umidade (B), suculência (C), densidade foliar (D) e área foliar média (E) em folha de erva sal (*A. nummularia*) expostas a doses crescentes de NaCl durante 4 meses. Os valores representam médias de quatro repetições.

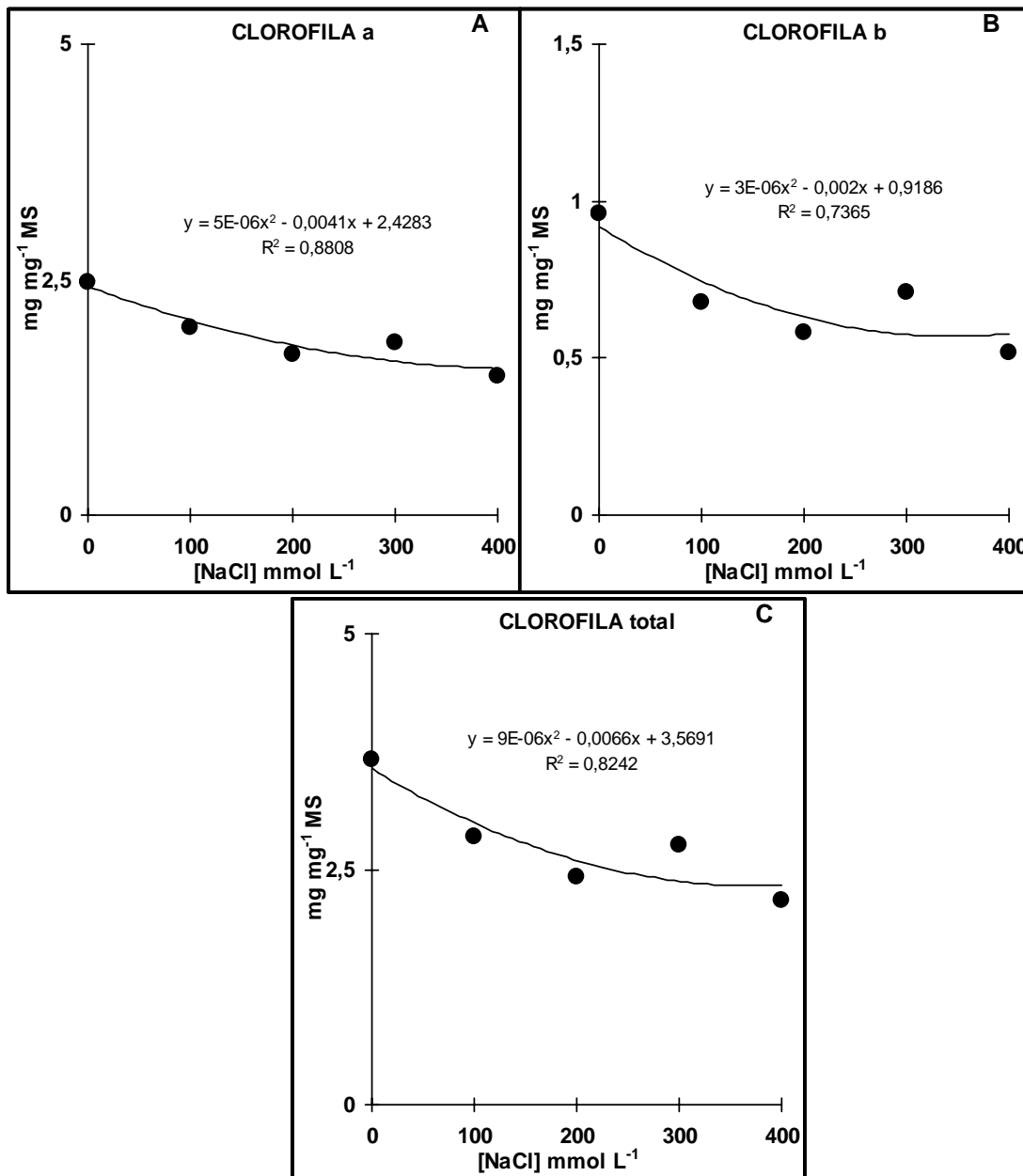


Figura 11 – Teores de clorofila **a** (A), clorofila **b** (B) e clorofilas totais (C) de folha de erva sal (*A. nummularia*) expostas a doses crescentes de NaCl durante 4 meses. Os valores representam médias de quatro repetições.

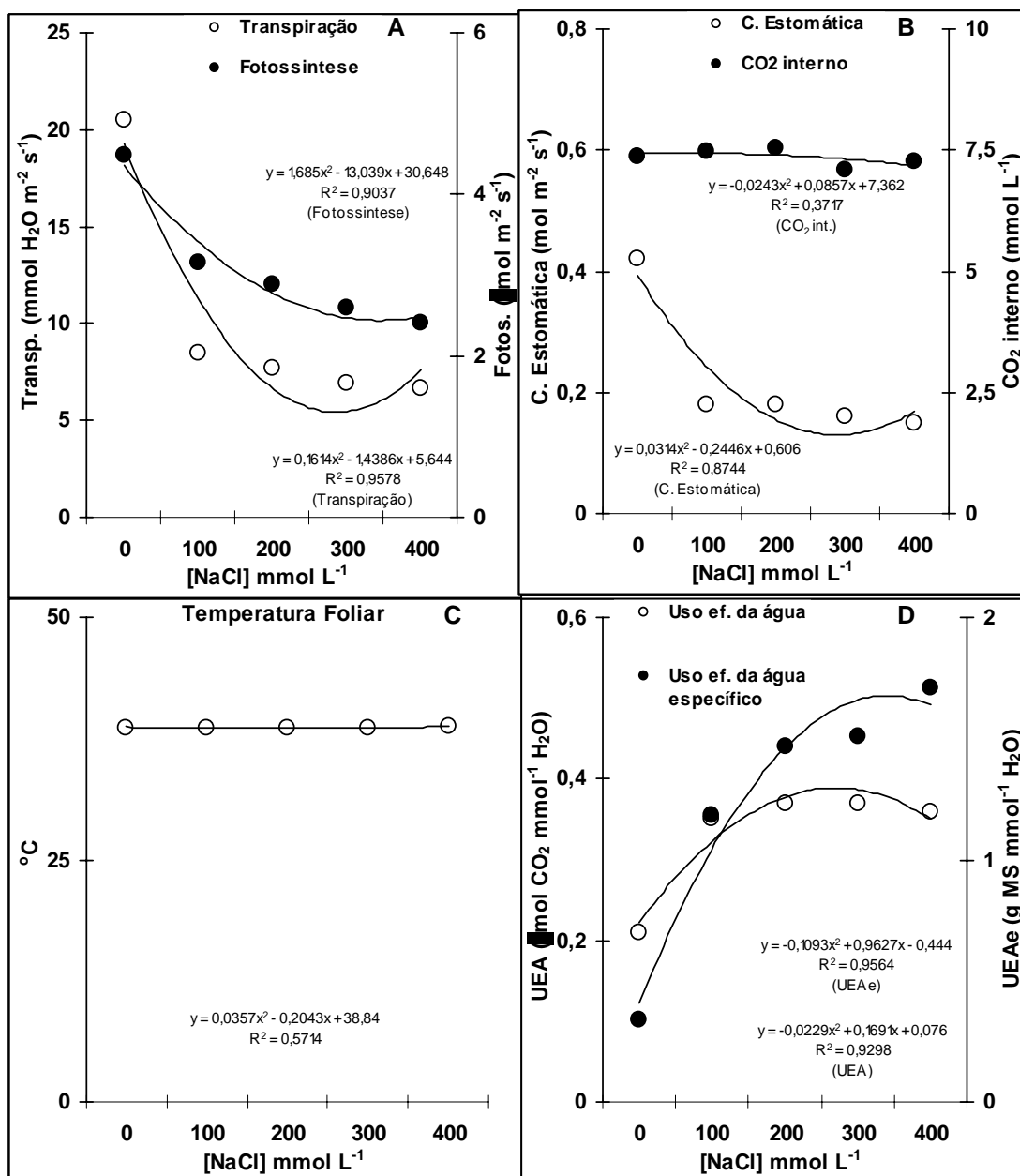


Figura 12 – Medidas de transpiração e fotossíntese (A), condutância estomática e CO₂ interno (B), temperatura foliar (C) e uso eficiência da água (D) em folha de erva sal (*A. nummularia*) expostas a doses crescentes de NaCl durante 4 meses. Os valores representam médias de quatro repetições.

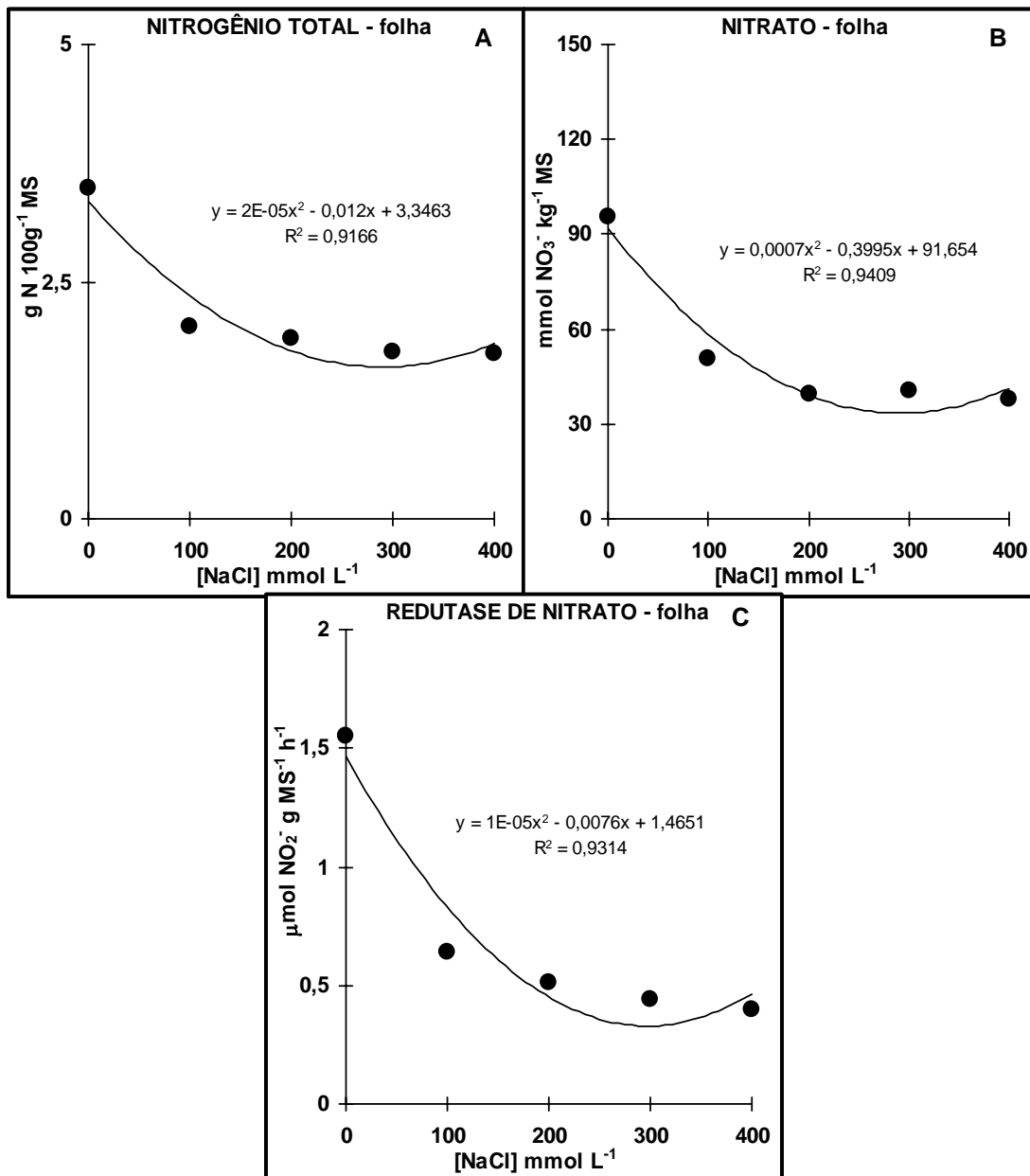


Figura 13 – Teores de nitrogênio total (A), nitrato (B) e atividade de redutase de nitrato (C) em folha de erva sal (*A. nummularia*) expostas a doses crescentes de NaCl durante 4 meses. Os valores representam médias de quatro repetições.

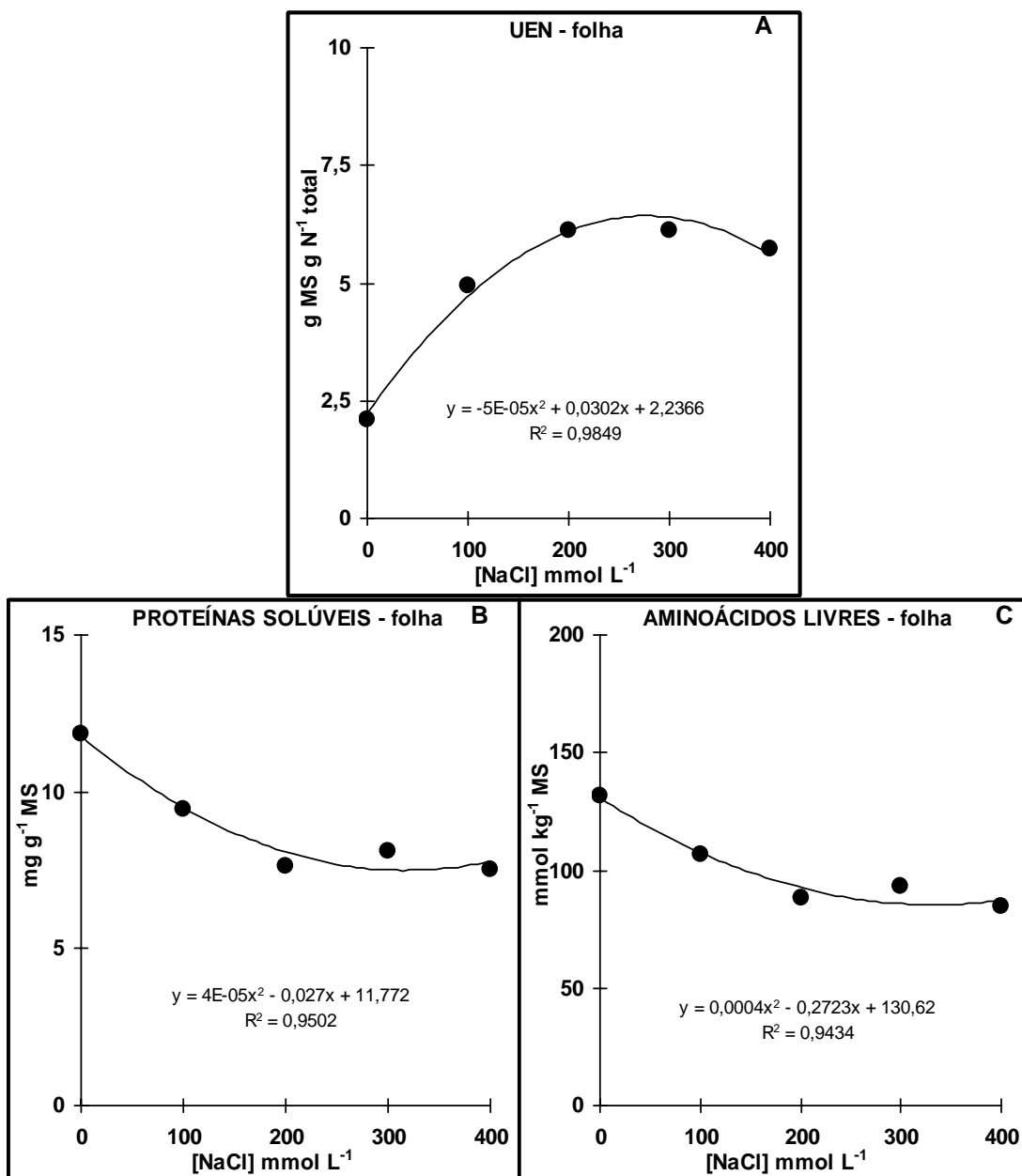


Figura 14 – Uso eficiência de nitrogênio (A), proteínas solúveis (B) e aminoácidos livres totais (C) em folha de erva sal (*A. nummularia*) expostas a doses crescentes de NaCl durante 4 meses. Os valores representam médias de quatro repetições.

As plantas de erva sal (*A. nummularia*) atingiram ao final do experimento nove meses de idade (quatro meses de idade, um mês de aclimatação nos recipientes de argila dentro de casa de vegetação e quatro meses de aplicação dos tratamentos salinos). O estande de plantas apresentou certa homogeneidade, isso aos 30 dias de aplicação dos tratamentos, conforme mostra a Figura 15 (vide anexos). Entretanto, na época da colheita, a parte aérea das plantas apresentaram diferenças morfológicas por efeito dos tratamentos (Figura 16, em anexos).

A Figura 1A mostra os resultados de transpiração de 24 horas, percebe-se que durante o período diurno, as plantas controle transpiraram bem mais que as plantas tratadas com 400 mmol L^{-1} de NaCl, ao passo que no período noturno há uma tendência de as plantas tratadas com sal transpirem mais, com exceção de 22 h. Ressalte-se que o pico de transpiração das plantas controle durante o dia ocorreu às 10 h, diminuindo a transpiração no período mais quente do dia, enquanto que no período noturno esse pico ocorreu por volta das 18 h, tendendo a um suave declínio no decorrer da noite. Com relação às plantas tratadas com NaCl observou-se um pico às 6 h ocorrendo um decréscimo durante todo o dia, e retomada do aumento da transpiração a partir de 16 h culminando com um pico às 18 h, sendo que ao longo da noite há um suave decréscimo da transpiração.

A Figura 1B mostra os resultados de resistência estomática o qual está relacionado com a abertura estomática, visto que a resistência estomática é o inverso da condutância. Observa-se que as plantas tratadas com 400 mmol L^{-1} de NaCl tiveram uma maior resistência durante o dia, partindo de forma crescente a partir de 6 h até às 16 h onde ocorreu o pico de maior resistência, entre 16 e 18 h houve uma queda brusca, permanecendo com uma certa constância durante o período noturno. Observa-se que as plantas controle tiveram uma discreta diminuição da resistência entre 6 e 10 h, retomando o aumento da resistência culminando com um pico às 16 h, entre 16 e 18 h houve também uma queda, mas em menor proporção do que as plantas tratadas com sal, durante o período noturno houve uma tendência de estabilidade dos tratamentos.

Com relação a Figura 2 que mostra os resultados de temperatura foliar dos tratamentos, o qual se percebe uma tendência de igualdade entre as plantas tratadas com NaCl e as plantas controle. Sendo que há um pequeno aumento, não significativo, da temperatura foliar das plantas tratadas com sal entre 6 e 10 h, porém há uma igualdade de temperatura no decorrer do tempo.

Como observado nas Figuras 4 e 5 que relata os teores de íons inorgânicos, as plantas de *A. nummularia* apresentaram uma intensa acumulação de Na^+ e Cl^- , principalmente nas folhas. Nas raízes houve aumento dos teores de Na^+ e Cl^- com aumento da concentração de sal, e estes tiveram diferenças significativas entre as plantas controle e as plantas tratadas com doses crescentes de NaCl , enquanto o K^+ teve uma diminuição (Figura 3). Nos caules observou-se a mesma tendência de aumento visto nas raízes para o Na^+ e Cl^- , sendo que para o Cl^- os valores foram maiores do que para o Na^+ , ao passo que o K^+ diminuiu com o aumento da dose de sal. Nas folhas foi observado uma grande acumulação de Na^+ e Cl^- , sendo significativo entre o controle e os tratamentos, revelando assim o caráter acumulador desta espécie. O teor de K^+ diminuiu bastante sendo significativo entre o controle e os tratamentos. Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} (Figuras 6AB) diminuíram com o aumento da salinidade, sendo que o teor de Mg^{2+} foi reduzido a menos da metade do valor do controle, seguindo a mesma tendência do Mg^{2+} o Ca^{2+} foi reduzido a 21% do valor do controle. Os teores de SO_4^{-2} e PO_4^{-3} (Figuras 6CD) tiveram uma tendência de decréscimo semelhante à observada para Mg^{2+} e Ca^{2+} .

A Figura 7A mostra os resultados de eficiência de uso de macronutrientes em folhas de erva sal, a priori houve um aumento significativo na eficiência de N. Os valores de N variaram de 4,00 para as plantas controle e de 10,42 para as plantas tratadas com 400 mmol L^{-1} de NaCl , mais de 2,5 vezes o valor do controle. A eficiência do K^+ teve um aumento significativo variando de 0,81 a 1,42, sendo que a eficiência de K^+ de 400 mmol L^{-1} foi cerca de 75% maior que a observada no tratamento controle. Quanto às eficiências de Mg^{2+} e Ca^{2+} tiveram um aumento significativo entre as plantas controle e as tratadas com sal (Figura 7B). Os valores de Mg^{2+} variaram de 2,56 para as plantas controle e 6,25 para as plantas tratadas com 400 mmol L^{-1} de NaCl , denotando uma eficiência superior a 2 vezes mais que as plantas controle para uma produzir 1 g de matéria seca. Para a eficiência de Ca^{2+} os valores variaram de 2,19 e 10,42, para as plantas controle e tratadas com 400 mmol L^{-1} , respectivamente. As plantas tratadas com NaCl foram bem mais eficientes no uso do Ca^{2+} do que as plantas controle, ressalte-se que as plantas tratadas com 400 mmol L^{-1} de NaCl foram quase 5 vezes mais eficientes que as plantas controle. As eficiências de SO_4^{-2} e PO_4^{-3} tiveram um aumento substancial. Observou-se que a eficiência de SO_4^{-2} e PO_4^{-3} das plantas tratadas com NaCl foi superior em todos os tratamentos salinos sendo que no de 400 mmol L^{-1} foi o

dobro do tratamento controle, no caso o SO_4^{-2} , e quase o dobro para o PO_4^{-3} (Figura 7C).

Como observado nas Figuras 8 e 9, não houveram diferenças estatísticas significativas entre as plantas controle e tratadas com NaCl, com exceção do tratamento de 200 mmol L^{-1} , que apresentou massa fresca e seca maiores, isso em raízes indicando provavelmente um estímulo a essa dose. Nos demais tratamentos houve uma tendência de decréscimos das massas por efeito do sal. Enquanto que nos caules foi observado um leve aumento das massas no cômputo geral, com exceção do tratamento de 200 mmol L^{-1} , que apresentou um crescimento vigoroso. Quanto às massas fresca e seca de folhas tiveram um aumento significativo entre as plantas controle e as tratadas com sal, sendo que a massa fresca de 400 mmol L^{-1} mais de duas vezes maior que o controle, revelando assim o caráter acumulador desta espécie. A mesma tendência foi seguida pela massa seca, mas em menor proporção. Quanto aos teores de cinzas, como era de se esperar, houve um incremento substancial destes teores com o aumento da salinidade. Tendo uma variação na ordem de quase três vezes, os valores encontrados nas plantas controle (1,26) contra (3,44) das plantas tratadas com 400 mmol L^{-1} . Com relação a massa orgânica seca (MOS), que seria a massa seca livres de cinzas, observou-se um incremento desta com aumento das doses de sal, denotando assim que o sal estimulou o acúmulo de massa orgânica nas folhas de erva sal (Figuras 8D e 9D).

A respeito do estado hídrico das folhas de erva sal mostrado na Figura 10, observou-se um aumento significativo no conteúdo relativo de água (CRA) entre as plantas controle e as plantas tratadas com NaCl. A umidade foliar, por conseguinte seguiu a mesma tendência de aumento observado para o (CRA). A suculência foliar teve incrementos consideráveis, variando de 43,17 para as plantas controle, para 58,87 das plantas tratadas com 400 mmol L^{-1} , mostrando assim a capacidade das plantas se manterem tenras com boa umidade favorecendo o crescimento desta planta mesmo em condições de salinidade elevada, como no caso da dose de 400 mmol L^{-1} de NaCl. Os valores de área foliar individual média também aumentaram (Figura 16F, anexos) de forma significativa entre todos os tratamentos, associados com uma menor densidade foliar corroboram que as plantas tratadas cresceram mais, daí estas possuírem mais massa fresca e seca, MOS e cinzas.

Quanto aos teores de clorofilas **a**, **b** e totais, apresentados na Figura 11. Observa-se uma nítida redução nos teores de clorofilas por efeito dos tratamentos

salinos, sendo esta redução significativa entre as plantas controle e as tratadas com NaCl. Ressalte-se que o teor de clorofila **a** em 400 mmol L⁻¹ sofreu uma redução na ordem de 40% do valor encontrado nas plantas controle. Semelhantemente, tanto o teor de clorofila **b** como clorofilas totais sofreram reduções similares àquela encontrada para clorofila **a**.

A Figura 12 mostra os resultados de trocas gasosas obtidas de folhas de *A. nummularia* realizadas no aparelho IRGA, medida esta tomada de forma independente das de porometria, não obstante revelam a mesma tendência encontrada nas medidas de porometria. A transpiração foi reduzida de maneira significativa entre os tratamentos salinizados e o controle, tendo havido uma redução na transpiração de mais de três vezes no tratamento de 400 mmol L⁻¹ quando comparado com o tratamento controle. A fotossíntese seguiu a mesma tendência de decréscimo visto na transpiração, contudo em menor proporção, variando na ordem de quase duas vezes (1,86) no tratamento de maior dose. A condutância estomática seguiu de maneira significativa entre as plantas não tratadas e as tratadas com sal uma evidente redução na ordem de quase três vezes (2,8). A concentração interna de CO₂ e temperatura foliar não tiveram diferenças estatísticas significativas por efeito das doses de NaCl. Enquanto o uso eficiência da água (UEA) tomado pela razão fotossíntese/transpiração aumentaram de maneira significativa entre as plantas controle e as tratadas. Outrossim, destaque-se que o uso eficiência da água específico (UEAe) tomado pela razão massa seca/transpiração aumentaram de maneira significativa entre todos os tratamentos, revelando assim a capacidade de economia de água por parte das plantas submetidas ao estresse salino.

Quanto as formas nitrogenadas mostradas na Figura 13, percebe-se um decréscimo considerável e significativo do teor de nitrogênio e nitrato entre as plantas controle e as tratadas com 400 mmol L⁻¹ de NaCl, e essa diminuição ficou em torno de 50% para o N, e o nitrato em torno de 61% em relação as plantas controle. Ao passo que o uso eficiência do nitrogênio (UEN) foi aumentado em quase três (2,7) vezes mais em 400 mmol L⁻¹ em relação as plantas controle. Quanto à atividade de redutase de nitrato, enzima fundamental no processo de aquisição de nitrato observou-se uma diminuição acentuada entre os tratamentos, principalmente no tratamento de maior concentração salina (400 mmol L⁻¹) que teve sua redução em torno de quatro vezes menos que o tratamento controle, aproximadamente. Em relação aos aminoácidos livres totais e proteínas solúveis tiveram uma diminuição, sendo que nas proteínas solúveis essa

diminuição foi bem mais acentuada chegando a variar de 11,87 das plantas controle para 7,55 das plantas tratadas com maior dose de NaCl, em torno de 1,5 vezes menos proteínas (Figura 14).

4 – DISCUSSÃO

A resposta fisiológica geral apresentada pelas plantas de erva sal (*A. nummularia*) a presença de diferentes níveis de NaCl, na presente pesquisa está de acordo com outros trabalhos conduzido com esta espécie (Ashby & Beadle, 1957; Araújo, 2003) e com outras espécies de *Atriplex* (Gale & Poljakoff-Mayber, 1970; Flowers et al., 1977; Glenn et al., 1998; Khan et al., 2000; Maggio et al., 2000). Inicialmente, em termos de produção de massa fresca e massa seca, está amplamente relatado na literatura que as halófitas em geral (Flowers et al., 1977), *A. nummularia* e outras espécies de *Atriplex* tem seu crescimento favorecido pela presença de sais em excesso no solo (Glenn et al., 1998). No presente trabalho, a dose de 200 mmol L⁻¹ de NaCl na água de irrigação apresentou uma maior produção de massa fresca e seca, observada em raízes e caules de forma significativa, e em folhas de forma não significativa (Figuras 8 e 9), sendo que neste último houve tendência de igualdade entre os tratamentos provavelmente devido ao efeito do NaCl no longo termo (120 dias), onde as plantas tratadas com doses maiores se ajustaram e/ou adaptaram-se as condições de salinidade. Deve ser ressaltado que os teores de cinzas e MOS (livre de cinzas), tiveram o mesmo comportamento como constatado por Khan et al., (2000), mostrando que os teores de cinzas aumentaram com os tratamentos salinos, mas não de forma significativa. Como esperado, o modelo de resposta quanto aos parâmetros de crescimento teve uma tendência parabólica, principalmente em raízes e caules, e estes resultados conferem com os achados por (Araújo, 2003; Khan et al., 2000; Glenn et al., 1999; Qiu & Lu, 2003).

A presença do NaCl na água de irrigação provocou uma progressiva diminuição da perda de água para atmosfera, indicado pela diminuição da transpiração principalmente no período mais quente do dia (Figura 1A) acarretando numa economia de água. Enquanto a noite estas plantas submetidas ao estresse por NaCl transpiraram mais, por ser um período ameno, mostrando assim a capacidade de adaptação da espécie. É importante salientar que durante praticamente todas as tomadas de medidas as temperaturas foliares não diferiram, sendo na maior parte do tempo iguais. Corroborando com a transpiração, as plantas tratadas com 400 mmol L^{-1} apresentaram uma maior resistência estomática (Figura 1B), e tendo em vista que esta é inversamente proporcional a condutância estomática, logo deduz-se que as plantas controle apresentaram maior condutância estomática e as plantas tratadas com NaCl uma menor condutância.

Confirmando esta tendência, verificou-se nas medidas de trocas gasosas (Figura 12) tomadas no aparelho IRGA, e de forma independente das verificadas na porometria, no horário de 11 h. Percebeu-se que houve uma redução da transpiração na ordem de três vezes, quando comparada com o tratamento controle, nota-se que houve um decréscimo em todos os tratamentos salinos. Seguindo a mesma tendência dos resultados da transpiração, a fotossíntese decresceu em todos os tratamentos com NaCl, no entanto esse decréscimo foi em menor proporção do que o observado para a transpiração. Corroborando com os dados de transpiração e fotossíntese, a condutância estomática foi reduzida drasticamente, é importante observar que a temperatura foliar e o CO_2 interno permaneceram constantes ao em todos os tratamentos. Ressalte-se também, que essas variáveis (transpiração, fotossíntese e condutância) foram inversamente proporcionais, tendo em vista que houve um aumento no uso eficiência da água (UEA) e uso eficiência da água específico (UEAe) demonstrando assim o efeito positivo das doses de NaCl sobre a economia de água. Estes resultados estão de acordo com os relatados para outras espécies de *Atriplex* (Gale & Poljakoff-Mayber, 1970; Flowers et al., 1977; Sharma, 1982; Pham Thi et al., 1982; Qiu & Lu, 2003).

A suculência foliar, a umidade das folhas, o conteúdo relativo de água e a área foliar individual média aumentaram ligeiramente com adição do NaCl (Figura 10), ao passo que a densidade foliar. Uma das mais notáveis características das halófitas é a correlação entre a absorção de íons alcalinos e aumento da suculência (Waisel, 1972), com o objetivo de balancear a toxicidade iônica externa criada em condições de

salinidade aumentando o conteúdo hídrico total da planta, principalmente das folhas, graças às vesículas armazenadoras de sal. A densidade foliar por sua vez diminuiu, tendo em vista que houve aumento da área foliar, como observado na Figura 16F (anexos).

Paralelo ao decréscimo da transpiração, fotossíntese e condutância estomática houve uma pronunciada diminuição nas concentrações de clorofilas **a**, **b** e totais (Figura 11) sugerindo que a taxa fotossintética deve ter sido reduzida devido às limitações estomáticas conforme demonstrado por Gale & Poljakoff-Mayber (1970) trabalhando com *Atriplex halimus* e Qiu & Lu (2003) trabalhando com *Atriplex centralasiatica*.

No trabalho de Gale & Poljakoff-Mayber (1970) a redução na taxa fotossintética ocorreu em menor extensão do que as taxas de transpiração, como apresentado neste trabalho. Maggio et al., (2000) trabalhando com a halófito *Salvadora persica*, observaram que 200 mmol L⁻¹ de NaCl induziu um aumento de 30% na massa seca total sem, contudo, incrementar a taxa fotossintética. Sendo uma espécie do tipo C₄ (Glenn et al., 1998), *A. nummularia* apresenta elevado uso eficiência da água (UEA) e alto índice de assimilação de CO₂ por unidade de água transpirada. Portanto, a diminuição da transpiração causada pelo efeito do NaCl deve ser vista mais como economia de água, e não como limitação desta espécie. Deste modo, devido a maior pressão de turgescência e a presença de sais na epiderme podem ter favorecido a fotossíntese. A maioria das espécies de C₄, dentre estas a *A. nummularia* requer Na⁺ em pequenas quantidades para converter piruvato a fosfoenolpiruvato em condições de luminosidade (Murata et al., 1992), e assim controlar a translocação de piruvato através das membranas por um simporte Na⁺/H⁺ (Ohnishi et al., 1990), e ajudando a manutenção da integridade estrutural dos cloroplastos (Brownell & Bielig, 1996). O Na⁺ pode atuar como um importante agente osmótico tanto em espécies C₃ como em C₄ especialmente em halófitas nas quais ocorrem em altas concentrações (Greenway & Munns, 1980).

Destaque-se que o incremento de matéria seca orgânica (MOS) em folhas pelo tratamento 200 mmol L⁻¹ (Figura 9D), em relação ao controle, foi de 2,29 g planta⁻¹ o que correspondeu a um aumento 40% aproximadamente, valor esse descontado as cinzas, conclui-se que houve um aumento na quantidade de matéria orgânica seca, evidenciando um efeito benéfico do NaCl na taxa de fotossíntese líquida. Analisando o decréscimo no teor de clorofilas (Figura 11), é possível especular que a “atividade C₄” das plantas possa ter sido estimulado pelo NaCl, portanto com diminuição na

fotorrespiração e/ou respiração. Fato semelhante ocorre na transição de C₃-CAM induzida por NaCl em algumas halófitas (Glenn et al., 1999).

No presente estudo, as concentrações reais de NaCl na solução do solo nas proximidades das raízes, para cada nível de NaCl aplicado, foram crescentes ao longo do tempo. O trabalho conduzido por Ashby & Beadle, (1957) com *A. nummularia* mostrou que essa espécie apresentou crescimento máximo com 200 mmol L⁻¹ de NaCl, tendo sobrevivido com 400 mmol L⁻¹ e morrido com 600 mmol L⁻¹ em condições de solução nutritiva. Em trabalho realizado por Araújo, (2003) com substrato arenoso também verificou esta mesma tendência observada por Ashby & Beadle, (1957), porém neste tipo de substrato (areia) as plantas de *A. nummularia* apenas diminuíram sua taxa de crescimento, entre 300 e 600 mmol L⁻¹, contudo não apresentaram injúrias e/ou sintomas oriundos do estresse salino, e tampouco morreram.

Conforme observado nas Figuras 3,4,5 e 6 com relação aos teores de íons inorgânicos houve durante o período de aplicação dos tratamentos (120 dias) uma tendência de estabilidade (platô) entre os tratamentos salinos, sendo estes diferentes do controle. É sabido que o Na⁺ não é exigido por plantas verdes em níveis elevados. Entretanto, certas halófitas como a *A. nummularia*, crescem melhor com um grande suprimento de NaCl, tendo um crescimento ótimo em torno de 100-200 mmol L⁻¹. Em algumas espécies de halófitas, como a *Halogeton glomeratus*, uma erva daninha, essa espécie tem uma necessidade tão elevada de sal que o Na⁺ pode ser considerado um macronutriente (Williams, 1960). Enquanto o Cl⁻ é essencial para regulação de água no sítio de oxidação da água no fotossistema II (Bowyer e Leegood, 1997), não obstante o Cl⁻ é importante para plantas da família *palmae*, como o coco (*Cocos nucifera* L.) devido seu poder como agente osmótico.

Como era de se esperar, a adição de NaCl causou um aumento nas concentrações de Na⁺ e Cl⁻ e decréscimo generalizado nas concentrações de K⁺ em raízes, caules e folhas (Figuras 4 e 5). A redução foi menos pronunciada em caules (de 358,05 para 296,70 mmol kg⁻¹), seguido pelas raízes (de 283,88 para 200,76 mmol kg⁻¹) e em maior extensão nas folhas (de 1.227,60 para 703,31 mmol kg⁻¹). As concentrações de K⁺ nas folhas foram bastante elevadas o que deve ter contribuído com o ajustamento osmótico do citoplasma, e estes resultados foram similares aos encontrados por Araújo, (2003). Ressalte-se, se for assumido que 90% do volume de folhas de *Atriplex* são constituídos por vacúolos (Flowers et al., 1977) e que a maior parte do K⁺ está localizado no

citoplasma e organelas, sua concentração no citoplasma deve ser bastante elevada. O mesmo vale para raízes, visto que nesse caso, as concentrações de Na^+ e Cl^- são bem menores do que nas folhas, o K^+ deve desempenhar um papel fundamental no ajustamento osmótico do citoplasma. Não obstante, faz-se necessário ressaltar que em doses elevadas (500 mmol L^{-1} de KCl) o K^+ mostrou efeitos mais deletérios que o próprio Na^+ (500 mmol L^{-1} de NaCl), como mostrado por Ramos et al., (2004) trabalhando com *A. nummularia* utilizando doses crescentes de NaCl e KCl , o que vem reforçar a teoria que estas plantas possuem uma grande avidez por sais, principalmente (Na^+ e Cl^-), avidez essa explicada em parte pela sua origem, visto que essas são originárias de desertos salinizados da Austrália.

A redução na concentração de K^+ nos tecidos de halófitas cultivadas com excesso de sais é bastante citada na literatura (Mozafar et al., 1970; Flowers et al., 1977; El-Haddad & O'leary, 1994; Khan et al., 2000; Araújo, 2003). É provável que na realidade uma redução por si só causada por diminuição na absorção (influxo) ou devido a aumento no efluxo de K^+ causado pelo Na^+ ou danos de membranas. Na realidade, ainda não existem na literatura estudos sobre cinética de influxo/efluxo de Na^+ e K^+ em halófitas os quais poderiam esclarecer as reais interações entre os dois íons. A hipótese mais aceita é que as plantas cultivadas na ausência ou na presença de baixos níveis de NaCl compensem essa carência aumentando a absorção de outros íons K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , SO_4^{-2} e PO_4^{-3} (Figura 6). Trabalhos recentes com *Atriplex griffithii* (Khan et al., 2000) confirmam essa hipótese. Os níveis de K^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2} foram maiores em raízes, caules e folhas das plantas não tratadas com NaCl .

Quanto à eficiência de uso de macronutrientes em folhas de *A. nummularia* (Figura 7) verificou-se um aumento nesta eficiência provavelmente explicada pela hipótese de que o Na^+ nestas espécies halófitas substitui plenamente as possíveis carências ocasionadas pela falta destes macronutrientes. Ao que tudo indica esta espécie possui uma dependência química muito forte pelo Na^+ e Cl^- , explicada pelo fato destas serem originárias de áreas desérticas, pobres em K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , SO_4^{-2} , PO_4^{-3} e NO_3^- , e ricas em Na^+ e Cl^- . Como forma de sobrevivência a este ambiente infértil e hostil, estas desenvolveu ao longo da evolução um mecanismo que aproveitasse os íons em maior abundância que seriam as vesículas armazenadoras de sais permitindo a absorção de água e sais que seriam usados em sua nutrição. No caso de *Atriplex halimus* as concentrações de cátions (K^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2}) e ânions inorgânicos (SO_4^{-2} , PO_4^{-3} e NO_3^-)

foram também maiores na ausência de NaCl (Bajji et al., 1998). Dessa maneira, é provável que essas espécies halófitas incluídas de sais possuam uma programação genética para acumular intensamente íons em seus tecidos especialmente nas folhas independente das concentrações externas.

Como visto nas Figuras 13 e 14, a atividade de redutase de nitrato, enzima essencial no processo de aquisição de NO_3^- diminuiu sensivelmente mostrando que o NaCl influenciou de forma negativa a ação desta enzima. No presente estudo, as plantas tratadas com NaCl tiveram uma diminuição dos teores de proteínas solúveis e aminoácidos livres estes resultados foram compatíveis com os observados por Araújo, (2003). Nas plantas tratadas as menores concentrações de aminoácidos livres e proteínas solúveis podem refletir suas utilizações como fonte de energia e esqueletos de carbono para biossíntese de massa fresca, principalmente em 200 mmol L^{-1} , compensando a menor fotossíntese verificada nos tratamentos salinizados. Apesar de ter havido uma diminuição dos teores de nitrogênio total e nitrato as plantas tratadas apresentaram um maior ganho de massa orgânica seca (folhas) o que revelam que as plantas tratadas utilizaram melhor o nitrogênio disponível, estas plantas apresentaram uma melhor eficiência de uso de nitrogênio.

5 – CONCLUSÕES

1. Os resultados evidenciam que o NaCl influenciou positivamente o crescimento de *Atriplex nummularia*, o qual, entretanto, não foi dependente da dose de sal.
2. Apesar do NaCl ter influenciado o acúmulo de massa seca nas plantas, estas apresentaram um efeito maior na diminuição da transpiração e em menor extensão na fotossíntese, demonstrando assim um melhor uso eficiência da água em todos os tratamentos salinos.
3. As plantas de *Atriplex nummularia* tratadas com NaCl apresentaram um melhor uso eficiência de macronutrientes.

6 – LITERATURA CITADA

- AMZALLAG G.N., LERNER, H.R., POLJAKOFF-MAYBER, A. Induction of increased salt tolerance in *Sorghum bicolor* by NaCl pretreatment. **Journal of Experimental Botany**, v.41(222), p. 29-34. 1990.
- ARAÚJO S. A. M. **Respostas fisiológicas de *Atriplex nummularia* Lindl. sob diferentes níveis de salinidade.** Monografia de graduação. UFC. Fortaleza – CE, 54p. 2003.
- ARCHIBOLD O. W. **Ecology of world vegetation.** London: Chapman and Hall. 1995.
- ASHBY W.C. BEADLE N.C.W. Salinity factors in the growth of Australian saltbushes. **Ecology**, v.38, p. 344-352. 1957.
- BAETHGEN W. E. ALLEN M. M. A manual colorimetric procedure for measuring ammonium nitrogen in soil and plant Kjeldahl digest. **Community Soil Science and Plant Annals**, v.20, n. 9/10, p. 961-969. 1979.
- BAJJI M. KINET J-M. LUTTS S. Salt stress effects on roots and leaves of *Atriplex halimus* L. and their corresponding callus cultures. **Plant Science**, v.137, p.131-142. 1998.
- BRADFORD M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v.72, p. 248-254. 1976.
- BRILHANTE J. C. A. **Respostas fisiológicas e acumulação de prolina em duas progênies de cajueiro (*Anacardium occidentale* L) sob estresse salino.** Monografia de graduação. UFC. Fortaleza – CE, 52p. 2003.

- BOWYER J. R. LEEGOOD R. C. Photosynthesis. In: Dey, P.M.; J. B. Harbone; J. E Bonner (Eds.). **Plant Biochemistry**. Academic Press, San Diego, p.49-110. 1997.
- BROWNELL P. F. BIELIG. L. M. The role of sodium in the conversion of pyruvate to phosphoenolpyruvate in the mesophyll chloroplasts of C₄ plants. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.23, p. 171-177. 1996.
- BRUNGNOLI E. BJÖRKMAN O. Growth of cotton under continuous salinity stress: influence on allocation pattern, stomatal and non-stomatal components of photosynthesis and dissipation of excess light energy. **Planta**, v.187, p. 335-345. 1992.
- CATALDO D. A. HAROON M. SCHRADER L. E. YOUNGS V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Commun Soil Science and Plant Analyses**, v.6(1), p. 71-80. 1975.
- COSTA R. C. L. **Assimilação de nitrogênio e ajustamento osmótico em plantas noduladas de feijão de corda submetidas ao estresse hídrico**. Tese de Doutorado. UFC. Fortaleza-CE, 255p. 1999.
- DOWNTON W. J. GRANT W. J. R. ROBINSON S. P. Photosynthetic and stomatal response of spinach leaves to salt stress. **Plant Physiology**, v.77, p. 85-88. 1985.
- EL-HADDAD M. O'LEARY J. W. Effect of salinity and K/Na ration of irrigation water on growth and solute content of *Atriplex amnicola* and *Sorghum bicolor*. **Irrigation Science**, v.14, p.127-133. 1994.
- FLOWERS T.J. TROKE P.F. YEO A.R. The mechanism of salt tolerance in halophytes. **Annual Rev. Plant Physiol.**,v.28, p. 89-121. 1977.
- GALE J. POLJAKOFF-MAYBER A. Interrelations between growth and photosynthesis of salt bush (*Atriplex halimus* L.) grown in saline media. **Australia Journal Biology Science**, v. 23, p. 937-945. 1970.
- GLENN E. TANNER R. MIYAMOTO S. FITZSIMMONS K. BOYER J. Water use, productivity and forage quality of the halophyte *Atriplex nummularia* grow on saline water in a desert environment. **Journal of Arid Environments**, v.38, p.45-62. 1998.
- GLENN E. P. BLUMWALD E. BROWN J. J. Salt Tolerance and Crop Potential of Halophytes. **Critical Reviews in Plant Sciences**,v.18, n.2, p.227-255, 1999.
- GREENWAY, H. MUNNS, R. Mechanism of salt tolerance in nonhalophytes. **Annual Review of Plant Physiology**, v.30, p.149-155. 1980.

- HAGEMAN R. H. HUCKLESBY D. P. Nitrate reductase from higher plants. **Methods in Enzymology**, v.17A, p. 491-503. 1971.
- HOAGLAND D.R. ARNON D.I. The water-cultured method for growing plants without soil. Circular n° 347. **California Agricultural Experiment Station**. 32p. 1950.
- IRIGOYEN J. J. EMERICH D. W. SÁNCHEZ-DÍAZ M. Water stress induced changes in concentrations of praline and total soluble sugars in nodulated alfafa (*Medicago sativa*) plants. **Physiologia Plantarum**, v.84, p. 55-66. 1992.
- KHAN M. A. UNGAR I. A. SHOWALTERS A. M. Effects of salinity on growth, water relations and ion accumulation of the subtropical perennial halophyte, *Atriplex griffithii* var. stocksii. **Annals of Botany**, v.85, p. 225-232. 2000.
- LIETH H. MOSCHENCO M. LOHMANN M. KOYRO H-W. HAMDY A. Halophyte uses in different climate. I. **Ecological and Ecophysiological Studies**, backhuys publishers, Leiden, 258p. 1999.
- MAGGIO A. REDDY M. P. JOLY R. J. Leaf gas exchange and solute accumulation in the halophyte *Salvadora persica* grown at moderate salinity. **Environmental and Experimental Botany**, v.44, p.31-38. 2000.
- MALAVOLTA E. VITTI G. OLIVEIRA S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: potafos. p.201. 1997.
- MCKELL C.M. **Salinity tolerance in *Atriplex* species: Fodder shrubs of arid lands**. In: Pessaraki P, ed. Handbook of plant and crop stress. New York: Marcel Dekker, inc., p. 497-503. 1994.
- MIYAZAWA M. PAVAN M. A. BLOCH M. F. M. Avaliação de métodos com e sem digestão para extração de elementos em tecidos de plantas. **Ciência e Cultura**, v.36, p. 1953-1958. São Paulo. 1984.
- MOZAFAR A. GOODIN J. R. OERTI J. J. Na⁺ and K⁺ interactions in increasing the salt tolerance of *Atriplex halimus* L. II. Na⁺ and K⁺ uptake characteristics. **Agronomy Journal**, v.62, p.481-484. 1970.
- MUNNS R. TERMAAT A. Whole plant responses to salinity. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.13, p. 143-160. 1986.
- MURATA S. KOBAYASHI M. MATON T. SEKIYA J. Sodium stimulates regeneration of phosphoenolpyruvate in mesophyll chloroplasts of *Amaranthus tricolor*. **Plant Cell Physiology**, v.33, p. 1247-1250. 1992.

- OHNISHI J. FLÜGGE U. HELDT H. W. KANAI R. Involvement of Na⁺ in active uptake of pyruvate in mesophyll chloroplasts of some C₄ plants: Na⁺/pyruvate cotransport. **Plant Physiology**, v.94, p. 950-959. 1990.
- PASTERNAK D. NERD A. Research and utilization of halophytes in Israel. In: Malcolm I. Hamdy A. (eds), **Halophytes and Biosaline Agriculture**. Marcel Dekker, New York-USA, p. 325-348. 1996.
- PEOPLES M. B. FAIZAN A. W. REAKASEM B. HERRIDGE D. F. **Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated legumes in the field**. Australian Centre for International Agricultural Research Canberra. 76 p. 1989.
- PHAM THI A. T. PIMENTEL C. SILVA J. V. Effects of Water Stress on Photosynthesis and Photorespiration of *Atriplex nummularia*, a C₄ plant. **Photosynthetica**, Praga, v. 16, n. 3, p. 334-342, 1982.
- QIU N. LU C. Enhanced tolerance of photosynthesis against high temperature damage in salt-adapted halophyte *Atriplex centralasiatica* plants. **Plant Cell Environment**, v.26, p.1137-1145, 2003.
- RAMOS J. LÓPEZ M. J. BENLLOCH M. Effect of NaCl and KCl salts on the growth and solute accumulation of the halophyte *Atriplex nummularia*. **Plant and Soil**, v.259, p.163-168. 2004.
- SARRUGE J.R. HAAG H.P. **Análise química de plantas**. Piracicaba. Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 56 p. 1974.
- SHARMA, M.L. **Aspects of salinity and water relations of Australian chenopods**. In: Sen, D.N; Rajpurohit, K.S. Contributions to the ecology of halophytes. Hague: W. Junk, Cap. 4, p. 155- 175. 1982.
- VIÉGAS R. A. MELO A. R. B. SILVEIRA J. A. G. Nitrate reductase activity and proline accumulation in cashew in response to NaCl salt shock. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.11, p. 21-28. 1999.
- WASEL Y. **Biology of Halophytes**. New York, London: Academic Press. 1972.
- WHITHAM F. H. BLAYDES D. F. DEVLIN R. N. **Experiments in Plants Physiology**. New York: Van Nostrame Company, p. 55-58. 1971.
- WILLIAMS M. C. Effect of sodium and potassium salts on growth and oxalate content of Halogeton. **Plant Physiology**, v.35, p.500-505. 1960.
- WINICOV I. BASTOLA D. R. Salt tolerance in crop plants: new approaches through tissue culture and gene regulation. **Acta Physiol.Plant**, v.19, p.435-449. 1997.

ZISKA L. H. SEEMANN J. R. DEJONG T. M. Salinity induced limitations on photosynthesis in *Prunus salicina*, a deciduous tree species. **Plant Physiology**, v.93, p. 864-870. 1990.

**CAPÍTULO II: “USO EFICIÊNCIA DE MACRONUTRIENTES E ÁGUA EM
ERVA SAL (*Atriplex nummularia*) PRÉ-CONDICIONADAS COM NaCl, E
SUBMETIDAS A CICLOS DE SECA/RE-HIDRATAÇÃO”**

RESUMO

A *Atriplex nummularia* Lindl. é uma espécie C₄ que possui adaptação a seca e a salinidade. Apesar da sua potencialidade, seja como recurso forrageiro ou fitorremediação de solos salinizados, existem escassos trabalhos sobre adaptação desta espécie em condições de estresse hídrico e salino. Este trabalho teve como objetivo estudar as respostas de plantas de erva sal submetidas a ciclos de seca e re-hidratação, em termos de uso eficiência de macronutrientes e água, levando em consideração a produção de massa fresca e massa seca, partição de íons inorgânicos e transpiração. Mudanças de *A. nummularia*, com idade de 18 meses foram transplantadas para recipientes de polietileno contendo 5.0 kg de vermiculita, em condições de casa de vegetação, e submetidas a 3 ciclos de seca (semanas) e 1 recuperação ao final do último ciclo (após 48 h). Os resultados evidenciam que o NaCl influenciou positivamente o crescimento de *A. nummularia*, mesmo na situação de seca. O NaCl influenciou na diminuição da transpiração das plantas pré-tratadas (+H₂O e -H₂O), o que ocasionou uma economia de água, demonstrando assim um melhor uso eficiência da água destas plantas. As plantas de *A. nummularia* pré-tratadas com NaCl apresentaram um melhor uso eficiência de macronutrientes (N, Mg⁺² e Ca⁺²).

ABSTRACT

Atriplex nummularia Lindl. is a C₄ halophyte species well adapted to salt and drought conditions. Although its potential, to be forage recourse or fitoremediation salinized soils, there are scarces works with *Atriplex* species about water and salt stress conditions. This work to aim in order plants responses of the oldman saltbush submitted to drought and re-hydration cycles, in terms of the efficiency use macronutrients and efficiency use water, fresh and dry matter, inorganics ions partition and transpiration. Eighteen-month-old *A. nummularia* plants were transfered to polyethylene pots contained 5.0 kg of the vermiculite, and exposed to drought and re-hydration cycles three (weeks) and recovery treatment one after 48 hours, only last cycle. The results showed that the NaCl presence positively influenced the *A. nummularia* growth, even under drought conditions. The NaCl-induced in the transpiration rate of the pre-treated plants (+H₂O and -H₂O) may have a water using, thus causing a higher water use efficiency. *A. nummularia* plants pre-treated with NaCl showed a better macronutrients use efficiency (N, Mg⁺² and Ca⁺²).

1 – INTRODUÇÃO

A seca e a salinidade do solo são os principais estresses abióticos que afetam a agricultura. Atualmente na agricultura moderna não se concebe plantações de culturas de interesse agrícola sem o uso de técnicas de irrigação adequadas. Não obstante a utilização de águas de qualidade inferior, ricas em sais, na irrigação de cultivos associada a elevadas taxas de evapotranspiração, principalmente nas regiões áridas e semi-áridas, conduzem ao aumento de áreas improdutivas.

O estresse hídrico tem sido um problema crescente para produção de plantas cultivadas. Contudo, está bem relatado que plantas não cultivadas que crescem naturalmente em regiões áridas e semi-áridas, com problemas de salinidade, desenvolveram várias adaptações para contornar a escassez de água. A manutenção do turgor durante mudanças no status hídrico da planta pode preservar os processos metabólicos e contribuir para o crescimento.

Em condições de clima semi-árido, a desertificação está se tornando um problema sério, com a progressiva redução da cobertura vegetal contribuindo para uma rápida erosão do solo, carreando toda a fertilidade destes solos para o leito de riachos e rios. A resistência à seca é um fenômeno complexo que envolve diversas interações, e isto tem aumentado o interesse em se estudar características de espécies xero-halófitas para identificar e entender mecanismos de resistência à seca. Algumas espécies pertencentes ao gênero *Atriplex* são bem adaptadas a meio ambiente escasso de água e com presença de elevadas quantidades de sais, e por isso se constitui em um material usado para a identificação de mecanismos fisiológicos e genes envolvidos na resistência a estresses abióticos, tais como: seca, salinidade e metais pesados (Shen et al., 2003;

Cabello-Hurtado & Ramos, 2004; Wang & Showalter, 2004; Bajji et al., 1998; Le Houérou et al., 2000; Lutts et al., 2004).

A especialização de algumas espécies de *Atriplex*, dentre elas a *Atriplex nummularia*, por ambientes salinos envolve habilidades peculiares para acumular os íons K^+ , Na^+ e Cl^- . Contudo dados concernentes ao impacto do Na^+ nas respostas de *Atriplex* em condições de seca do solo e ausência de Na^+ são escassos. Martínez et al., (2005) trabalhando com *Atriplex halimus* utilizando Polietileno Glicol 6000 (PEG), um indutor artificial de seca, verificou que plantas tratadas com NaCl na presença deste indutor de seca tiveram uma melhor performance.

Este trabalho teve como objetivo estudar as respostas de plantas de erva sal submetidas a ciclos de seca e re-hidratação, em termos de uso eficiência de macronutrientes e água, levando em consideração a produção de massa seca, partição de íons inorgânicos e transpiração.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 - Material vegetal

Em toda fase experimental, foram utilizadas mudas de erva-sal (*Atriplex nummularia* Lindl.) que foram propagadas vegetativamente por estaquia, obtidas a partir de matrizes oriundas do campo. Na época do experimento as mudas tinham dezoito meses de idade, sendo cultivadas em recipientes de polietileno com capacidade de 5 L, contendo como substrato vermiculita expandida com granulação do tipo médio, possuindo uma capacidade média de retenção de água na proporção de 1,7 (70% a base de volume).

2.2 -- Local e condições do experimento

O experimento foi desenvolvido em condições de casa de vegetação, do Laboratório de Nutrição de Plantas e Estresse Ambiental – (LABPLANT) do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza-CE cuja localização é de latitude 3° 44' sul e longitude 38° 33' W e clima local do tipo AW na classificação de Koeppen. O período experimental foi compreendido entre os meses de Agosto e outubro de 2005. Durante o experimento as condições ambientais da época, no interior da casa de vegetação, foram: fotoperíodo de 12 horas de luz, temperaturas mínima 24°C, máxima 36°C, temperaturas médias diárias de 28°C, umidade relativa do ar mínima de 45%, máxima de 85%, médias diárias de 65% e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) de 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

2.3 Solução nutritiva

Como descrito no item 2.3 da pág. 30

2.4 - Condução e tratamento das plantas

As mudas de *Atriplex nummularia*, com idade de 18 meses foram transplantadas para recipientes de polietileno contendo 5,0 kg de vermiculita (uma planta/recipiente). Todos os recipientes contendo as plantas foram lavados exaustivamente com água destilada visando lixiviar o excesso de sais do substrato. Plantas uniformes em tamanho foram separadas em dois grupos, onde foram submetidas ao seguinte pré-condicionamento por 30 dias: (1) plantas irrigadas com solução nutritiva de Hoagland e (2) plantas irrigadas com solução nutritiva de Hoagland contendo 200 mmol L⁻¹ de NaCl, sendo essa irrigação efetuada a cada três dias. Semanalmente era coletado o lixiviado dos recipientes, a fim de monitorar a condutividade elétrica e o pH das soluções dos mesmos. Após trinta dias de pré-condicionamento, essas plantas sofreram três ciclos sucessivos de seca/re-hidratação, onde cada ciclo correspondeu a uma semana de tratamento. Foram separados quatro subgrupos de plantas, onde foi adotado o seguinte tratamento: (a) plantas pré - condicionadas com solução nutritiva sem a suspensão da rega (**controle + H₂O**); (b) plantas pré-condicionadas com solução nutritiva com suspensão da rega (**controle -H₂O**); (c) plantas pré-condicionadas com NaCl com suspensão da rega (**NaCl - H₂O**) e (d) plantas pré-condicionadas com NaCl sem a suspensão da rega (**NaCl + H₂O**). E este procedimento foi realizado durante três semanas (ciclos), onde no final de cada ciclo, os recipientes eram saturados com as respectivas soluções, correspondendo assim a três ciclos de seca/re-hidratação. Sendo que na última semana, todas as plantas foram irrigadas com água destilada, até a saturação do substrato, a fim de promover uma recuperação dos respectivos tratamentos adotados.

2.5 – Colheita das plantas e determinação analíticas

Após cada semana (ciclo) e também após 48h de recuperação foram feitas medidas de porometria (transpiração, resistência estomática e temperatura foliar) e

também foram determinados o conteúdo relativo de água, umidade, suculência e atividade da redutase de nitrato das folhas. As demais determinações analíticas foram feitas somente na última coleta (após 48h de recuperação). As plantas foram regularmente fotografadas com o objetivo de registrar os sintomas visuais do estresse e/ou quaisquer outras modificações morfológicas na parte aérea das plantas. Na colheita final, foi feita pesagem da massa fresca de caules e folhas, e posteriormente transferidas para secagem em estufa com circulação de ar quente a 70 °C durante 48 horas, sendo pesados novamente para determinação da massa seca.

2.6 – Conteúdo relativo de água (CRA), umidade e suculência foliar

Como descrito no item 2.6 da pág. 31

2.7 – Determinação da transpiração, resistência estomática e temperatura foliar (porometria)

Como descrito no item 2.7 da pág. 32

2.8 – Determinação do teor de clorofilas

Como descrito no item 2.8 da pág. 32

2.9 - Determinação da atividade da redutase de nitrato

Como descrito no item 2.9 da pág. 33

2.10 – Determinação do teor de cinzas

Como descrito no item 2.10 da pág. 33

2.11 – Determinação da concentração de sódio e potássio

Como descrito no item 2.11 da pág. 33

2.12 – Determinação da concentração de cloreto

Como descrito no item 2.12 da pág. 34

2.13 – Determinação da concentração de cálcio e magnésio

Como descrito no item 2.13 da pág. 34

2.14 – Determinação da concentração de fosfato e sulfato

Como descrito no item 2.14 da pág. 35

2.15 – Determinação do teor de nitrato

Como descrito no item 2.15 da pág. 36

2.16 – Determinação da concentração de nitrogênio total

Como descrito no item 2.16 da pág. 36

2.17 – Determinação de aminoácidos livres totais (N- α -amino livre)

Como descrito no item 2.17 da pág. 36

2.18 – Determinação de proteínas solúveis

Como descrito no item 2.18 da pág. 37

2.19 - Delineamento experimental e análises dos resultados

Os tratamentos foram distribuídos de acordo com um delineamento inteiramente casualizado, obedecendo a um esquema (4 x 4), correspondendo respectivamente a quatro tratamentos (Controle +H₂O; Controle -H₂O; NaCl -H₂O; NaCl +H₂O) e quatro

repetições, sendo cada parcela experimental representada por um recipiente contendo uma planta, perfazendo um total de 16 parcelas experimentais. Os resultados foram analisados estatisticamente com base na análise de variância e teste de comparação de médias (Tukey, $p < 0,05$).

3 – RESULTADOS

As plantas de erva sal (*A. nummularia*) quando da realização do experimento tinham 18 meses de idade, passaram por um período de aclimação em recipientes de polietileno (5 L), logo em seguida foram submetidas aos ciclos de seca e/ou re-hidratação em torno de um mês, perfazendo ao final do experimento 20 meses de idade (Figura 5).

Como pode ser observado na Tabela 10 que relata os teores de íons inorgânicos em caules e folhas de erva sal. Em caules os teores de Na^+ e Cl^- aumentaram nas plantas tratadas com NaCl (+H₂O) e NaCl (-H₂O) em relação as plantas controle com H₂O e sem H₂O, enquanto os teores de K^+ não sofreram mudanças significativas em todos os tratamentos, com exceção do tratamento NaCl (-H₂O). Os teores de Na^+ e Cl^- em folhas aumentaram nas plantas tratadas com NaCl (+H₂O) e NaCl (-H₂O) em relação as plantas controle com H₂O e sem H₂O, de forma semelhante os teores de K^+ não sofreram mudanças significativas em todos os tratamentos, com exceção do tratamento NaCl (-H₂O). Os teores de Mg^{2+} e Ca^{2+} tiveram uma tendência oposta, apresentando maiores valores nos controles (+H₂O) e (-H₂O) não significativos entre si, e valores menores nas plantas tratadas com NaCl (+H₂O) e NaCl (-H₂O). Os teores de SO_4^{-2} não apresentaram valores significativos, com exceção do tratamento controle (+H₂O) que apresentou um valor superior. Os teores de PO_4^{-3} não apresentaram valores significativos em todos os tratamentos.

Tabela 1 – Teores de íons inorgânicos em caule e folha de erva sal (*A. nummularia*) expostas a seca durante três ciclos de desidratação seguidos por irrigação ao final de cada ciclo. No último, as plantas foram irrigadas após 2 dias (tratamento de recuperação) e colhidas em seguida. Cont (+H₂O) corresponde ao controle irrigado a cada três dias; Cont (-H₂O) são plantas não pré-tratadas com NaCl e expostas a seca; NaCl (-H₂O), plantas pré-tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl e expostas a seca e NaCl (+H₂O) corresponde as plantas sempre tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl durante todo período experimental. Os valores representam médias de quatro repetições.

Órgão	Tratamentos	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	Mg ⁺²	Ca ⁺²	SO ₄ ⁻²	PO ₄ ⁻³
		mmol kg ⁻¹ MS						
Caule	Cont (+H ₂ O)	113,03a*	397,69a	280,00a	-	-	-	-
	Cont (-H ₂ O)	130,42a	371,65ab	266,87a	-	-	-	-
	NaCl (-H ₂ O)	386,92b	304,34b	455,00b	-	-	-	-
	NaCl (+H ₂ O)	504,31c	396,41a	455,00b	-	-	-	-
Folha	Cont (+H ₂ O)	2.173,75a	939,88a	2.423,75a	540,00a	636,00a	96,77a	114,41a
	Cont (-H ₂ O)	2.413,92a	799,21bc	2.406,25a	536,00a	616,00a	78,75bc	115,13a
	NaCl (-H ₂ O)	4.064,91b	767,25c	3.832,50b	281,00b	216,00b	73,67c	108,16a
	NaCl (+H ₂ O)	4.217,07b	920,70ab	3.780,00b	282,00b	216,00b	85,35b	105,39a

*Letras minúsculas iguais, dentro de cada coluna, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey.

Tabela 2 – Acumulação de íons inorgânicos em folha de erva sal (*A. nummularia*) expostas a seca durante três ciclos de desidratação seguidos por irrigação ao final de cada ciclo. No último, as plantas foram irrigadas após 2 dias (tratamento de recuperação) e colhidas em seguida. Cont (+H₂O) corresponde ao controle irrigado a cada três dias; Cont (-H₂O) são plantas não pré-tratadas com NaCl e expostas a seca; NaCl (-H₂O), plantas pré-tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl e expostas a seca e NaCl (+H₂O) corresponde as plantas sempre tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl durante todo período experimental. Os valores representam médias de quatro repetições.

Órgão	Tratamentos	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	Mg ⁺²	Ca ⁺²	SO ₄ ⁻²	PO ₄ ⁻³
		mmol total ⁻¹ de folha						
Folha	Cont (+H ₂ O)	24,79a*	10,70a	27,68a	6,14a	7,26a	1,06a	1,30ac
	Cont (-H ₂ O)	18,82b	6,19b	18,74b	4,16b	4,82b	0,63b	0,89b
	NaCl (-H ₂ O)	46,06c	9,02c	42,79c	3,24c	2,45c	0,85c	1,22c
	NaCl (+H ₂ O)	56,24d	12,27d	50,37d	3,75bc	2,88c	1,14a	1,40a

*Letras minúsculas iguais, dentro de cada coluna, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey

Tabela 3 – Eficiência de uso de macronutrientes em folha de erva sal (*A. nummularia*) expostas a seca durante três ciclos de desidratação seguidos por irrigação ao final de cada ciclo. No último, as plantas foram irrigadas após 2 dias (tratamento de recuperação) e colhidas em seguida. Cont (+H₂O) corresponde ao controle irrigado a cada três dias; Cont (-H₂O) são plantas não pré-tratadas com NaCl e expostas a seca; NaCl (-H₂O), plantas pré-tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl e expostas a seca e NaCl (+H₂O) corresponde as plantas sempre tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl durante todo período experimental. Os valores representam médias de quatro repetições.

Órgão	Tratamentos	N	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	SO ₄ ⁻²	PO ₄ ⁻³
		g MS mmol ⁻¹					
Folha	Cont (+H ₂ O)	5,32 a *	1,06 a	1,85 a	1,57 a	10,33 a	8,74 a
	Cont (-H ₂ O)	5,99 a	1,25 bc	1,86 a	1,62 a	12,69 bc	8,68 a
	NaCl (-H ₂ O)	8,00 b	1,30 c	3,55 b	4,63 b	13,57 c	9,24 a
	NaCl (+H ₂ O)	7,81 b	1,08 ab	3,54 b	4,63 b	11,71 b	9,48 a

*Letras minúsculas iguais, dentro de cada coluna, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey

Tabela 4 – Massa fresca, Massa seca, Cinzas e Massa Orgânica Seca (MOS) em raiz, caule e folha de erva sal (*A. nummularia*) expostas a seca durante três ciclos de desidratação seguidos por irrigação ao final de cada ciclo. No último, as plantas foram irrigadas após 2 dias (tratamento de recuperação) e colhidas em seguida. Cont (+H₂O) corresponde ao controle irrigado a cada três dias; Cont (-H₂O) são plantas não pré-tratadas com NaCl e expostas a seca; NaCl (-H₂O), plantas pré-tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl e expostas a seca e NaCl (+H₂O) corresponde as plantas sempre tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl durante todo período experimental. Os valores representam médias de quatro repetições.

Órgão	Tratamentos	MF	MS g planta ⁻¹	Cinzas	MOS
Caule	Cont (+H ₂ O)	45,65a*	23,05a	-	-
	Cont (-H ₂ O)	39,49b	20,78a	-	-
	NaCl (-H ₂ O)	39,93ab	20,06a	-	-
	NaCl (+H ₂ O)	41,56ab	20,01a	-	-
Folha	Cont (+H ₂ O)	73,35a	11,41a	2,51a	8,90a
	Cont (-H ₂ O)	50,17b	8,16b	1,96a	6,20b
	NaCl (-H ₂ O)	72,69a	11,33a	3,40b	7,93a
	NaCl (+H ₂ O)	85,44c	13,32c	4,26b	9,06c

* Letras minúsculas iguais, dentro de cada coluna, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey.

Tabela 5 – Formas nitrogenadas de folhas de plantas de erva sal (*A. nummularia*) expostas a seca durante três ciclos de desidratação seguidos por irrigação ao final de cada ciclo. No último, as plantas foram irrigadas após 2 dias (tratamento de recuperação) e colhidas em seguida. Cont (+H₂O) corresponde ao controle irrigado a cada três dias; Cont (-H₂O) são plantas não pré-tratadas com NaCl e expostas a seca; NaCl (-H₂O), plantas pré-tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl e expostas a seca e NaCl (+H₂O) corresponde as plantas sempre tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl durante todo período experimental. Os valores representam médias de quatro repetições.

Órgão	Tratamentos	Nitrogênio Total	Nitrato	Aminoácidos Livres	Proteínas Solúveis	Uso Eficiência do Nitrogênio
		g N 100g ⁻¹ MS	mmol NO ₃ ⁻ kg ⁻¹ MS	mmol kg ⁻¹ MS	mg g ⁻¹ MS	g MS g N ⁻¹ total
Folha	Cont (+H ₂ O)	2,63a*	294,32a	103,04a	8,25ab	4,78a
	Cont (-H ₂ O)	2,34a	291,67a	163,05b	7,65a	3,35b
	NaCl (-H ₂ O)	1,75b	194,98b	113,40a	9,57b	6,51c
	NaCl (+H ₂ O)	1,80b	196,33b	72,74c	7,53a	7,42c

* Letras minúsculas iguais, dentro de cada coluna, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey.

Tabela 6 – Atividade da Redutase de Nitrato de folhas de plantas de erva sal (*A. nummularia*) expostas a seca durante três ciclos de desidratação seguidos por irrigação ao final de cada ciclo. No último, as plantas foram irrigadas após 2 dias (tratamento de recuperação) e colhidas em seguida. Cont (+H₂O) corresponde ao controle irrigado a cada três dias; Cont (-H₂O) são plantas não pré-tratadas com NaCl e expostas a seca; NaCl (-H₂O), plantas pré-tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl e expostas a seca e NaCl (+H₂O) corresponde as plantas sempre tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl durante todo período experimental. Os valores representam médias de quatro repetições.

Órgão	Tratamentos	Atividade da Redutase de Nitrato μmol NO ₂ ⁻ g MS ⁻¹ h ⁻¹			
		1 ^a Semana	2 ^a Semana	3 ^a Semana	Recuperação (48h)
Folha	Cont (+H ₂ O)	0,69 aA *	0,74 aA	0,81 aAB	0,87 aB
	Cont (-H ₂ O)	0,34 bcA	0,71 aB	0,83 aB	1,02 aC
	NaCl (-H ₂ O)	0,27 bA	0,35 bA	0,58 bB	0,87 aC
	NaCl (+H ₂ O)	0,43 cAB	0,42 bA	0,54 bB	0,45 bAB

* Letras minúsculas iguais dentro de cada coluna, e letras maiúsculas iguais na mesma linha, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey.

Tabela 7 – Medida de Umidade Foliar de plantas de erva sal (*A. nummularia*) expostas a seca durante três ciclos de desidratação seguidos por irrigação ao final de cada ciclo. No último, as plantas foram irrigadas após 2 dias (tratamento de recuperação) e colhidas em seguida. Cont (+H₂O) corresponde ao controle irrigado a cada três dias; Cont (-H₂O) são plantas não pré-tratadas com NaCl e expostas a seca; NaCl (-H₂O), plantas pré-tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl e expostas a seca e NaCl (+H₂O) corresponde as plantas sempre tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl durante todo período experimental. Os valores representam médias de quatro repetições.

Órgão	Tratamentos	Umidade Foliar			
		1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	Recuperação (48h)
Folha	Cont(+H ₂ O)	83,42 acA	83,69 acA	82,67 aA	84,27 aA
	Cont(-H ₂ O)	80,33 bAB	78,86 bBA	74,95 bC	84,08 aA
	200 NaCl(-H ₂ O)	81,72 baA	81,21 baA	79,13 cB	85,07 aC
	200 NaCl(+H ₂ O)	84,66 caA	85,88 caA	84,63 aA	84,64 aA

* Letras minúsculas iguais dentro de cada coluna, e letras maiúsculas iguais na mesma linha, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey.

Tabela 8 – Medida de suculência foliar de plantas de erva sal (*A. nummularia*) expostas a seca durante três ciclos de desidratação seguidos por irrigação ao final de cada ciclo. No último, as plantas foram irrigadas após 2 dias (tratamento de recuperação) e colhidas em seguida. Cont (+H₂O) corresponde ao controle irrigado a cada três dias; Cont (-H₂O) são plantas não pré-tratadas com NaCl e expostas a seca; NaCl (-H₂O), plantas pré-tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl e expostas a seca e NaCl (+H₂O) corresponde as plantas sempre tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl durante todo período experimental. Os valores representam médias de quatro repetições.

Órgão	Tratamentos	Suculência Foliar mg MF cm ⁻²			
		1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	Recuperação (48h)
Folha	Cont (+H ₂ O)	55,61 aA *	57,62 aA	55,94 aA	56,50 abA
	Cont (-H ₂ O)	58,25 abA	55,18 aA	46,84 bB	54,37 aA
	NaCl (-H ₂ O)	58,12 abA	54,19 aA	54,34 aA	59,75 abA
	NaCl (+H ₂ O)	61,27 bA	64,09 aA	63,69 cA	61,73 bA

* Letras minúsculas iguais dentro de cada coluna, e letras maiúsculas iguais na mesma linha, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey.

Tabela 9 – Medida de Conteúdo Relativo de Água de plantas de erva sal (*A. nummularia*) expostas a seca durante três ciclos de desidratação seguidos por irrigação ao final de cada ciclo. No último, as plantas foram irrigadas após 2 dias (tratamento de recuperação) e colhidas em seguida. Cont (+H₂O) corresponde ao controle irrigado a cada três dias; Cont (-H₂O) são plantas não pré-tratadas com NaCl e expostas a seca; NaCl (-H₂O), plantas pré-tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl e expostas a seca e NaCl (+H₂O) corresponde as plantas sempre tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl durante todo período experimental. Os valores representam médias de quatro repetições.

Órgão	Tratamentos	Conteúdo Relativo de Água			
		1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	Recuperação (48h)
Folha	Cont (+H ₂ O)	81,41 aA *	81,32 aA	81,63 aA	84,58 aA
	Cont (-H ₂ O)	75,61 bA	63,04 bB	57,16 bB	85,27 aC
	NaCl (-H ₂ O)	74,86 bA	68,90 cB	66,86 cB	85,37 aC
	NaCl (+H ₂ O)	85,13 aA	87,34 dA	87,87 aA	82,71 aA

* Letras minúsculas iguais dentro de cada coluna, e letras maiúsculas iguais na mesma linha, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey.

Tabela 10 – Parâmetros de Transpiração medidas em folhas de plantas de erva sal (*A. nummularia*) expostas a seca durante três ciclos de desidratação seguidos por irrigação ao final de cada ciclo. No último, as plantas foram irrigadas após 2 dias (tratamento de recuperação) e colhidas em seguida. Cont (+H₂O) corresponde ao controle irrigado a cada três dias; Cont (-H₂O) são plantas não pré-tratadas com NaCl e expostas a seca; NaCl (-H₂O), plantas pré-tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl e expostas a seca e NaCl (+H₂O) corresponde as plantas sempre tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl durante todo período experimental. Os valores representam médias de quatro repetições.

Órgão	Tratamentos	Transpiração mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹			Uso Efic. da Água especifico g MS mmol ⁻¹ H ₂ O	
		1 ^a Semana	2 ^a Semana	3 ^a Semana	Recuperação (48h)	Recuperação (48h)
Folha	Cont (+H ₂ O)	2,59 aA *	2,58 aA	1,73 aB	2,31 aA	4,95 a
	Cont (-H ₂ O)	1,74 bA	2,41 aB	1,21 bC	2,58 aB	3,25 b
	NaCl (-H ₂ O)	0,91 cA	1,48 bB	0,84 cA	1,35 bB	8,46 c
	NaCl (+H ₂ O)	1,56 bA	1,77 cB	1,41 dA	1,86 cB	7,14 d

* Letras minúsculas iguais dentro de cada coluna, e letras maiúsculas iguais na mesma linha, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey.

Tabela 11 – Parâmetros de Resistência Estomática medidas em folhas de plantas de erva sal (*A. nummularia*) expostas a seca durante três ciclos de desidratação seguidos por irrigação ao final de cada ciclo. No último, as plantas foram irrigadas após 2 dias (tratamento de recuperação) e colhidas em seguida. Cont (+H₂O) corresponde ao controle irrigado a cada três dias; Cont (-H₂O) são plantas não pré-tratadas com NaCl e expostas a seca; NaCl (-H₂O), plantas pré-tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl e expostas a seca e NaCl (+H₂O) corresponde as plantas sempre tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl durante todo período experimental. Os valores representam médias de quatro repetições.

Órgão	Tratamentos	Resistência Estomática s cm ⁻¹			
		1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	Recuperação (48h)
Folha	Cont (+H ₂ O)	4,48 aA *	4,78 aA	6,47 aB	4,35 aA
	Cont (-H ₂ O)	6,25 bA	5,19 acB	9,78 bC	3,95 acD
	NaCl (-H ₂ O)	13,72 cA	8,57 bB	14,67 cA	7,62 bB
	NaCl (+H ₂ O)	7,14 bA	6,02 cB	7,94 dC	5,18 cD

* Letras minúsculas iguais dentro de cada coluna, e letras maiúsculas iguais na mesma linha, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey.

Tabela 12 – Parâmetros de Temperatura Foliar medidas em folhas de plantas de erva sal (*A. nummularia*) expostas a seca durante três ciclos de desidratação seguidos por irrigação ao final de cada ciclo. No último, as plantas foram irrigadas após 2 dias (tratamento de recuperação) e colhidas em seguida. Cont (+H₂O) corresponde ao controle irrigado a cada três dias; Cont (-H₂O) são plantas não pré-tratadas com NaCl e expostas a seca; NaCl (-H₂O), plantas pré-tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl e expostas a seca e NaCl (+H₂O) corresponde as plantas sempre tratadas com 200 mmol L⁻¹ de NaCl durante todo período experimental. Os valores representam médias de quatro repetições.

Órgão	Tratamentos	Temperatura Foliar °C			
		1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	Recuperação (48h)
Folha	Cont (+H ₂ O)	32,00 aA *	31,70 abA	30,27 aB	30,27 aB
	Cont (-H ₂ O)	32,00 aA	32,00 bA	31,07 bB	30,40 abC
	NaCl (-H ₂ O)	33,15 bA	31,90 bB	31,50 bB	30,85 bC
	NaCl (+H ₂ O)	30,70 cA	31,07 aA	31,35 bA	30,65 abA

* Letras minúsculas iguais dentro de cada coluna, e letras maiúsculas iguais na mesma linha, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey.

A Tabela 11 mostra a acumulação de íons inorgânicos em folhas de erva sal. Em todos os tratamentos os teores de Na^+ e Cl^- foram estatisticamente diferentes. Quando comparado as plantas controle ($+\text{H}_2\text{O}$) com as plantas NaCl ($+\text{H}_2\text{O}$) observou-se um acúmulo de duas vezes para o Na^+ e quase duas vezes para o Cl^- neste último grupo de plantas tratadas. A mesma tendência foi constatada para as plantas submetidas a seca. Os valores de K^+ também foram estatisticamente diferentes tanto no grupo de seca (controle $-\text{H}_2\text{O}$ e NaCl $-\text{H}_2\text{O}$) como no grupo irrigado (controle $+\text{H}_2\text{O}$ e NaCl $+\text{H}_2\text{O}$) apresentando uma queda no grupo de seca. Os teores de Mg^{2+} e Ca^{2+} apresentaram uma tendência de decréscimo, quando se comparou o controle ($+\text{H}_2\text{O}$) com os demais tratamentos, sendo que para o Ca^{2+} esse decréscimo foi bem pronunciado, principalmente nas plantas sujeitas a NaCl ($-\text{H}_2\text{O}$). Os teores de SO_4^{2-} somente foram diferentes no grupo de seca e estatisticamente iguais no grupo irrigado. Quanto aos teores de PO_4^{3-} foram diferentes nas plantas controle ($+\text{H}_2\text{O}$) e ($-\text{H}_2\text{O}$), e nas plantas NaCl ($+\text{H}_2\text{O}$) e ($-\text{H}_2\text{O}$).

A Tabela 12 mostra os resultados de eficiência de uso de macronutrientes em folha de erva sal. Houve um aumento de eficiência N nas plantas tratadas com NaCl ($+\text{H}_2\text{O}$) e ($-\text{H}_2\text{O}$) em relação as plantas controle ($+\text{H}_2\text{O}$) e ($-\text{H}_2\text{O}$). Os valores de eficiência de K^+ foram maiores nos tratamentos controle ($-\text{H}_2\text{O}$) e NaCl ($-\text{H}_2\text{O}$) do que nos outros tratamentos. As eficiências de Mg^{2+} e Ca^{2+} foram superiores nos tratamentos com NaCl ($+\text{H}_2\text{O}$) e ($-\text{H}_2\text{O}$) quando comparadas aos tratamentos controle ($+\text{H}_2\text{O}$) e ($-\text{H}_2\text{O}$), sendo que estas foram 1,9 e 2,9 vezes superiores, respectivamente. Para a eficiência de PO_4^{3-} foi constatado um discreto aumento nas plantas NaCl ($+\text{H}_2\text{O}$) e ($-\text{H}_2\text{O}$), porém não significativo quando comparado aos demais tratamentos. Os valores de eficiência de SO_4^{2-} tiveram um aumento em plantas que foram submetidas a seca (controle $-\text{H}_2\text{O}$ e NaCl $-\text{H}_2\text{O}$), sendo que as plantas controle ($+\text{H}_2\text{O}$) tiveram uma menor eficiência quando comparada com plantas tratadas com NaCl ($+\text{H}_2\text{O}$).

Como observado na Tabela 13, em caules houve uma diminuição da massa fresca entre controle ($+\text{H}_2\text{O}$) e os demais tratamentos, ao passo que a massa seca também seguiu essa tendência de queda, porém não significativa. Enquanto a massa fresca em folhas foi superior no tratamento NaCl ($+\text{H}_2\text{O}$) em torno de 15% quando comparado controle ($+\text{H}_2\text{O}$). Ressalte-se que mesmo o tratamento NaCl ($-\text{H}_2\text{O}$) conseguiu se igualar ao tratamento controle ($+\text{H}_2\text{O}$), o tratamento controle ($-\text{H}_2\text{O}$) teve a menor massa fresca. Essa tendência

observada para massa fresca também foi observada para massa seca e massa orgânica seca (MOS). Os teores de cinzas variaram entre grupos de plantas controle (+H₂O) e (-H₂O) e plantas pré-tratadas com NaCl (+H₂O) e (-H₂O).

Quanto as formas nitrogenadas relatadas na Tabela 14, nota-se claramente que houve uma redução dos teores de N das plantas tratadas com NaCl (+H₂O) e (-H₂O) em relação as plantas controle (+H₂O) e (-H₂O). A atividade de redutase de nitrato seguiu da mesma forma que o N, ou seja, tendência de queda nos tratamentos salinizados. A respeito dos teores de aminoácidos livres totais percebe-se que as plantas que foram submetidas a ciclos de seca e/ou re-hidratação (controle -H₂O e NaCl -H₂O) tiveram uma maior acumulação de aminoácidos quando comparadas com as outras plantas tratadas. Os teores de proteínas solúveis foram superiores em NaCl (-H₂O) enquanto que o menor valor foi encontrado NaCl (+H₂O). O uso eficiência de nitrogênio foi aumentado em plantas tratadas com NaCl quando comparado as plantas controle.

Como observado na Tabela 15 que mostra os resultados da atividade de redutase de nitrato em folhas de *Atriplex*, enzima essa, essencial no processo de aquisição de nitrato por parte das plantas superiores. Percebe-se que na primeira semana houve uma redução pronunciada na atividade de RN entre o tratamento controle (+H₂O) e os demais tratamentos. Na segunda semana foi verificado diferenças entre as plantas controle (+H₂O) e (-H₂O) e as plantas tratadas com NaCl (+H₂O) e (-H₂O), de maneira similar na terceira semana verificou-se a mesma tendência entre os tratamentos. Ao passo que na recuperação não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos controle (+H₂O) e (-H₂O) e NaCl (-H₂O), havendo diferença somente no tratamento NaCl (+H₂O). Quando se comparou cada tratamento no tempo (semanas) verificou-se que controle (+H₂O) foram estatisticamente iguais nas semanas diferindo somente na recuperação. Para o tratamento controle (-H₂O) foi verificado diferenças entre a primeira e segunda semana, a segunda semana foi estatisticamente igual a terceira e ambas diferiram da recuperação. O tratamento NaCl (-H₂O) não diferiu nas duas primeiras semanas, diferindo estatisticamente na terceira semana e na recuperação. Quanto ao tratamento NaCl (+H₂O) a primeira semana e a recuperação foram iguais, porém a segunda e a terceira semana foram estatisticamente diferentes.

A Tabela 16 mostra os resultados de umidade foliar de plantas erva sal, na primeira semana os tratamentos controle (-H₂O) e NaCl (-H₂O) foram iguais e os tratamentos

controle (+H₂O) e NaCl (+H₂O) também foram estatisticamente iguais, na segunda semana verificou-se a mesma tendência da primeira. Enquanto na terceira semana os tratamentos controle (+H₂O) e NaCl (+H₂O) foram iguais, e os tratamentos controle (-H₂O) e NaCl (-H₂O) foram diferentes entre si. Na recuperação todos os tratamentos se igualaram. A comparação no tempo para o tratamento controle (+H₂O), foi verificado que não houve diferenças nas semanas e recuperação. Para o tratamento controle (-H₂O) a primeira e a segunda semana foram estatisticamente iguais, diferindo da terceira semana e igual na recuperação. O tratamento NaCl (-H₂O) foi estatisticamente iguais na primeira e segunda semana e diferentes na terceira e recuperação, quanto ao tratamento NaCl (+H₂O) não houve mudanças significativas nas semanas e tampouco na recuperação.

Como observado na Tabela 17 que trata a respeito da suculência foliar de plantas de *A. nummularia*, a priori na primeira semana foi verificado diferenças entre os tratamentos controle (+H₂O) e NaCl (+H₂O) ao passo que os tratamentos controle (-H₂O) e NaCl (-H₂O) foram estatisticamente iguais. Na segunda semana todos os tratamentos foram iguais entre si, não obstante na terceira semana houve diferenças entre os tratamentos controle (-H₂O) e NaCl (+H₂O), os demais tratamentos foram iguais. Na recuperação os tratamentos seguiram a mesma tendência observada na terceira semana. Quando se comparou a suculência no tempo que não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos controle (+H₂O), NaCl (+H₂O) e NaCl (-H₂O) ao longo das semanas e da recuperação, havendo somente diferenças estatisticamente significativas para o tratamento controle (-H₂O) e somente na terceira semana.

Quanto a medida de conteúdo relativo de água (CRA) mostrado na Tabela 18, nota-se na primeira semana que as plantas controle (+H₂O) e NaCl (+H₂O) diferiram estatisticamente dos tratamentos controle (-H₂O) e NaCl (-H₂O). Enquanto na segunda semana todos os tratamentos diferiram estatisticamente entre si, não obstante na terceira semana os tratamentos controle (+H₂O) e NaCl (+H₂O) foram estatisticamente iguais, ao passo que os tratamentos controle (-H₂O) e NaCl (-H₂O) diferiram entre si, e também dos demais tratamentos, ressalte-se que na recuperação as plantas conseguiram igualar seus CRA, ou seja, não houveram diferenças estatísticas entre todos os tratamentos. No que concerne a comparação dos tratamentos no tempo, foi constatado que os tratamentos controle (+H₂O) e NaCl (+H₂O) não tiveram mudanças significativas no decorrer das

semanas e na recuperação. Outrossim, ressalte-se que para o tratamento controle ($-H_2O$) houve diferenças entre a primeira e a recuperação, contudo a segunda e a terceira semana não diferiram estatisticamente, mencione-se também que o tratamento NaCl ($-H_2O$) obedeceu a mesma tendência observada no tratamento controle ($-H_2O$).

A Tabela 19 descreve sobre parâmetros de transpiração de folhas de plantas de erva sal (*A. nummularia*). Cabe ressaltar que na primeira semana os tratamentos controle ($-H_2O$) e NaCl ($+H_2O$) foram estatisticamente semelhantes, ao passo que os tratamentos controle ($+H_2O$) e NaCl ($-H_2O$) foram diferentes. Na segunda semana os tratamentos controles ($+H_2O$) e ($-H_2O$) foram estatisticamente iguais entre si, no entanto os tratamentos NaCl ($+H_2O$) e NaCl ($-H_2O$) uma transpiração bem menor, logo foram estatisticamente diferentes entre si e os outros tratamentos, tendência essa observada também na recuperação. Na terceira semana todos os tratamentos diferiram entre si, sendo que as plantas irrigadas (controle $+H_2O$ e NaCl $+H_2O$) transpiraram mais do que as plantas sujeitas ao estresse hídrico (controle $-H_2O$ e NaCl $-H_2O$). Na comparação do tempo foi verificado que para o tratamento controle ($+H_2O$) não houve diferenças estatísticas na primeira, segunda semana e recuperação havendo diferença na terceira semana. Quanto ao tratamento controle ($-H_2O$) foi observado diferenças de transpiração na segunda e terceira semana, porém na recuperação foi igual a segunda semana, a primeira semana por seu turno foi significativamente diferente das outras. No caso dos tratamentos NaCl ($+H_2O$) e NaCl ($-H_2O$), não houve diferenças estatísticas entre a primeira e a terceira semana, bem como entre a segunda semana e a recuperação, em ambos. Na recuperação, ressalte-se que todos os tratamentos diferiram quanto ao uso eficiência da água específico.

Quanto aos parâmetros de resistência estomática de folhas de *Atriplex* listados na Tabela 20, Percebeu-se na primeira semana que o tratamento NaCl ($-H_2O$) teve uma maior e significativa resistência estomática quando comparado com os demais tratamentos, enquanto os tratamentos controle ($-H_2O$) e NaCl ($+H_2O$) foram iguais estatisticamente, o tratamento controle ($+H_2O$) apresentou uma resistência estomática menor. Na segunda semana os tratamentos controle ($-H_2O$) e ($+H_2O$) foram iguais, sendo que este último foi estatisticamente igual ao tratamento NaCl ($+H_2O$), o tratamento NaCl ($-H_2O$) foi diferente dos demais. Ressalte-se que essa mesma tendência foi mantida na recuperação. Na terceira semana todos os tratamentos diferiram entre si, sendo que NaCl ($-H_2O$) mostrou um valor

maior de resistência estomática. Na comparação dos tratamentos no tempo, verificou-se para o tratamento controle (+H₂O) que houve somente diferença estatística na terceira semana. Enquanto que para o tratamento controle (-H₂O) houve diferenças significativas entre todas as semanas e a recuperação, tendência essa também verificada para o tratamento NaCl (+H₂O). Para o tratamento NaCl (-H₂O) percebeu-se que não houve diferenças entre a primeira e a terceira semana, mas estes diferiram da segunda semana e da recuperação que foram semelhantes entre si.

A Tabela 21 mostra os resultados de temperatura foliar de plantas de erva sal, constatou-se que não houve diferenças significativas entre controle (+H₂O) e controle (-H₂O) embora ambos terem sido diferentes dos demais, porém os tratamentos NaCl (+H₂O) e NaCl (-H₂O) foram diferentes entre si, isso na primeira semana. Na segunda semana foi observado que os tratamentos controle (-H₂O) e NaCl (-H₂O) foram iguais entre si, sendo que estes foram iguais ao controle (+H₂O), e este por sua vez foi estatisticamente igual ao tratamento NaCl (+H₂O). Na terceira semana foi verificado que o controle (+H₂O) diferiu dos demais tratamentos, não obstante estes foram iguais entre si. Na recuperação os tratamentos controle (+H₂O) e NaCl (-H₂O) foram estatisticamente diferentes, porém os tratamentos controle (-H₂O) e NaCl (+H₂O) foram semelhantes,. Na comparação de cada tratamento no tempo, notou-se para o tratamento controle (+H₂O) que não houve diferenças relevantes na primeira e na segunda semana, mas tiveram diferenças significativas quando comparados com terceira semana e a recuperação. O tratamento controle (-H₂O) não diferiu na primeira e segunda semana, porém houve diferenças significativas na terceira semana e na recuperação. Quanto ao tratamento NaCl (-H₂O) observou-se diferenças estatísticas entre a primeira semana e a recuperação, não obstante não houve diferenças significativas entre a segunda e a terceira semana. No tratamento NaCl (+H₂O) não foi observado diferenças estatisticamente significativas.

4 – DISCUSSÃO

As espécies xero-halófitas, dentre elas a *A. nummularia*, são frequentemente pensadas como sendo bem adaptadas a solos áridos (seca) e halomórficos (presença de sais), ambiente este extremamente hostil à maioria das plantas, quer sejam cultivadas ou não. No entanto, existem poucos estudos que levem em consideração a combinação dos efeitos tanto do estresse salino como da seca nestas espécies halófitas (Glenn & Brown, 1998; Martínez et al., 2005).

Conforme observado na Tabela 10 que relata os teores de íons inorgânicos, em caules percebeu-se diferenças nos teores de Na^+ e Cl^- entre os grupos de plantas controle (+ H_2O e - H_2O) e o grupo de plantas tratadas com NaCl (+ H_2O e - H_2O). Como era de se esperar, nas plantas tratadas com NaCl houve incrementos substanciais nos teores de Na^+ e Cl^- , enquanto os teores de K^+ praticamente não sofreu alterações nos dois grupos de plantas demonstrando assim que este nutriente possa ter sido utilizado para manutenção do turgor. Nas folhas observou-se a mesma tendência dos resultados obtidos em caules para os teores de Na^+ e Cl^- e K^+ .

Existem vários estudos sobre o comportamento do Na^+ na nutrição de plantas do gênero *Atriplex*, mas usualmente esses estudos levam somente em consideração condições de salinidade (Mozafar & Goodin, 1970; Storey et al., 1983; Matoh et al., 1989; Glenn et al., 1996; Wilson et al., 2000; Araújo, 2003). Em experimento conduzido por Glenn & Brown, (1998) trabalhando com *Atriplex canescens*, investigando a ocorrência simultânea

de estresse salino e hídrico, concluíram que os efeitos de ambos os estresses não são aditivos para redução da performance da planta. E que a tolerância ao estresse salino e hídrico estão ligados através de um mecanismo comum de absorção de Na^+ para promoção do ajustamento osmótico. Martínez et al., (2005) trabalhando com *Atriplex halimus* encontrou efeito benéfico do Na^+ em aliviar danos causados pelo polietileno glicol 6000 (PEG 6000), um indutor artificial de seca, confirmando que o Na^+ está envolvido na resistência ao estresse hídrico.

Os níveis de Ca^{+2} e Mg^{+2} foram substancialmente maiores nas plantas controle (+ H_2O e - H_2O) sendo quase duas vezes mais que os valores encontrados para as plantas pré-tratadas com NaCl (+ H_2O e - H_2O). É interessante ressaltar que não houve diferenças estatísticas dentro de cada grupo demonstrando assim que a seca não influenciou na nutrição destes cátions. Quanto aos teores dos ânions PO_4^{-3} e SO_4^{-2} , percebeu-se que os teores de PO_4^{-3} não variou nos mais diversos tratamentos, enquanto o SO_4^{-2} teve um discreto aumento porém significativo nas plantas controle (+ H_2O).

Para a acumulação de íons em folhas de *A. nummularia* visto na Tabela 11, para Na^+ , K^+ e Cl^- verificou-se um aumento significativo entre as plantas controle (+ H_2O e - H_2O) e as plantas pré-tratadas com NaCl (+ H_2O e - H_2O). O que vem demonstrar que estes íons foram os que mais contribuíram para o ganho de massa seca (Tabela 13). É interessante ressaltar que nas plantas controle (+ H_2O) teve um aumento nos teores de Mg^{+2} e Ca^{+2} mostrando que na ausência do Na^+ estas utilizam outros cátions para substituí-lo. Enquanto que para os ânions SO_4^{-2} e PO_4^{-3} verificou-se um aumento na acumulação destes nas plantas pré-tratadas com NaCl (+ H_2O).

A essencialidade de Na^+ como micronutriente tem sido bem estabelecido para *Atriplex vesicaria*, o Na^+ é um micronutriente em sentido estrito para as plantas C_4 mas não para as plantas C_3 (Brownell, 1965). Em algumas espécies de halófitas, como a *Halogeton glomeratus*, uma erva daninha, essa espécie tem uma necessidade tão elevada de sal que o Na^+ pode ser considerado um macronutriente (Williams, 1960). Em espécies C_4 , como por exemplo, *A. nummularia*, o Na^+ pode tanto nas condições das fases escura e de luz da fotossíntese, estar envolvido no transporte de piruvato dentro do mesófilo dos cloroplastos (Ohnishi et al., 1990; Aoki et al., 1992) e manter sua integridade funcional através da influência direta sobre o empilhamento dos grana nos tilacóides (Groef et al., 1989;

Brownell & Bielig, 1996). Para Murata et al., 1992 a maioria das espécies C_4 requerem Na^+ em pequenas quantidades para converter piruvato em fosfoenolpiruvato em condições de luminosidade. Apesar da eficiência de uso de macronutrientes (EUM) em folhas de *A. nummularia* observado na Tabela 12, constatou-se uma maior EUM de N, Ca^{+2} e Mg^{+2} para o grupo de plantas pré-tratadas com NaCl (+ H_2O e - H_2O), o que corrobora com os dados encontrados para massa seca, cinzas e MOS (Tabela 4). O que mostra que essas plantas foram bem mais eficientes no aproveitamento destes nutrientes que as plantas controle (+ H_2O e - H_2O). Ressalte-se que mesmo em condição de seca, as plantas pré-tratadas com NaCl apresentaram massa fresca, seca e MOS (Tabela 4) iguais as plantas controle (+ H_2O), o que comprova que o NaCl aumenta a habilidade destas plantas em conviver com o estresse hídrico. Martínez et al., (2005) trabalhando com *Atriplex halimus* encontrou também que não houve diferença de crescimento entre as plantas pré-tratadas com NaCl (50 mmol L^{-1}) e submetidas a uma solução de PEG 6000 (15%) e as plantas controle irrigadas e sem adição de sal. Saliente-se que UEM para K^+ praticamente não aumentou o que demonstra uma constância na utilização deste nutriente, enquanto que para os ânion SO_4^{-2} houve um discreto aumento da UEM nas plantas submetidas a seca (controle - H_2O e NaCl - H_2O), o que demonstra uma possível competição com o Cl^- , a UEM para PO_4^{-3} não sofreu modificações significativas.

No presente estudo, a presença de 200 mmol L^{-1} de NaCl na água de irrigação das plantas pré-tratadas com sal (+ H_2O e - H_2O) não diminuiu o crescimento destas plantas, sendo as mesmas iguais as plantas controle (+ H_2O e - H_2O), isso em caules (Tabela 13). Enquanto que nas folhas, o Na^+ estimulou a taxa de crescimento, mesmo nas plantas submetidas a ciclos de seca (NaCl - H_2O), o que mostra o efeito altamente benéfico do Na^+ e Cl^- na nutrição destas plantas (Araújo, 2003), tendo em vista que esta espécie halófito é do tipo incluído. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Reimann & Breckle (1993), que observou que em *A. acuminata* e *A. rosea*, mais de 70% do conteúdo de Na^+ total destas plantas estão localizados nas folhas. Visto que a maior parte do Na^+ e Cl^- é acumulado na folhas, devido as vesículas armazenadoras de sais, que nada mais é que vacúolos modificados e/ou aumentados (volume) exercendo uma grande pressão. Fazendo com que haja a diminuição do potencial hídrico das raízes facilitando a absorção de água e principalmente de nutrientes necessários para o metabolismo da planta. Parte deste Na^+ e

Cl⁻ é requerido para fotossíntese e nutrição desta espécie, outra parte funciona como esta força de sucção e o excedente é excretado via folhas funcionando como uma cobertura protetora aumentando a reflexão de raios solares e diminuindo a temperatura foliar, controlando a perda de água para atmosfera contribuindo assim para uma alta eficiência de uso da água.

Faz-se necessário ressaltar que a presença de NaCl na água de irrigação ocasionou uma diminuição da taxa de transpiração observada na Tabela 19, para as plantas pré-tratadas com NaCl (+H₂O e -H₂O), ao longo das semanas de seca (ciclos) e também na recuperação, quando compradas as plantas controle (+H₂O e -H₂O). Sendo essa diminuição mais pronunciada nas plantas NaCl (-H₂O), o que comprova um efeito benéfico do NaCl na economia de água. Cabe ressaltar que o uso eficiência da água específico (UEAe) foi estatisticamente diferente em todos os tratamentos, não obstante as plantas pré-tratadas com NaCl (+H₂O e -H₂O) apresentaram um alto UEAe, principalmente as plantas NaCl (-H₂O), em torno de duas vezes, o valor de UEAe das plantas controle (+H₂O) e mais de duas vezes das plantas controle (-H₂O). O que mostra que Na⁺ e Cl⁻ contribuíram efetivamente na economia de água nas plantas pré-tratadas com NaCl e submetidas a seca, o que corrobora a hipótese que estas plantas foram mais resistentes ao estresse hídrico. Martínez et al., (2003) conclui que em *A. halimus*, a resistência ao estresse hídrico estimada por meio da produção de biomassa, pode estar associada com o alto uso eficiência da água do que propriamente com ajustamento osmótico, e que o Na⁺ pode assumir uma função fisiológica específica nesta espécie C₄ xero-halófito. Ayala & O'leary, (1995) encontraram que tanto em medidas de longa duração como no de curta duração, uso eficiência da água de *Salicornia bigelovii* aumentou com o incremento da salinidade. Koyro, (2006) trabalhando com a halófito *Plantago coronopus*, submetidas a diferentes percentagens da água do mar (0%, 25%, 50% e 75%) e da própria água do mar (100%) verificou que houve um aumento no uso eficiência da água com incremento da salinidade. Resultados similares foram também obtidos por Araújo, (2003) trabalhando com doses crescentes de NaCl, com *A. nummularia* o que mostra a economia de água desta espécie em situação de estresse salino.

Com relação as medidas de resistência estomática de plantas de erva sal vistas na Tabela 20. Verificou-se que as plantas pré-tratadas com NaCl apresentaram maiores resistências estomáticas, tanto nas semanas (ciclos) como na recuperação, principalmente as

plantas NaCl (-H₂O). O que sugere que durante a exposição aos ciclos de seca, este grupo de plantas tiveram uma menor abertura estomática, ou seja, um maior controle da abertura dos estômatos possibilitando uma menor perda de água para atmosfera, e tendo neste controle da abertura estomatal uma estratégia de convivência com a escassez de água. Destaque-se que uma das estratégias para economia de água utilizadas pelas halófitas é a diminuição da temperatura foliar devido a uma fina película formada pelos sais que funciona como um escudo refletor (Flowers et al., 1977). Não obstante, neste estudo não foi verificado este fenômeno, como observado na Tabela 21 praticamente não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos no que concerne a temperatura foliar, com exceção da primeira semana, em que as plantas NaCl (-H₂O) apresentaram temperatura foliar maior e as plantas NaCl (+H₂O) a menor.

No presente trabalho verificou-se o estado hídrico de folhas de *A. nummularia*. Como observado na Tabela 16, as percentagens de umidade foliar para as plantas mantidas sob irrigação (controle +H₂O e NaCl +H₂O) praticamente não sofreram alterações significativas, porém estes diferiram daquele grupo submetido a seca (controle -H₂O e NaCl -H₂O), e que na recuperação todos os tratamentos se igualaram. Como era de se esperar o grupo de plantas sujeitas a seca apresentaram uma menor percentagem de umidade das folhas. Corroborando com os dados de umidade, o conteúdo relativo de água (CRA), visto na Tabela 18, apresentou quase a mesma tendência observada para umidade, sendo que na segunda e terceira semana o tratamento NaCl (-H₂O) apresentou um aumento no CRA em relação ao controle (-H₂O), o que ressalta o efeito atenuador do NaCl neste tratamento. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Martínez et al., (2003) trabalhando *A. halimus* verificou uma diminuição acentuada do CRA destas plantas quando submetidas a deficiência hídrica. Martínez et al., (2005) trabalhando com a mesma espécie (*A. halimus*) em situação de salinidade e seca encontrou resultados semelhantes.

Cabe salientar que em situações de alta salinidade, uma das estratégias lançadas por plantas halófitas para conviver com este ambiente hostil é o aumento da succulência da planta (Waisel, 1972). Não obstante neste presente estudo como observado na Tabela 17, a succulência foliar não diferiu na primeira, segunda semana e recuperação, sendo diferente na terceira semana entre os tratamentos. O que mostra provavelmente uma ação da seca fazendo com succulência das plantas pré-tratadas (NaCl -H₂O) fossem menor. Uma outra

explicação seria os próprios níveis endógenos de Na^+ das plantas de *Atriplex* (Gale & Poljakoff-Mayber, 1970), que são elevados, interferindo assim na suculência foliar principalmente das plantas controle (+ H_2O e - H_2O).

A atividade enzimática da redutase de nitrato foi determinada em folhas de *A. nummularia*, como pode ser visto na Tabela 15. A enzima redutase de nitrato é muito importante para aquisição do nitrato pelas plantas. Nos três ciclos de seca pode ser observado uma diminuição da atividade de redutase de nitrato entre as plantas controle (+ H_2O e - H_2O) e as plantas pré-tratadas com NaCl (+ H_2O e - H_2O), no entanto na recuperação todos os tratamentos se igualaram, com exceção do tratamento NaCl (+ H_2O) que teve sua atividade reduzida em função do NaCl. Estes resultados sugerem que o Na^+ e principalmente o Cl^- afetaram a atividade de RN das plantas pré-tratadas, sendo este último por seu efeito de concentração inibindo a atividade de RN. Ressalte-se que são escassos os trabalhos que relacionam a atividade de RN em espécies halófitas, como essas plantas conseguem adquirir N em condições tão adversas. Corroborando com os resultados de redutase de nitrato, encontrou-se na Tabela 14 que os teores de N total e nitrato tiveram uma diminuição entre as plantas controle (+ H_2O e - H_2O) e as plantas pré-tratadas com NaCl (+ H_2O e - H_2O), que por sua vez aumentaram a eficiência de uso de N, principalmente nas plantas que receberam sal, ressaltando assim o efeito benéfico do NaCl para esta espécie. Quanto aos aminoácidos livres e as proteínas solúveis verificou-se uma suave tendência de aumento nas plantas sob seca (controle - H_2O e NaCl - H_2O), o que sugere uma possível utilização destes como osmo-protetores no sentido de proteger a planta contra os danos nocivos causado pela seca e o NaCl.

5 – CONCLUSÕES

1. Os resultados evidenciam que o NaCl influenciou positivamente o crescimento de *Atriplex nummularia*, mesmo na situação de seca.
2. O NaCl influenciou na diminuição da transpiração das plantas pré-tratadas (+H₂O e -H₂O), o que ocasionou uma economia de água, demonstrando assim um melhor uso eficiência da água destas plantas .
3. As plantas de *Atriplex nummularia* pré-tratadas com NaCl apresentaram um melhor uso eficiência de macronutrientes (N, Mg⁺² e Ca⁺²).

6 – LITERATURA CITADA

- AOKI N. OHNISHI J. KANAI R. Two different mechanisms for transport of pyruvate into mesophyll chloroplasts of C₄ plants – a comparative study. **Plant Cell Physiology**, v.33, p.805-809. 1992.
- AYALA F. O'LEARY J. Growth and physiology of *Salicornia bigelovii* Torr. at suboptimal salinity. **International Journal of Plant Science**, v.156, p.197-205. 1995.
- ARAÚJO S. A. M. **Respostas fisiológicas de *Atriplex nummularia* Lindl. sob diferentes níveis de salinidade.** Monografia de graduação. UFC. Fortaleza – CE, 54p. 2003.
- BAJJI M. KINET J-M. LUTTS S. Salt stress effects on roots and leaves of *Atriplex halimus* L. and corresponding callus cultures. **Plant Science**, v.137, p. 131-142. 1998.
- BROWNELL P. F. Sodium as an essential micronutrient element for a higher plant (*Atriplex vesicaria*). **Plant Physiology**, v.40, p.460-468. 1965.
- BROWNELL P. F. BIELIG L. M. The role of sodium in the conversion of pyruvate to phosphoenolpyruvate in the mesophyll chloroplasts of C₄ plants. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.23, p.171-177. 1996.
- CABELLO-HURTADO F. RAMOS. J. Isolation and functional analysis of glycerol permease activity of two nodulin-like intrinsic proteins from salt stressed roots of the halophyte *Atriplex nummularia*. **Plant Science**, v.166, p. 633-640. 2004.

- GALE J. POLJAKOFF-MAYBER A. Interrelations between growth and photosynthesis of salt bush (*Atriplex halimus* L.) grown in saline media. **Australia Journal Biology Science**, v. 23, p. 937-945. 1970.
- GLENN E. P. PFISTER R. BROWN J. THOMPSON T. O'LEARY J. Na and K accumulation and salt tolerance of *Atriplex canescens* (Chenopodiaceae) genotypes. **American Journal of Botany**, v.83, p.997-1005. 1996.
- GLENN E. P. BROWN J. J. Effects of soil salt levels on the growth and water use efficiency of *Atriplex canescens* (Chenopodiaceae) varieties in drying soil. **American Journal of Botany**, v.85(1), p.10-16. 1998.
- GROF C. P. L. JOHNSTON M. BROWNELL P. F. Effect of sodium on the ultrastructure of chloroplasts of C₄ plants. **Plant Physiology**, v.89, p.539-543. 1989.
- KOYRO H-W. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). **Environmental and Experimental Botany**, v.56, p.136-146. 2006.
- LE HOUÉROU H. Utilization of fodder trees and shrubs in the arid and semiarid zones of West Asia and North Africa. **Arid Soil Research and Rehabilitation**, v.14, p. 101-135. 2000.
- LUTTS S. LEFRÉVRE I. DELPÉRÉE C. KIVITS S. DECHAMPS C. ROBLEDO A. CORREAL E. Heavy metal accumulation by the halophyte species Mediterranean saltbush. **Journal of Environmental Quality**, v.33, p. 1271-1279. 2004.
- MARTÍNEZ J-P. LEDENT J. F. BAIJJI M. KINET J-M. LUTTS S. Effect of water stress on growth, Na⁺ and K⁺ accumulation and water use efficiency in relation to osmotic adjustment in two populations of *Atriplex halimus* L. **Plant Growth Regulation**, v.41, p.63-73. 2003.
- MARTÍNEZ J-P. KINET J-M. BAIJJI M. LUTTS S. NaCl alleviates polyethylene glycol-induced water stress in the halophyte species *Atriplex halimus* L. **Journal of Experimental Botany**, v.56, n° 419, p. 2421-2431. 2005.
- MATOH T. ISHIKAWA T. TAKAHASHI E. Collapse of ATP-induced pH gradient by sodium ions in microsomal membrane vesicles prepared from *Atriplex gmelini* leaves. **Plant Physiology**, v.89, p.180-183. 1989.

- MOZAFAR A. GOODIN J. R. OERTI J. J. Na⁺ and K⁺ interactions in increasing the salt tolerance of *Atriplex halimus* L. II. Na⁺ and K⁺ uptake characteristics. **Agronomy Journal**, v.62, p.481-484. 1970.
- MURATA S. KOBAYASHI M. MATON T. SEKIYA J. Sodium stimulates regeneration of phosphoenolpyruvate in mesophyll chloroplasts of *Amaranthus tricolor*. **Plant Cell Physiology**, v.33, p. 1247-1250. 1992.
- OHNISHI J. FLÜGGE U. HELDT H. W. KANAI R. Involvement of Na⁺ in active uptake of pyruvate in mesophyll chloroplasts of some C₄ plants: Na⁺/pyruvate cotransport. **Plant Physiology**, v.94, p. 950-959. 1990.
- REIMANN C. BRECKLE S. W. Sodium relations in Chenopodiaceae: a comparative approach. **Plant, Cell and Environment**, v.16, p.323-328. 1993.
- SHEN Y. G. ZHANG W. K. YAN D. Q. DU B. X. ZHANG J. S. LIU Q. CHEN S. Y. Characterization of a DRE-binding transcription factor from a halophyte *Atriplex hortensis*. **Theoretical and Applied Genetics**, v.107, p.155-161. 2003.
- STOREY R. PITMAN M. G. STELZER R. CARTER C. X-ray micro-analysis of cells and cell compartments of *Atriplex spongiosa*. **Journal of Experimental Botany**, v.34, p.778-794. 1983.
- WASEL Y. **Biology of Halophytes**. New York, London: Academic Press. 1972.
- WANG L. W. SHOWALTER A. M. Cloning and salt-induced, ABA independent expression of choline mono-oxygenase in *Atriplex prostrata*. **Physiologia Plantarum**, v.120, p. 405-412. 2004.
- WILLIAMS M. C. Effect of sodium and potassium salts on growth and oxalate content of Halogeton. **Plant Physiology**, v.35, p.500-505. 1960.
- WILSON C. LESCH S. M. GRIEVE C. M. Growth stage modulates salinity tolerance of New Zealand spinach (*Tetragonia tetragonioides* Pall.) and red orach (*Atriplex hortensis* L.). **Annals of Botany**, v.85, p.501-509. 2000.

CONCLUSÕES GERAIS

1. Os resultados evidenciam que o NaCl influenciou positivamente o crescimento de *Atriplex nummularia*, tanto na presença como na ausência de água.
2. O NaCl ocasionou uma maior diminuição da transpiração e em menor extensão na fotossíntese, contudo as plantas tratadas com NaCl produziram mais massa seca, demonstrando assim um melhor uso eficiência da água em todos os tratamentos salinos, tanto na presença como na ausência de água.
3. As plantas de *Atriplex nummularia* tratadas com NaCl apresentaram um melhor uso eficiência de macronutrientes.

ANEXOS

Figura 15 – Aspecto geral do estande de plantas de *Atriplex nummularia* em casa de vegetação com 30 dias de aplicação dos tratamentos.

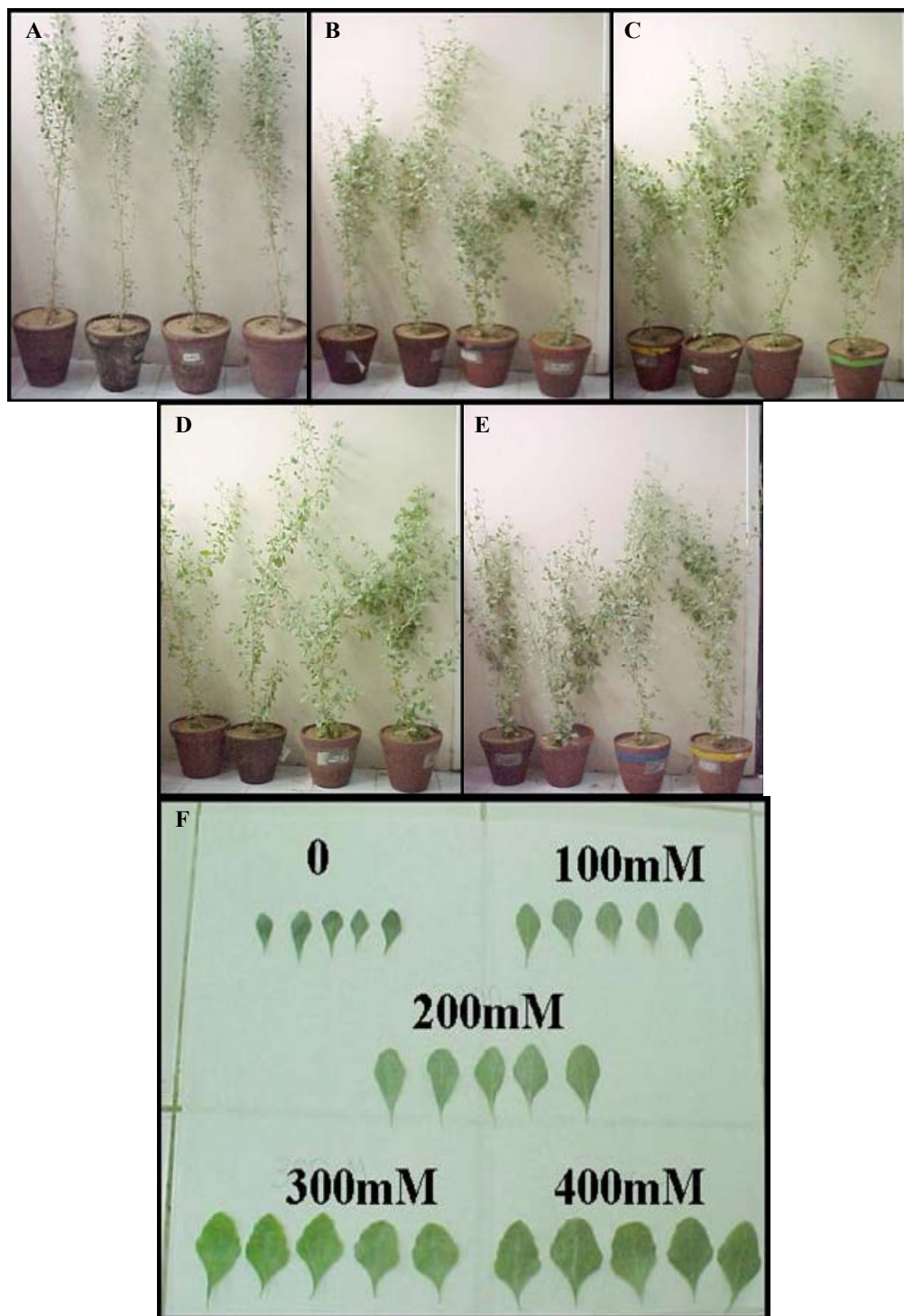


Figura 16 – Aspecto geral do estado de plantas de *Atriplex nummularia* no dia da colheita em casa de vegetação com 120 dias de aplicação dos tratamentos. 0 (A), 100 (B), 200 (C), 300 (D), 400 mmol L⁻¹ de NaCl (E) e detalhes das folhas (F).



Figura 17 – Aspecto geral do estande de plantas de *Atriplex nummularia* no dia da colheita em casa de vegetação. Controle +H₂O (A), Controle -H₂O (B), NaCl -H₂O (C), NaCl +H₂O (D).

