

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

UTILIZAÇÃO DE PLANTAS PARA REDUÇÃO DE
SALINIDADE DA ÁGUA E PRODUÇÃO DE BIOMASSA POR
MEIO DE CULTIVO HIDROPÔNICO

Laís Pessoa de Lacerda

Belo Horizonte

2012

**UTILIZAÇÃO DE PLANTAS PARA REDUÇÃO DE
SALINIDADE DA ÁGUA E PRODUÇÃO DE BIOMASSA POR
MEIO DE CULTIVO HIDROPÔNICO**

Laís Pessoa de Lacerda

Laís Pessoa de Lacerda

**UTILIZAÇÃO DE PLANTAS PARA REDUÇÃO DE
SALINIDADE DA ÁGUA E PRODUÇÃO DE BIOMASSA POR
MEIO DE CULTIVO HIDROPÔNICO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio Ambiente

Linha de pesquisa: Caracterização, prevenção e controle da poluição

Orientadora: Prof^a Dr^a Liséte Celina Lange

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG

2012

L131u

Lacerda, Laís Pessoa de
Utilização de plantas para redução de salinidade da água e produção
de biomassa por meio de cultivo hidropônico [manuscrito] / Laís Pessoa
de Lacerda.– 2012.
166 f.,enc.: il.

Orientadora: Liséte Celina Lange.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de
Engenharia.

Anexos: f. 145-166.
Bibliografia: f. 137-144.

1. Engenharia sanitária – Teses. 2. Meio ambiente – Teses. 3. Hidroponia
– Teses. 4. Agupapé- Teses. I. Lange, Liséte Celina. II. Universidade Federal
de Minas Gerais, Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 628(043)

À memória de meus pais Remy Ardanuy Melero e Félix Pessoa de Lacerda,

Ao meu companheiro Pedro,

A minhas irmãs Yara, Jussara e Jacira,

A todos eles, pelo exemplo, apoio e compreensão.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Prof^a. Dra. Liséte Celina Lange pela dedicada orientação, incentivo constante, amizade sincera e otimismo inabalável. Agradeço por acolher minhas ideias e confiar em mim, mesmo quando as tristezas da vida me fizeram desanimar.

Ao Prof. Dr. Marcel Giovanni Costa França (ICB/UFMG), por compartilhar comigo seus conhecimentos sobre plantas, sua experiência na condução de experimentos e por enriquecer nossos artigos com contribuições preciosas.

À Profa. MSc. Lúcia Maria Porto de Paula, por gentilmente ceder um espaço na casa de vegetação do Colégio Técnico da Universidade Federal de Minas Gerais (COLTEC/UFMG), dividir comigo conhecimentos e, prova de confiança absoluta, emprestar seus livros de botânica.

Ao Dr. Aloísio Rodrigues (DEFLORES Bioengenharia) e a Dra. Marinalva Woods Pedrosa (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG) pela doação de plantas.

Ao Prof. Dr. Everaldo Zonta (UFRRJ) pelas análises de tecido vegetal.

Aos meus companheiros de vida acadêmica Alexandra, Eliane e Eduardo pela disponibilidade para conversar, esclarecer dúvidas e sugerir alternativas. Agradeço por terem dividido comigo suas experiências e compartilhado momentos de descontração e amizade.

À Norma (DESA/UFMG) e Janaina (ICB/UFMG) por transmitirem generosamente conhecimentos e experiências na realização das atividades de laboratório.

Ao Laboratório Instrumental (DESA/UFMG), nas pessoas da MSc. Olívia e da MSc. Lucilaine, pelas análises químicas realizadas.

À Marinês e Mariza por disponibilizarem condições práticas, sem o carrinho de feira e as garrafas PET, as dificuldades certamente teriam sido maiores.

À Profa. Dra. Silvia (DESA/UFMG) pela ajuda nas análises estatísticas.

À CAPES pela bolsa de doutorado concedida.

À FAPEMIG pelo auxílio financeiro para a tradução e correção de artigos técnicos.

Às amigas e aos amigos que, de perto e de longe, torceram por mim. Aqueles que porventura não foram citados, mas que contribuíram comigo.

Enfim, agradeço a todos que me ajudaram a realizar mais este sonho.

RESUMO

A escassez de água superficial associada ao uso restrito de recursos hídricos subterrâneos comumente salinizados é uma realidade do semiárido brasileiro, incluindo áreas do Estado de Minas Gerais. Este trabalho procurou contribuir na ampliação do conhecimento sobre aproveitamento seguro desses recursos hídricos por meio de técnicas de cultivo hidropônico, espécies vegetais adaptadas e soluções nutritivas (A1, A2 e A3) às quais foram adicionadas três diferentes concentrações de cloreto de sódio (300, 500 e 1.000 mg L⁻¹ Na⁺), procurando simular determinadas características físico-químicas das águas subterrâneas salinizadas mineiras. Foram avaliados os seguintes aspectos: alterações físico-químicas das soluções após os tratamentos, acúmulo de biomassa, variações de volume e sintomas visuais de estresse às plantas. No trabalho experimental I, foram comparadas três espécies escolhidas (capim vetiver (CV), aguapé (AG) e beldroega (BE)), destacando-se a comparação realizada entre AG e BE: (1) o tratamento BE se distinguiu ao associar acúmulo de biomassa igual ou superior ao AG com menor consumo de água e, (2) o tratamento AG apresentou extração significativa de cálcio e magnésio, mas discretas remoções de sódio, além de não ter removido cloreto; o tratamento BE alcançou seu melhor desempenho na extração de magnésio (50,5%) e sódio (15,9%), apenas com a solução A2. Considerando, entre outras coisas, seu alto valor nutritivo, a beldroega foi empregada no trabalho experimental II em duas condições de cultivo (não podada (NP) e podada (PO)), constatando-se: (1) os tratamentos NP apresentaram acúmulo de biomassa semelhante com as três soluções nutritivas, assim como os tratamentos PO; (2) apesar do maior consumo de soluções nutritivas, os tratamentos NP atingiram taxas de crescimento relativo superiores aos PO's; (3) Extração de cálcio: com as soluções A1 e A2, os tratamentos NP alcançaram extrações médias de 36,0 e 29,5%; enquanto que os PO's chegaram a 20,0 e 33,8%, respectivamente; (4) Extração de magnésio: os tratamentos NP se destacaram com extrações médias de 95,9; 97,1 e 84,9% e os PO's atingiram 85,4; 67,5 e 36,4%, respectivamente; (5) Extração de sódio: os tratamentos NP extraíram, em média, 18,2; 15,0 e 9,8% enquanto os PO's chegaram a 15,5; 14,0 e 22,5%; (6) Extração de cloreto: apenas o tratamento NP se distinguiu, atingindo extrações média de 16,7 e 8,2% com a aplicação das soluções A1 e A2, respectivamente. Portanto, a beldroega apresentou desempenho compatível ao de uma espécie tolerante, mas não demonstrou ser acumuladora de sódio e cloreto como indicado pela literatura pesquisada.

PALAVRAS-CHAVE: aguapé, beldroega, cultivo hidropônico, remoção de salinidade

ABSTRACT

The shortage of surface water and the restricted use of saline groundwater is a common reality of the Brazilian semiarid region, including areas of the State of Minas Gerais. This study aimed to contribute to the development of knowledge about safe use of saline water resources through hydroponic growing, plant species adapted and nutrient solutions (A1, A2 and A3) to which three different concentrations of sodium chloride have been added (300, 500 and 1,000 mg L⁻¹ Na⁺), simulating some physicochemical properties of the local groundwater. Physicochemical and quantitative changes in the saline nutrient solutions, as well as biomass accumulation and visual symptoms of stress in the plants were analyzed. The first experiment compared three plant species (vetiver grass (CV), water hyacinth (WH) and purslane (PU)), highlighting the comparison between AG and BE: (1) the evaluation of relative growth rate indicated that PU performed better than water hyacinth, with lower consumption of nutrient solutions (similar to control treatment) and equal or higher biomass accumulation, and (2) despite the significant volume reduction in all solutions, water hyacinth was significantly distinct in its estimated extraction of calcium and magnesium but did not show significant removal of sodium besides no chloride extraction, on the other hand, PU reached its better performance in the extraction of magnesium (50.5%) and sodium (15.9%), using solution A2. Considering, among other aspects, its high nutritional value, purslane was used in experiment II in two growing conditions (not clipped (NC) and clipped (CL)), being noticed: (1) NC treatments showed similar biomass accumulation regardless the solution applied, as well as CL treatments; (2) despite their higher consumption of nutrient solutions, NC treatments distinguished in relative growth rate as compared to CL treatments; (3) Extraction of calcium: using solutions A1 and A2, NC treatments reached (on average) 36.0 and 29.5%, while CL achieved 20.0 and 33.8%, respectively; (4) Extraction of magnesium: NC treatments were significantly distinct in their performance, averaging 95.9, 97.1 and 84.9%, as CL reached 85.4, 67.5 and 36.4%, respectively; (5) Extraction of sodium: NC treatments achieved (on average) 18.2, 15.0 and 9.8% while CL reached 15.5, 14.0 and 22.5%, respectively; (6) Extraction of chloride: only NC treatments, using solutions A1 and A2, showed (on average) 16.7 and 8.2%, respectively. Therefore, purslane was successful as a tolerant species but failed to accomplish its role as an accumulator of sodium and chloride as mentioned by the literature.

KEYWORDS: purslane, removal of salinity, soilless cultivation, water hyacinth

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	XIV
LISTA DE TABELAS.....	XVII
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	XVIII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA	1
1.2 RELEVÂNCIA E ORIGINALIDADE DA PESQUISA PROPOSTA.....	2
1.3 HIPÓTESES	3
1.3.1 <i>Produção de fitomassa de interesse econômico</i>	3
1.3.2 <i>Remoção de salinidade</i>	3
1.4 APRESENTAÇÃO DA TESE	3
2 OBJETIVOS.....	5
2.1 OBJETIVO GERAL	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
3 REVISÃO DA LITERATURA	6
3.1 O SEMIÁRIDO BRASILEIRO	6
3.1.1 <i>Abrangência oficial</i>	7
3.1.2 <i>Principais características</i>	8
3.1.3 <i>Semiárido mineiro</i>	8
3.2 ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DE ADAPTAÇÃO À ESCASSEZ DE ÁGUA	9
3.2.1 <i>Uso de dessalinizadores</i>	9
3.2.2 <i>Programa Água Doce (PAD)</i>	11
3.3 ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	12
3.3.1 <i>Consumo da água subterrânea no Brasil</i>	13
3.3.2 <i>Qualidade da água subterrânea no Brasil</i>	14
3.3.3 <i>Qualidade da água subterrânea no semiárido brasileiro</i>	15
3.3.4 <i>Qualidade da água subterrânea no Estado de Minas Gerais</i>	17
3.4 SALINIDADE DA ÁGUA	21
3.4.1 <i>Qualidade da água para irrigação</i>	21
3.4.2 <i>Classificação de Água para Irrigação</i>	23
3.4.2.1 <i>Classificação proposta pelo USSL</i>	23
3.4.2.2 <i>Classificação proposta por Ayers & Westcot</i>	24
3.5 FITORREMEDIAÇÃO	26
3.5.1 <i>Considerações gerais</i>	26
3.5.2 <i>Conceitos básicos e mecanismos</i>	27
3.5.3 <i>Seleção das espécies vegetais a serem empregadas na Fitorremediação</i>	29
3.5.4 <i>Vantagens e desvantagens das técnicas de Fitorremediação</i>	29
3.6 FITORREMEDIAÇÃO DO MEIO AQUÁTICO	31
3.6.1 <i>Perspectiva histórica</i>	31
3.6.2 <i>Fitorremediação por Rizofiltração</i>	33
3.7 FITORREMEDIAÇÃO EM CONDIÇÕES SALINIZADAS	33
3.7.1 <i>As plantas e sua relação com a salinidade</i>	33
3.7.2 <i>Fitorremediação em condições salinas – plantas utilizadas</i>	36
3.7.3 <i>Fitorremediação em meio aquático e condições salinas – estudos de caso</i>	37
3.7.3.1 <i>Erva sal (<i>Atriplex nummularia</i>)</i>	38

3.7.3.2	Taboa (<i>Typha sp.</i>)	39
3.7.3.3	Aguapé (<i>Eichhornia crassipes</i>)	40
3.7.3.4	Capim vetiver (<i>Vetiveria zizanioides</i>)	40
3.7.3.5	Beldroega (<i>Portulaca oleracea L.</i>)	41
3.8	HIDROPONIA	42
3.8.1	<i>Perspectiva histórica</i>	42
3.8.2	<i>Vantagens e desvantagens do cultivo sem solo</i>	43
3.8.3	<i>Principais tipos de sistemas hidropônicos</i>	44
3.8.3.1	Sistema NFT	44
3.8.3.2	Sistema DFT	45
3.8.3.3	Sistema com substratos	46
3.9	NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS	46
3.9.1	<i>Avaliação do estado nutricional e sintomas visuais de carência</i>	48
3.9.2	<i>Soluções nutritivas</i>	49
3.9.2.1	Aspectos gerais	49
3.9.2.2	Principais cuidados no cultivo em solução nutritiva	49
3.9.2.3	Tipos de soluções nutritivas	53
3.9.3	<i>Hidroponia em condições salinizadas</i>	57
3.10	AQUAPONIA	59
3.10.1	<i>Considerações gerais</i>	59
3.10.2	<i>Perspectiva histórica</i>	59
3.10.3	<i>Sistemas aquapônicos</i>	61
3.10.4	<i>Aquaponia em condições salinas</i>	62
3.10.4.1	Sistema integrado – a experiência israelense	62
3.10.4.2	Sistema integrado – a experiência brasileira	64
4	METODOLOGIA	67
4.1	MATERIAIS	67
4.1.1	<i>Instalações</i>	67
4.1.2	<i>Plantas escolhidas</i>	67
4.1.3	<i>Reagentes</i>	67
4.1.4	<i>Equipamentos</i>	68
4.2	MÉTODOS	69
4.2.1	<i>Coleta de dados/informações</i>	69
4.2.2	<i>Testes exploratórios</i>	69
4.2.3	<i>Trabalho experimental I</i>	69
4.2.3.1	Preparo das plantas	70
4.2.3.2	Montagem das unidades experimentais	70
4.2.3.3	Preparo das soluções estoque	71
4.2.3.4	Preparo das soluções nutritivas	72
4.2.3.5	Produção de biomassa X consumo de solução nutritiva	75
4.2.3.6	Condições de cultivo	75
4.2.3.7	Avaliação das características físico-químicas das soluções nutritivas coletadas durante o experimento	75
4.2.3.8	Capacidade de extração de íons	76
4.2.3.9	Determinação da concentração final dos íons estudados nos tecidos vegetais	77
4.2.3.10	Análises estatísticas	77
4.2.4	<i>Trabalho experimental II</i>	78
4.2.4.1	Preparo das plantas	79
4.2.4.2	Condições de cultivo	80

5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
5.1	COLETA DE DADOS E INFORMAÇÕES	81
5.1.1	<i>Escolha das espécies vegetais estudadas.....</i>	81
5.1.2	<i>Água salobra subterrânea no Estado de Minas Gerais X escolha das soluções nutritivas empregadas</i>	81
5.1.2.1	Dados coletados junto à COPASA	81
5.1.2.2	Dados divulgados pelo IGAM.....	82
5.1.3	<i>Avaliação das soluções nutritivas empregadas.....</i>	84
5.1.3.1	Caracterização físico-química	84
5.1.3.2	Disponibilidade dos íons presentes para extração	86
5.2	TESTES EXPLORATÓRIOS	87
5.3	TRABALHO EXPERIMENTAL I.....	90
5.3.1	<i>Comparação Capim Vetiver X Aguapé.....</i>	91
5.3.1.1	Monitoramento das condições ambientais no período.....	92
5.3.1.2	Controle da redução de volume	92
5.3.1.3	Monitoramento de condutividade elétrica e pH	93
5.3.1.4	Concentração final de sódio, cálcio, magnésio e cloreto	94
5.3.1.5	Avaliação da capacidade de extração	96
5.3.1.6	Sintomas visuais	96
5.3.2	<i>Comparação Beldroega X Aguapé.....</i>	100
5.3.2.1	Monitoramento das condições ambientais no período.....	101
5.3.2.2	Produção de biomassa associada ao consumo de solução nutritiva	101
5.3.2.3	Monitoramento de condutividade elétrica e pH	105
5.3.2.4	Redução de salinidade.....	107
5.3.2.5	Determinação da concentração final dos íons estudados nos tecidos vegetais (parte aérea e raiz).....	111
5.3.2.6	Sintomas visuais	114
5.4	TRABALHO EXPERIMENTAL II	116
5.4.1	<i>Monitoramento das condições ambientais no período.....</i>	118
5.4.2	<i>Produção de biomassa associada ao consumo de solução nutritiva</i>	119
5.4.3	<i>Redução de salinidade.....</i>	121
5.4.4	<i>Sintomas visuais</i>	127
5.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	129
6	CONCLUSÕES	134
6.1	APROVEITAMENTO DE ÁGUAS SALINAS NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA.....	134
6.2	REMOÇÃO DE SALINIDADE	134
6.3	CONCLUSÃO FINAL	134
7	RECOMENDAÇÕES.....	135
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137
	APÊNDICE I – CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS ÁGUAS ESCOLHIDAS	145
	APÊNDICE II – FICHAS DE ANÁLISE (IGAM)	148
	APÊNDICE III – TRABALHO EXPERIMENTAL I (COMPARAÇÃO CAPIM VETIVER X AGUAPÉ) – CÁLCIO	151
	APÊNDICE IV – TRABALHO EXPERIMENTAL I (COMPARAÇÃO CAPIM VETIVER X AGUAPÉ) - MAGNÉSIO	152

APÊNDICE V – TRABALHO EXPERIMENTAL I (COMPARAÇÃO CAPIM VETIVER X AGUAPÉ) - SÓDIO	153
APÊNDICE VI – TRABALHO EXPERIMENTAL I (COMPARAÇÃO CAPIM VETIVER X AGUAPÉ) - CLORETO	154
APÊNDICE VII – TRABALHO EXPERIMENTAL I (COMPARAÇÃO BELDROEGA X AGUAPÉ) - CÁLCIO.....	155
APÊNDICE VIII – TRABALHO EXPERIMENTAL I (COMPARAÇÃO BELDROEGA X AGUAPÉ) - MAGNÉSIO	156
APÊNDICE IX – TRABALHO EXPERIMENTAL I (COMPARAÇÃO BELDROEGA X AGUAPÉ) - SÓDIO.....	157
APÊNDICE X – TRABALHO EXPERIMENTAL I (COMPARAÇÃO BELDROEGA X AGUAPÉ) - CLORETO	158
APÊNDICE XI – TRABALHO EXPERIMENTAL I (COMPARAÇÃO BELDROEGA X AGUAPÉ) – TECIDO VEGETAL (CONCENTRAÇÃO FINAL – CÁLCIO)	159
APÊNDICE XII – TRABALHO EXPERIMENTAL I (COMPARAÇÃO BELDROEGA X AGUAPÉ) – TECIDO VEGETAL (CONCENTRAÇÃO FINAL – MAGNÉSIO) ...	160
APÊNDICE XIII – TRABALHO EXPERIMENTAL I (COMPARAÇÃO BELDROEGA X AGUAPÉ) – TECIDO VEGETAL (CONCENTRAÇÃO FINAL – SÓDIO).....	161
APÊNDICE XIV – TRABALHO EXPERIMENTAL I (COMPARAÇÃO BELDROEGA X AGUAPÉ) – TECIDO VEGETAL (CONCENTRAÇÃO FINAL – POTÁSSIO)	162
APÊNDICE XV – TRABALHO EXPERIMENTAL II (BELDROEGA – CONTROLE X NÃO PODADO X PODADO) – CÁLCIO	163
APÊNDICE XVI – TRABALHO EXPERIMENTAL II (BELDROEGA – CONTROLE X NÃO PODADO X PODADO) – MAGNÉSIO.....	164
APÊNDICE XVII – TRABALHO EXPERIMENTAL II (BELDROEGA – CONTROLE X NÃO PODADO X PODADO) – SÓDIO.....	165
APÊNDICE XVIII – TRABALHO EXPERIMENTAL II (BELDROEGA – CONTROLE X NÃO PODADO X PODADO) – CLORETO.....	166

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – Semiárido brasileiro (configuração anterior e atual).....	7
FIGURA 3.2 – Área de abrangência do semiárido mineiro.....	8
FIGURA 3.3 – Participação das regiões de planejamento no PIB mineiro (2008).....	9
FIGURA 3.4 – Sistema integrado de dessalinização (PAD).....	11
FIGURA 3.5 – Unidade de dessalinização (A); tanque de evaporação (B).....	12
FIGURA 3.6 – Caracterização esquemática das zonas saturadas e não saturadas no subsolo.	13
FIGURA 3.7 – Distribuição hídrica no semiárido brasileiro	15
FIGURA 3.8 – Abrangência do cadastro de infra-estrutura hídrica do Nordeste	16
FIGURA 3.9 – Rede de monitoramento existente em Minas Gerais: (A) Jaíba, Verdelândia e Varzelândia (Norte de Minas); (B) Triângulo Mineiro.....	18
FIGURA 3.10 – Abrangência do cadastramento CPRM (Vale do Jequitinhonha).....	19
FIGURA 3.11 – Distribuição da qualidade da água em poços em operação (Vale do Jequitinhonha).....	20
FIGURA 3.12 – Diagrama de classificação da qualidade da água de irrigação (USSL).....	23
FIGURA 3.13 – Fluxo de água e sais em plantas cultivadas em solos salinos.....	34
FIGURA 3.14 – Sequência de danos causados a plantas perenes pela salinização.....	34
FIGURA 3.15 – Curva-resposta: Rendimento relativo (%) X Aumento de salinidade.....	36
FIGURA 3.16 – Estudos sobre erva sal realizados na EMBRAPA Semiárido (Petrolina/PE)	38
FIGURA 3.17 – Restauração da orla marítima na Riviera de São Lourenço (Bertioga, SP) ..	41
FIGURA 3.18 – Tolerância à salinidade de algumas espécies.....	42
FIGURA 3.19 – Sistema NFT	45
FIGURA 3.20 – Sistema DFT ou <i>Floating</i>	45
FIGURA 3.21 – Sistema com substratos	46
FIGURA 3.22 – Fixação de plantas: (A) desenho esquemático; (B) montagem EPAMIG.....	51
FIGURA 3.23 – Condutividade elétrica de sete soluções nutritivas. Santa Maria, UFSM, 1998	56
FIGURA 3.24 – Visão geral: (A) Produção mundial (Pesca de captura e Aquacultura); (B) Aquacultura: produção mundial de aquacultura e participação relativa por meio de cultura	60
FIGURA 3.25 – Aquacultura: (A) Sistema com filtros; (B) Sistema com disposição direta de efluente	62
FIGURA 3.26 – Sistema integrado: (A) <i>The SeaOr Marine Interprises</i> (Mikhmoret/Israel); (B) Esquema do empreendimento: (1) reservatório de água; (2) instalação para cultura do molusco bivalve (japonês abalone); (3) tanques de peixes; (4) tanques de algas marinhas; e (5) coletor de efluente e colheita de algas.....	64
FIGURA 4.1 – Unidade experimental	71
FIGURA 5.1 – Risco de sódio e de salinidade para poços tubulares nos municípios de Jaíba, Varzelândia e Verdelândia, nas soluções nutritivas empregadas no experimento (A1, A2 e A3) e nas águas naturais SJP, NAN e VAR.....	85
FIGURA 5.2 – Sintomas visuais de estresse (Erva sal).....	89
FIGURA 5.3 – Evolução do capim vetiver (parte aérea): (A) em 29/09/10; (B) em 10/11/2010	89
FIGURA 5.4 – Trabalho Experimental I (Etapas Metodológicas).....	91
FIGURA 5.5 – Volume final (mL) da solução nutritiva utilizada: (A) Solução A1 (300 mg L ⁻¹ Na ⁺); (B) Solução A3 (1 000 mg L ⁻¹ Na ⁺).....	92
FIGURA 5.6 – Massa residual dos íons cálcio, magnésio, sódio e cloreto: (A) Solução A1 (300 mg L ⁻¹ Na ⁺); (B) Solução A3 (1 000 mg L ⁻¹ Na ⁺).....	95

FIGURA 5.7 – Aspecto visual do capim vetiver frente à aplicação de Solução A1 (03 semanas: 23/04 – 13/04/2011): (A) parte aérea inicial; (B) parte aérea final; (C) sistema radicular inicial; (D) sistema radicular final.....	97
FIGURA 5.8 – Aspecto visual do aguapé frente à aplicação de Solução A1 (03 semanas: 23/03 – 13/04/2011): parte aérea inicial (A) e final (B e C); sistema radicular inicial (D) e final (E).....	98
FIGURA 5.9 – Aspecto visual do capim vetiver frente à aplicação de Solução A3 (03 semanas – 30/03 – 20/04/2011): parte aérea inicial (A) e final (B); sistema radicular inicial (C) e final (D).....	99
FIGURA 5.10 – Aspecto visual do aguapé frente à aplicação de Solução A3 (03 semanas – 30/03 – 20/04/2011): parte aérea inicial com enrolamento das bordas nas folhas novas (A) e final (B); sistema radicular final (C); comparação entre unidades (D).....	100
FIGURA 5.11 – Volume total consumido (mL) e Massa seca acumulada (g) – parte aérea e raiz: (A) Solução A1 (300 mg L ⁻¹ Na ⁺); (B) Solução A2 (500 mg L ⁻¹ Na ⁺); (C) Solução A3 (1 000 mg L ⁻¹ Na ⁺).....	102
FIGURA 5.12 – Taxa de crescimento relativo (g d ⁻¹): (A) Solução A1 (300 mg L ⁻¹ Na ⁺); (B) Solução A2 (500 mg L ⁻¹ Na ⁺); (C) Solução A3 (1 000 mg L ⁻¹ Na ⁺).....	104
FIGURA 5.13 – Condutividade elétrica (dS m ⁻¹) e pH finais: (A) Solução A1 (300 mg L ⁻¹ Na ⁺); (B) Solução A2 (500 mg L ⁻¹ Na ⁺); (C) Solução A3 (1 000 mg L ⁻¹ Na ⁺).....	106
FIGURA 5.14 – Volume final (mL) - 3ª semana: (A) Solução A1 (300 mg L ⁻¹ Na ⁺); (B) Solução A2 (500 mg L ⁻¹ Na ⁺); (C) Solução A3 (1 000 mg L ⁻¹ Na ⁺).....	108
FIGURA 5.15 – Massa final dos íons cálcio, magnésio, sódio e cloreto (mg): (A) Solução A1 (300 mg L ⁻¹ Na ⁺); (B) Solução A2 (500 mg L ⁻¹ Na ⁺); (C) Solução A3 (1 000 mg L ⁻¹ Na ⁺).....	110
FIGURA 5.16 – Concentração final de Cálcio (g kg ⁻¹ massa seca) com a aplicação das soluções A1 (300 mg L ⁻¹ Na ⁺); A2 (500 mg L ⁻¹ Na ⁺); e A3 (1 000 mg L ⁻¹ Na ⁺): (A) Beldroega e Aguapé (Parte aérea); (B) Beldroega e Aguapé (Raiz).....	112
FIGURA 5.17 – Concentração final de Magnésio (g kg ⁻¹ massa seca) com a aplicação das soluções A1 (300 mg L ⁻¹ Na ⁺); A2 (500 mg L ⁻¹ Na ⁺); e A3 (1 000 mg L ⁻¹ Na ⁺): (A) Beldroega e Aguapé (Parte aérea); (B) Beldroega e Aguapé (Raiz).....	112
FIGURA 5.18 – Concentração final de Sódio (g kg ⁻¹ massa seca) com a aplicação das soluções A1 (300 mg L ⁻¹ Na ⁺); A2 (500 mg L ⁻¹ Na ⁺); e A3 (1 000 mg L ⁻¹ Na ⁺): (A) Beldroega e Aguapé (Parte aérea); (B) Beldroega e Aguapé (Raiz).....	113
FIGURA 5.19 – Concentração final de Potássio (g kg ⁻¹ massa seca) com a aplicação das soluções A1 (300 mg L ⁻¹ Na ⁺); A2 (500 mg L ⁻¹ Na ⁺); e A3 (1 000 mg L ⁻¹ Na ⁺): (A) Beldroega e Aguapé (Parte aérea); (B) Beldroega e Aguapé (Raiz).....	114
FIGURA 5.20 – Aspecto visual da beldroega e do aguapé: (A) Final de experimento (Solução A1); (B) Final de experimento (Solução A2); (C) Final de experimento (Solução A3); (D) Beldroega – tamanho final (Solução A3); (E) Aguapé – tamanho final (Solução A3).....	115
FIGURA 5.21 – Cultivo de beldroega: (A) Semeadura; (B) Sementes germinadas; (C) Transplântio.....	116
FIGURA 5.22 – Trabalho Experimental II (Etapas Metodológicas).....	118
FIGURA 5.23 – Volume total consumido (mL): (A) Solução A1 (300 mg L ⁻¹ Na ⁺); (B) Solução A2 (500 mg L ⁻¹ Na ⁺); (C) Solução A3 (1 000 mg L ⁻¹ Na ⁺).....	119
FIGURA 5.24 – Massa seca acumulada (mg): (A) Parte aérea; (B) Raiz.....	120
FIGURA 5.25 – Taxa de crescimento relativo (g d ⁻¹): Não Podado e Podado.....	120
FIGURA 5.26 – Massa final de cálcio (mg): (A) Solução A1 (300 mg L ⁻¹ Na ⁺); (B) Solução A2 (500 mg L ⁻¹ Na ⁺); (C) Solução A3 (1 000 mg L ⁻¹ Na ⁺).....	122

FIGURA 5.27 – Massa final de magnésio (mg): (A) Solução A1 (300 mg L ⁻¹ Na ⁺); (B) Solução A2 (500 mg L ⁻¹ Na ⁺); (C) Solução A3 (1 000 mg L ⁻¹ Na ⁺).....	123
FIGURA 5.28 – Massa final de sódio (mg): (A) Solução A1 (300 mg L ⁻¹ Na ⁺); (B) Solução A2 (500 mg L ⁻¹ Na ⁺); (C) Solução A3 (1 000 mg L ⁻¹ Na ⁺).....	125
FIGURA 5.29 – Massa final de cloreto (mg): (A) Solução A1 (300 mg L ⁻¹ Na ⁺); (B) Solução A2 (500 mg L ⁻¹ Na ⁺); (C) Solução A3 (1 000 mg L ⁻¹ Na ⁺).....	126
FIGURA 5.30 – Aspecto visual da beldroega: (A) Início do experimento – Aclimação (12/04/12); (B) Final da aclimação e poda (26/04/2012); (C) Tamanho final (17/05/12) – planta não podada e podada (Solução A1); (D) Tamanho final (17/05/12) – plantas não podadas (Soluções A1, A2 e A3); (E) Tamanho final (17/05/12) – plantas podadas (Soluções A1, A2 e A3); (G) Planta com botão floral (17/05/12); (H) Planta cultivada em solo	128
FIGURA 7.1 – Cultivo combinado de espécies para tratamento de correntes salinas	135

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 – Classificação da água (Cadastro da Infraestrutura Hídrica do Nordeste).....	17
TABELA 3.2 – Classificação das águas subterrâneas quanto à salinidade (MG).....	19
TABELA 3.3 – Diretrizes para interpretação da qualidade da água para irrigação.....	25
TABELA 3.4 – Fitorremediação (visão geral)	28
TABELA 3.5 – Vantagens e desvantagens da Fitorremediação.....	30
TABELA 3.6 – Espécies utilizadas na remoção de salinidade e de sódio	37
TABELA 3.7 – Redistribuição de nutrientes e localização dos sintomas visuais de carência.....	48
TABELA 3.8 – Faixas de concentração de nutrientes usadas em soluções nutritivas.....	49
TABELA 3.9 – Volume de solução nutritiva (mínimo por planta)	52
TABELA 3.10 – Composição de algumas soluções nutritivas usadas em estudos	53
TABELA 3.11 – Composição química das soluções nutritivas estudadas em Santa Maria, RS, 1998	55
TABELA 3.12 – Estudos sobre cultivo hidropônico com o uso de água salobra.....	58
TABELA 4.1 – Reagentes usados no preparo de soluções nutritivas.....	68
TABELA 4.2 – Principais equipamentos utilizados	68
TABELA 4.3 – Atividades realizadas no Trabalho Experimental I	70
TABELA 4.4 – Soluções estoque (macronutrientes).....	71
TABELA 4.5 – Volumes necessários para preparar soluções nutritivas (macronutrientes) ...	72
TABELA 4.6 – Concentração teórica de cálcio, magnésio, sódio e cloreto (mg L^{-1})	73
TABELA 4.7 – Composição da mistura de micronutrientes (ConMicros Standard)	73
TABELA 4.8 – Concentrações de micronutrientes nas soluções nutritivas.....	74
TABELA 4.9 – Variações usuais encontradas em soluções nutritivas (micronutrientes).....	74
TABELA 4.10 – Atividades executadas no Trabalho Experimental II.....	79
TABELA 5.1 – Espécies vegetais escolhidas e as respectivas etapas de avaliação	81
TABELA 5.2 – Classificação USSL das águas subterrâneas naturais escolhidas.....	82
TABELA 5.3 – Concentrações dos principais íons (mg L^{-1}).....	83
TABELA 5.4 – Classificação USSL das soluções nutritivas aplicadas.....	84
TABELA 5.5 – Concentração teórica de cálcio, magnésio, sódio e cloreto (mg L^{-1})	85
TABELA 5.6 – Força iônica (μ) e coeficiente de atividade (γ) (sol. A1, A2 e A3)	86
TABELA 5.7 – Massa disponível estimada dos íons estudados nas soluções A1, A2 e A3... ..	87
TABELA 5.8 – Detalhamento dos testes exploratórios realizados.....	88
TABELA 5.10 – CE (dS m^{-1}) e pH finais (soluções A1 e A3).....	93
TABELA 5.11 – Concentração final de cálcio, magnésio, sódio e cloreto (mg L^{-1}).....	94
TABELA 5.13 – CE (dS m^{-1}) e pH finais (soluções A1, A2 e A3).....	105
TABELA 5.14 – Concentração final de cálcio, magnésio, sódio e cloreto (mg L^{-1}) – soluções A1, A2 e A3	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AG – Aguapé

ANA – Agência Nacional de Águas

ATTRA – *National Sustainable Agriculture Information Service*

BE – Beldroega

CE – Condutividade elétrica

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

CV – Capim Vetiver

DBO – Demanda bioquímica de oxigênio

DFT – *Deep Film Technique*

DQO – Demanda química de oxigênio

ECOMAR – Ecossistemas Marinhos do Brasil

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MIN – Ministério da Integração Nacional

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MS – Ministério da Saúde

MSA – Massa seca acumulada

NaCl – Cloreto de sódio

NAP – *National Academies Press*

NFT – *Nutrient Film Technique*

NRC – *National Research Council*

OD – Oxigênio dissolvido

OMS – Organização Mundial de Saúde

ONU – Organização das Nações Unidas

P.A. – Puro para análise
PAD – Programa Água Doce
RAS – Razão de adsorção de sódio
RIRDC – *Rural Industries Research & Development Corporation*
SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SEMARH – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (RN)
SISEMA – Sistema Estadual de Meio Ambiente (MG)
STD – Sólidos totais dissolvidos
SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
TCR – Taxa de crescimento relativo
UNCCD – *United Nations Convention to Combat Desertification*
UNEP – *United Nations Environment Programme*
UR – Umidade relativa
USEPA – *U.S. Environmental Protection Agency*
USSL – *United States Salinity Laboratory*
VMP – Valor Máximo Permitido
VTC – Volume total consumido
WHO – *World Health Organization*

1 INTRODUÇÃO

1.1 *Contextualização da pesquisa*

A escassez de água sempre representou preocupação ao longo da história da humanidade, tanto do ponto de vista quantitativo como qualitativo.

Em algumas regiões do mundo, como no semiárido brasileiro, a escassez de água é um problema crônico. Nessa região, a falta de água superficial decorre da combinação de diversos aspectos adversos; portanto, as águas subterrâneas poderiam constituir, teoricamente, o manancial mais econômico e flexível para o atendimento seguro da população. Porém, seu uso é limitado por um problema típico dos poços da região: a concentração elevada de sais. Grande parte da área está situada sobre rochas cristalinas e o contato por longo tempo, no subsolo, entre a água e esse tipo de rocha, leva a um processo de salinização.

Embora exista uma quantidade considerável de poços em operação, o emprego de águas de qualidade inadequada pode resultar em prejuízos para a saúde, o sistema produtivo e para o meio ambiente. Além disso, na maioria das vezes, a gestão desses recursos hídricos é dificultada pela ausência de informações sobre quantidade e qualidade.

O diagnóstico dos riscos potenciais associados à qualidade da água assume papel de grande importância, sobretudo no que se refere aos problemas relacionados à degradação dos solos e à redução da produção das culturas.

Diversos trabalhos têm focado o uso de correntes aquosas salinizadas das mais diversas origens no cultivo de plantas com as mais diferentes abordagens e objetivos. Há estudos voltados ao aproveitamento da água salobra e do rejeito de dessalinização na produção comercial por meio do cultivo hidropônico e outros dedicados ao tratamento de águas residuárias salinizadas por fitorremediação.

Obviamente, o tratamento de águas residuárias salinizadas tem um foco diferente daquele proposto pelo cultivo hidropônico, já que o primeiro cultiva plantas com a intenção de promover a remoção de nutrientes (normalmente nitrogênio e fósforo), e o segundo tem como objetivo o cultivo produtivo de espécies de interesse comercial. Todavia, em ambas as situações, as espécies vegetais têm que se adaptar à presença de grande quantidade de sais dissolvidos na água.

O desenvolvimento de técnicas capazes de viabilizar o aproveitamento seguro de um recurso normalmente desprezado, tal como a água salobra, e o tratamento eficiente de águas residuárias salinas pode contribuir decisivamente na proteção ambiental e na promoção de atividade econômica em áreas extremamente penalizadas pela escassez de água superficial.

No presente trabalho, foram combinados alguns aspectos dessas experiências, ao escolher espécies vegetais testadas no tratamento de águas residuárias e promover o seu cultivo com o objetivo de avaliar seu desempenho frente a soluções nutritivas salinizadas e, ao final dos experimentos, verificar as características físico-químicas das soluções nutritivas salinizadas empregadas, especialmente a concentração residual de íons de interesse (sódio, cálcio, magnésio e cloreto), visando obter informações sobre a potencial utilização dessas espécies vegetais na melhoria da qualidade da água. O acúmulo de biomassa associado ao consumo de soluções nutritivas também foi avaliado.

1.2 Relevância e originalidade da pesquisa proposta

Nos últimos anos, em virtude da redução quantitativa e qualitativa de recursos hídricos tem sido observada a busca de técnicas mais eficientes que reduzam o desperdício e permitam o aproveitamento racional de águas consideradas de qualidade inferior, conciliando aspectos econômicos, sociais e ambientais. Neste trabalho propõe-se uma opção integrada, visando:

1. Contribuir para o aumento do conhecimento sobre metodologias que possibilitem a melhoria na qualidade de águas salinas, ao estudar a remoção de sais dissolvidos proporcionada pelo cultivo hidropônico de plantas tradicionalmente empregadas em estudos de fitorremediação;
2. Avaliar a possibilidade de produzir biomassa com potencial de uso como forragem ou outros produtos de interesse econômico, em ambiente confinado, utilizando plantas naturalmente adaptadas às condições salinas;
3. Estudar as características físico-químicas da solução residual obtida, de maneira a antever a sua adequação (ou não) como fonte alternativa de fornecimento de água para populações dispersas do semiárido, provavelmente adequada ao uso na agricultura familiar, realizada em pequenas propriedades.

É importante ressaltar que o cultivo hidropônico tradicional tem como foco a planta e o seu perfeito desenvolvimento; portanto, normalmente, a solução nutritiva é produzida para

atender totalmente às suas necessidades. Há diversos artigos publicados sobre o cultivo utilizando águas salinas em sistema hidropônico; porém, apresentam uma abordagem eminentemente agrícola, a saber, o bom desenvolvimento da planta, não avaliando a remoção de salinidade decorrente desse cultivo.

1.3 Hipóteses

A proposta de avaliar a remoção de salinidade por meio do cultivo hidropônico de diferentes espécies vegetais conduziu às seguintes hipóteses:

1.3.1 Produção de fitomassa de interesse econômico

O cultivo hidropônico de espécies vegetais bioacumuladoras possibilitará o aproveitamento de águas salinas para a produção de biomassa de interesse econômico.

1.3.2 Remoção de salinidade

A remoção de salinidade decorrente do cultivo hidropônico poderá viabilizar o uso de águas salinas para outros usos, tal como a irrigação de solo.

1.4 Apresentação da tese

No primeiro capítulo introduz-se a questão do uso de águas salobras subterrâneas em virtude da escassez de disponibilidade de recursos hídricos superficiais em algumas regiões do planeta. No capítulo seguinte apresentam-se os objetivos desta pesquisa.

Já no terceiro capítulo, contempla-se a revisão da literatura abordando a experiência disponível sobre o uso da fitorremediação em meios aquáticos e o cultivo hidropônico com águas salinas. A primeira tem como objetivo o tratamento de águas residuárias, normalmente salinas, utilizando-se plantas e, a segunda, propõe o aproveitamento de águas salinas na produção agrícola comercial, em cultivo hidropônico, como alternativa econômica para regiões atingidas pela escassez de água de boa qualidade para efetivação de agricultura convencional.

O quarto capítulo apresenta a metodologia do trabalho, focando basicamente o detalhamento dos experimentos realizados para a consecução dos objetivos propostos neste trabalho. No quinto capítulo, são abordados e discutidos os resultados obtidos, enquanto que no sexto são

apresentadas as considerações finais que sintetizam as respostas geradas ao longo de parte do trabalho experimental.

O sétimo capítulo contempla recomendações para futuras pesquisas e, ao final, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas neste trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a capacidade extratora de plantas, quando cultivadas em sistema hidropônico, na produção de biomassa e, ao mesmo tempo, na melhoria da qualidade da água proporcionada pela remoção de salinidade.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar as características da água salobra subterrânea encontrada no Estado de Minas Gerais para subsidiar a escolha de formulação das soluções nutritivas salinizadas;
- Pesquisar espécies vegetais utilizadas em experimentos de cultivo em condições salinizadas para orientar a escolha das plantas a serem utilizadas no experimento;
- Avaliar o potencial de remoção de salinidade alcançada a partir do cultivo de plantas potencialmente acumuladoras, empregando soluções nutritivas padrão salinizadas;
- Verificar o acúmulo de biomassa e o respectivo consumo de solução nutritiva objetivando identificar espécies em que essa relação seja mais eficiente.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Nos últimos anos, em virtude da redução quantitativa e qualitativa de recursos hídricos, tem sido observada a busca de técnicas mais eficientes que reduzam o desperdício e permitam o aproveitamento racional de águas consideradas de qualidade inferior (Alves *et al.*, 2011).

O conhecimento da qualidade da água subterrânea, relativa à concentração salina, torna-se ferramenta necessária ao planejamento da exploração desse recurso e ao manejo empregado, caso essa água se destine à irrigação em cultivo em solo; porém, é difícil definir uma classificação para a água de irrigação que possa ser utilizada em qualquer condição e localização geográfica (Andrade Júnior *et al.*, 2006).

O diagnóstico dos riscos potenciais associados à qualidade da água tem assumido papel de grande importância, sobretudo no que se refere aos problemas relacionados à degradação dos solos e à redução da produção das culturas. Assim sendo, em 2010, a Organização das Nações Unidas (ONU) anunciou o lançamento da campanha “Década para os Desertos e a Luta contra a Desertificação (2010-2020)”, um esforço para sensibilizar e estimular ação por uma maior proteção e melhor manejo das terras secas do mundo, lar de um terço da população mundial, que enfrenta sérias ameaças econômicas e ambientais. O quadro atual dos solos afetados por sais, em escala mundial, vem aumentando progressivamente com a intensificação das práticas de irrigação, o que poderá levar a uma drástica diminuição na produção de alimentos e fibras, com consequente abandono e redução das terras agrícolas, caso não se adotem medidas de correção ou mitigação (*United Nations Convention to Combat Desertification – UNCCD*, 2010).

3.1 O semiárido brasileiro

Uma região é considerada “semiárida” quando a evaporação é superior à precipitação ou se a irregularidade ou escassez de chuvas favorecem períodos críticos de seca e escassez hídrica durante a maior parte do ano; além disso, apresenta cobertura vegetal e tipo de solo característicos, com baixa capacidade de armazenamento de água e alto escoamento superficial (Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, 2009)

3.1.1 Abrangência oficial

Durante 20 anos, a classificação oficial do semiárido utilizou como critério o registro de índice de precipitação anual inferior ou igual a 900 mm. Em 2005, o Ministério da Integração Nacional – MIN, ao assumir as atribuições da extinta Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE, passou a adotar novos critérios de classificação além do índice de precipitação. Segundo os atuais critérios de enquadramento, um município é considerado como semiárido caso apresente pelo menos uma das seguintes características: (1) Precipitação pluviométrica média inferior a 800 mm; (2) Índice de aridez de até 0,5, calculado com base no balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990; e (3) Risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990.

Dessa forma, além dos 1.031 municípios já incorporados, também passaram a fazer parte do semiárido outros 102 novos municípios, uma ampliação da área oficial de 8,7%. Minas Gerais, foi o estado com o maior número de inclusões na nova lista (MIN, 2008a). Na Figura 3.1 são apresentados os mapas da configuração anterior e atual do semiárido brasileiro.

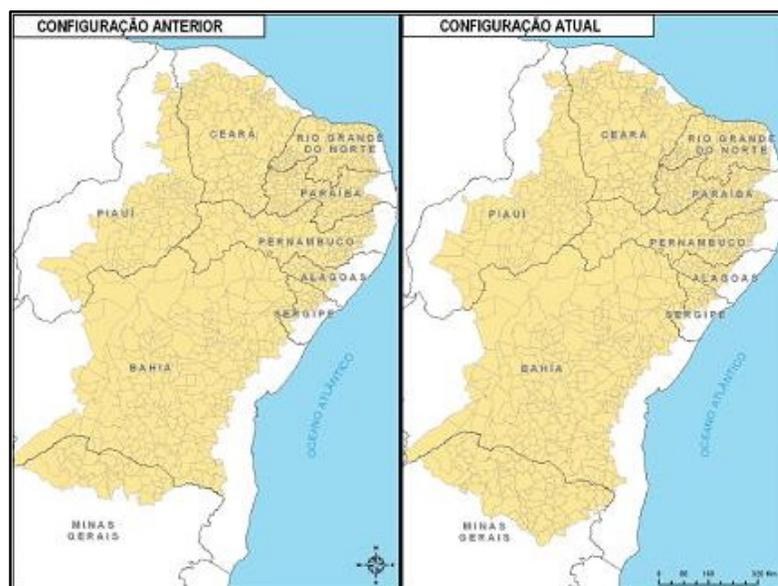


FIGURA 3.1 – Semiárido brasileiro (configuração anterior e atual)

Fonte: MIN (2008b)

3.1.2 Principais características

Vários fatores caracterizam o semiárido brasileiro, podendo-se destacar: (1) irregularidade na distribuição espacial, no volume e no intervalo de tempo das precipitações, fazendo com que a seca se caracterize não apenas pelo baixo volume, mas pela sua má distribuição no tempo e no espaço; (2) elevado potencial de perda de água, por evapotranspiração, em decorrência de sua posição geográfica, próxima ao Equador, com alta temperatura, ventos fortes e baixa umidade do ar; e (3) baixa capacidade de retenção de água nos solos rasos, de embasamento cristalino, arenoso ou areno-argiloso (IGAM, 2009).

3.1.3 Semiárido mineiro

O semiárido mineiro corresponde a uma área aproximada de 102.000 km² e abriga uma população da ordem de 1,2 milhões de habitantes, englobando 86 municípios, sendo que 60% deles localizam-se na mesorregião Norte – também conhecida como “Área Mineira do Nordeste” e 40% no Vale do Jequitinhonha – Mucuri (IGAM, 2009). A área de abrangência do semiárido mineiro é mostrada na Figura 3.2.

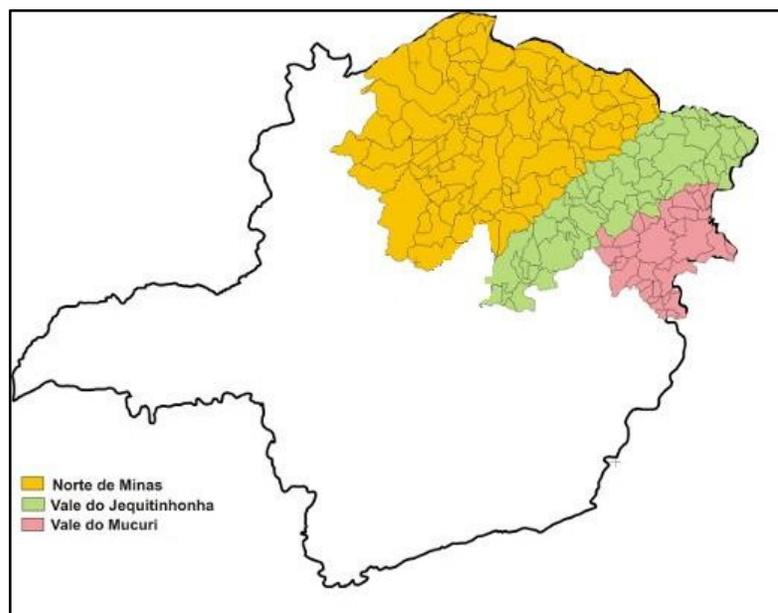


FIGURA 3.2 – Área de abrangência do semiárido mineiro

Fonte: Adaptado de Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES (2012)

Segundo a Secretaria de Planejamento do Estado de Minas Gerais (2011), em algumas regiões mineiras, com destaque para a Região Norte, persiste a extrema pobreza. As regiões do

Jequitinhonha, Mucuri e Norte são historicamente marcadas pelo fraco dinamismo econômico e pelo baixo grau de integração a mercados, cujos efeitos são visíveis nos indicadores sociais. Uma das características centrais da geração de renda no Estado de Minas Gerais é o alto grau de concentração regional; enquanto a região Central responde por quase metade (46,6%) do PIB mineiro, as regiões Norte, Jequitinhonha/Mucuri e Rio Doce, juntas, contribuem com apenas 12,2%, como mostrado na Figura 3.3.

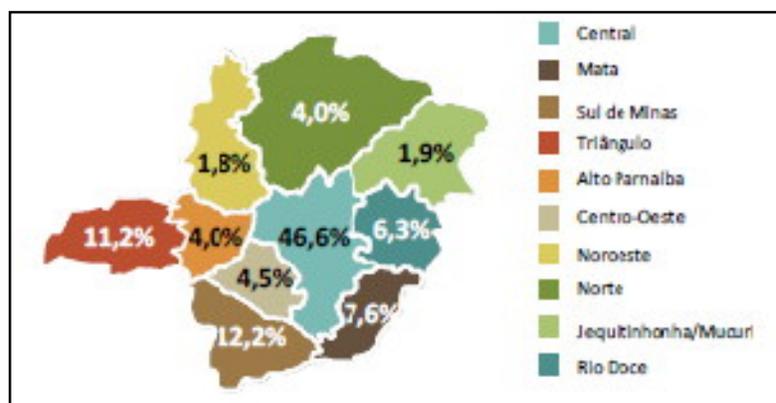


FIGURA 3.3 – Participação das regiões de planejamento no PIB mineiro (2008)

Fonte: Secretaria de Planejamento/MG (2011)

3.2 Alternativas tecnológicas de adaptação à escassez de água

No Brasil, tem-se optado por diversas alternativas tecnológicas visando adaptar a população difusa do semiárido à escassez de água, destacando-se: implantação de cisternas rurais para captação de água da chuva, sistemas simplificados de abastecimento de água para comunidades rurais, dessalinização de águas, barragens subterrâneas e mobilização e controle social, capacitação, pesquisa e desenvolvimento tecnológico (Agência Nacional de Águas – ANA, 2010).

Uma vez que este trabalho visou especificamente o aproveitamento de recursos hídricos salinizados, apenas a alternativa relacionada à água salobra subterrânea foi abordada nesta revisão bibliográfica.

3.2.1 Uso de dessalinizadores

A dessalinização é um processo físico-químico de remoção de sais da água, podendo ser adotados pelo menos quatro métodos diferentes para promover a conversão da água salgada

em doce: Osmose Inversa (ou Reversa), Destilação Multiestágios, Dessalinização Térmica ou o método por Congelamento (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP, 2008).

Em uma tendência observada há alguns anos, o Governo Federal e Estaduais têm procurado instalar equipamentos de dessalinização das águas salobras subterrâneas, objetivando a geração de água doce para o abastecimento urbano no Nordeste. Predominantemente, o método usado tem sido a osmose reversa (Soares *et al.*, 2006).

Nesse processo, uma forte pressão é exercida em uma solução salina forçando a água a atravessar uma membrana semipermeável, dotada de poros microscópicos, responsáveis por reter sais, microrganismos e outras impurezas. Dessa forma, a água potável é separada da solução salgada (SABESP, 2008).

Independentemente da eficiência da membrana e da estrutura instalada, o sistema de osmose reversa produzirá sempre água potável, mas também a água residuária denominada de rejeito, salmoura ou concentrado. Segundo Porto *et al.* (2001), a depender do equipamento e da qualidade da água do poço, a quantidade de rejeito gerado será da ordem de 40 a 60% do total da água salobra bruta.

Ao longo dos anos, os poços tubulares para a captação de águas subterrâneas disponibilizaram águas – salobras ou salinas – impróprias para o consumo humano. Porém, a experiência com a instalação de dessalinizadores com o objetivo de fornecer água potável a núcleos habitacionais rurais, muitas vezes acabou gerando problemas devido ao manuseio e manutenção inadequados. Também, por deficiência na operação dos equipamentos, das instalações de armazenagem ou dos sistemas de distribuição, a água disponibilizada não apresentaria a qualidade desejada para consumo humano. Outro aspecto negativo relacionava-se à disposição inadequada dos rejeitos salinos produzidos pela operação dos dessalinizadores, provocando impactos ambientais ao afetar adversamente corpos d'água e solo e comprometer a produção agrícola, a vegetação nativa e o meio biótico, além de influir no processo de desertificação. Ao final, reconhece-se que contribuíram para esse cenário a pouca informação das comunidades envolvidas, o dimensionamento inadequado dos equipamentos, a baixa capacitação dos operadores, o baixo envolvimento das instituições locais, a insipiência dos modelos de gestão e, principalmente, a ausência de monitoramento, de participação e controle social (IGAM, 2009).

3.2.2 Programa Água Doce (PAD)

Na perspectiva de reverter este quadro, em 2004, o Governo Federal por meio da Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente Urbano do Ministério do Meio Ambiente – MMA propôs o Programa Água Doce (PAD), cujo objetivo seria desenvolver Sistemas de Dessalinização que integrassem a produção de água potável à deposição ambientalmente adequada dos resíduos e à destinação do concentrado em processos ciclicamente sustentáveis. Esse programa abrange partes dos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe, Maranhão, Minas Gerais e Espírito Santo, onde grande parte das águas subterrâneas captadas está salinizada, imprópria para o consumo humano. Minas Gerais incorporou-se ao PAD em 2006 (IGAM, 2009).

Essa iniciativa prevê a recuperação e a implantação de dessalinizadores em poços tubulares, com a disposição do efluente (rejeito ou concentrado) em leitos de evaporação para a produção de sal ou, nas comunidades que atendam aos requisitos técnicos estabelecidos pelo programa, sua utilização em um sistema produtivo integrado sustentável, compreendendo o aproveitamento na aquicultura e, sequencialmente, a irrigação de plantas capazes de absorver grande quantidade de sal, como a erva sal (*Atriplex nummularia*), e de serem utilizadas na alimentação de caprinos e ovinos (Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2007). Na Figura 3.4 é mostrado um esquema do sistema integrado de dessalinização.



FIGURA 3.4 – Sistema integrado de dessalinização (PAD)

Fonte: MMA (2011)

Nas Figuras 3.5 (A) e (B) são mostrados uma unidade de dessalinização de água instalada no Rio Grande do Norte – RN e seu tanque de evaporação de rejeito, respectivamente.



FIGURA 3.5 – Unidade de dessalinização (A); tanque de evaporação (B)

FONTE: Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH-RN (2008)

3.3 Água subterrânea

As águas subterrâneas são aquelas que se encontram sob a superfície da Terra, preenchendo os espaços vazios entre os grãos do solo, rochas e fissuras (rachaduras, quebras, descontinuidades e espaços vazios (MMA, 2007). Segundo Baird (2002), a maior parte da água doce disponível na Terra encontra-se no subsolo.

Na Figura 3.6 é mostrado o caminho percorrido pelas águas, desde a superfície, passando pela zona não saturada (onde a água e o ar preenchem os vazios entre os grânulos) e a zona saturada (onde a maioria dos espaços vazios é preenchida por água). No limite entre as duas zonas, ocorre o nível freático, conhecido popularmente como lençol freático.

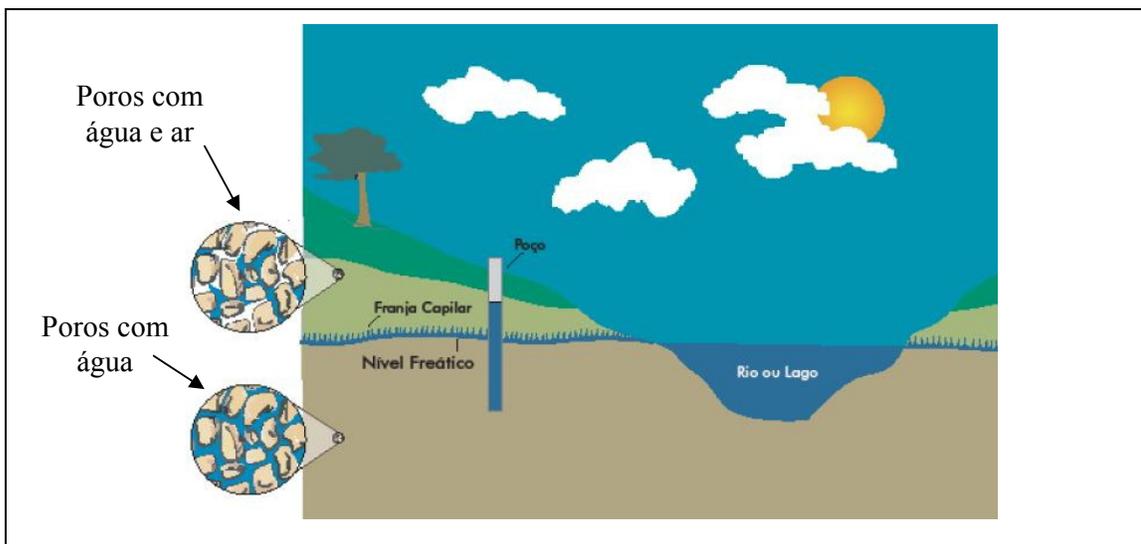


FIGURA 3.6 – Caracterização esquemática das zonas saturadas e não saturadas no subsolo

Fonte: MMA (2007)

As rochas saturadas que permitem a circulação, o armazenamento e a extração de água são chamados de aquíferos que, geralmente, possuem a capacidade de armazenar grande quantidade de água. Os aquíferos podem ser classificados quanto aos tipos de espaços vazios apresentados como poroso, fissural (cristalino/embasamento cristalino) e cársticos, ou segundo sua posição e estrutura como livre, confinado e semiconfinado (MMA, 2007).

As águas subterrâneas têm sido consideradas tradicionalmente como uma forma pura de água, uma vez que, devido a sua infiltração através do solo e o longo tempo de permanência no subsolo, geralmente, costumam conter uma quantidade muito menor de matéria orgânica e muito menos microrganismos causadores de doenças que as águas superficiais. Essa água subterrânea pode ser extraída mediante a perfuração de poços, sendo o principal suprimento para o consumo humano de quase metade da população da América do Norte. Na Europa, a proporção da água potável pública extraída dos aquíferos atinge quase 100% na Dinamarca, Áustria e Itália, chegando a cerca de dois terços na Alemanha, Suíça e Países Baixos e, menos de um terço na Grã-Bretanha e Espanha (Baird, 2002).

3.3.1 Consumo da água subterrânea no Brasil

A água subterrânea é intensamente explorada no Brasil, sendo estimada a existência de, pelo menos, 400.000 poços no país (Zoby & Matos, 2002). Embora o uso do manancial

subterrâneo seja, em muitas regiões, complementar ao superficial, em outras, a água subterrânea representa o principal manancial hídrico, desempenhando importante papel no desenvolvimento socioeconômico do país.

Em função do crescimento descontrolado da perfuração de poços tubulares e das atividades antrópicas, que acabam contaminando os aquíferos, a questão da qualidade da água subterrânea vem se tornando cada vez mais importante para o gerenciamento desse recurso no país. No Estado de São Paulo, dos 645 municípios, 462 (71,6%) são abastecidos total ou parcialmente com águas subterrâneas, sendo que 308 (47,7%) são totalmente abastecidos por esse recurso hídrico. No Maranhão, mais de 70% das cidades usam água de poços, e no Estado do Piauí esse percentual supera 80%. A água subterrânea também participa do abastecimento de comunidades rurais do semiárido nordestino, da população urbana de diversas capitais do país, como Manaus, Belém, Fortaleza, Recife, Natal e Maceió (ANA, 2007).

3.3.2 Qualidade da água subterrânea no Brasil

Estima-se que mais da metade das reservas mundiais de água subterrânea seja salina. Nos Estados Unidos, a água subterrânea salina é o recurso natural mais amplamente distribuído; outros países, como Argélia, África do Sul, Tunísia e Espanha, também têm extensas reservas de águas salinas que têm sido utilizadas e poderiam ser aproveitadas de forma mais abrangente (Poole, 1963; Kotzen & Appelbaum, 2010).

O Brasil não possui uma rede nacional de monitoramento de águas subterrâneas; portanto, há grande carência de informação sobre a sua qualidade, especialmente de abrangência regional. As fontes de informação mais importantes têm, em geral, caráter pontual e correspondem a trabalhos desenvolvidos por universidades e secretarias estaduais de recursos hídricos (ANA, 2007).

Como estabelecido na Constituição Federal de 1988, as águas subterrâneas são de domínio estadual; assim sendo, alguns Estados realizam o monitoramento da sua qualidade. O Estado de São Paulo possui uma rede, criada em 1990 e ampliada em 2003, que conta 162 poços e, mais recentemente, foram instaladas outras quatro redes de qualidade das águas subterrâneas no Brasil: o monitoramento semestral no sistema aquífero Jandaíra (na região de Baraúna (RN), a rede telemétrica instalada na Região Metropolitana do Recife que analisa a

condutividade elétrica das águas, a rede de monitoramento de qualidade da água no Estado de Minas Gerais compreendendo as bacias dos rios Verde Grande, Riachão, Jequitai e Pacuí, e, a rede de monitoramento do Distrito Federal, com 132 poços distribuídos pelos condomínios horizontais e algumas cidades-satélites de Brasília (ANA, 2007).

3.3.3 Qualidade da água subterrânea no semiárido brasileiro

A maior parte do semiárido brasileiro, aproximadamente 600.000 km², é constituída por terrenos cristalinos. Além disso, nessa região estão associados diversos fatores adversos, tais como baixas precipitações, distribuição irregular das chuvas e cobertura vegetal esparsa, favorecendo o escoamento superficial em detrimento da infiltração. Dessa forma, os poços localizados nessa região comumente apresentam baixas vazões (1 a 3 m³ h⁻¹) e elevado conteúdo salino, normalmente acima dos padrões de potabilidade (ANA, 2007). Por falta de opção, diversas comunidades rurais consomem água com salinidade acima do limite recomendado pela Organização Mundial da Saúde – OMS, que é de 500 mg L⁻¹ (Soares *et al.*, 2006). Na Figura 3.7 é mostrada a distribuição hídrica observada no semiárido, indicando os locais onde ocorrem problemas de salinização das águas (área rosa).

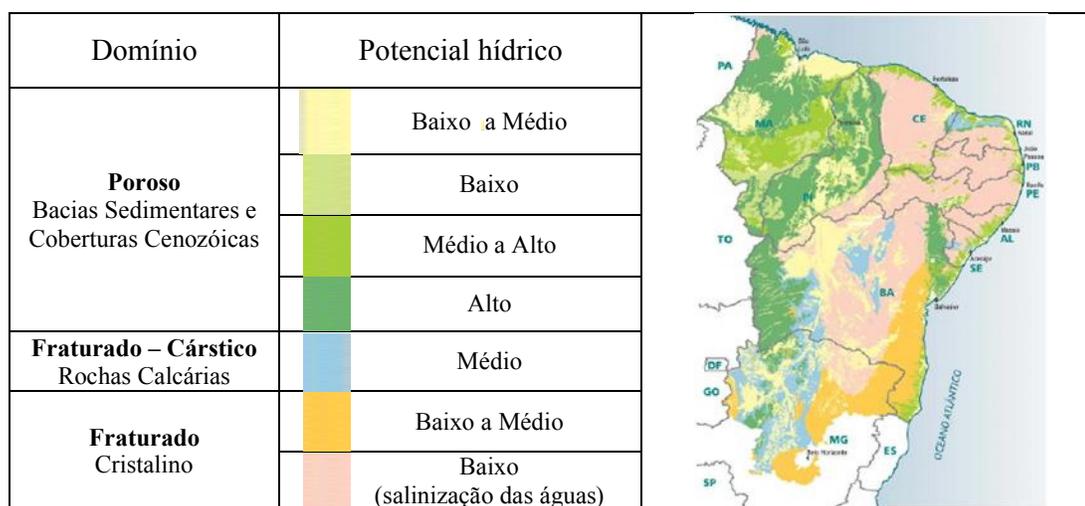


FIGURA 3.7 – Distribuição hídrica no semiárido brasileiro

Fonte: Adaptado de ANA (2006)

Um trabalho publicado pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2011) relata iniciativa voltada ao desenvolvimento do Programa de Água Subterrânea para a Região Nordeste (Programa Avança Brasil e o Plano Plurianual 2000-2003 do Governo Federal), cujo Projeto Cadastro da Infraestrutura Hídrica do Nordeste, tinha como ênfase as fontes de abastecimento

por água subterrânea localizadas no semiárido do Nordeste, englobando os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, norte de Minas Gerais e Espírito Santo. Na Figura 3.8 é mostrada a área de abrangência desse projeto.



FIGURA 3.8 – Abrangência do cadastro de infra-estrutura hídrica do Nordeste

Fonte: CPRM (2011)

Apesar de a área total pretendida envolver 722.000 km² da região semiárida brasileira, esse trabalho apresenta resultados preliminares relativos a 225.000 km² (1ª Etapa), contemplando apenas os estados nordestinos. Dos 21.662 poços tubulares cadastrados nessa etapa, foram coletadas 15.338 amostras de água e realizadas medidas de condutividade elétrica, a partir das quais foram obtidos os valores de Sólidos Totais Dissolvidos – STD para cada poço amostrado. Para simplificação, nesse projeto, a água foi classificada em doce, salobra e salgada utilizando os critérios mostrados na Tabela 3.1.

TABELA 3.1 – Classificação da água (Cadastro da Infraestrutura Hídrica do Nordeste)

Classificação	Concentração de STD (mg L ⁻¹)
Doce	≤ 500
Salobra	501 a 1.500
Salgada	> 1.500

Fonte: CPRM (2011)

Esse estudo revelou que apenas 25% dos poços cadastrados nessa área apresentam água doce, os demais 75% foram classificados como água salobra ou água salgada.

3.3.4 Qualidade da água subterrânea no Estado de Minas Gerais

Segundo o IGAM (2010), a atual rede de monitoramento das águas subterrâneas, em operação desde 2007, localiza-se nas regiões oeste (Triângulo Mineiro) e no norte de Minas Gerais, abrangendo parte do Aquífero Guarani (bacias dos rios Grande e Paranaíba) e região da bacia hidrográfica do rio Verde Grande, respectivamente. O monitoramento do Aquífero Guarani é realizado por poços tubulares profundos nas cidades de Cachoeira Dourada, Conceição das Alagoas, Frutal e Uberaba (05 estações de coleta); enquanto que, na região norte, há 44 estações (poços e cisternas) nos municípios de Jaíba, Varzelândia e Verdelândia. Nas Figuras 3.9 (A) e (B) são mostrados os mapas com a localização da rede de monitoramento existente nos municípios de Jaíba, Varzelândia e Verdelândia e no Triângulo Mineiro, respectivamente.

As vazões outorgadas na bacia do Rio Grande referem-se ao abastecimento (41,5%), usos múltiplos (32,1%), industrial (13%) e outros (11,7), sendo que o uso na irrigação corresponde à menor parcela (1,7%). Na bacia do rio Paranaíba, a maior quantidade é destinada para o uso industrial (39,5%), seguida da irrigação (25,9%), usos múltiplos (19,4%), abastecimento (13,2%) e outros (2,0%). A distribuição dos usos das águas subterrâneas em Jaíba, Verdelândia e Varzelândia é a seguinte: consumo humano (59%), uso doméstico (11%), irrigação (14%), outros (5%) e sem informação (11%) (IGAM, 2010).

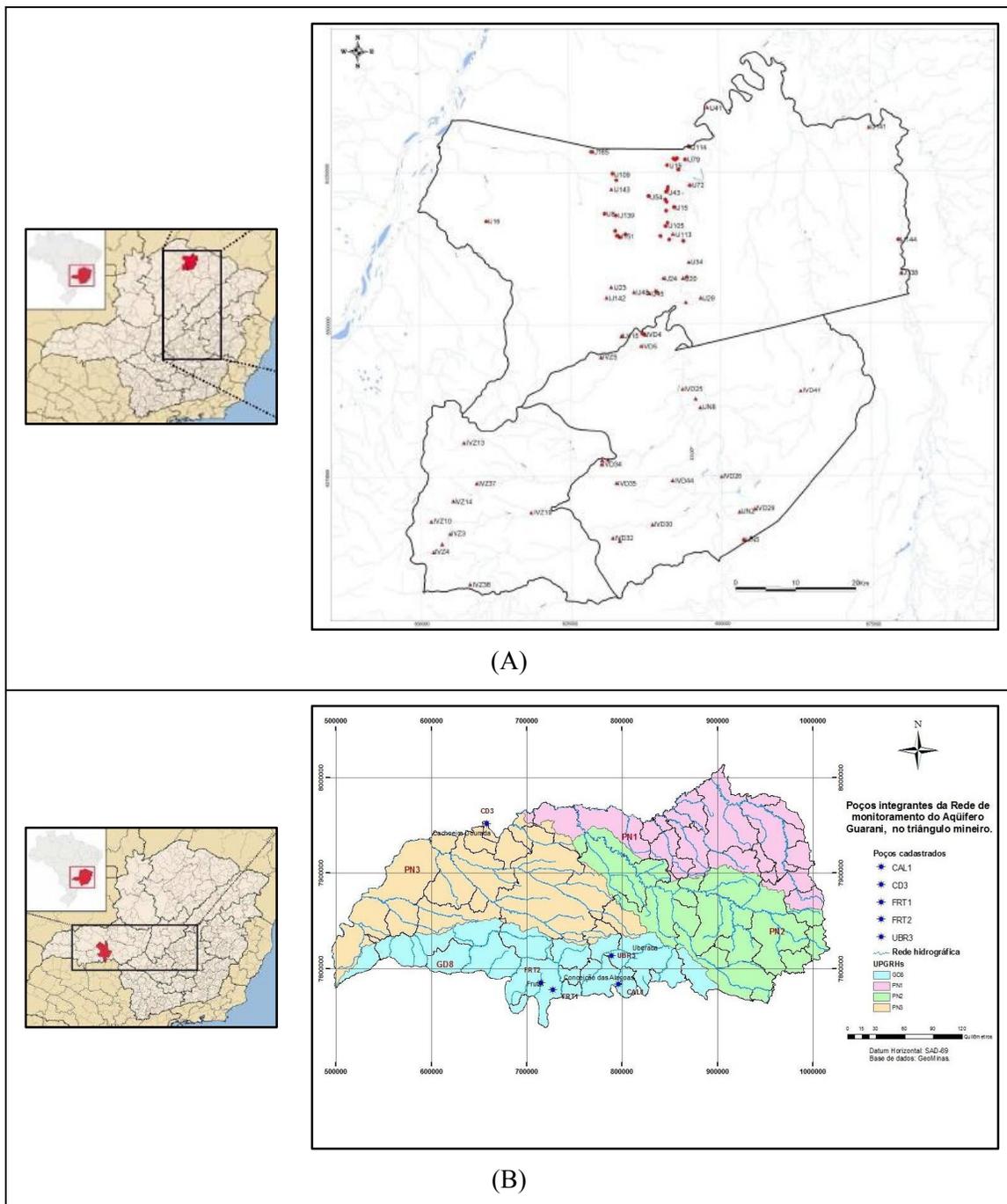


FIGURA 3.9 – Rede de monitoramento existente em Minas Gerais: (A) Jaíba, Verdelândia e Varzelândia (Norte de Minas); (B) Triângulo Mineiro

Fonte: IGAM (2010)

A avaliação da qualidade da água subterrânea em relação aos seus usos realizada pelo IGAM adotou como critério as concentrações de parâmetros físico-químicos para consumo humano estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde n° 518 de 2004 (BRASIL, 2004). As águas coletadas foram classificadas de acordo com a quantidade de sólidos totais dissolvidos (STD),

definindo assim sua salinidade. Os resultados da classificação das amostras de água coletadas são apresentados na Tabela 3.2.

TABELA 3.2 – Classificação das águas subterrâneas quanto à salinidade (MG)

Tipo de água	Norte de Minas (05 campanhas)		Triângulo Mineiro (01 campanha)	
	Número de amostras	%	Número de amostras	%
Doce	95	45,2	3	60,0
Salobra	106	50,5	1	20,0
Salgada	9	4,3	1	20,0
Total	210	100,0	5	100,0

Fonte: Adaptado de IGAM (2010)

Nesse trabalho, foi observada grande variabilidade nos valores de concentração dos principais íons responsáveis pela caracterização físico-química das águas subterrâneas monitoradas.

Outro trabalho relevante com relação à qualidade das águas subterrâneas no Estado de Minas Gerais foi conduzido pelo CPRM (2012), dando origem ao Atlas Digital dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Vale do Jequitinhonha e abrangendo 67 municípios no estado de Minas Gerais e 4 municípios na Bahia, como mostrado na Figura 3.10.

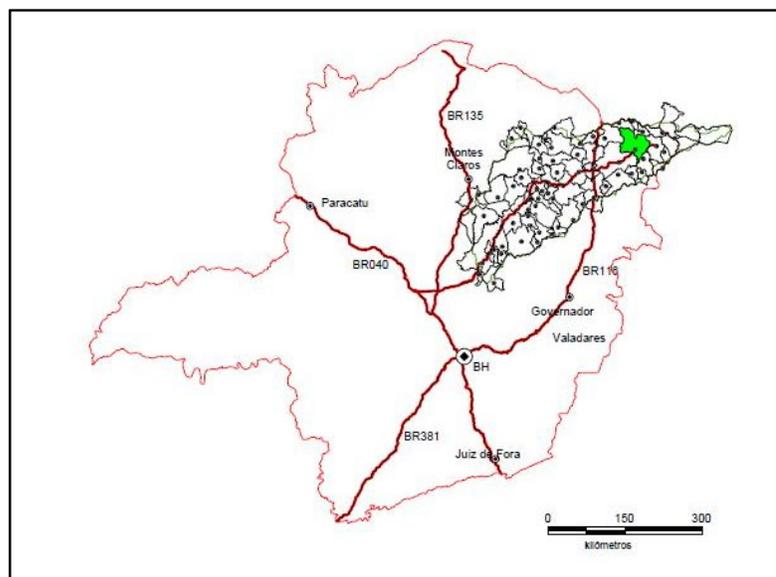


FIGURA 3.10 – Abrangência do cadastramento CPRM (Vale do Jequitinhonha)

Fonte: CPRM (2012)

Esse trabalho contemplou o cadastramento das fontes de abastecimento por água subterrânea (poço tubular, poço escavado e fonte natural), públicos e particulares com determinação das coordenadas geográficas e obtenção de todas as informações passíveis de serem coletadas através de uma visita técnica (caracterização do poço, instalações, situação da captação, dados operacionais, qualidade da água, uso da água e os aspectos ambientais, geológicos e hidrológicos). Foram cadastrados pontos de água públicos e particulares, sendo identificadas três situações durante a realização desse projeto: poços em operação, paralisados e não instalados. Poços em operação são aqueles que funcionam normalmente. Os paralisados estavam sem funcionar temporariamente devido a problemas relacionados à manutenção ou quebra de equipamentos. Os não instalados representam aqueles poços que foram perfurados, tiveram resultado positivo, mas não foram ainda equipados com sistema de bombeamento e distribuição.

Para manter o foco, neste trabalho, foram levantadas exclusivamente informações sobre a qualidade dos poços em operação e localizados em território mineiro. A partir dessas premissas e mantendo o critério de classificação apresentado na Tabela 3.1, foram listados 1153 poços operantes, sendo que 927 deles apresentaram água classificada como doce; 192, salobra; e 34, salgada. A Figura 3.11 apresenta a distribuição da qualidade da água (em porcentagem) apontada pelo Atlas digital dos recursos hídricos subterrâneos do Vale do Rio Jequitinhonha (CPRM, 2012).

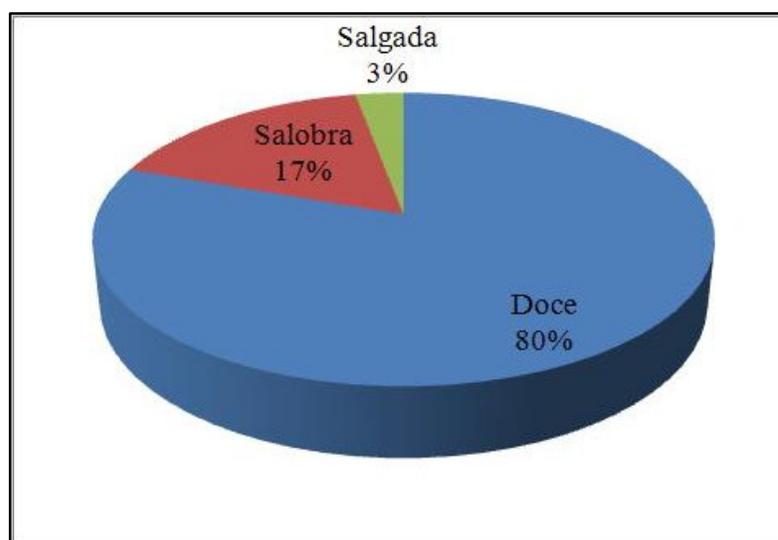


FIGURA 3.11 – Distribuição da qualidade da água em poços em operação (Vale do Jequitinhonha)

Fonte: Elaborado a partir de CPRM (2012)

Para cada município mineiro avaliado foi elaborado um relatório incluindo, quando apropriado, recomendações relativas ao manejo das águas salobras e salgadas, tais como a instalação de dessalinizadores (CPRM, 2012).

3.4 Salinidade da água

A qualidade da água pode ser definida por um conjunto de variáveis que limita o seu uso pretendido. No caso das águas subterrâneas, sua qualidade decorre de numerosos fatores, destacando-se: composição da água de recarga, interação entre a água e o meio onde circula – solo, rocha, gases presentes na zona não saturada, tempo de residência e reações que ocorrem no meio onde está armazenada (IGAM, 2010).

A salinidade representa a presença de sais neutros, tais como cloretos e sulfatos de cálcio, magnésio, sódio e potássio. O conjunto de sais normalmente dissolvidos na água, formado pelos bicarbonatos, cloreto, sulfatos e, em menor quantidade, pelos demais sais, pode conferir à água gosto salino e uma propriedade laxativa em função da presença de sulfatos (Heller & Pádua, 2006).

De acordo com a salinidade apresentada, as águas podem ser classificadas em (MMA, 2005):

- ✓ Águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 500 mg L⁻¹;
- ✓ Águas salobras: águas com salinidade superior a 500 mg L⁻¹ e inferior a 30.000 mg L⁻¹;
- ✓ Águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30.000 mg L⁻¹.

Uma vez que este trabalho tem como objetivo estudar o potencial de aproveitamento de águas salobras subterrâneas no cultivo de plantas, não serão abordados aspectos referentes à qualidade de água para consumo humano ou uso industrial.

3.4.1 Qualidade da água para irrigação

A qualidade da água para irrigação pode variar significativamente de acordo com o tipo e a quantidade de sais dissolvidos. À medida que a concentração total de sais aumenta, os problemas do solo e das culturas agravam-se, requerendo uso de práticas especiais de manejo para que rendimentos aceitáveis sejam mantidos (Ayers & Westcot, 1991).

Os aspectos fundamentais a serem considerados no uso da água de irrigação são aqueles que afetam principalmente a conservação do solo e o rendimento e qualidade das colheitas (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), 2010).

Os principais problemas relacionados à qualidade da água referem-se aos riscos de salinização e redução da permeabilidade do solo, cujo maior efeito é similar em ambos os problemas – a redução do suprimento de água às plantas (Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB, 2003).

Na planta, a manifestação da salinidade se dá através da “seca fisiológica”, uma vez que, mesmo existindo água no solo, a planta não consegue absorvê-la em virtude do excesso de sais (EMBRAPA, 2011).

A condutividade elétrica (CE) da água de irrigação é o parâmetro utilizado para determinar o seu potencial de salinizar um solo. Determina a quantidade total de sais dissolvidos (sem especificá-los) e é definida como a capacidade (maior ou menor) de conduzir corrente elétrica – quanto maior a concentração salina de uma solução, maior será sua CE. É expressa em micromhos por cm ($\mu\text{mhos cm}^{-1}$), milimhos por cm (mmhos cm^{-1}) ou, pela unidade do Sistema Internacional (SI) utilizada atualmente, deciSiemens por metro (dS m^{-1}), ou microSiemens por cm ($\mu\text{S cm}^{-1}$) – todas as unidades expressas a 25 °C. Apresenta a seguinte equivalência de unidades: $1 \text{ dS m}^{-1} = 1 \text{ mmho cm}^{-1} = 1 \text{ mS cm}^{-1} = 1000 \mu\text{S cm}^{-1} = 1000 \mu\text{mhos cm}^{-1}$ (EMBRAPA, 2010).

Porém, a adequação da água para fins de irrigação não depende apenas do teor total de sais dissolvidos, mas também dos tipos presentes. A proporção relativa em que se encontra presente o íon sódio em relação aos íons cálcio e magnésio é de grande importância, pois, quando há predominância do primeiro em relação aos outros dois, pode ocorrer a degradação do solo, com perda de sua estrutura e permeabilidade (EMBRAPA, 2010). Essa relação é expressa pela razão de adsorção de sódio (RAS), como proposto por *United States Salinity Laboratory* (USSL) (1954) e calculada pela Equação (1).

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} representam as concentrações em miliequivalente por litro (meq L^{-1}) dos respectivos íons.

3.4.2 Classificação de Água para Irrigação

Segundo Bernardo *et al.* (2008), há vários modelos de classificação de água para irrigação; porém, os dois principais são:

3.4.2.1 Classificação proposta pelo USSL

A classificação proposta pelo USSL é baseada na CE, como indicadora do risco de salinização do solo, e a RAS juntamente com a CE, como indicadoras do perigo de sua impermeabilização. O diagrama que representa essa classificação é mostrado na Figura 3.12.

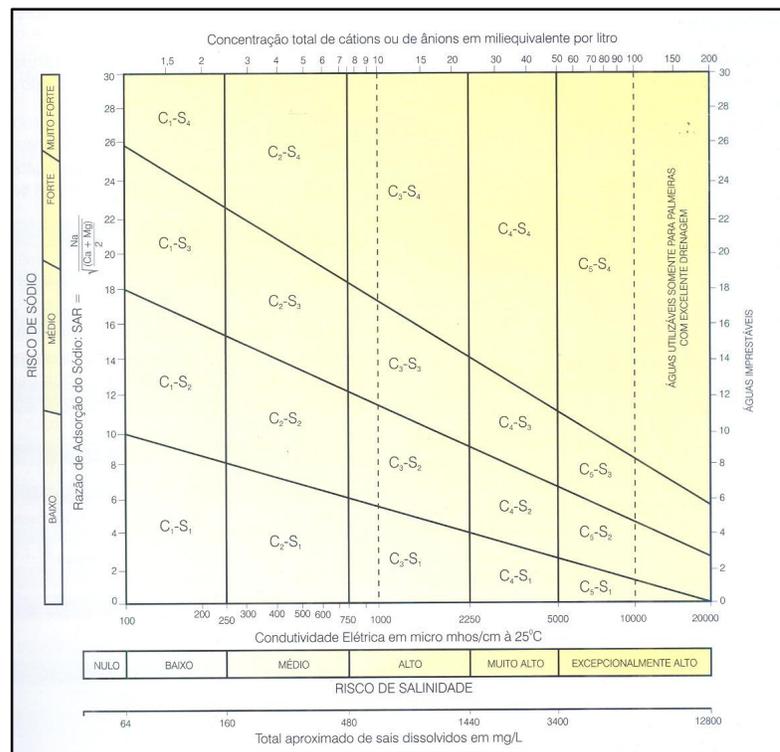


FIGURA 3.12 – Diagrama de classificação da qualidade da água de irrigação (USSL)

Fonte: Feitosa *et al.* (2008)

Além da relação entre a CE e o RAS, a classificação USSL também inclui a verificação da concentração de boro e de bicarbonato (Bernardo *et al.*, 2008).

3.4.2.2 Classificação proposta por Ayers & Westcot

A classificação proposta por Ayers & Westcot (1991) se baseia em quatro áreas-problema, a saber:

- (1) Problemas de salinidade: os sais do solo e da água reduzem a disponibilidade de água para as plantas a ponto de afetar o seu rendimento.
- (2) Problemas de infiltração de água: ocorrem quando a velocidade normal de infiltração da água de irrigação ou de chuva é muito reduzida e, conseqüentemente, permanece sobre o solo por muito tempo ou infiltra-se muito lentamente, diminuindo a quantidade de água disponível para a planta. A infiltração da água nos solos varia bastante, dependendo não apenas da qualidade da água, mas também das características do solo (estrutura, grau de compactação, teor de matéria orgânica e características químicas).
- (3) Problemas de toxicidade: os íons de maior importância são o cloreto, o sódio e o boro, podendo gerar problemas de toxicidade mesmo a baixas concentrações.
- (4) Outros problemas: excessos de nutrientes reduzem os rendimentos das culturas e/ou sua qualidade. Também podem gerar corrosão excessiva dos equipamentos, aumentando os custos de manutenção e reparos.

As diretrizes para interpretação da qualidade da água para irrigação estabelecidas pelos autores são apresentadas na Tabela 3.3.

TABELA 3.3 – Diretrizes para interpretação da qualidade da água para irrigação

Problema potencial	Unidades	Grau de restrição para o uso		
		Nenhuma	Moderada	Severa
Salinidade do solo				
(afeta a disponibilidade de água para a cultura)				
CE da água de irrigação (C_{ai})	dS m ⁻¹	< 0,7	0,7 a 3,0	> 3,0
Total de sólidos solúveis (TST)	mg L ⁻¹	< 450	450 a 2000	> 2000
Infiltração do solo				
(avaliada usando C_{ai} e RAS conjuntamente)				
RAS = 0 a 3 e C_{ai}	dS m ⁻¹	> 0,7	0,7 a 0,2	< 0,2
RAS = 3 a 6 e C_{ai}	dS m ⁻¹	> 1,2	1,2 a 0,3	< 0,3
RAS = 6 a 12 e C_{ai}	dS m ⁻¹	> 1,9	1,9 a 0,5	< 0,5
RAS = 12 a 20 e C_{ai}	dS m ⁻¹	> 2,9	2,9 a 1,3	< 1,3
RAS = 20 a 40 e C_{ai}	dS m ⁻¹	> 5,0	5,0 a 2,9	< 2,9
Toxicidade de íons específicos				
(afeta culturas sensíveis)				
Sódio (Na)				
Irrigação por superfície	RAS	< 3	3 a 9	> 9
Irrigação por aspersão	meq L ⁻¹	< 3	> 3	
Cloreto (Cl)				
Irrigação por superfície	meq L ⁻¹	< 4	4 a 10	> 10
Irrigação por aspersão	meq L ⁻¹	< 3	> 3	
Boro (B)				
	mg L ⁻¹	< 0,7	0,7 a 3,0	> 3,0
Outros				
(afeta culturas sensíveis)				
Nitrogênio ($NO_3^- - N$)	mg L ⁻¹	< 5,0	5,0 a 30	> 30
Bicarbonato (HCO_3^-)	meq L ⁻¹	< 1,5	1,5 – 8,5	> 8,5
(apenas aspersão convencional)				
pH		Faixa normal: 6,5 – 8,4		

Fonte: Ayers e Westcot (1991)

3.5 Fitorremediação

3.5.1 Considerações gerais

A natureza atravessou bilhões de anos de seleção natural, criando soluções eficazes e duráveis para diversos problemas. Através dos tempos, as plantas vêm colonizando o solo e se adaptando eficazmente a uma grande diversidade de ambientes, resultando em uma diferenciação que culminou nas plantas superiores, caracterizadas pela presença da parte vegetativa organizada em caule, folhas e raízes que permitem sua fixação no solo.

A capacidade de adaptação aliada às interações simbióticas com diversos tipos de organismos possibilita que determinadas plantas sobrevivam em locais cujas características químicas dos solos restringiriam a presença de outras espécies. Dessa forma, algumas espécies vegetais conseguem sozinhas ou, associadas a outros seres vivos, viver até em ambientes degradados por ação antrópica e promover melhorias não apenas do ponto de vista estético, mas também nas suas características físicas e químicas de solos contaminados, já que mecanismos de atenuação ou remediação de contaminantes passam a atuar naturalmente. Portanto, quando as plantas são as principais responsáveis pela melhoria da qualidade ambiental de solo, ar ou água, chama-se a esse mecanismo de fitorremediação natural.

O termo “fitorremediação”, junção das palavras *phyto* (vegetal) e *remediation* (correção), é relativamente novo, já que foi criado em 1991 (*U.S. Environmental Protection Agency* (USEPA), 2000). Fitorremediação representa um conjunto de tecnologias inovadoras – fitotecnologias que fazem uso de plantas para extrair, degradar, conter ou imobilizar poluentes presentes no solo, água (superficial e subterrânea) e outros meios contaminados (USEPA, 2001; USEPA, 2010).

A fitorremediação aproveita o fato das plantas poderem ser consideradas como bombas movidas à energia solar e, além disso, possuem a capacidade de extrair e concentrar determinados elementos presentes no meio ambiente (Raskin *et al.*, 1997)

A utilização de plantas para descontaminação do solo originou-se indiretamente, uma vez que, na busca por jazidas de minérios, a vegetação existente servia como indicação da sua presença. Na procura por zinco, por exemplo, percebeu-se que, determinadas plantas só cresciam em solos com maior concentração desse elemento e, como a planta “procura” o

metal, as jazidas passaram a ser identificadas observando a vegetação típica local (Oliveira *et al.*, 2009).

Antes do uso de fitotecnologias em condições reais, é recomendado que seu potencial seja primeiramente testado em estudos em laboratório, e, posteriormente, em estudos em escala piloto. Estudos em laboratório podem indicar se o(s) contaminante(s) pode(m) ser removido(s) em condições ideais e, então, estudos em escala piloto poderão demonstrar se as condições locais são compatíveis com as plantas selecionadas (USEPA, 2010). Estudos de tratabilidade realizados em laboratório podem utilizar, por exemplo, um sistema hidropônico artificial para simular as condições locais e obter resultados iniciais que comprovem a eficácia do projeto. O processo poderá ser acelerado por meio de abordagens específicas; dessa forma, esses estudos poderão acelerar o fornecimento de resultados e reduzir o tempo de implementação (USEPA, 2001).

3.5.2 Conceitos básicos e mecanismos

De acordo com Andrade *et al.* (2007), a fitorremediação apresenta grande versatilidade e basicamente envolve os seguintes mecanismos:

- ✓ **Fitoextração:** o poluente extraído do meio é armazenado no tecido vegetal, facilitando sua remoção;
- ✓ **Fitotransformação ou fitodegradação:** o contaminante sofre bioconversão no interior da planta ou em sua superfície, tornando-se menos tóxico;
- ✓ **Fitovolatilização:** o poluente absorvido é convertido em forma volátil e liberado para a atmosfera;
- ✓ **Fitoestimulação:** a planta estimula a biodegradação microbiana liberando exsudatos radiculares e/ou fornecendo tecidos vegetais.
- ✓ **Fitoestabilização:** ocorre a imobilização do poluente absorvido por meio de sua lignificação ou humificação.

Na Tabela 3.4 é apresentada uma visão geral dos mecanismos, técnicas e contaminantes empregados em estudos sobre fitorremediação (USEPA, 2000).

TABELA 3.4 – Fitorremediação (visão geral)

Mecanismo	Objetivo	Matriz	Contaminantes	Plantas	Situação
Fitoextração	Extração e captura do contaminante	Solo, sedimento, lodos	Metais: Ag, Cd, Co, Cr, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn; Radioisótopos: ⁹⁰ Sr, ¹³⁷ Cs, ²³⁹ Pu, ^{238, 234} U	Mostarda, álamos, girassol, <i>Alyssum wulfenianum</i> , <i>Thlaspi rotundifolium</i>	Laboratório, escala piloto, aplicação em campo
Rizofiltração	Extração e captura do contaminante	Água subterrânea e superficial	Metais, radioisótopos	Girassol, Mostarda, aguapé	Laboratório e escala piloto
Fitoestabilização	Contenção do contaminante	Solo, sedimento, lodos	As, Cd, Cr, Cu, Hs, Pb, Zn	Mostarda, álamos, gramíneas	Aplicação em campo
Rizodegradação	Destruição do contaminante	Solo, sedimento, lodos, água subterrânea	Compostos orgânicos (TPH, PAHs, pesticidas, solventes clorados, PCBs)	Amora, gramíneas, álamos, tabôa, arroz	Aplicação em campo
Fitodegradação	Destruição do contaminante	Solo, sedimento, água subterrânea e superficial	Compostos orgânicos, solventes clorados, fenóis, herbicidas, munições	Alga, salgueiro negro, álamos, cipreste	Demonstração em campo
Fitovolatilização	Extração do contaminante da matriz e liberação para o ar	Água subterrânea, solo, sedimento, lodos	Solventes clorados, alguns inorgânicos (Se, Hg e As)	Álamos, alfafa, falsa acácia, mostarda	Laboratório e aplicação em campo
Contenção hidráulica (controle de pluma)	Degradação do contaminante ou contenção	Água subterrânea e superficial	Orgânicos solúveis em água e inorgânicos	Álamos, salgueiro	Demonstração em campo
Cobertura vegetal	Contenção do contaminante, controle de erosão	Solo, lodo, sedimentos	Compostos orgânicos e inorgânicos	Álamos, gramíneas	Aplicação em campo
Corredores ciliares	Destruição do contaminante	Água subterrânea e superficial	Orgânicos e inorgânicos solúveis em água	Álamos	Aplicação em campo

Fonte: USEPA (2000)

3.5.3 Seleção das espécies vegetais a serem empregadas na Fitorremediação

As plantas a serem selecionadas devem possuir habilidade de tratar os contaminantes de interesse, atingir os objetivos da remediação e adaptar-se às condições climáticas locais. Geralmente, as características das espécies escolhidas incluem: capacidade de extrair ou degradar os contaminantes de interesse em produtos atóxicos ou menos tóxicos, alta taxa de crescimento, adaptabilidade às condições locais, facilidade de plantio e manutenção, e alto consumo de água por evapotranspiração. No caso de áreas contaminadas, a manutenção pode incluir o estabelecimento de frequência de corte, o uso de fertilizante e a necessidade de replantio, poda, colheita e programas de monitoramento (USEPA, 2001).

Brasil *et al.* (2007), cujo trabalho aborda o tratamento de águas residuárias em sistemas alagados construídos (SAC), recomenda que a seleção de espécies vegetais esteja baseada em aspectos de sanidade das plantas, viabilidade do seu cultivo em longo prazo e aspectos estéticos do sistema.

A escolha de espécies despoluidoras deve ser criteriosa por diversas razões, inclusive pelo risco decorrente da introdução de plantas não nativas e sua fauna associada, podendo resultar na eliminação das espécies nativas e na redução da biodiversidade local (Pott & Pott, 2002).

3.5.4 Vantagens e desvantagens das técnicas de Fitorremediação

A Fitorremediação engloba um amplo conjunto de tecnologias com potencial de atender a um âmbito diversificado de condições ambientais.

As fitotecnologias destacam-se por poderem ser empregadas tanto para contaminantes orgânicos como inorgânicos; além disso, podem ser aplicadas em diferentes meios (solo/sedimento, água superficial e subterrânea). Em alguns casos, podem ser utilizadas para tratar combinações de vários tipos de contaminantes e meios impactados simultaneamente (*Interstate Technical Regulatory Council (ITRC)*, 2009). A Tabela 3.5 lista vantagens e desvantagens apresentadas pela Fitorremediação.

TABELA 3.5 – Vantagens e desvantagens da Fitorremediação

Vantagens
Possível substancial economia de custos
Maior aceitação pública em virtude do uso de técnicas de remediação menos sofisticadas e mais amigáveis do ponto de vista ambiental
Custos de operação e manutenção são tipicamente mais baixos que os requeridos pelas técnicas tradicionais
Vegetação pode ajudar a reduzir ou prevenir erosão ou emissões de material particulado
Possível melhoria da qualidade do ar e captura de gases de efeito estufa
Possível melhoria do aspecto estético local (aparência visual e barulho)
Não impacta negativamente a estrutura do solo e sua fertilidade (sendo provavelmente melhorados)
Possibilidade de ser aplicada em locais remotos
Possibilidade de ser empregada próxima a árvores adultas e arbustos e áreas de passagem sem causar dano
Possibilidade de ser usadas em combinação com outros objetivos de restauração ou mitigação, tais como cobertura vegetal ou criação de diversidade ecológica
Potencial para criar novo habitat ou suplementar aquele já existente
Pode prover reuso/restauração do solo até a conclusão de um projeto de fitorremediação
Desvantagens
Possível inadequação para áreas com contaminação localizada a significativas profundidades em virtude da geralmente pouco profunda distribuição do sistema radicular
Maior tempo de tratamento que tecnologias mais tradicionais para atingir os objetivos de remediação
Maior área pode ser requerida para tratamento efetivo em determinadas situações
Altas concentrações de contaminação inicial presente na área podem ser fitotóxicas e inibir ou impedir o crescimento das plantas
Correção de solo e práticas de cultivo podem causar efeitos não intencionados sobre a mobilidade do contaminante
Cultivo de vegetação pode ser mais difícil sob condições adversas apresentadas pelos solos ou águas subterrâneas contaminadas; crescimento das plantas e a associada remediação pode não ocorrer durante o inverno
Análise de risco pode ser necessária antes da disposição do material vegetal contaminado
Potencial para criar novo destino ou formas de transporte que não existiam na área antes da aplicação de uma específica fitotecnologia (por exemplo, criação de um habitat)
Amostragem e análise da planta e seus tecidos podem ser requeridos para verificar a transferência do contaminante em seu interior

Fonte: Adaptado de ITRC (2009) e USEPA (2001)

3.6 Fitorremediação do meio aquático

A fitorremediação apresenta grande versatilidade, podendo ser utilizada para remediação do meio aquoso, ar ou solo, com variações que dependem dos objetivos a serem atingidos (Andrade *et al.*, 2007). Como o objeto deste estudo é a água salobra, o presente trabalho explorará exclusivamente a fitorremediação do meio aquático.

A poluição aquática é um sério problema, impactando negativamente nascentes, cursos d'água e aquíferos. Sua origem é diversificada, podendo ser rural (agrotóxicos, carga de sedimentos e resíduos orgânicos), urbana (esgoto doméstico, lixões, entre outros) e industrial (substâncias orgânicas e inorgânicas das mais variadas composições e concentrações) (Pott & Pott, 2002).

As plantas utilizam os sólidos dissolvidos para o seu crescimento, atuando como extratoras de grande parte dos macro e micronutrientes presentes no meio aquoso; porém outros mecanismos também podem atuar durante o tratamento de recursos hídricos fertilizados, tais como: sedimentação de sólidos, biotransformação e reações físico-químicas (Sooknah & Wilkie, 2004).

3.6.1 Perspectiva histórica

Em virtude da sua capacidade de assimilar nutrientes e substâncias tóxicas, as plantas têm sido usadas no tratamento de esgotos há muitos séculos, como na Alemanha, onde há mais de 300 anos já se utilizavam plantas com esse objetivo (Cunningham *et al.* (1996) *apud* Andrade *et al.* (2007)).

Um dos primeiros a tratar da redução da poluição de lagos pela colheita das plantas aquáticas capazes de remover nutrientes da água (*Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), 1979), Boyd (1970) salientou que todas as plantas aquáticas poderiam servir a esse propósito; porém, plantas pequenas, tais como, fitoplâncton ou plantas submersas são mais difíceis de colher que plantas flutuantes ou emergentes. Nesse texto, o autor lista as seguintes espécies aquáticas como adequadas à remoção de contaminantes: *Eichhornia crassipes* (aguapé), *Alternanthera philoxeroides* (tripa de sapo ou erva-de-jacaré), *Justicia americana* (salgueiro) e *Typha latifolia* (taboa).

Em manual intitulado *Handbook of utilization of aquatic plants*, a FAO (1979) considerava que, provavelmente, o capítulo relativo ao tratamento da água seria o mais importante daquele

trabalho. É curioso que, nessa época, os autores já comentassem sobre a importância da promoção da reciclagem de nutrientes promovida por fazendeiros no sudeste asiático, denominando-a duplo ciclo (plantas – porcos – humanos – peixes – humanos – plantas). Dessa forma, segundo os autores, um conjunto limitado de nutrientes seria continuamente reutilizado em tanques, em um sistema movido pela energia do sol. Assim, a atuação das plantas aquáticas estaria “salvando” nutrientes que, de outra forma, seriam perdidos no mar. Nesse trabalho também já se revela uma crescente conscientização em relação aos problemas de poluição da água, doce e salgada, decorrentes do aumento da população, do crescimento industrial e da disposição de esgotos de origem humana, animal e industrial. Já naquele tempo, os autores comentam que era mais barato comprar fertilizantes concentrados e facilmente aplicáveis e descartar efluentes no esgoto ou nos cursos de água. Essa atitude já estaria gerando consequências devastadoras sobre cursos d’água e despertando a consciência da opinião pública e científica não apenas para coibir tais práticas como também para reverter tal situação por meio da atuação de plantas aquáticas de reconhecida habilidade na remoção de compostos e nutrientes.

Outro trabalho precursor sobre o uso de macrófitas aquáticas para a remoção de nutrientes foi conduzido por Reddy & De Busk (1985). Nessa pesquisa é avaliado o potencial de remoção de N e P de oito espécies (aguapé (*Eichhornia crassipes* (Mart) Solms); alface da água (*Pistia stratiotes* L.); umbigo-de-vênus (*Hydrocotyle umbellata* L.); fetos aquáticos (*Azolla caroliniana* e *Salvinia rotundifolia* L.); lentilhas da água (*Lemna minor* L. e *Spirodela polyrhiza* L.) e egeria (*Egeria densa* Planch) sob mesmas condições ambientais, empregando um efluente “simulado”. Os autores concluíram que as macrófitas aquáticas podiam ser efetivamente usadas para reduzir concentrações de N e P de águas enriquecidas por nutrientes. Consideraram também a possibilidade de cultivos mistos (com baixas densidades) ou em sequência (por exemplo, aguapé num tanque para remover N e azolla ou egeria para maximizar a assimilação de P). Ao concluir, comentaram que a viabilidade econômica de desses sistemas, especialmente usando aguapé e plantas emergentes tais como a taboa (*Typha latifolia* L.) e *Phragmites spp.*, estava sendo avaliada pelos estados americanos de clima mais quente.

Em outro estudo publicado pela FAO (1992), intitulado *Wastewater treatment and use in agriculture*, também há informação sobre sistemas de tratamento biológicos naturais, entre eles, tratamento por meio de macrófitas. Nesse documento, relata-se que macrófitas aquáticas

podem assimilar grandes quantidades de nutrientes inorgânicos (especialmente N e P) e metais pesados (tais como Cd, Cu, Hg e Zn) como consequência do seu crescimento e reduzir a concentração de algas devido ao sombreamento produzido pelas suas folhas. Em sistemas que empregam macrófitas, além de qualquer possível processo de remoção física (especialmente sedimentação), as plantas serviriam como substrato vivo para a atividade microbiana, removendo DBO e nitrogênio e atingindo reduções na concentração de fósforo, metais pesados e algumas substâncias orgânicas. A função básica das macrófitas englobaria assimilar, concentrar e armazenar contaminantes em curto prazo. A subsequente colheita da biomassa produzida resultaria na permanente remoção dos contaminantes armazenados.

3.6.2 Fitorremediação por Rizofiltração

Rizofiltração, também conhecida como fitofiltração, é a remoção de contaminantes presentes na água superficial, correntes residuárias ou água proveniente do subsolo, realizada pelas raízes das plantas. O contaminante pode permanecer sobre as raízes, dentro delas ou ser transportado para outras partes da planta, a depender do tipo, concentração e da espécie vegetal utilizada. Rizofiltração e fitoextração são similares já que resultam no acúmulo de contaminante dentro ou sobre a planta; porém, na rizofiltração, esse acúmulo pode ocorrer nas raízes ou na parte aérea, enquanto que, na fitoextração, ele ocorre apenas na parte aérea. Além disso, rizofiltração difere da fitoextração porque o contaminante a ser extraído está inicialmente na água e não no solo (USEPA, 2001).

É geralmente aplicável a condições de baixa concentração de contaminantes na água, empregando sistemas hidropônicos e espécies hiperacumuladoras para promover a sua remoção (Andrade *et al.*, 2007).

O aguapé é comumente apontado como espécie usada para remover contaminantes inorgânicos por rizofiltração (USEPA, 2001)

3.7 Fitorremediação em condições salinizadas

3.7.1 As plantas e sua relação com a salinidade

As plantas apresentam diferentes respostas à salinidade, algumas culturas podem apresentar produtividade aceitável frente a altas concentrações de sais no solo, diferentemente de outras. Lamentavelmente, como a maioria das culturas contemporâneas desenvolveu-se através da

domesticação de plantas em ambientes não salinos, a maior parte dos recursos hídricos disponíveis, é salina demais para seu crescimento (*National Academies Press (NAP)*, 1990).

Segundo Barrett-Lennard *et al.* (2003), quando as plantas crescem em solos salinos, os sais podem acumular-se nas proximidades da superfície das suas raízes porque elas retiram água mais rapidamente que sais. Como mostrado na Figura 3.13, enquanto a água (fluxo azul) é absorvida e transpirada, os sais (fluxo vermelho) vão se acumulando sobre as raízes com o passar do tempo.

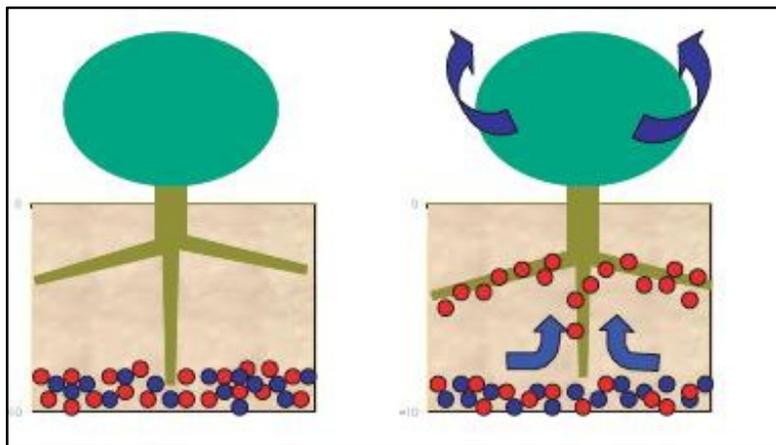


FIGURA 3.13 – Fluxo de água e sais em plantas cultivadas em solos salinos

Fonte: Adaptado de Barrett-Lennard *et al.* (2003)

Por isso, uma consequência do uso da água subterrânea por plantas perenes, como árvores, pode ser o acúmulo gradual de sais na sua zona radicular, podendo induzir a salinização da área e, em longo prazo, causar sua morte (Barrett-Lennard *et al.*, 2003). A possível sequência de danos a plantas perenes decorrente do processo de salinização é apresentada na Figura 3.14.

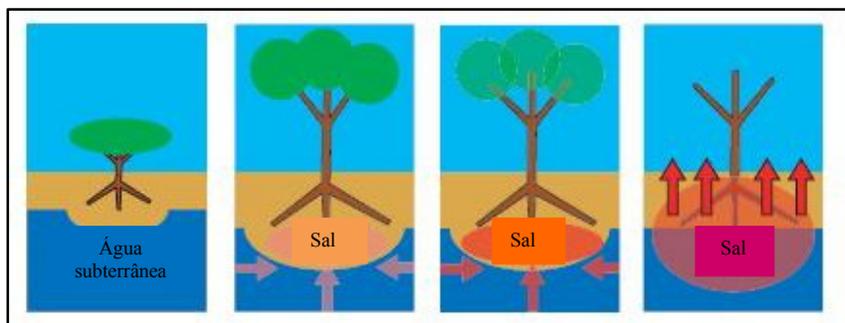


FIGURA 3.14 – Sequência de danos causados a plantas perenes pela salinização

Fonte: Adaptado de Barrett-Lennard (2003)

Normalmente, a alta concentração de sais no meio ambiente pode causar perda de água nas células e diminuir o turgor das plantas. Ao mesmo tempo, o acúmulo de íons específicos como sódio e cloreto dentro das plantas pode afetar diretamente seus processos bioquímicos internos – altas concentrações desses íons podem acumular-se nas folhas, resultando em seu “ressecamento” ou “queima”. O estresse osmótico é geralmente imediato e, para lidar com essa ameaça, as plantas tolerantes à salinidade podem ser capazes de eliminar sais pelas raízes, limitar seu transporte para o caule, movê-los do citoplasma para os vacúolos, excretar o excesso de sal pelas folhas ou utilizar uma combinação desses mecanismos. Sob essas circunstâncias, a energia usada para a adaptação ao estresse salino não está disponível para promover o crescimento das plantas (Shannon & Grieve, 1999; Masters *et al.*, 2007).

Portanto, o principal efeito da salinidade é reduzir a taxa de crescimento resultando em folhas menores, estatura mais baixa e, às vezes, menos folhas. As raízes são também reduzidas em comprimento e massa, podendo tornar-se mais finas ou mais grossas. A redução de crescimento em virtude da salinidade difere muito entre espécies e, em menor grau, entre variedades da mesma espécie (Shannon & Grieve, 1999).

Porém, há muitas plantas capazes de crescer em condições salinas e de serem convertidas por meio da criação de animais em carne, lã e outros produtos (Masters *et al.*, 2007).

De acordo com Barrett-Lennard *et al.* (2003), as plantas podem ser basicamente divididas em três grupos quanto à sua resposta a salinidade:

- (1) Halófitas: apresentam um conjunto de mecanismos fisiológicos que permite seu crescimento em solos salinos. Seu crescimento é aumentado sob condições de baixas concentrações salinas.
- (2) Tolerantes a salinidade (não halófitas): mantêm o crescimento a baixas concentrações salinas, mas apresentam decréscimo a altas concentrações.
- (3) Sensíveis a salinidade (não halófitas): o crescimento dessas plantas é reduzido mesmo na presença de baixas concentrações de sais.

Estudos conduzidos por Maas & Hoffman (1977) e Maas (1984) *apud* Ayers & Westcot (1991) indicaram que o crescimento vegetativo diminui linearmente com o aumento da salinidade. Segundo os autores, a resposta das espécies vegetais ao aumento da salinidade é definida por dois parâmetros: (1) Salinidade limiar (SL) – valor máximo de CE (dS m^{-1}) em

que não há redução no crescimento; e (2) Diminuição do rendimento por aumento unitário da salinidade acima do valor SL. Dessa forma, de acordo com suas curvas-resposta, as espécies vegetais podem ser classificadas como sensíveis, moderadamente sensíveis, moderadamente tolerantes ou tolerantes à salinidade. A Figura 3.15 apresenta um resumo da classificação proposta por Maas & Hoffman (1977).

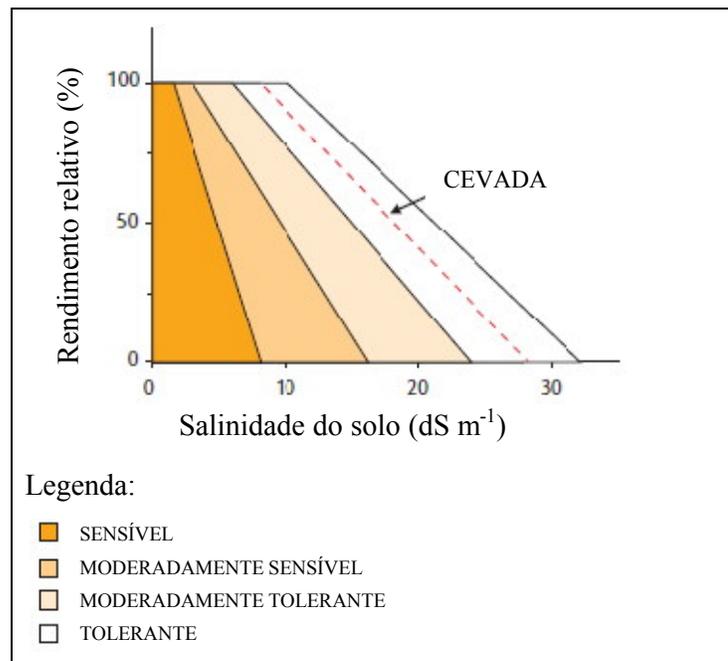


FIGURA 3.15 – Curva-resposta: Rendimento relativo (%) X Aumento de salinidade

Fonte: Adaptado de Barrett-Lennard *et al.* (2003)

3.7.2 Fitorremediação em condições salinas – plantas utilizadas

Há inúmeros trabalhos sobre o emprego de plantas na remoção de salinidade presente em meios diversos (solo, sedimentos, água superficial e subterrânea). Na Tabela 3.6 são listados alguns exemplos de espécies capazes de acumular significativas quantidades de sais e de plantas especialistas na remoção de sódio.

TABELA 3.6 – Espécies utilizadas na remoção de salinidade e de sódio

Contaminação inorgânica	Espécie	Referência
Salinidade	<i>Atriplex prostrata</i>	Keiffer 1996
Salinidade	<i>Hordeum jubatum</i>	Keiffer 1996
Salinidade	<i>Salicornia europaea</i>	Keiffer 1996
Salinidade	<i>Scirpus validus/Spartina alterniflora</i>	Negri, Hinchman e Johnson 1998
Salinidade	<i>Spergularia marina</i>	Keiffer 1996
Salinidade	<i>Suaeda calceoliformis</i>	Keiffer 1996
Sódio	<i>Atriplex spp.</i>	Keifer & Ungar 1996
Sódio	<i>Commelinae spp.</i>	Keifer & Ungar 1996
Sódio	<i>Elymus spp.</i> (centeio selvagem)	Cipollini & Pickering 1986
Sódio	<i>Hordeum vulgare</i> (cevada)	Cipollini & Pickering 1986
Sódio	<i>Ipomea spp.</i>	Keifer & Ungar 1996
Sódio	<i>Leptochola spp.</i>	Keifer & Ungar 1996
Sódio	<i>Lycopersicon esculentum</i> cv. Marmande (tomate)	Moral <i>et al.</i> 1995
Sódio	<i>Phaseolus vulgaris</i> (feijões)	Cipollini & Pickering 1986
Sódio	<i>Physalis spp.</i>	Keifer & Ungar 1996
Sódio	<i>Suaeda spp.</i>	Keifer & Ungar 1996
Sódio	<i>Suaeda salsa</i>	Zhao 1991
Sódio	<i>Zea mays</i> (milho)	Cipollini & Pickering 1986

Fonte: Adaptado de ITRC (2009)

3.7.3 Fitorremediação em meio aquático e condições salinas – estudos de caso

Apesar da maioria dos trabalhos de fitorremediação em meio aquático focar especialmente a remoção de nitrogênio e fósforo, dado seu alto potencial poluidor, há também diversos trabalhos sobre o tratamento de correntes aquosas salinizadas das mais variadas origens no cultivo de plantas com as mais diferentes abordagens e objetivos.

Uma vertente de pesquisa dedica-se especificamente ao tratamento de águas residuárias salinizadas decorrentes da expansão da produção agropecuária e da aquicultura. Nesse caso, o uso de sistemas alagados construídos (SAC's) ou *wetlands* tem sido estudado no tratamento de águas residuárias de origens diversas, tais como: suinocultura (Brasil *et al.*, 2007; Matos *et al.*, 2009), produção de camarões em cativeiro (Klomjek & Nitorisavut, 2005) e indústria de laticínios (Sooknah & Wilkie, 2004; Matos *et al.*, 2010).

A literatura pesquisada descreve o uso de inúmeras espécies vegetais em estudos envolvendo condições salinizadas; porém, a seguir, foram destacados estudos de caso envolvendo exclusivamente plantas com potencial de adequar-se aos objetivos e às condições propostos neste projeto de pesquisa.

3.7.3.1 Erva sal (*Atriplex nummularia*)

A erva sal é uma planta do tipo arbusto, considerada perene, podendo atingir até 3,0 m de altura (EMBRAPA, 2000). Em virtude do Programa Água Doce, tem sido estudada no Brasil para verificar os reflexos da sua utilização em um sistema produtivo integrado, onde o rejeito de dessalinização, após ter sido aproveitado na aquicultura (criação de peixes e camarões), é utilizado na sua irrigação. Alguns desses estudos foram realizados na EMBRAPA – Semiárido (Petrolina/PE), como mostrado na Figura 3.16.



FIGURA 3.16 – Estudos sobre erva sal realizados na EMBRAPA Semiárido (Petrolina/PE)

Muitos trabalhos têm focado a erva sal na remoção de salinidade do solo; dentre eles, Porto *et al.* (2001) estudaram o uso do rejeito de dessalinização de água salobra para a irrigação da erva sal; Porto *et al.* (2006) avaliaram o rendimento da *Atriplex nummularia* irrigada com efluentes da criação de tilápia em rejeito da dessalinização de água e Azevedo *et al.* (2005) pesquisaram o uso de *Atriplex nummularia* na extração de sais de solos irrigados com efluentes salinos (rejeito de dessalinizadores e provenientes do cultivo de camarões).

Manousaki & Kalogerakis (2011) afirmam que diversos autores encorajam o uso de halófitas hiperacumuladoras de Na^+ e Cl^- , dentre as quais, a *Atriplex nummularia*.

Segundo Porto *et al.* (2001), a erva sal consegue remover grande quantidade de sais do solo, quando comparada com plantas não halófitas, apesar da remoção não ser tão significativa quando comparada ao quantitativo de sais adicionados ao solo por meio de irrigação com água de alta salinidade ($11,4 \text{ dS m}^{-1}$).

3.7.3.2 Taboa (*Typha sp.*)

A taboa é uma planta perene, presente em ambientes aquáticos e terrenos pantanosos (Lorenzi, 1991). Também tem sido pesquisada em trabalhos sobre salinidade, podendo-se destacar os seguintes artigos: (1) Em experimento conduzido por Klomjek & Nitorisavut (2005), em uma 1ª etapa, oito espécies vegetais (inclusive a taboa – *Typha angustifolia*) foram cultivadas com esgoto municipal salinizado com NaCl ($14 - 16 \text{ dS m}^{-1}$) em fluxo intermitente – como a taboa apresentou a maior assimilação de nitrogênio e a *Asia crabgrass* promoveu maior remoção de DBO, além da sua durabilidade e eficácia na produção de biomassa aérea, essas plantas foram as escolhidas para participar da 2ª fase desse experimento, onde foi avaliado tratamento de efluente de baixa salinidade (4 dS m^{-1}) em fluxo contínuo e tempo de retenção hidráulica variável (2 a 5 dias); ao final do experimento, os autores concluíram que a *Asia crabgrass* obteve melhor desempenho na remoção de matéria orgânica e sólidos em suspensão; (2) Mufarrege *et al.* (2011) avaliaram a adaptabilidade de plantas de *Typha domingensis* coletadas em duas diferentes localizações (*wetland* natural não contaminada (WN) e *wetland* construída (WC) para o tratamento de efluente industrial) e expostas a altas salinidades e pH ($8\ 000 \text{ mg L}^{-1}/10$ (valores típicos da WC) ; $8\ 000 \text{ mg L}^{-1}/7$; $200 \text{ mg L}^{-1}/10$; $200 \text{ mg L}^{-1}/7$ (valores típicos da WN) – as plantas provenientes do WC apresentaram estresse ao serem expostas ao tratamento com valores típicos da NW ($200 \text{ mg L}^{-1}/7$) e, independentemente das características do efluente tratado, não mostraram diferenças na concentração de sódio presente nas folhas (indicando que o sódio não foi transportado para as folhas) – portanto, em virtude das sua capacidade de adaptação, foi considerada uma espécie eficiente para tratar efluentes com alta salinidade e pH; (3) Kinupp & Barros (2008) avaliaram os teores de proteína e minerais de espécies nativas da Região Metropolitana de Porto Alegre/RS com potencial alimentício negligenciado, entre as quais, o palmito de *Typha domingensis*.

3.7.3.3 Aguapé (*Eichhornia crassipes*)

O aguapé é uma espécie muito estudada por sua reconhecida habilidade de remoção de contaminantes da água, mesmo em condições salinizadas. Trata-se de uma planta aquática perene de origem amazônica, encontrada na maioria dos países tropicais e subtropicais (Bolenz *et al.*, 1990; FAO, 2009). Em razão do seu vigoroso crescimento, pode causar grandes problemas em corpos hídricos tais como redução na quantidade de peixes, obstrução de rotas de navegação, perdas de água usada para irrigação em virtude da sua alta transpiração, proliferação de vetores causadores de doenças, entre outros problemas (Gunnarsson & Petersen, 2007). Porém, seu potencial tem sido estudado em diversas aplicações – produção de carvão, hidrólise e fermentação, forragem e silagem, secagem, digestão anaeróbica, compostagem e adubação verde (Gunnarsson & Petersen, 2007). A produção de etanol a partir de plantas aquáticas, inclusive o aguapé, é alternativa considerada compatível a outras fontes de resíduos agrícolas de acordo com estudos recentes envolvendo métodos de fermentação mais eficientes e a utilização de microrganismos geneticamente modificados (Mishima *et al.*, 2008).

Seu potencial de remoção de contaminantes foi estudado em diversos trabalhos envolvendo efluentes industriais altamente tóxicos, como o gerado pelo refino de petróleo. Nesse estudo, ao ter contato com efluente petrolífero, o aguapé suportou salinidades de até 4 g L⁻¹ (com adição de NaCl) e, apesar de ter apresentado redução no acúmulo de biomassa, foi efetivo na remoção de contaminação – sólidos em suspensão e demanda química de oxigênio (De Casabianca & Laugier, 1995). Outros trabalhos sobre os efeitos da salinidade no crescimento de diversas macrófitas aquáticas, inclusive o aguapé, reportam efeitos tóxicos decorrentes de exposições à água do mar diluída com concentrações de sais de 2.500 mg kg⁻¹ (Haller *et al.*, 1974), correspondendo a uma condutividade elétrica limite de 4,04 dS m⁻¹ para o aguapé (Sooknah & Wilkie, 2004).

3.7.3.4 Capim vetiver (*Vetiveria zizanioides*)

O capim vetiver é uma gramínea perene, que ocorre nos mais variados climas, especialmente no tropical e subtropical (Pereira, 2008). A literatura pesquisada apresenta aplicações bastante diversificadas para o capim vetiver, além do tradicional uso na estabilização de taludes e encostas e na restauração de áreas litorâneas atingidas pela erosão por maré alta, como é apresentado na Figura 3.17. De acordo com Pereira (2006), o capim vetiver é resistente a

alagamentos, valores extremos de pH, salinidade, toxicidade e baixos índices de nutrientes no solo; além disso, essa espécie também foi estudada no tratamento de efluentes salinizados (Klomjek & Nitorisavut, 2005).



FIGURA 3.17 – Restauração da orla marítima na Riviera de São Lourenço (Bertiógia, SP)

Fonte: PEREIRA (2010)

3.7.3.5 Beldroega (*Portulaca oleracea* L.)

A beldroega é uma planta herbácea prostrada, anual, suculenta e ramificada com ramos de 20 a 40 cm de comprimento, cuja colheita ocorre de 75 a 80 dias após a semeadura (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, 2010). É considerada uma espécie promissora para cultivo em condições salinizadas devido ao seu alto valor nutritivo e propriedades antioxidantes, podendo ser empregada na alimentação humana e animal, além de ter uso medicinal (Kiliç *et al.*, 2008). Foi classificada como moderadamente tolerante à salinidade, como mostrado na Figura 3.18.

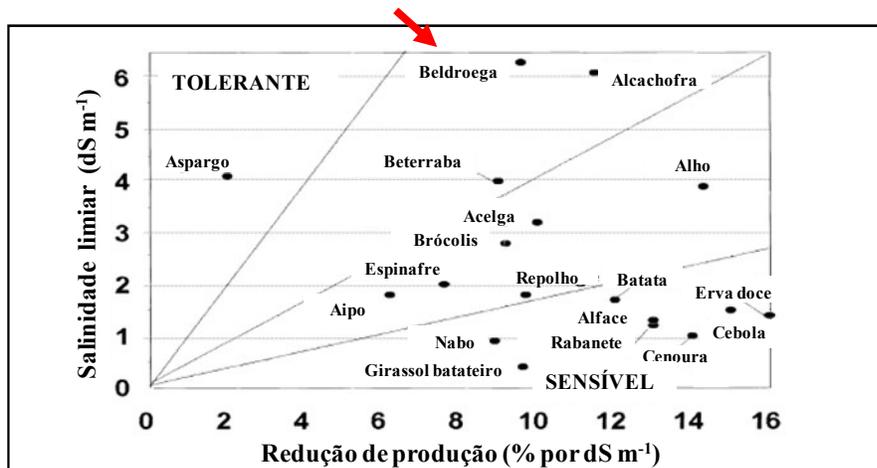


FIGURA 3.18 – Tolerância à salinidade de algumas espécies

Fonte: Adaptado de Shannon & Grieve (1999)

Seu cultivo foi estudado com a aplicação de soluções simulando efluentes salinos (15,2 e 28,5 dS m⁻¹) em tanques com substrato (areia), tendo sido observado aumento na tolerância à salinidade e crescimento vigoroso após consecutivos cortes, desde que mantido primeiro nó do caule (Grieve & Suarez, 1997).

Há também trabalhos sobre seu cultivo em sistema hidropônico (tipo *Floating*), em condições não salinizadas (2,2 – 2,45 dS m⁻¹) e salinizadas (2,5; 5; 7,5; 10; 12,5 e 15 dS m⁻¹) com a adição de NaCl (Cros *et al.*, 2007a; Cros *et al.*, 2007b). Em estudo realizado para verificar a influência de três níveis de aeração da solução nutritiva (alto, baixo e sem aeração) em cultivo hidropônico tipo *Floating*, a beldroega demonstrou pouca sensibilidade à depleção de oxigênio e capacidade de adaptação gradual à sua redução, apresentando pequena diminuição de crescimento e menor concentração de nitrato nas folhas sob condições de cultivo não aerado (Lara *et al.*, 2011).

3.8 Hidroponia

3.8.1 Perspectiva histórica

O termo hidropônico origina-se da junção de duas palavras de origem grega: *hydro* (água) e *ponos* (trabalho), literalmente significando trabalho em água ou cultivo na água.

Dentre os fatos históricos importantes na evolução da técnica hidropônica, Martinez (2002) destaca:

- ✓ A primeira tentativa de estudar a composição das plantas remonta a 1600, quando o belga Jan Van Helmont plantou uma estaca de salgueiro de 2,5 kg em um vaso com 150 kg de solo seco e coberto para evitar a entrada e a saída de pó. Após cinco anos de irrigação com água limpa, a planta apresentou 82 kg de matéria seca enquanto que o solo só havia perdido 180 g. O autor considerou essa perda como erro experimental e concluiu que a planta era formada apenas de água.
- ✓ Em 1669, o inglês John Woodward avaliou o desenvolvimento de plantas cultivadas em diversos tipos de solo e, em virtude das diferenças encontradas, concluiu que elas não eram compostas apenas de água, mas também de substâncias do solo dissolvidas na água.
- ✓ Os alemães Sachs (1860) e Knop (1861) foram os primeiros a cultivar plantas em meio líquido, de semente a semente (ciclo completo), usando soluções aquosas contendo N, P, S, K, Ca e Mg.
- ✓ Durante a Segunda Guerra Mundial, como proposto por Gericke nos anos 30, o cultivo hidropônico foi empregado na produção de hortaliças em ilhas do Pacífico não apropriadas ao cultivo.

Atualmente, o termo hidropônico refere-se basicamente a cultivos sem solo, realizados na água ou em substratos com pequena atividade química ou inertes como cascalho, areia, serragem, turfa, vermiculita, argila expandida, espumas sintéticas e lãs minerais, sendo que, nesse tipo de cultivo, a nutrição da planta é feita por meio de uma solução que contém os nutrientes essenciais (macro e micronutrientes) ao seu crescimento (Martinez, 2002).

3.8.2 Vantagens e desvantagens do cultivo sem solo

De acordo com Faquin *et al.* (1996), o cultivo hidropônico apresenta diversas vantagens, mas também, desvantagens, quando comparado com o cultivo em solo. As seguintes vantagens são listadas pelos autores:

- ✓ Produção em áreas pequenas próximas aos centros consumidores (agricultura urbana);
- ✓ Utilização de baixos volumes de água com qualidade controlada;
- ✓ Uso de pequenas quantidades de fertilizantes;
- ✓ Redução drástica do uso de defensivos agrícolas;
- ✓ Redução do número de operações durante o ciclo da cultura;

- ✓ Antecipação da colheita, devido ao encurtamento do ciclo da planta;
- ✓ Melhor qualidade e melhores preços dos produtos obtidos;
- ✓ Produção fora de época (sazonalidade), com comercialização mais fácil e melhores preços;
- ✓ Redução de riscos causados por adversidades climáticas, tais como, geadas e granizo;
- ✓ Dispensa de rotação de culturas;
- ✓ Rápido retorno econômico;
- ✓ Maior produtividade.

Os autores também relacionam as principais desvantagens do cultivo hidropônico, a saber:

- ✓ Custo inicial é relativamente elevado;
- ✓ Exige uma assistência ou conhecimento técnico efetivo sobre o sistema;
- ✓ Risco de perdas por falta de energia elétrica em sistemas automatizados;
- ✓ Em caso de contaminação da água por patógenos, todo o sistema é afetado;
- ✓ Falta de conhecimento das técnicas de hidroponia e plasticultura e necessidade de mão de obra especializada;
- ✓ Requisição de acompanhamento permanente do funcionamento do sistema e controle da solução nutritiva.

3.8.3 Principais tipos de sistemas hidropônicos

Há centenas de sistemas hidropônicos, sendo que cada tipo apresenta estruturas com características próprias. Segundo Furlani *et al.* (1999), os sistemas mais utilizados são o NFT (*Nutrient film technique*), o DFT (*Deep film technique*) e o Sistema com substratos.

3.8.3.1 Sistema NFT

O Sistema NFT ou técnica do fluxo laminar de nutrientes é composto basicamente de um tanque de solução nutritiva, de um sistema de bombeamento, de canais de cultivo e de um sistema de retorno ao tanque. A solução nutritiva é bombeada aos canais e escoar por gravidade formando uma fina lâmina de solução que irriga as raízes (Furlani *et al.*, 1999). Na Figura 3.19 é apresentado esse tipo de sistema.

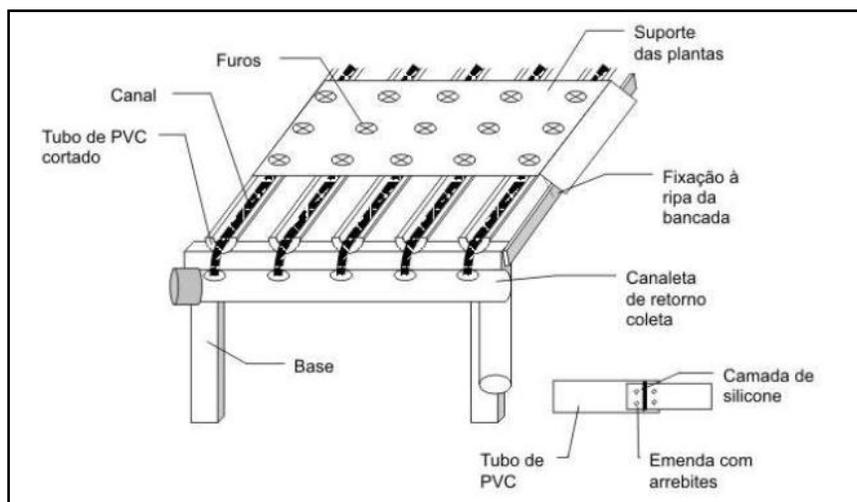


FIGURA 3.19 – Sistema NFT

Fonte: Furlani *et al.* (1999)

3.8.3.2 Sistema DFT

De acordo com Furlani *et al.* (1999), no Sistema DFT ou cultivo na água ou “floating”, a solução nutritiva forma uma lâmina profunda (5 a 20 cm) onde as raízes ficam submersas. Nesse tipo de sistema, não existem canais, mas sim, uma mesa plana onde a solução circula por meio de um sistema de entrada e drenagem característicos, como é mostrado na Figura 3.20.

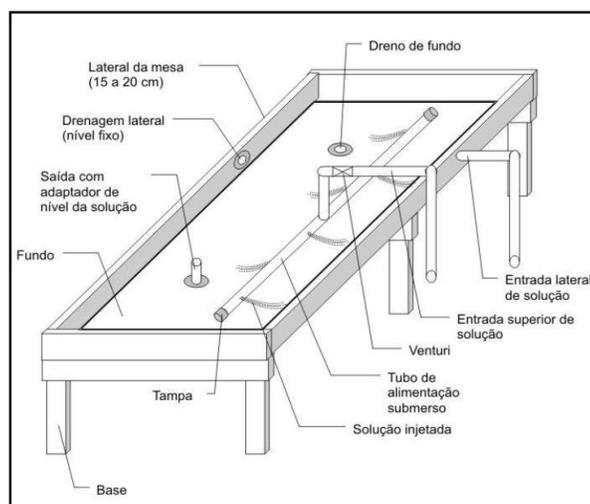


FIGURA 3.20 – Sistema DFT ou *Floating*

Fonte: Furlani *et al.* (1999)

3.8.3.3 Sistema com substratos

O terceiro tipo listado por Furlani *et al.* (1999) é o Sistema com substratos, visto na Figura 3.21. É empregado no cultivo de hortaliças frutíferas, flores e outras culturas com sistema radicular e parte aérea mais desenvolvidos, no qual são utilizados canaletas ou vasos cheios de material inerte, como areia, pedras diversas (seixos, brita), vermiculita, perlita, lã de rocha, espuma fenólica, espuma de poliuretano. A solução nutritiva é percolada através desses substratos de cultivo e drenada retornando ao reservatório. O sistema *Flood & Drain* enquadra-se nesse tipo de sistema hidropônico.

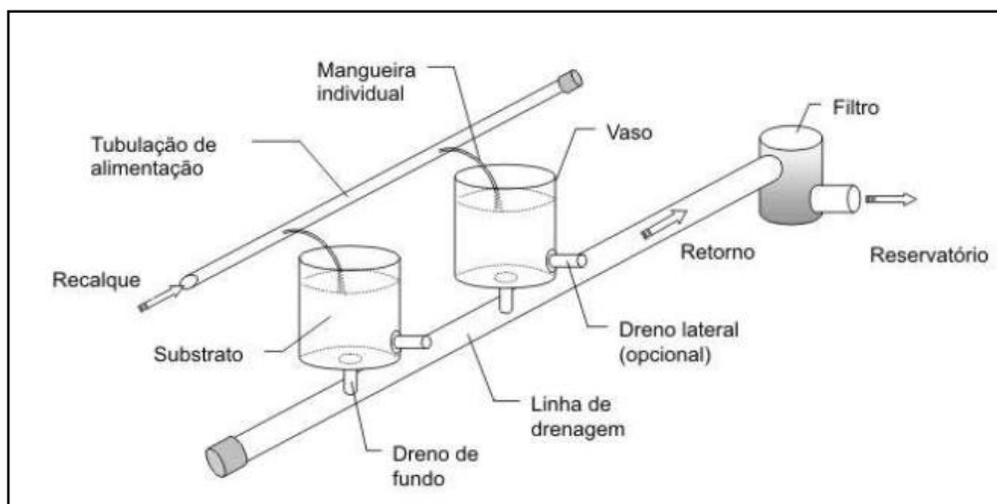


FIGURA 3.21 – Sistema com substratos

Fonte: Furlani *et al.* (1999)

3.9 Nutrição mineral de plantas

As plantas têm capacidade limitada para absorver seletivamente elementos minerais essenciais para o seu crescimento, podendo também extrair elementos não necessários ou até mesmo tóxicos. Portanto, a composição mineral de plantas que crescem em solos, não pode ser utilizada para determinar se um elemento mineral essencial ou não. O termo elemento mineral essencial (ou nutriente mineral) foi proposto por Arnon & Stout (1939) que concluíram que, para um elemento ser considerado essencial, deveria preencher os seguintes critérios: (1) uma dada planta é incapaz de completar seu ciclo de vida na sua ausência; (2) sua função não pode ser substituída por outro elemento; (3) está diretamente envolvido no metabolismo da planta ou em uma etapa metabólica distinta (Marschner, 1995).

Segundo Marschner (1995), os nutrientes essenciais para as plantas superiores são divididos em dois grupos:

- ✓ **Macronutrientes:** nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S), potássio (K), magnésio (Mg) e cálcio (Ca);
- ✓ **Micronutrientes:** ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdênio (Mo), cloro (Cl) e níquel (Ni).

Os macronutrientes são exigidos pelas plantas em kg por hectare (ha), portanto, as quantidades aplicadas no solo ou solução nutritiva são maiores. Os micronutrientes são exigidos pelas plantas em g ha⁻¹, assim, há necessidade de aplicação de doses menores ao solo ou solução nutritiva. Com exceção dos elementos não minerais carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O), os demais nutrientes minerais são absorvidos pelas raízes (Faquin *et al.*, 1996).

Segundo Marengo & Lopes (2009), em função da sua mobilidade dentro da planta (retranslocação), os elementos podem ser classificados em móveis (N, P, K, Mg, S, Cl e Ni), imóveis (B e Ca) e de mobilidade intermediária (Zn, Fe, Mn, Cu e Mo).

Além dos elementos essenciais, há aqueles considerados benéficos, tais como o silício (Si), o sódio (Na) e o selênio (Se). Esses elementos podem favorecer o crescimento ou a qualidade dos produtos aproveitáveis do vegetal ou melhorar o desempenho da planta diante de fatores desfavoráveis do ambiente (Marengo & Lopes, 2009).

Segundo Martinez (2002), as plantas são capazes de sobreviver em uma gama variada de soluções nutritivas; portanto, garantir o fornecimento de uma formulação ideal é muito difícil uma vez que, as exigências nutricionais variam entre espécies, variedade, cultivares, estágio de desenvolvimento, fotoperíodo, intensidade lumínica e temperatura, entre outros aspectos.

De acordo com Epstein (1965) *apud* Marschner (1995), as concentrações médias de macronutrientes necessárias ao crescimento adequado de uma planta (massa seca) seriam as seguintes (em %): 1,5 (nitrogênio (N)); 1,0 (potássio (K)); 0,5 (cálcio (Ca)); 0,2 (magnésio (Mg)); 0,2 (fósforo (P)) e; 0,1(enxofre (S)). Segundo Faquin *et al.* (2004), de modo geral, as exigências nutricionais das hortaliças obedecem a seguinte ordem decrescente: K > N > Ca > Mg > P = S; portanto, destaca-se que, no caso das hortaliças, é maior a exigência em potássio de que em nitrogênio.

3.9.1 Avaliação do estado nutricional e sintomas visuais de carência

O plantio comercial requer a avaliação do estado nutricional daquilo que é produzido em comparação com um padrão, ou seja, uma planta bem nutrida. Os mais importantes métodos de avaliar o estado nutricional das plantas são a Diagnose Visual (sintomas visuais de deficiência) e Foliar (análise química dos nutrientes contidos nas folhas).

✓ Diagnose visual

Em casos de falta (deficiência) ou excesso (toxicidade) de um nutriente nos tecidos vegetais, a planta apresenta sintomas visíveis, normalmente nas folhas.

Faquin *et al.* (1996) recomendam cuidadosa observação porque muitos sintomas de ataque de doenças, pragas e viroses, assim como, fatores climáticos, são muito parecidos com aqueles decorrentes de deficiência nutricional. Assim, em um sistema hidropônico, onde todas as plantas compartilham da mesma solução nutritiva, se o problema não for generalizado, geralmente, não é de origem nutricional. Outro aspecto identificado pelos autores refere-se à diferença de coloração entre as folhas novas e velhas já que, como já mencionado, a mobilidade (redistribuição) dos nutrientes dentro do tecido vegetal difere. Se a deficiência está relacionada a um nutriente móvel, sob condições de carência, esse nutriente migra das folhas velhas para as mais novas; portanto, os sintomas acabam surgindo nas folhas mais velhas. Naqueles nutrientes de baixa mobilidade, os sintomas de carência ocorrem nas folhas mais novas e extremidades (meristemas apicais). Essa relação entre a mobilidade dos nutrientes no tecido vegetal e os sintomas de deficiência nutricional é apresentada na Tabela 3.7.

TABELA 3.7 – Redistribuição de nutrientes e localização dos sintomas visuais de carência

Nutrientes	Redistribuição	Localização dos sintomas visuais
N, P, K, Mg, S, Cl e Ni	Móveis	Folhas velhas
Zn, Fe, Mn, Cu e Mo	Intermediários	Folhas novas
B e Ca	Imóveis	Folhas novas e extremidades

Fonte: Adaptado de Faquin *et al.* (1996) e Marengo & Lopes (2009)

Para concluir o diagnóstico visual também deve ser verificado se há simetria nos sintomas, ou seja, se uma folha, nova ou velha, mostrar um sintoma, a oposta ou mais próxima também deverá fazê-lo para caracterizar deficiência nutricional (Faquin *et al.*, 1996).

✓ Diagnose foliar

A diagnose foliar consiste em avaliar os teores foliares dos nutrientes em determinada fase de crescimento e comparar com padrão descrito em literatura (Faquin *et al.*, 1996).

3.9.2 Soluções nutritivas

3.9.2.1 Aspectos gerais

Não existe uma solução nutritiva ideal para todas as culturas, já que a composição pode variar em função de vários fatores, tais como: espécie de planta a ser cultivada, idade da planta, época do ano (duração do período da luz), fatores ambientais (temperatura, luminosidade, umidade), parte colhida, entre outros (Faquin *et al.*, 1996). Na Tabela 3.8 é apresentada uma ideia da diversidade de concentrações de nutrientes encontradas em diferentes propostas de soluções.

TABELA 3.8 – Faixas de concentração de nutrientes usadas em soluções nutritivas

Macronutrientes	Peso Atômico	Faixa (mg L ⁻¹)	Micronutrientes	Peso atômico	Faixa (mg L ⁻¹)
N	14,00	100 – 300	B	10,82	0,50 – 1,00
P	30,97	35 – 70	Cu	63,54	0,02 – 0,10
K	39,10	200 – 400	Fe	55,85	2,00 – 10,00
Ca	40,08	150 – 400	Mn	54,94	0,50 – 1,00
Mg	24,32	40 – 80	Mo	95,95	0,01 – 0,05
S	32,06	40 – 80	Zn	65,37	0,05 – 0,10
			Cl	35,45	–

Fonte: Bernardes & Carmello (1996) *apud* Faquin *et al.* (1996)

3.9.2.2 Principais cuidados no cultivo em solução nutritiva

Oliveira *et al.* (1991) recomendam que, para conduzir experimentos em solução nutritiva, é essencial atentar para os seguintes aspectos práticos:

- Luz: deve-se evitar ou, pelo menos, minimizar a entrada de luz nas soluções nutritivas para prevenir o crescimento de algas (gênero *Chlorella*), que podem alterar marcadamente os teores e as formas dos nutrientes em solução.
- Arejamento: o fornecimento de ar e, por decorrência, de oxigênio, para as soluções nos vasos é um aspecto da mais alta importância considerando-se para a maioria das plantas e

também as alterações que podem ocorrer nas formas iônicas de alguns nutrientes sob condições de redução como: $\text{Fe}^{+3} \rightarrow \text{Fe}^{+2}$, $\text{Mn}^{+4} \rightarrow \text{Mn}^{+2}$. De modo geral, recomenda-se que arejamento seja o mais contínuo e uniforme possível.

- (c) pH: a faixa a ser adotada, bem como a necessidade de ajustes de pH, dependem de vários fatores como o tipo de estudo, tamanho das plantas, volume da solução e periodicidade de renovação (troca) da solução.

Complementando, Furlani *et al.* (1999) apresentam informações adicionais sobre pH, a saber:

- ✓ Grande parte das soluções nutritivas não tem capacidade tampão, dessa forma, o pH varia continuamente, não se mantendo dentro de uma faixa ideal. Variações na faixa de 4,5 a 7,5 são toleradas, sem problemas ao crescimento das plantas. No entanto, valores abaixo de 4,0 afetam a integridade das membranas celulares e quando os valores superam os 6,5, deve-se ter atenção redobrada com possíveis sintomas de deficiência de Fe, P, B e Mn.
 - ✓ As variações de pH observados nas soluções nutritivas são reflexos da absorção diferenciada de cátions e ânions. Exemplificando, quando o N é fornecido na forma nítrica, a absorção de ânions é maior que de cátions ocorrendo a elevação do pH. Por essa razão, recomenda-se o fornecimento de parte do nitrogênio também na forma amoniacal (NH_4^+), tornando a solução mais tamponada. É mais conveniente manter a solução nutritiva equilibrada em cátions e ânions para atender a demanda da planta, que tentar manter o pH em uma faixa estreita de valores por meio da adição de ácidos (sulfúrico, fosfórico, nítrico ou clorídrico) ou bases (hidróxido de sódio, de potássio ou de amônio) fortes para controlar o esse parâmetro durante o seu crescimento.
- (d) Tamanho do vaso: a escolha do tamanho (capacidade) dos vasos envolve aspectos associados ao ritmo de crescimento esperado, ao número de plantas por vaso, à faixa de pH adotada, entre outros. Em geral, são utilizados recipientes com capacidade de um a dez litros.
- (e) Fixação das plantas: elas devem afixadas às tampas dos vasos sem sofrer compressão (estrangulamento) na região do coleto; por isso, são recomendadas rolhas de isopor, esponjas e outros materiais flexíveis, como exemplo mostrado na Figura 3.22. Além disso, deve-se evitar que esses materiais entrem em contato com a solução dos vasos para impedir o acúmulo de sais na região do coleto das plantas.

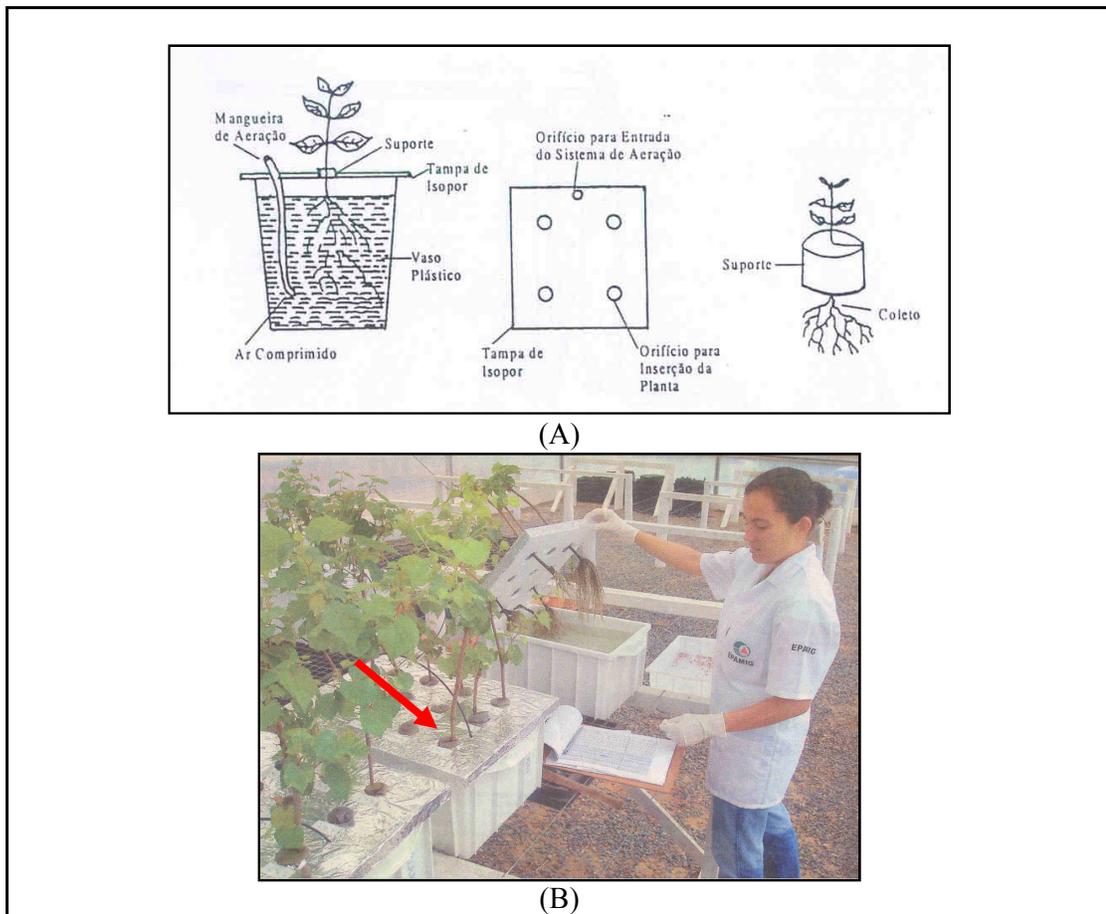


FIGURA 3.22 – Fixação de plantas: (A) desenho esquemático; (B) montagem EPAMIG

Fonte: (A) Martinez (2002); (B) Ajub (2011)

- (f) Força da solução: em geral, força ou concentração da solução deve ser gradativamente aumentada com o estágio de crescimento: de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ força após o transplântio para 1 força (concentração de base normal da solução).
- (g) Qualidade da água: vários autores adotaram água deionizada para trabalhos com micronutrientes com bons resultados (Fontes (1986) *apud* Oliveira *et al.* (1991)).
- (h) Volume por planta: na Tabela 3.9 são apresentados os limites mínimos recomendados por Furlani *et al.* (1999) necessários ao dimensionamento hidráulico de um sistema hidropônico do tipo NFT. Segundo os mesmos autores, o dimensionamento hidráulico de sistemas hidropônicos tipo DFT ou *Floating* obedecem às mesmas regras do sistema NFT.

TABELA 3.9 – Volume de solução nutritiva (mínimo por planta)

Tipo de planta	Volume mínimo (litros por planta)
Mudas	0,1 – 0,25
Plantas de pequeno porte (rúcula, almeirão)	0,25 – 0,5
Plantas de porte médio (alface, salsa, cebolinha, agrião, manjericão, morango, cravo, crisântemo)	0,5 – 1,0
Plantas de maior porte (tomate, pepino, melão, pimentão, berinjela, couve, salsão etc)	1,0 – 5,0

Fonte: Adaptado de Furlani *et al.* (1999)

- (i) Preparo de soluções nutritivas: para a obtenção das soluções nutritivas propriamente ditas, inicialmente são preparadas as soluções estoque, ou seja, soluções concentradas a partir das quais, mediante a tomada de alíquotas, são preparadas as soluções nutritivas. Segundo Oliveira *et al.* (1991), em se tratando de experimentos sobre nutrição de plantas, no preparo da solução nutritiva devem-se empregar fontes de nutriente de elevada pureza química, em geral, sais puros para análise (P.A.) para evitar a introdução de contaminantes nas soluções. Porém, os autores afirmam que, dada às elevadas concentrações nas soluções nutritivas, é mais importante atentar para o grau de pureza das fontes de macronutrientes que as de micronutrientes. Além dos produtos químicos usados, outras fontes potenciais de contaminação são: a água, os recipientes e outros materiais empregados no preparo de soluções. Por isso, recomenda-se o uso de água deionizada e evitar o emprego de recipientes plásticos de polietileno colorido ou de PVC, bem como utensílios de borracha, fonte potencial de contaminação com zinco.
- (j) Reposição de nutrientes e renovação completa da solução nutritiva: a maneira mais correta de avaliar a necessidade de reposição de nutrientes seria a análise química periódica da solução nutritiva; entretanto, apresenta o inconveniente da demora na obtenção dos resultados e no custo das análises. Na prática, para a alface, a CE recomendada está entre 2,0 e 2,5 mS cm⁻¹; se o valor medido estiver abaixo dessa faixa, deve-se adicionar mais sais e, quando acima, deve-se diluir a solução, adicionando mais água. Já a renovação completa da solução tem sido recomendada entre 30 e 60 dias, principalmente, em virtude do desbalanceamento dos nutrientes e pela proliferação de algas (Faquin *et al.*, 1996).

3.9.2.3 Tipos de soluções nutritivas

De acordo com os fatores a serem estudados e com o objetivo do experimento, deve-se proceder a escolha da solução nutritiva a ser empregada. Oliveira *et al.* (1991) recomendam que, para plantas adaptadas ou selecionadas em solos de baixa fertilidade é preferível usar soluções mais fracas.

Furlani *et al.* (1999) relatam que, em literatura, já foram propostas diversas soluções nutritivas, sendo que, em alguns casos, há diferenças marcantes entre elas com relação às concentrações de macronutrientes, mas menores quando se trata de micronutrientes. Na Tabela 3.10 são apresentadas algumas das soluções mais usuais encontradas na literatura internacional com suas respectivas composições químicas.

TABELA 3.10 – Composição de algumas soluções nutritivas usadas em estudos

Nutriente	Solução			
	Hoagland ¹	Johnson ²	Andrew ³	Clark ⁴
Macronutriente	mmol L ⁻¹	mmol L ⁻¹	mmol L ⁻¹	mmol L ⁻¹
N-NO ₃ ⁻	14,0	14,0	2	7,26
N-NH ₄ ⁻	1,0	2,0	-	0,90
P	1,0	2,0	0,07	0,07
K	6,0	6,0	1,10	1,80
Ca	4,0	4,0	1,00	2,60
Mg	2,0	1,0	0,50	0,60
S	2,0	1,0	1,50	0,50
Micronutrientes	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹
Mn	9,1	5,0	4,6	7,0
Zn	0,8	2,0	0,8	2,0
Cu	0,3	0,5	0,3	0,5
B	46,3	25,0	46,3	19,0
Mo	0,1	0,1	0,1	0,6
Fe	32	40,0	17,9	38,0
Cl	-	50,0	-	-

¹ Hoagland & Arnon (Hewitt, 1966)

² Johnson *et al.* (1957)

³ Andrew *et al.* (1973). Trabalhos recentes com solução de Andrew têm usado a relação N-NO₃⁻/N-NH₄⁻ em torno de 50%

⁴ Clark (1975)

Fonte: Adaptado de Oliveira *et al.* (1991)

Apesar da grande disseminação da técnica hidropônica em todo o mundo, inclusive no Brasil onde é empregada em praticamente todos os estados brasileiros, principalmente no cultivo da

alface, pouco se sabe sobre as adaptações dos diversos cultivares disponíveis comercialmente às diferentes soluções nutritivas propostas (Schmidt *et al.*, 2001).

Em trabalhos realizados no Brasil, Ohse *et al.* (2001) estudaram o cultivo de seis diferentes cultivares de alface e quatro diferentes soluções nutritivas: Ueda (*apud* Ueda, 1990), Furlani (*apud* Furlani, 1995), Castellane-Araújo (*apud* Castellane & Araújo, 1995) e Bernardes (*apud* Bernardes, 1997) . Na Tabela 3.11 são mostradas as composições químicas das soluções nutritivas empregadas nesse experimento, tendo sido fornecido um volume de 2,38 litros de solução por planta em um sistema hidropônico NFT.

TABELA 3.11 – Composição química das soluções nutritivas estudadas em Santa Maria, RS, 1998

Componente	Solução			
	Ueda	Castellane - Araújo	Furlani ¹	Bernardes
(g 1000 L ⁻¹ de água)				
Ca(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	125	950	1000	1200
MAP ³	-	-	150	-
DAP ⁴	30	-	-	-
H ₂ PO ₄	-	-	-	150
KH ₂ PO ₄	-	272	-	136,1
KCl	-	-	150	250
KNO ₃	200	900	600	260
MgSO ₄ .7H ₂ O	60	246	250	500
MnCl ₂ .H ₂ O	-	-	2,34	-
MnSO ₄ .H ₂ O	2,00	1,70	-	1,55
ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,05	1,15	0,88	0,22
CuSO ₄ .5H ₂ O	0,03	0,19	0,20	0,08
H ₃ BO ₃	3,00	2,85	2,04	2,86
Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0,05	0,12	0,26	0,03
Fe-EDTA ²	1000mL	1000mL	500mL	1000mL

¹ Os micronutrientes da solução nutritiva sugerida por FURLANI (1995) foram fornecidos na forma de solução concentrada, obtida através da dissolução separada dos sais em 100 mL de água. Após a dissolução completa dos sais, misturou-se e completou-se o volume para 1000 mL.

² Nas soluções sugeridas por Castellane & Araújo, Furlani e Ueda foi utilizado o Fe-EDTA como fonte de ferro, obtido pela dissolução de 24,1 g de FeSO₄.7H₂O em 400 mL de água e 25,1 g de Na-EDTA em 400 mL de água quente (80°C), misturando-se as duas soluções frias, completando o volume para 1 litro e borbulhando ar por 12 horas, no escuro. Para a solução sugerida por Bernardes, procedeu-se a mesma operação, utilizando-se, no entanto, 24,9 g de FeSO₄.7H₂O e 26,1 de Na-EDTA.

³ Mono-Amônio-Fosfato (MAP): Fertilizante formado a partir da reação de uma molécula de amônia com uma de ácido fosfórico. Possui na sua constituição entre 10% a 12% de N e 50% a 52% de P₂O₅ (MULTIFÉRTIL, 2011).

⁴ Di-Amônio-Fosfato (DAP): O DAP é obtido através da reação de duas moléculas de amônia com uma de ácido fosfórico. A concentração deste fertilizante é de 18% de N e 46% de P₂O₅ (MULTIFÉRTIL, 2011).

Fonte: Ohse *et al.* (2001)

Percebe-se que a Solução Ueda apresenta grande diferença na concentração de macronutrientes (principalmente) em relação às demais para o cultivo da mesma espécie (alface).

Em outro experimento, conduzido por Schmidt *et al.* (2001), foram testados seis diferentes cultivares de alface e sete soluções nutritivas distintas: Castellane-Áraujo (*apud* Castellane & Araújo, 1995), Furlani (*apud* Furlani, 1995) e Bernardes (*apud* Bernardes, 1997) preparadas em sua formulação completa (100%) e com metade da concentração dos nutrientes (50%) e a solução nutritiva proposta por Ueda (*apud* Ueda, 1990) apenas na formulação completa (100%) por apresentar baixa concentração de sais.

Semanalmente foram efetuadas leituras de CE e a diferença de evolução entre as diferentes soluções nutritivas, observada durante um período de monitoramento de três semanas, é mostrada na Figura 3.23.

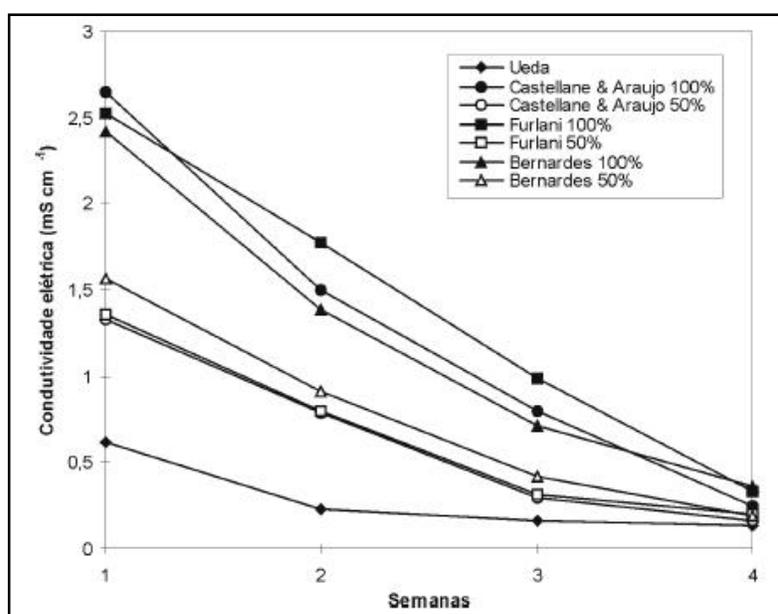


FIGURA 3.23 – Condutividade elétrica de sete soluções nutritivas. Santa Maria, UFSM, 1998

Fonte: Schmidt *et al.* (2001)

A diferença percebida entre as soluções nutritivas é marcante, já que, passada uma semana, a solução Ueda (diluída) encontra-se praticamente exaurida, enquanto as demais apresentaram condutividades semelhantes apenas a partir do final da 2ª semana.

Os autores consideraram que, do ponto de vista comercial, as soluções não diluídas propostas por Castellane & Araújo (1995) e Furlani (1995) apresentaram maiores produtividades. Entre as três soluções diluídas, a proposta por Castellane & Araújo (1995), apresentou pequena superioridade e diferiu estatisticamente de Bernardes (1997) e Furlani (1995), enquanto a

solução de Ueda (1990) mostrou menor eficiência, apresentando produtividade mais baixa e de pior qualidade.

3.9.3 Hidroponia em condições salinizadas

No Brasil, são poucos os trabalhos cujo objeto de estudo é o cultivo hidropônico utilizando águas salinas. Como a salinidade tolerada pelas culturas em cultivo hidropônico pode ser maior que no cultivo convencional em solos, considera-se que, o aproveitamento de águas salinas deveria ser preferencialmente praticado em culturas tolerantes e de ciclo curto, de maneira a reduzir os possíveis efeitos prejudiciais à produção (Soares *et al.*, 2007).

A salinidade tolerada pelas culturas em cultivos hidropônicos pode ser maior que no cultivo convencional em solos, já que na hidroponia, pode não existir o potencial mátrico (disponibilidade da água determinada pela matriz do solo, pois a capilaridade e a adsorção produzem uma tensão da água no solo (Marengo & Lopes, 2009)). Enquanto a tensão da água no solo aumenta entre uma irrigação e a próxima a ser realizada, no cultivo hidropônico (em água) a tensão tende à zero, pois o meio é saturado com água. Portanto, forças de adesão e retenção não se estabelecem porque os eventos de irrigação se sucedem com grande frequência, como no caso do sistema NFT, de 15 em 15 minutos (Zanella *et al.* (2008) *apud* SOARES *et al.* (2010)).

Dentre os trabalhos sobre cultivo hidropônico com o uso de águas salobras, destacam-se os apresentados resumidamente na Tabela 3.12.

TABELA 3.12 – Estudos sobre cultivo hidropônico com o uso de água salobra

Referência bibliográfica	Detalhamento do experimento	Conclusões	
Soares <i>et al.</i> (2010)	✓ Espécie testada: alface (cultivar 'Verônica')	✓ Os dois tipos de combinação de águas doces e salobra não resultaram em sintomas deletérios de toxidez ou deficiência mineral que pudessem ser atribuídos à salinidade, sendo que, toda massa de matéria fresca produzida, foi avaliada como produção comercial.	
	✓ Sistema hidropônico: NFT		
	✓ Colheita após 25 dias de transplantio		
	✓ Experimento I: soluções nutritivas preparadas a partir de águas salobras e reposição do volume evaporotranspirado com água doce. CE testadas (dS m ⁻¹): 2,09 (controle – sem adição de NaCl); 3,03; 4,01; 4,97; 6,86 e 8,67.	✓ As plantas produzidas no Experimento I apresentaram nanismo e maior intensidade na coloração verde-escuro e no aspecto coriáceo com o aumento da salinidade. Já aquelas do Experimento II, apresentaram porte semelhante ao das plantas-controle.	
	✓ Experimento II: soluções nutritivas preparadas com água doce e uso de água salobra para reposição da evapotranspiração. CE testada (dS m ⁻¹): 2,09 (controle – sem adição de NaCl).		
	✓ Espécie testada: melão	✓ Ao se combinar águas doces e salobra na produção hidropônica de alface, poderá ser mais produtivo optar pelo uso da água doce no preparo da solução nutritiva e pela água salobra como volume de reposição.	
	✓ Sistema hidropônico: com substrato (fibra de coco)		
	✓ Colheita após 62 dias de transplantio		
	Dias <i>et al.</i> (2010)	✓ As águas utilizadas no preparo das soluções nutritivas continham rejeito de dessalinização, diluído ou não, com água de abastecimento (D1 (água de abastecimento), D2 (25% água de rejeito + 75% água de abastecimento), D3 (50% água de rejeito + 50% água de abastecimento), D4 (75% água de rejeito + 25% água de abastecimento) e D5 (água de rejeito)). Após da adição dos fertilizantes, as soluções nutritivas apresentavam CE iguais a 2,1; 3,6; 4,9; 6,0 e 7,0 (dS m ⁻¹), respectivamente.	✓ O incremento da água de rejeito salino no preparo da solução nutritiva reduz linearmente o crescimento e a produção do melão cultivado em fibra de coco a partir de CEs de 2,48 e 1,66 dS m ⁻¹ para a matéria seca da parte aérea e o peso médio de frutos, respectivamente. ✓ Entre as variáveis analisadas, o peso médio dos frutos e a área foliar são mais afetados pelos efeitos da salinidade da solução nutritiva; porém, concluíram que a água de rejeito da dessalinização, diluída ou não com água de abastecimento, pode ser utilizada no cultivo de melão em sistema hidropônico com reduções perdas no rendimento dos frutos, liberando assim o uso de águas de boa qualidade para outros fins.
		✓ Espécie testada: forragem hidropônica de milho	
✓ Sistema hidropônico: NFT			
✓ Colheita após 15 dias de transplantio			
Amorim <i>et al.</i> (2010)	✓ Quatro tipos de água com diferentes concentrações de sais foram empregadas: água dessalinizada (0,081 dS m ⁻¹), água de abastecimento urbano de Campina Grande, PB (0,8 dS m ⁻¹), poço amazons (poço raso escavado) do município de Alagoa Nova, PB, com condutividade elétrica de 3,5 dS m ⁻¹ e água do poço tubular do município de Soledade, PB, com condutividade elétrica de 6,5 dS m ⁻¹ .	✓ Os valores de proteína encontrados em todos os tratamentos foram superiores a 7%, considerado como o mínimo a ser apresentado por uma forrageira para proporcionar bom funcionamento dos processos fisiológicos (Viega & Camarão (1994) e Campos (1995) <i>apud</i> Amorim <i>et al.</i> (2005)). ✓ Apesar da produção média e da altura da forragem hidropônica de milho terem diminuído com o aumento da salinidade da água e da sua composição química ter sido afetada com a salinidade 6,5 dS m ⁻¹ , seu cultivo com baixo consumo de água e bom valor protéico poderia contribuir de maneira significativa para o aumento da produção e da produtividade do rebanho, principalmente em regiões com restrições de água, como é o caso do Nordeste brasileiro.	

3.10 Aquaponia

3.10.1 Considerações gerais

Aquaponia é um sistema integrado que associa aquacultura e produção hidropônica de vegetais, flores e ervas. Em virtude de inovações surgidas a partir dos anos 80, vem ganhando força como modelo de produção sustentável de alimentos em diversos países já que possibilita a produção de vegetais e proteína animal (peixes e frutos do mar) em regiões áridas e com limitada disponibilidade de água. Baseia-se nos seguintes princípios: (1) os produtos descartados por um sistema biológico servem como nutrientes para um segundo sistema biológico; (2) a integração de peixes e plantas resulta em uma policultura, aumentando a diversidade e produzindo múltiplos produtos; (3) a água é reaproveitada por meio de filtração biológica e recirculação e; (4) a produção local promove o acesso a alimentos saudáveis e fortalece a economia local (*National Sustainable Agriculture Information Service (ATTRA)*, 2006).

Além de peixes e frutos do mar, a aquacultura também produz plantas aquáticas (algas) em águas marinhas e salobras. Poucos países dedicam-se a esse tipo de cultivo, a saber: China (58,4%, 11.1 milhões de toneladas); Indonésia (20,6%, 3.9 milhões de toneladas); Filipinas (9,5%, 1.8 milhões de toneladas); Coréia do Sul (4,7%, 901.700 toneladas); Coréia do Norte (2,3%, 444.300 toneladas); Japão (2,3%, 432.800 toneladas), Malásia (1,1%, 207.900 toneladas) e Tanzânia (0,7%, 132.000 toneladas) (FAO, 2012). As algas cultivadas podem ser consumidas como alimento (cruas, cozidas ou processadas) ou empregadas na composição de cosméticos e produtos farmacêuticos, na forma de agar-agar, carragena e alginatos (Neori *et al.*, 2004).

3.10.2 Perspectiva histórica

Em meio século, a aquacultura passou de quase insignificante para uma produção compatível ao da pesca de captura (Figura 3.24(A)), sendo praticada em águas marinhas, salobras e doces (Figura 3.24(B)) e produzindo grandes quantidades de matéria orgânica e outros nutrientes (nitrogênio, fósforo e outros elementos) que requerem tratamento ou disposição (FAO, 2012; Ghaly *et al.*, 2005).

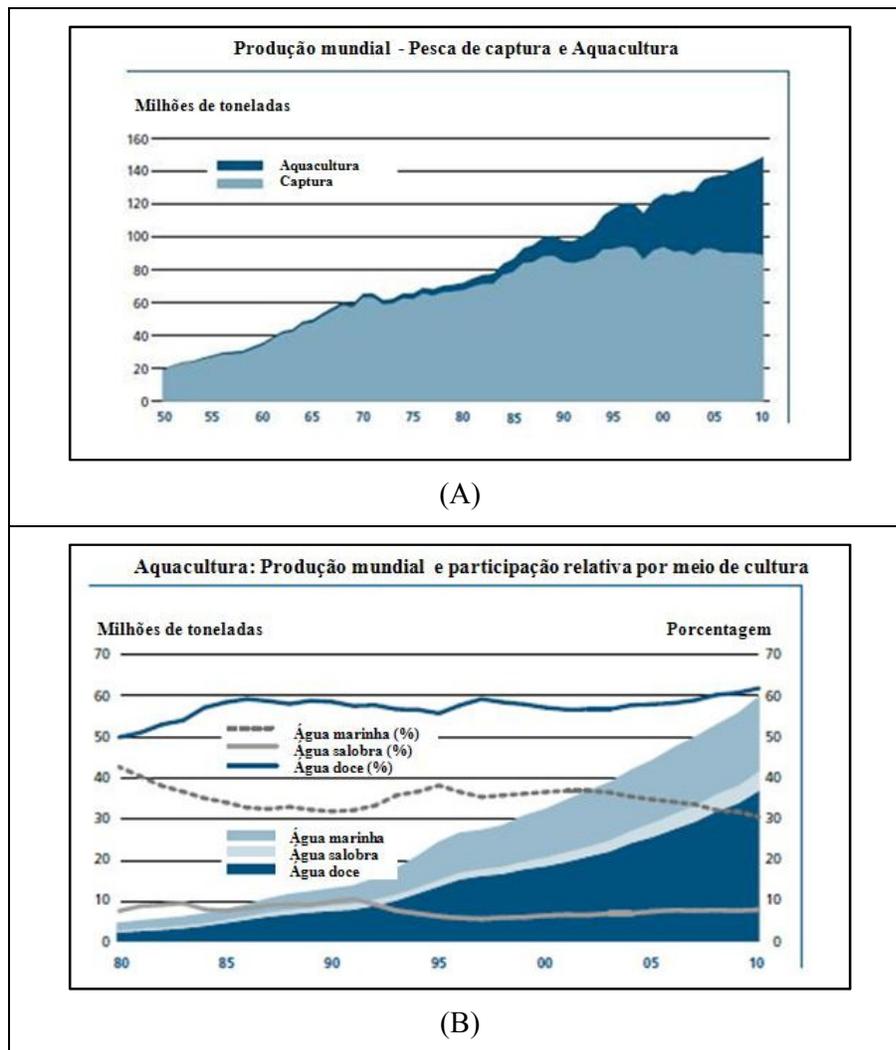


FIGURA 3.24 – Visão geral: (A) Produção mundial (Pesca de captura e Aquicultura); (B) Aquicultura: produção mundial de aquicultura e participação relativa por meio de cultura

Fonte: FAO (2012)

Há muito tempo, os países asiáticos usam práticas integradas de aquicultura e agricultura com propósitos de subsistência; porém, essas práticas têm sido constantemente desenvolvidas para produção comercial tanto na Ásia como em diversos países ocidentais. Em Israel, essa integração encontra-se muito desenvolvida, incorporando aquicultura diversificada e operações de horticultura irrigada em escala industrial. Na Austrália, o desenvolvimento dessa integração é relativamente recente, e tem como modelo, a experiência israelense. Do ponto de vista australiano, as vantagens dessa integração incluem: (1) aumento da produtividade e da lucratividade da produção agrícola sem acréscimo no consumo de água; (2) diversificação

agrícola com a produção de culturas de alto valor, incluindo espécies aquáticas; (3) reuso de recursos que de outra forma seriam desperdiçados (captura e reuso de nutrientes, água salina etc); (4) redução de impactos ambientais de práticas de agrícolas semi-intensivas e; (5) benefícios econômicos decorrentes do melhor aproveitamento dos custos de operação e de capital (*Rural Industries Research & Development Corporation (RIRDC)*, 2003). Nos Estados Unidos, diversos modelos foram desenvolvidos, destacando-se: *The North Carolina State University System*, *The Speraneo System*, *The University of the Virgin Islands System*, *The Cabbage Hill Farm System*, *The New Alchemy Institute*, dentre outros (ATTRA, 2006).

3.10.3 Sistemas aquapônicos

Há grande diversidade de sistemas integrando aquacultura e cultivo hidropônico. Basicamente, há modelos que dispõem de filtros intermediários (Figura 3.25(A)) e outros em que o efluente gerado pela aquacultura pode ser disposto diretamente sobre um leito de cultivo hidropônico (Figura 3.25(B)) (ATTRA, 2006).

Essas duas abordagens práticas em relação ao tratamento de efluentes e a mitigação dos impactos ambientais gerados pela aquacultura moderna (água doce e marinha) produzem efeitos diferentes. Os biofiltros bacterianos são desassimiladores, uma vez que, por meio de processos oxidativos e redutores, transformam poluentes em gases inofensivos (N_2 e CO_2), permitindo efetiva e significativa recirculação da água na aquacultura (Neori *et al.*, 2004; Van Rijn, 1996). Já a biofiltração por plantas, tais como algas (cultivo mais empregado em sistemas integrados mais complexos), é assimiladora, pois emprega energia solar e o excesso de nutrientes (particularmente C, N e P) para produzir nova biomassa, adequada para nutrir vários crustáceos, incluindo moluscos bivalves, haliote (concha de madrepérola), camarão de água salgada e ouriços do mar (Neori *et al.*, 2004; Wikfors & Ono, 2001). A integração da cultura de plantas e herbívoros com peixes e camarões, apesar de sua maior complexidade, consegue associar organismos a serem alimentados (principalmente peixes carnívoros e camarões) e espécies extrativas. As duas espécies extrativas economicamente importantes são moluscos bivalves e algas marinhas; enquanto os moluscos bivalves (mexilhões, ostras e mariscos) sobrevivem filtrando e degradando partículas orgânicas suspensas (ração não consumida, fitoplâncton e bactérias), as algas utilizam a energia solar para produzir biomassa a partir da assimilação de nutrientes inorgânicos dissolvidos na água. Portanto, se apropriadamente cultivados, esses dois tipos de organismos podem transformar nutrientes

poluentes em culturas comerciais e tratar eficientemente os efluentes gerados (Neori *et al.*, 2004).

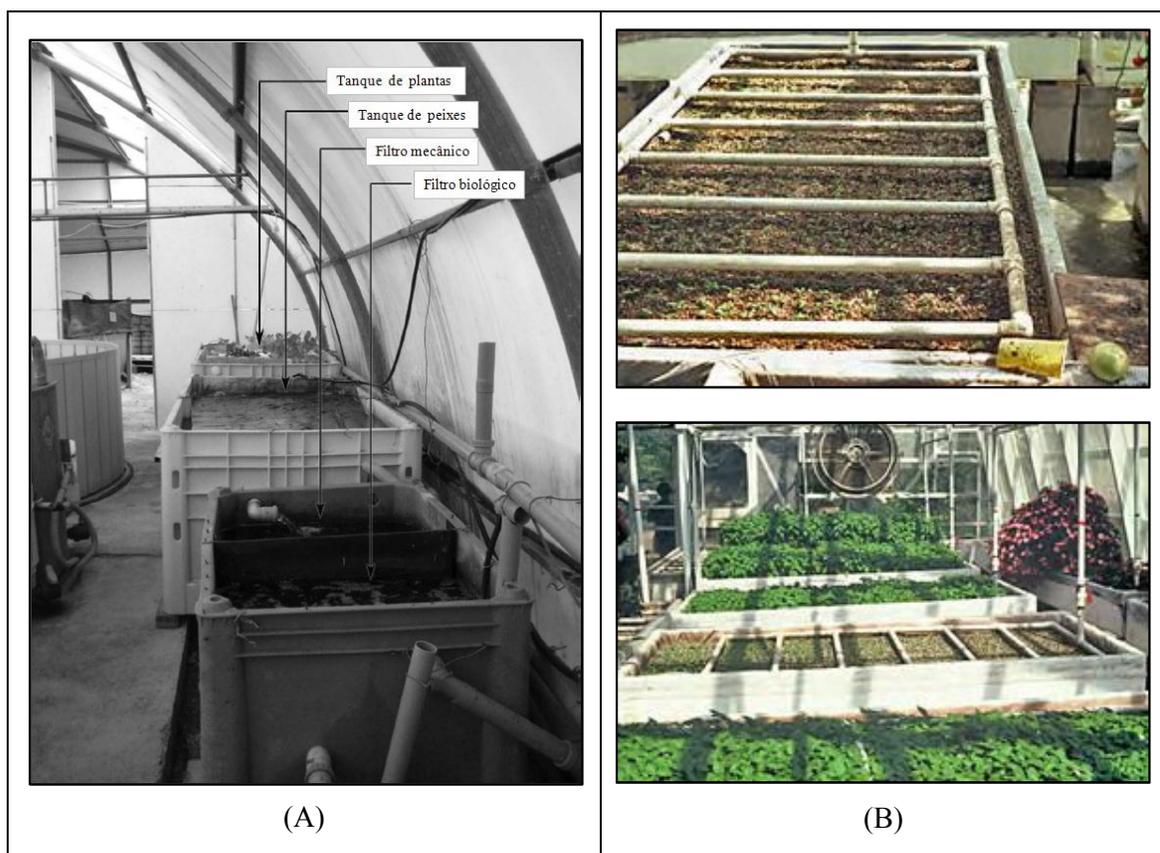


FIGURA 3.25 – Aquacultura: (A) Sistema com filtros; (B) Sistema com disposição direta de efluente

Fontes: Kotzen & Appelbaum (2010); ATTRA (2006)

3.10.4 Aquaponia em condições salinas

A aquacultura integrada pode empregar águas de todas as salinidades, apesar da maior evolução dessa tecnologia estar ocorrendo com o uso de águas doces (Neori *et al.*, 2004). Brown *et al.* (1999), Ghaly *et al.* (2005), Chung (2006), Masters *et al.* (2007), Webb *et al.* (2012) descrevem o uso de diversas espécies vegetais utilizadas no tratamento de efluentes salinos gerados, entre outras origens, pela aquacultura.

3.10.4.1 Sistema integrado – a experiência israelense

Dentre os países com experiência na integração da aquacultura com cultivo hidropônico em condições salinas, Israel destaca-se no cenário mundial, em virtude do seu clima (região

semiárida) e da sua conhecida escassez de água superficial. Climaticamente, seu território pode ser dividido em duas regiões: (1) Região Central-Norte com precipitação anual relativamente alta (> 800 mm) e; (2) Região Sul: área árida e semiárida (incluindo o Deserto de Negev e o Vale Arava) com precipitação anual muito baixa (< 100 mm). Na região Sul, pratica-se a chamada “aquacultura de deserto”, cujas vantagens (aproveitamento de grandes quantidades de água salobra que poderiam ser parcialmente usadas na agricultura, clima quente e seco, presença de água geotérmica empregada para aquecer estufas durante o inverno, terras pouco valorizadas, isolamento geográfico (quarentena natural), riscos ecológicos mínimos e produção durante todo o ano) têm atraído grandes investimentos nos últimos anos. A produção local é reputada como muito bem sucedida, incluindo melões, alfafa, tomates (*desert sweet tomatoes*, marca comercial desenvolvida em Israel e cultivada em água subterrânea salina), azeitonas e tâmaras (RIRDC, 2003).

No entanto, segundo Neori *et al.* (2004), o estado da arte em sistemas integrados salinos é a empresa *SeaOr Marine Interprises* (Figuras 3.26(A) e (B)), localizada na costa mediterrânea israelense, cuja produção inclui peixe marinho (*giltead seabream*), algas (*Ulva* e *Gracilaria*) e haliote japonês (*japanese abalone*). É o modelo que melhor utiliza as vantagens locais, reciclando os nutrientes excretados pelos peixes na produção de biomassa (algas marinhas) que, posteriormente, é utilizada na alimentação dos moluscos bivalves (*japanese abalone*). Dessa forma, ao mesmo tempo em que ocorre o aproveitamento de nutrientes, o sistema promove tratamento eficiente dos efluentes gerados, permitindo a recirculação da água para os tanques de peixes, o atendimento da legislação específica e a obtenção de permissões e apoio das agências israelenses de proteção ambiental.

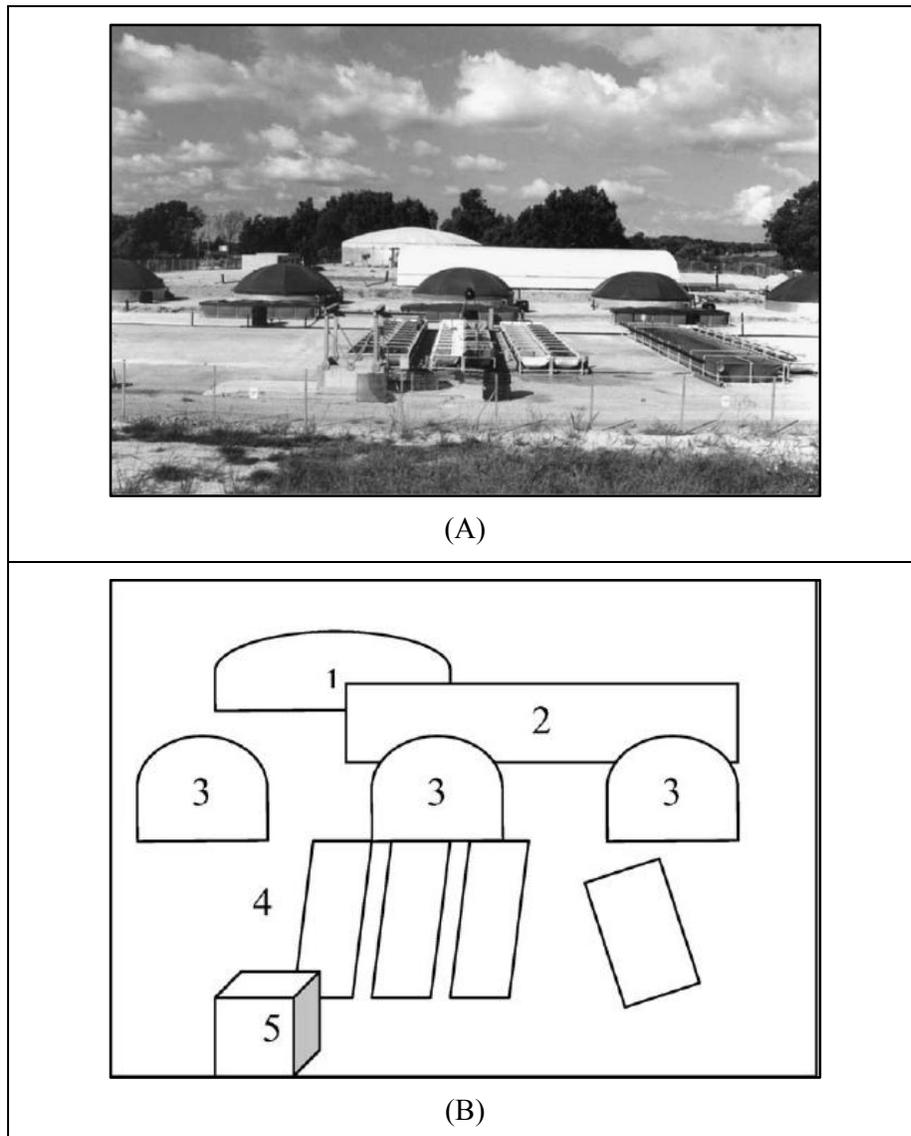


FIGURA 3.26 – Sistema integrado: (A) *The SeaOr Marine Interprises* (Mikhmoret/Israel); (B) Esquema do empreendimento: (1) reservatório de água; (2) instalação para cultura do molusco bivalve (japanese abalone); (3) tanques de peixes; (4) tanques de algas marinhas; e (5) coletor de efluente e colheita de algas

3.10.4.2 Sistema integrado – a experiência brasileira

Como apresentado no item 3.2.2, o Programa Água Doce conduzido pelo Governo Federal propõe um sistema integrado, baseado no aproveitamento do rejeito produzido pela dessalinização da água subterrânea salobra na aquicultura e, posteriormente, na irrigação de plantas capazes de absorver grande quantidade de sal, como a erva sal (*Atriplex nummularia*), apropriada para a alimentação de caprinos e ovinos. Porém, em Minas Gerais, a implantação do PAD é marcada por ações pouco articuladas, tendo sido proposta a realização de um

estudo minucioso, não apenas sobre poços e dessalinizadores, mas também sobre a caracterização das fontes hídricas, o perfil socioeconômico e organizativo das comunidades rurais, os recursos institucionais instalados, as características do solo e das propriedades, bem como a disposição da população e das instituições de aderir ao Programa (IGAM, 2009).

No âmbito da iniciativa privada, destaca-se o cultivo de camarões que, desde 1995, tornou-se a atividade de aquacultura mais importante no Brasil. As fazendas de camarão estão concentradas no nordeste brasileiro, localizando-se nas proximidades de estuários e manguezais e alcançando quase 90% da produção nacional; porém, têm contribuído para o aumento da crescente eutrofização e desbalanceamento ecológico nas áreas costeiras (Marinho-Soriano, 2007). Apesar do rápido desenvolvimento dessa atividade econômica, até 2002, não havia cultivo comercial associado de algas marinhas para minimizar os efeitos negativos gerados (Marinho-Soriano, 2002). Porém, considerando as vantagens ambientais e econômicas do cultivo integrado de camarões e algas marinhas, Marinho-Soriano *et al.* (2009) conduziram um estudo sobre o cultivo da alga *Gracilaria caudata* J. Agardh em uma fazenda de camarões no Rio Grande do Norte e concluíram que essa associação poderia ser alternativa viável para reduzir a carga de nutrientes produzida, ressaltando a necessidade de estudos de viabilidade econômica.

Também se pode mencionar que, desde os anos 80, a FAO tem promovido diversos projetos de pequena escala visando favorecer o desenvolvimento da aquacultura no Brasil e promover oportunidades de crescimento da produção em comunidades costeiras. Assim, no início dos anos 90, foi observado grande desenvolvimento da produção de mexilhões no Estado de Santa Catarina. Posteriormente, em 2001, o Governo brasileiro iniciou um projeto de cooperação técnica com a FAO (TCP/BRA/0065) para o desenvolvimento do cultivo de algas marinhas no nordeste, nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba. Essa intervenção no nordeste brasileiro deveu-se ao fato de existir, na Paraíba, uma empresa de processamento de algas marinhas (Agar Brasileiro Indústria e Comércio Ltda.) utilizando material coletado de bancos naturais por mulheres de comunidades costeiras. Como havia superexploração desses recursos, a introdução da cultura de algas marinhas visava preservar a reserva natural e aumentar os rendimentos das populações locais. A primeira fase desse projeto foi concluída em 2003 e demonstrou a viabilidade técnica e financeira da cultura da alga marinha *Gracilaria sp.*, uma vez que o produto cultivado apresentou excelente qualidade, resultando em um aumento de cinco vezes no preço pago pelas indústrias de processamento em relação

ao produto obtido dos bancos naturais. Dando continuidade, em 2006, outro projeto seria iniciado visando: (1) consolidação da cultura da alga *Gracilaria*; (2) diversificação da maricultura; (3) desenvolvimento de projetos-piloto com gerenciamento compartilhado de recursos marinhos e; (4) estabelecimento e organização de comitês interinstitucionais (FAO, 2005).

Portanto, aparentemente, o Brasil ainda não dispõe de experiência e tecnologia consolidada e adaptada às suas especificidades, de maneira a operar eficientemente sistemas integrados como já acontece em diversos outros países.

4 METODOLOGIA

A consecução deste projeto envolveu a execução de quatro etapas, a saber: (1) coleta de dados/informações, (2) testes exploratórios, (3) trabalho experimental I (comparação entre espécies de plantas) e, (4) trabalho experimental II (aprofundamento da avaliação da espécie escolhida). Os principais materiais e métodos utilizados são descritos a seguir.

4.1 Materiais

Foram empregados recursos de diversas naturezas, tais como instalações, plantas, reagentes e equipamentos durante a realização das atividades desenvolvidas neste projeto.

4.1.1 Instalações

Os experimentos foram conduzidos sob condições protegidas, em casa de vegetação cedida pelo Colégio Técnico – COLTEC, localizada no Campus da UFMG, em Belo Horizonte/MG (19° 52' 19,85" S, 43° 57' 43,63" O e altitude de 812 m). Segundo a classificação Köppen, o clima de Belo Horizonte é do tipo Cwa, ou seja, clima tropical de altitude (chuvas no verão, inverno seco e verão quente).

4.1.2 Plantas escolhidas

Por meio de pesquisa bibliográfica, foram identificadas diversas espécies vegetais com potencial para serem empregadas neste projeto; porém, além da experiência descrita em literatura, a escolha também considerou seu potencial de adequação ao sistema de cultivo hidropônico e sua presença no Estado de Minas Gerais.

4.1.3 Reagentes

As soluções nutritivas escolhidas tomaram como base a solução nutritiva padrão adaptada de Hoagland & Arnon (1938) para macronutrientes e o uso de micronutrientes em formulação comercial. Os principais reagentes utilizados na produção de soluções nutritivas salinizadas estão listados na Tabela 4.1.

TABELA 4.1 – Reagentes usados no preparo de soluções nutritivas

Solução nutritiva	Tipo	Sal empregado
Hoagland	MACRONUTRIENTES	Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O
		KNO ₃
		MgSO ₄ .7H ₂ O
	MICRONUTRIENTES	KH ₂ PO ₄
		Mistura comercial
	FONTE DE SÓDIO	NaCl

Além desses reagentes, no trabalho experimental II foi empregada uma solução de Nistatina (2%) na irrigação das sementes de beldroega, visando evitar a proliferação de fungos durante a germinação.

Também foram utilizados padrões diversos na execução das análises por Cromatografia Iônica e Espectrofotometria de Absorção Atômica.

4.1.4 Equipamentos

Na Tabela 4.2, encontram-se listados os principais equipamentos utilizados com suas respectivas marcas e modelos.

TABELA 4.2 – Principais equipamentos utilizados

Equipamento	Marca	Modelo
Câmara de germinação	FANEM	347 CDG
Micro moinho (tipo Willey)	TECNAL	TE-648
Estufa de secagem e esterilização (circulação mecânica)	FANEM	320-SE
Balança analítica	SHIMADZU	AY220
Condutivímetro	HACH	44 600
pHmetro	HACH	E10
Cromatógrafo iônico	DIONEX	1CS-1000
Espectrofotômetro de absorção atômica	GBC	SensAA dual
Termo-higrômetro digital (Máxima e Mínima)	Incoterm	7663.02.0.00

4.2 Métodos

Os métodos empregados em cada uma das quatro etapas experimentais realizadas são descritos a seguir.

4.2.1 Coleta de dados/informações

Foram reunidas informações sobre águas subterrâneas no Estado de Minas Gerais e espécies vegetais capazes de acumular salinidade em seus tecidos, visando subsidiar a escolha das plantas e a formulação das soluções nutritivas salinizadas a serem empregadas. No caso de informações sobre água subterrânea, a pesquisa envolveu o contato com órgãos públicos de gestão de recursos hídricos e a consulta da literatura disponível. Com relação às espécies vegetais com potencial para serem escolhidas, realizou-se extensa pesquisa de trabalhos, tanto em hidroponia como em tratamento de águas residuárias.

4.2.2 Testes exploratórios

Visando conhecer um pouco sobre algumas espécies vegetais antes de empregá-las no trabalho experimental propriamente dito, foram realizados testes para observar seu comportamento em condições de cultivo hidropônico com a utilização das soluções nutritivas salinizadas escolhidas. Em princípio, não foram realizadas análises físico-químicas, apenas medições de condutividade elétrica e pH e observação e registro de sintomas visuais de estresse, tais como: alterações de cor, murchamento ou enrolamento das bordas das folhas, má formação, nanismo, entre outros.

4.2.3 Trabalho experimental I

O trabalho experimental I teve como objetivo avaliar o desempenho de diversas espécies frente a diferentes concentrações de sódio na solução nutritiva, em um tempo fixo (1 semana), em cultivo hidropônico, após duas semanas de aclimação .

Foram montados 03 grupos de unidades experimentais por solução nutritiva, sendo 02 plantados com diferentes espécies vegetais (planta X e planta Y) e 01 não plantado (controle). Na Tabela 4.3 são apresentadas as atividades executadas na consecução dessa etapa experimental, envolvendo soluções nutritivas, plantas e meio ambiente.

TABELA 4.3 – Atividades realizadas no Trabalho Experimental I

Semana	Solução Nutritiva	Plantas	Meio ambiente
1 ^a (Aclimação)	← Início do cultivo: Solução nova	Coleta de plantas (antes do tratamento) Corte (parte aérea e raiz) Secagem e pesagem	
2 ^a (Aclimação)	Medição do volume perdido (1 ^a semana) ← Troca de solução		Temperatura (°C) UR (%)
3 ^a (Campanha)	Medição do volume perdido (2 ^a semana) ← Troca de solução		
4 ^a (Encerramento)	Medição do volume perdido (3 ^a semana) Coleta de amostras das soluções residuais	Coleta de plantas (após tratamento) Corte (parte aérea e raiz) Secagem e pesagem	

As soluções nutritivas foram avaliadas em relação a CE, pH, volume consumido e concentração de cálcio, magnésio, sódio e cloreto.

Além de verificar a capacidade de extração dos íons estudados, essa etapa também procurou identificar a espécie com maior eficiência no consumo de água ao produzir biomassa, reunindo, assim, características decisivas para ser empregada no trabalho experimental II.

A seguir, a descrição das etapas metodológicas realizadas:

4.2.3.1 Preparo das plantas

Nessa etapa, optou-se por trabalhar apenas com plantas adultas de aguapé (AG), capim vetiver (CV) e beldroega (BE), coletadas em condições naturais de campo. Na impossibilidade de testá-las simultaneamente, decidiu-se conduzir o experimento de maneira a avaliar as plantas escolhidas duas a duas. Antes do início do trabalho experimental, todas as plantas utilizadas tiveram suas raízes cuidadosamente lavadas com água deionizada para remover eventuais partículas aderidas.

4.2.3.2 Montagem das unidades experimentais

Os aparatos experimentais eram individuais (uma planta por unidade experimental), com imersão das raízes nas soluções nutritivas salinizadas, simulando um sistema hidropônico do

tipo *Floating* (sem aeração). Cada unidade experimental era composta de: (1) reservatório inferior de solução nutritiva salinizada; (2) suporte plástico (sem substrato, furado na extremidade inferior) para apoiar a planta sobre o reservatório inferior – quando apropriado; (3) rolha de espuma (apoio e proteção da solução contra a incidência de luz) – quando adequado; (4) cobertura de saco plástico preto (proteção da solução para evitar a proliferação de algas). Essa montagem é apresentada na Figura 4.1.

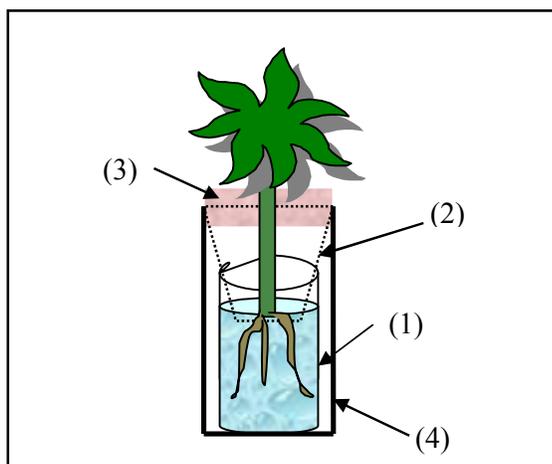


FIGURA 4.1 – Unidade experimental

4.2.3.3 Preparo das soluções estoque

As soluções estoque de macronutrientes foram baseadas na solução nutritiva tradicional apresentada por Majerowicz *et al.* (2003) adaptada de Hoagland & Arnon (1938), cujas concentrações são mostradas na Tabela 4.4.

TABELA 4.4 – Soluções estoque (macronutrientes)

Soluções estoque	Compostos (sais)	Quantidade (g L ⁻¹)	Concentração (Molar)
A	Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	236,1	1
B	KNO ₃	101,1	1
C	MgSO ₄ .7H ₂ O	246,4	1
D	KH ₂ PO ₄	136,1	1

Fonte: Majerowicz *et al.* (2003)

Essas soluções estoque foram preparadas com água deionizada, acondicionadas em frascos de vidro âmbar e mantidas sob refrigeração.

4.2.3.4 Preparo das soluções nutritivas

As soluções nutritivas preparadas foram acrescidas de diferentes concentrações de sódio (300, 500 e 1 000 mg L⁻¹ Na⁺) na forma de NaCl, sendo identificadas como A1, A2 e A3, respectivamente. Também é importante ressaltar que essas soluções nutritivas foram preparadas na forma diluída (1/5 da força), de forma a permitir que a possível remoção dos íons escolhidos (sódio, cálcio, magnésio e cloreto) pudesse ser percebida mais rapidamente, originando campanhas mais curtas.

Na Tabela 4.5 são apresentados os volumes pipetados das soluções estoque (macronutrientes) para preparar 1 litro de solução nutritiva (padrão e 1/5 de força).

TABELA 4.5 – Volumes necessários para preparar soluções nutritivas (macronutrientes)

Soluções-estoque	1 litro de Solução	1 litro de Solução
	Hoagland (padrão)	Hoagland (1/5 força)
	mL	mL
A	5	1,0
B	5	1,0
C	2	0,4
D	1	0,2

Fonte: Adaptado de Majerowicz *et al.* (2003)

Como recomendado por Furlani *et al.* (1999), para evitar a formação de compostos insolúveis (precipitados) como sulfato de cálcio e fosfato de cálcio, a solução concentrada de nitrato de cálcio (Ca(NO₃)₂.4H₂O) foi adicionada em primeiro lugar e, após homogeneização, os demais macronutrientes foram adicionados para impedir a precipitação durante o preparo da solução nutritiva.

Assim sendo, as concentrações teóricas (mg L⁻¹) dos íons estudados nas soluções nutritivas empregadas são apresentadas na Tabela 4.6.

TABELA 4.6 – Concentração teórica de cálcio, magnésio, sódio e cloreto (mg L⁻¹)

Solução	Íon (mg L ⁻¹)			
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻
A1			300	460
A2	40	10	500	770
A3			1 000	1 540

Os micronutrientes foram providos pela diluição de mistura comercial composta de sais puros quelatizados (*ConMicros Standard*). As concentrações dos micronutrientes presentes em porcentagem em peso (p/p) na mistura escolhida são mostradas na Tabela 4.7.

TABELA 4.7 – Composição da mistura de micronutrientes (*ConMicros Standard*)

Micronutriente	(%)
Fe-EDTA	7,26
Cu-EDTA	1,82
Zn-EDTA	0,73
Mn-EDTA	1,82
B	1,82
Mo	0,36
Ni	0,34

Na Tabela 4.8, as concentrações de micronutrientes obtidas com o uso da dosagem escolhida (5 mg L⁻¹) são comparadas àquelas propostas por Hoagland (padrão e 1/5 de força).

TABELA 4.8 – Concentrações de micronutrientes nas soluções nutritivas

Micronutriente	Solução Hoagland		ConMicros Standard
	(padrão) *	(1/5 força)	(Dosagem: 5 mg L ⁻¹)
	µg L ⁻¹	µg L ⁻¹	µg L ⁻¹
Fe	1 787,2	357,4	363
Cu	19,1	3,8	91
Zn	52,3	10,5	37
Mn	500,0	100,0	91
B	501,0	100,2	91
Mo	9,6	1,9	18
Cl	–	–	–
Ni	–	–	17

Fonte: * Adaptado de Oliveira *et al.* (1991)

Como pode ser notado, a quantidade de micronutrientes obtida com adição da mistura de micronutrientes (5 mg L⁻¹), é compatível com os valores estabelecidos por Hoagland (1/5 força) para ferro, manganês e boro. Em relação aos demais micronutrientes, especialmente o cobre, percebe-se concentrações acima do estabelecido; porém, encontram-se dentro das variações normalmente encontradas nas soluções nutritivas como é apresentado na Tabela 4.9.

TABELA 4.9 – Variações usuais encontradas em soluções nutritivas (micronutrientes)

Micronutriente	Variação de concentração (µg L ⁻¹)
Cu	≥ 32
Zn	65 – 260
Mo	38 – 67
Cl	–

Fonte: Martinez *et al.* (1999)

A solução padrão de Hoagland não estabelece concentração para o micronutriente níquel; porém, segundo Furlani *et al.* (1999), esse elemento passou a fazer parte do rol dos elementos essenciais, mas em quantidade inferior à de molibdênio. Considerou-se que esse aspecto também foi atendido pela dosagem de mistura aplicada.

Outro micronutriente cuja concentração não é estabelecida pela solução padrão de Hoagland é o cloreto; todavia, em virtude da adição de NaCl, foram alcançadas altas concentrações de

cloreto nas soluções nutritivas empregadas (A1, A2 e A3): 460, 770 e 1.540 mg L⁻¹ Cl⁻, respectivamente.

4.2.3.5 Produção de biomassa X consumo de solução nutritiva

A avaliação da produção de biomassa e do consumo de solução nutritiva foi realizada pela comparação dos resultados obtidos por duas espécies vegetais cultivadas simultaneamente. A biomassa produzida durante o tempo total do experimento (3 semanas) foi mensurada por meio da taxa de crescimento relativo (TCR), utilizando-se a Equação (2) (Fisher, 1921).

$$TCR = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde W_1 e W_2 referem-se à biomassa seca no início (t_1) e no final do período experimental (t_2), respectivamente.

O volume total consumido (VTC) de solução nutritiva durante as três semanas de cultivo também foi medido para as soluções nutritivas aplicadas (A1, A2 e A3) e associado à TCR visando identificar diferenças entre as espécies escolhidas em relação à eficiência do uso da água na produção de biomassa.

4.2.3.6 Condições de cultivo

Cada unidade experimental recebeu 1 L de solução nutritiva salinizada, trocadas semanalmente; portanto, no princípio de cada semana, todas as plantas compartilharam das mesmas condições físico-químicas.

Os experimentos realizados durante o trabalho experimental I tiveram duração de três semanas, sendo 02 de aclimatação das plantas ao sistema de cultivo hidropônico adotado e 01 de campanha de monitoramento.

4.2.3.7 Avaliação das características físico-químicas das soluções nutritivas coletadas durante o experimento

Ao final da 3ª semana, foram coletadas amostras para determinação de CE e pH das soluções residuais e da concentração final dos íons sódio, cálcio, magnésio e cloreto. A concentração dos cátions (sódio, cálcio e magnésio) foi determinada por Espectrofotometria de Absorção Atômica (EAA), enquanto que a de cloreto foi realizada por Cromatografia Iônica (CI) ou

Titulometria (4500 Cl⁻ Cloreto (C) Método Nitrato de Mercúrio) (*American Public Health Association* (APHA), 2005). Antes da realização dessas análises químicas, todas as amostras foram filtradas para remoção de eventual material particulado; porém, as amostras para determinação de sódio e cloreto também tiveram de ser diluídas para atender aos limites de detecção dos equipamentos utilizados.

4.2.3.8 Capacidade de extração de íons

A avaliação da capacidade de extração de íons foi realizada a partir de amostras das soluções residuais coletadas ao final da última semana do experimento. As amostras coletadas foram utilizadas para determinação da concentração final dos íons cálcio, magnésio, sódio e cloreto (mg L⁻¹).

Simultaneamente ao cultivo dos grupos plantados (aguapé, capim vetiver e beldroega), também foi mantido em campo, um grupo de controle (CO), sem plantas. Esse grupo CO teve como objetivo servir como referencial, ou seja, considerou-se que, eventuais diferenças nas características físico-químicas das soluções nutritivas residuais observadas entre os grupos plantados e o controle (sem plantas) decorreram da ação direta das espécies cultivadas.

Em seguida, em virtude das diferenças nas perdas de volume apresentadas por cada espécie vegetal, realizou-se balanço de massa para determinar a massa final (MF) de cada íon nas soluções residuais. A massa extraída (ME) de cada íon (em mg) foi estimada como sendo a diferença entre a massa final (MF) apresentada pelo grupo controle e os grupos plantados (CV, BE ou AG), empregando a Equação (3).

$$ME_{i(Plantado)} = MF_{i(Controle)} - MF_{i(Plantado)} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde ME_i é a massa extraída do íon i (em mg) por cada espécie vegetal testada.

A avaliação da capacidade de extração promovida pelos grupos plantados também levou em conta a “concentração efetiva” ou “atividade”, ou seja, a disponibilidade real dos íons presentes para atuar nos fenômenos físico-químicos e biológicos a que as soluções nutritivas foram submetidas. Essa disponibilidade foi estimada pelo cálculo da força iônica (μ) de cada solução nutritiva empregada e, posteriormente, pelos respectivos coeficientes de atividade (γ) dos íons de interesse (cálcio, magnésio, sódio e cloreto). A força iônica foi calculada empregando a Equação (4).

$$\mu = \frac{1}{2} \sum_i C_i Z_i^2 \quad \text{Equação (4)}$$

Onde C_i é a concentração molar do íon i , Z_i é a sua carga e a somatória inclui todos os íons presentes na solução. Em virtude da baixa concentração de micronutrientes ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções nutritivas empregadas, neste trabalho, a força iônica foi calculada levando em conta apenas os macronutrientes (mg L^{-1}).

A relação entre o coeficiente de atividade (γ) de um íon e a força iônica da solução em que está contido foi calculada pela aproximação proposta por Güntelberg (Sawyer *et al.*, 2003), aplicável apenas para soluções diluídas, utilizando a Equação (5).

$$\log \gamma = -0,5Z^2 \frac{\sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}} \quad \text{Equação (5)}$$

Onde Z é a carga do íon cujo coeficiente de atividade está sendo determinado.

A partir da massa final presente nas soluções residuais do tratamento CO, calculou-se a massa disponível (MD) dos íons de interesse para cada solução nutritiva empregada e, a partir dessa massa, foi estimada a extração realizada (ER) pelas espécies vegetais estudadas (em porcentagem), empregando a Equação (6).

$$ER_{i(\text{plantado})} = \left(\frac{ME_{i(\text{plantado})}}{MD_i} \right) * 100 \quad \text{Equação (6)}$$

Onde ER_i é a porcentagem de extração do íon i realizada pelas espécies vegetais empregadas.

4.2.3.9 Determinação da concentração final dos íons estudados nos tecidos vegetais

Para a determinação da concentração dos íons estudados nos tecidos vegetais (parte aérea e raiz) foi aplicada a metodologia conhecida como digestão úmida nítrico-perclórica/ICP-OES (Espectrometria de emissão atômica com fonte de plasma indutivamente acoplado).

4.2.3.10 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas com a utilização do software STATISTICA (versão 6). Em virtude da assimetria observada nos conjuntos de dados gerados, foram empregados

testes não paramétricos (Mann-Whitney e Kruskal-Wallis) para determinar diferenças relevantes (nível de significância de 5%) nas avaliações realizadas.

4.2.4 Trabalho experimental II

Nessa etapa, o objetivo foi aprofundar a avaliação do desempenho da espécie escolhida (beldroega) em campanha mais longa (duas semanas de aclimação e três semanas de monitoramento), com reposição semanal do volume perdido (utilizando água deionizada) e poda de um dos grupos de beldroega cultivados. Nessa etapa, foi reavaliada a capacidade de extração dos íons estudados apresentada pela espécie escolhida (com e sem poda) em um período de cultivo mais longo, assim como sua eficiência no consumo de água ao produzir fitomassa. Foram mantidas as mesmas soluções nutritivas empregadas no trabalho experimental I.

A duração da campanha de monitoramento foi estendida na expectativa de que o tempo determinado (três semanas) fosse o suficiente para que ocorresse a assimilação da maior parte dos nutrientes presentes nas soluções nutritivas salinizadas, como é mostrado na Figura 3.23 (Schmidt *et al.*, 2001).

Foram montados 03 grupos de unidades experimentais por solução nutritiva, sendo 02 plantados (beldroega) e 01 não plantado (controle). No início da 3ª semana, passado o período de aclimação, um dos grupos plantados foi podado, mas continuou a ser cultivado da mesma forma que o grupo não podado. As partes podadas foram coletadas, secas e pesadas para comporem o cálculo de massa seca produzida durante o período de experimento. As atividades executadas nessa etapa experimental são mostradas na Tabela 4.10.

TABELA 4.10 – Atividades executadas no Trabalho Experimental II

Semana	Solução Nutritiva	Plantas	Meio ambiente
1 ^a (Aclimação)	← Início do cultivo: Solução nova	Coleta de plantas (antes do tratamento) Corte (parte aérea e raiz) Secagem e pesagem	
2 ^a (Aclimação)	Medição do volume perdido (1 ^a semana) ← Troca de solução		
3 ^a (Campanha)	Medição do volume perdido (2 ^a semana) ← Troca de solução	Coleta da parte podada Secagem e pesagem	
4 ^a (Campanha)	Medição do volume perdido (3 ^a semana) ← Reposição de volume (água deionizada)		Temperatura (°C) UR (%)
5 ^a Semana (Campanha)	Medição do volume perdido (4 ^a semana) ← Reposição de volume (água deionizada)		
6 ^a Semana (Encerramento)	Medição do volume perdido (5 ^a semana) Coleta de amostras das soluções residuais	Coleta de plantas (após tratamento) Corte (parte aérea e raiz) Secagem e pesagem	

Com a exceção das atividades listadas a seguir, as demais realizadas durante o trabalho experimental II mantiveram os mesmos métodos descritos no trabalho experimental I:

4.2.4.1 Preparo das plantas

No trabalho experimental II, optou-se por utilizar plantas adultas, obtidas a partir de cultivo em condições controladas desde a germinação de sementes, visando uniformização de idade e de tamanho, além de garantir melhores condições sanitárias.

A germinação foi realizada a partir de sementes de beldroega comercializadas pelo fabricante TOPSEED. As sementes foram dispostas em uma *gerbox*, sobre 02 camadas de papel filtro (faixa branca) e irrigadas com solução de Nistatina (2%) para evitar a proliferação de fungos. A *gerbox* foi mantida por três dias em uma câmara de germinação com temperatura de 25 ± 2 °C e fotoperíodo de 12 h.

Após três dias na câmara de germinação, as plântulas foram transferidas para recipientes plásticos com substrato (vermiculita) e irrigadas, inicialmente com água de torneira e, posteriormente, com solução padrão de Hoagland (1/5 de força sem adição de NaCl) a cada 3-4 dias. As plantas de beldroega foram empregadas no trabalho experimental II ao atingirem entre 12 – 16 cm de altura.

4.2.4.2 Condições de cultivo

Cada unidade experimental recebeu 0,5 L de solução nutritiva salinizada, trocadas semanalmente; portanto, no princípio da 1^a, 2^a e 3^a semanas, todas as plantas compartilharam das mesmas condições físico-químicas. Da 3^a a 5^a semana, não houve troca de solução nutritiva, mas apenas reposição do volume perdido com água deionizada.

Além disso, passadas duas semanas de aclimação, um dos dois grupos cultivados foi podado entre o 3^o e o 4^o nó para verificar o aumento na capacidade de extração mencionado na literatura pesquisada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Coleta de dados e informações

5.1.1 Escolha das espécies vegetais estudadas

A escolha das espécies vegetais empregadas neste trabalho baseou-se na experiência relatada na literatura pesquisada, na sua presença no Estado de Minas Gerais e na sua adequação ao sistema de cultivo hidropônico proposto. Na Tabela 5.1 são listadas as espécies escolhidas e as respectivas etapas de avaliação.

TABELA 5.1 – Espécies vegetais escolhidas e as respectivas etapas de avaliação

Espécie vegetal	Etapa metodológica		
	Testes exploratórios	Trabalho Experimental I	Trabalho Experimental II
Erva sal	X		
Taboa	X		
Capim vetiver	X	X	
Aguapé		X	
Beldroega		X	X

Com exceção da erva sal, as demais espécies escolhidas estão comumente presentes em Minas Gerais.

5.1.2 Água salobra subterrânea no Estado de Minas Gerais X escolha das soluções nutritivas empregadas

Antes de definir a formulação das soluções nutritivas salinizadas a serem empregadas no experimento, este projeto procurou identificar informações recentes sobre as características da água subterrânea encontrada no Estado de Minas Gerais.

5.1.2.1 Dados coletados junto à COPASA

Apesar da rede de monitoramento de águas subterrâneas estar em operação desde 2007, durante o levantamento de dados realizado, seus resultados ainda não tinham sido avaliados e divulgados pelo IGAM. Assim sendo, recorreu-se ao banco de dados da Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA MG como fonte de informação para identificar exemplos de águas subterrâneas salinas ocorrentes no semiárido mineiro. Constatou-se que,

normalmente, o monitoramento é reservado apenas aos poços com potencial de utilização para o consumo humano. Em geral, poços com ocorrência de águas de qualidade inferior são avaliados apenas uma vez e, sendo constatada a sua inadequação para água potável, deixam de ser operados.

Nessas circunstâncias, não tendo sido encontradas séries históricas que pudessem subsidiar a definição da formulação das soluções nutritivas salinizadas, foram escolhidos três exemplos de água subterrânea salobra encontrados em localidades mineiras (São João do Paraíso (SJP), Nanuque (NAN) e Varzelândia (VAR)), para estabelecer as concentrações de sódio a serem estudadas (300, 500 e 1 000 mg L⁻¹). As águas identificadas foram analisadas com relação ao risco de diminuição de permeabilidade do solo (RAS) e de salinidade (CE), apresentando a classificação USSL mostrada na Tabela 5.2.

TABELA 5.2 – Classificação USSL das águas subterrâneas naturais escolhidas

Água Subterrânea	CE (dS cm ⁻¹)	RAS (mmol _c L ⁻¹)	Classificação USSL
SJP	2,22	6,9	C3 (alto risco de salinização do solo) – S1 (baixo risco de impermeabilização do solo)
NAN	1,94	4,3	C3 (alto risco de salinização do solo) – S1 (baixo risco de impermeabilização do solo)
VAR	1,54	47,4	C3 (alto risco de salinização do solo) – S4 (risco muito alto de impermeabilização do solo)

As planilhas com a caracterização físico-química detalhada das águas escolhidas, fornecida pela COPASA, encontram-se disponíveis no Apêndice I.

5.1.2.2 Dados divulgados pelo IGAM

A partir de 2011, foi realizada a primeira divulgação pública dos resultados de qualidade de água subterrânea gerados pela operação do sistema de monitoramento do Estado de Minas Gerais. Segundo IGAM (2010), foi observada grande variabilidade nos valores de concentração dos principais íons responsáveis pela caracterização físico-química das águas subterrâneas monitoradas, como é mostrado na Tabela 5.3.

TABELA 5.3 – Concentrações dos principais íons (mg L⁻¹)

Parâmetro	Triângulo Mineiro				Norte de Minas			
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Na ⁺	12,28	3056,0	649,97	1345,19	1,67	279,9	32,96	38,16
Ca ²⁺	0,9	137,0	34,18	57,69	5,49	339,7	123,59	54,23
Mg ²⁺	0,001	42,24	8,72	18,75	0,81	62,2	11,97	10,6
K ⁺	0,411	18,37	5,55	7,48	0,52	14,98	1,96	1,44
Cl ⁻	0,3	1155,0	237,69	512,88	3,04	801,0	81,89	136,03
SO ₄ ²⁻	1,9	5302,0	1337,15	2643,26	1,0	259,0	23,69	33,84
NO ₃ ⁻	0,01	0,43	0,12	0,18	0,01	15,8	1,15	1,66
CO ₃ ⁻	0,0	62,1	24,76	26,28	-	-	-	-
HCO ₃ ⁻	0,0	251,0	99,48	91,96	2,74	534,27	297,47	83,08

Fonte: Adaptado de IGAM (2010)

Apesar da dispersão apresentada pelos conjuntos de dados não recomendar uma avaliação baseada no cálculo de médias e desvio padrão, os valores máximos divulgados indicam a presença de águas subterrâneas com elevadas concentrações de sódio e cloreto no Estado de Minas Gerais.

No Triângulo Mineiro, destacou-se o ponto do monitoramento localizado em Cachoeira Dourada, cuja água foi classificada como sulfatada sódica, usada para fins hidroterápicos. Já os resultados observados no Norte de Minas (05 campanhas) revelaram que, entre os principais cátions, o Ca²⁺ apresentou maior concentração média, seguido por Na⁺, Mg²⁺ e K⁺. Entre os ânions, predominou HCO₃⁻, seguido por Cl⁻, SO₄⁻ e NO₃⁻ (IGAM, 2010). As fichas de análise das localidades onde foram verificadas as maiores concentrações de sódio e cloreto são mostradas no Apêndice II.

Considerando os resultados obtidos, IGAM (2010) apresentou diversas recomendações, destacando-se: (1) Triângulo Mineiro (em relação ao Sistema Aquífero Guarani (SAG)) – ampliação dos pontos de monitoramento; a promoção do uso eficiente e econômico da água termal, bem como a reutilização dos seus efluentes; desenvolvimento de critérios de exploração sustentáveis e incorporação do tema do contato água doce/água salgada; manutenção da avaliação dos teores de sal em águas termais e não termais; e (2) Norte de Minas (municípios de Jaíba, Varzelândia e Verdelândia) – avaliação de possíveis contaminações por ação antrópica, em especial pela aplicação de fertilizantes, uma vez que as regiões monitoradas apresentam extensas áreas de irrigação; inadequação da comparação dos resultados obtidos com os valores de potabilidade (condição de água tratada) já que nem

sempre a água subterrânea irá atender os padrões estabelecidos por tratar-se de água bruta; divulgação da pesquisa nos municípios estudados, principalmente pela ocorrência de fluorose dentária; aperfeiçoamento do monitoramento das águas na bacia do rio São Francisco, especialmente nas sub-bacias dos rios Verde Grande, Riachão, Jequitáí e Pacuí, com ampliação da rede de monitoramento e investimento no aprimoramento de ensaios realizados em campo.

5.1.3 Avaliação das soluções nutritivas empregadas

5.1.3.1 Caracterização físico-química

A análise das características físico-químicas das soluções nutritivas aplicadas no cultivo hidropônico das espécies estudadas baseou-se principalmente na classificação USSL, onde CE e RAS (risco de impermeabilização do solo) e CE (risco de salinização do solo) são avaliadas conjuntamente. A Tabela 5.4 apresenta a classificação USSL determinada para as soluções nutritivas aplicadas.

TABELA 5.4 – Classificação USSL das soluções nutritivas aplicadas

Solução Nutritiva	CE (dS cm ⁻¹)	RAS (mmol _c L ⁻¹)	Classificação USSL
A1	1,89	11,0	C3 (risco alto de salinização do solo) – S2 (risco médio de impermeabilização do solo)
A2	2,86	18,3	C4 (risco muito alto de salinização do solo) – S3 (risco alto de impermeabilização do solo)
A3	5,10	36,6	C5 (risco excepcionalmente alto de salinização do solo) – S4 (risco muito alto de impermeabilização do solo)

Foi utilizado o diagrama USSL para comparar as soluções nutritivas empregadas (A1, A2 e A3), as águas identificadas junto à COPASA (SJP, NAN e VAR) e as águas subterrâneas naturais encontradas em poços tubulares no Norte de Minas (resultado de 05 campanhas), como mostrado na Figura 5.1.

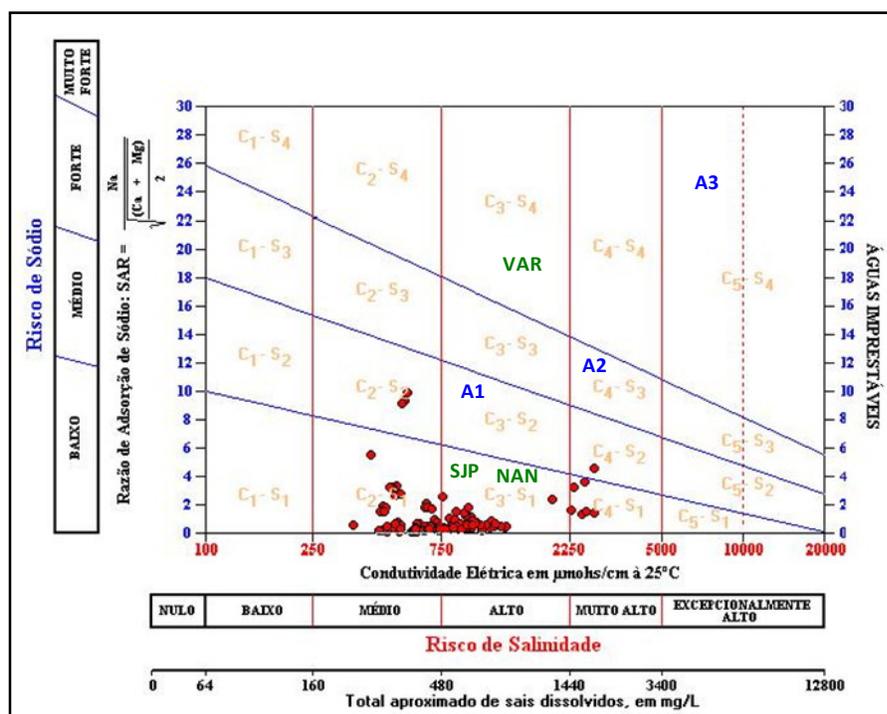


FIGURA 5.1 – Risco de sódio e de salinidade para poços tubulares nos municípios de Jaíba, Varzelândia e Verdelândia, nas soluções nutritivas empregadas no experimento (A1, A2 e A3) e nas águas naturais SJP, NAN e VAR

Fonte: Adaptado de IGAM (2010)

Pode-se notar que as soluções nutritivas empregadas apresentaram classificação USSL inferior à das águas subterrâneas naturais, já que foram formuladas a partir da solução padrão de Hoagland em concentrações reduzidas (1/5 de força) de maneira a induzir que a extração dos íons de interesse (cálcio, magnésio, sódio e cloreto) fosse percebida mais rapidamente. As concentrações teóricas (mg L^{-1}) dos íons estudados são apresentadas na Tabela 5.5.

TABELA 5.5 – Concentração teórica de cálcio, magnésio, sódio e cloreto (mg L^{-1})

Solução	Íon (mg L^{-1})			
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	Cl^-
A1			300	460
A2	40	10	500	770
A3			1 000	1 540

Enquanto as concentrações teóricas de cálcio e magnésio foram mantidas para três soluções nutritivas aplicadas, as de sódio e cloreto aumentaram, resultando em valores maiores de RAS.

Portanto, concluída a remoção das pequenas quantidades de macronutrientes presentes nas soluções nutritivas, seria possivelmente iniciada a extração de sódio e cloreto. Dessa forma, poderiam ser observados mais rapidamente os efeitos dessa extração sobre as espécies vegetais escolhidas; além disso, também poderia ser determinado em que parte do tecido vegetal esses sais teriam sido armazenados (parte aérea ou raiz).

5.1.3.2 Disponibilidade dos íons presentes para extração

Em virtude da adição de quantidades crescentes de NaCl no preparo das soluções nutritivas, ocorreu aumento gradativo da sua concentração, gerando maior força de atração interiônica e, conseqüentemente, diminuindo a atividade ou concentração efetiva dos íons estudados.

Portanto, para calcular a extração promovida neste experimento, levou-se em conta essa condição real. Primeiramente, foram calculadas as forças iônicas (μ) e os respectivos coeficientes de atividade (γ) dos íons estudados para as três soluções nutritivas salinizadas empregadas, cujos resultados são apresentados na Tabela 5.6.

TABELA 5.6 – Força iônica (μ) e coeficiente de atividade (γ) (sol. A1, A2 e A3)

Solução	Força Iônica (μ)	Coeficiente de atividade (γ)	
		Z (+/- 1)	Z (+/- 2)
A1	0,02	0,87	0,57
A2	0,03	0,85	0,52
A3	0,05	0,81	0,43

Como pode ser observado, o aumento da concentração de NaCl nas soluções nutritivas proporcionou o crescimento das forças iônicas, com conseqüente diminuição na atividade dos íons. Os íons monovalentes (sódio e cloreto) apresentaram menor diminuição; porém, a redução de atividade dos íons bivalentes (cálcio e magnésio) foi bem mais intensa. Assim sendo, a massa disponível para ser extraída pelas plantas é menor do que aquela calculada

teoricamente. A Tabela 5.7 apresenta os valores estimados de massa disponível (mg) dos íons estudados nas soluções A1, A2 e A3.

TABELA 5.7 – Massa disponível estimada dos íons estudados nas soluções A1, A2 e A3

Solução	Íon	Concentração (mol L ⁻¹)	Coefficiente de Atividade γ	Atividade $\gamma.C$	Massa disponível (mg)
A1	Ca ²⁺	0,0010	0,57	0,0006	22,9
	Mg ²⁺	0,0004	0,57	0,0002	5,5
	Na ⁺	0,0130	0,87	0,0113	260,1
	Cl ⁻	0,0130	0,87	0,0113	401,5
A2	Ca ²⁺	0,0010	0,52	0,0005	20,9
	Mg ²⁺	0,0004	0,52	0,0002	5,1
	Na ⁺	0,0217	0,85	0,0184	424,2
	Cl ⁻	0,0217	0,85	0,0184	654,8
A3	Ca ²⁺	0,0010	0,43	0,0004	17,2
	Mg ²⁺	0,0004	0,43	0,0002	4,2
	Na ⁺	0,0434	0,81	0,0352	808,5
	Cl ⁻	0,0434	0,81	0,0352	1248,0

Uma vez constatada expressiva diminuição na disponibilidade de macronutrientes (cálcio e magnésio) em virtude do aumento da concentração de NaCl, neste trabalho, o cálculo da extração promovida pelas espécies vegetais testadas foi realizado considerando também esse aspecto.

5.2 Testes exploratórios

Foram realizados testes de cultivo em algumas espécies mencionadas em literatura visando conhecer um pouco sobre a sua morfologia, observar seu comportamento em condições de cultivo hidropônico com a utilização de soluções nutritivas salinizadas escolhidas e desenvolver experiência na produção de soluções e na operação desse tipo de sistema. Em princípio, não foram realizadas análises físico-químicas, apenas medições de CE e pH e observação e registro de sintomas visuais de estresse, tais como: alterações de cor,

murchamento ou enrolamento das bordas das folhas, má formação, nanismo, entre outros. Na Tabela 5.8 são apresentadas informações resumidas sobre a realização desses testes.

TABELA 5.8 – Detalhamento dos testes exploratórios realizados

Detalhamento	Erva sal (<i>Atriplex nummularia</i>)	Capim vetiver (<i>Vetiveria zizanioides</i>)
Período experimental	09/08 – 24/09/2010 (07 semanas)	27/09 – 12/11/2010 (07 semanas)
Sistema hidropônico	Com substrato areia lavada e vermiculita (50/50% em volume)	<i>Floating</i> (sem aeração)
Recirculação	SIM (diária, manual)	NÃO
Soluções nutritivas	Hoagland padrão (1/5 força) Hoagland modificada – sem fósforo (1/5 força)	Hoagland padrão (1/5 força) Hoagland modificada – sem fósforo (1/5 força)
Concentrações de sódio (mg L ⁻¹)	300, 500 e 1000	300
Volume testado (L)	0,5	1,0
Origem das plantas	EMBRAPA Semiárido (Petrolina/PE)	Deflor Bioengenharia (Contagem/MG)
Número de unidades experimentais	30	30
Sinais visuais de estresse	SIM	NÃO

Durante a realização dos testes exploratórios, não foi possível realizar análises químicas das soluções nutritivas empregadas por problemas técnicos no Laboratório DESA. Não havendo como avaliar a capacidade de extração das espécies vegetais testadas, esses testes serviram apenas para detectar sintomas visuais de estresse que pudessem indicar sensibilidade às condições de cultivo impostas. Nessas circunstâncias, observou-se:

- Erva sal: as plantas testadas apresentaram necrose crescente nas folhas velhas e novas, com subsequente morte (Figura 5.2); portanto, a utilização dessa espécie no trabalho experimental subsequente foi descartada. Outra conclusão decorrente dessa experiência de cultivo com substrato apontou para a conveniência de optar por sistema hidropônico mais simples (sem substrato e recirculação/aeração) e por plantas adaptadas a condições de baixa oxigenação.



FIGURA 5.2 – Sintomas visuais de estresse (Erva sal)

- Capim vetiver: não apresentou sinais evidentes de estresse, aparentando desenvolvimento normal durante o experimento (Figura 5.3) e demonstrando adaptação ao sistema de cultivo hidropônico utilizado (*Floating*, sem aeração) e condições de ser utilizado no trabalho experimental. Porém, em virtude da proliferação de algas, foi detectada a necessidade de melhorar a proteção da solução nutritiva na parte superior da montagem (uso de rolha de espuma).

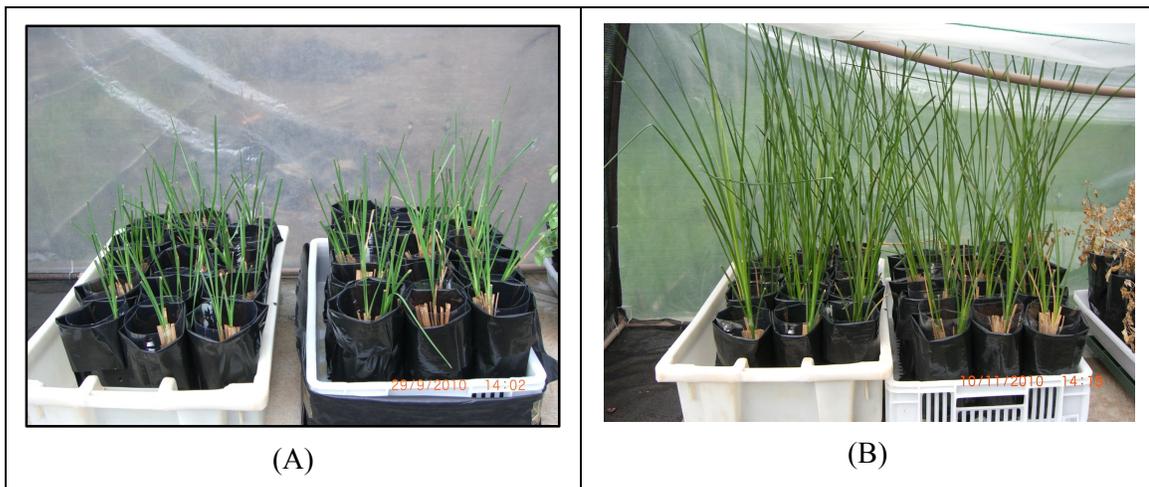


FIGURA 5.3 – Evolução do capim vetiver (parte aérea): (A) em 29/09/10; (B) em 10/11/2010

5.3 Trabalho experimental I

Essa etapa caracterizou-se pela comparação entre espécies para verificar sua eficiência na remoção dos íons de interesse (cálcio, magnésio, sódio e cloreto) e na produção de biomassa associada ao consumo de água (realizada apenas na comparação envolvendo beldroega e aguapé). A estrutura do trabalho experimental I é mostrada na Figura 5.4.

A escolha das plantas empregadas – capim vetiver (CV), aguapé (AG) e beldroega (BE) levou em conta, tanto a experiência descrita em literatura, como sua adaptação a ambientes com baixa concentração de oxigênio, já que no experimento realizado foi simulado um sistema hidropônico *Floating* (sem aeração). Registra-se que também foi feita uma tentativa com o cultivo de taboa (*Typha sp.*) trazida do litoral (Peruíbe/SP); porém, esse experimento foi descontinuado porque as plantas não resistiram à mudança de ambiente.

Nessa etapa, foram utilizadas plantas adultas, coletadas de condições naturais, e simultaneamente, também foi avaliado um grupo de controle (CO), sem plantas. O grupo CO foi usado como base de comparação, considerando que eventuais diferenças entre os grupos plantados e o controle (sem plantas) foram promovidas pela ação direta das espécies cultivadas. As espécies vegetais foram comparadas duas a duas; esse planejamento teve como intenção defasar as atividades de maneira a distribuir a coleta de amostras e não gerar sobrecarga na demanda de análises químicas.

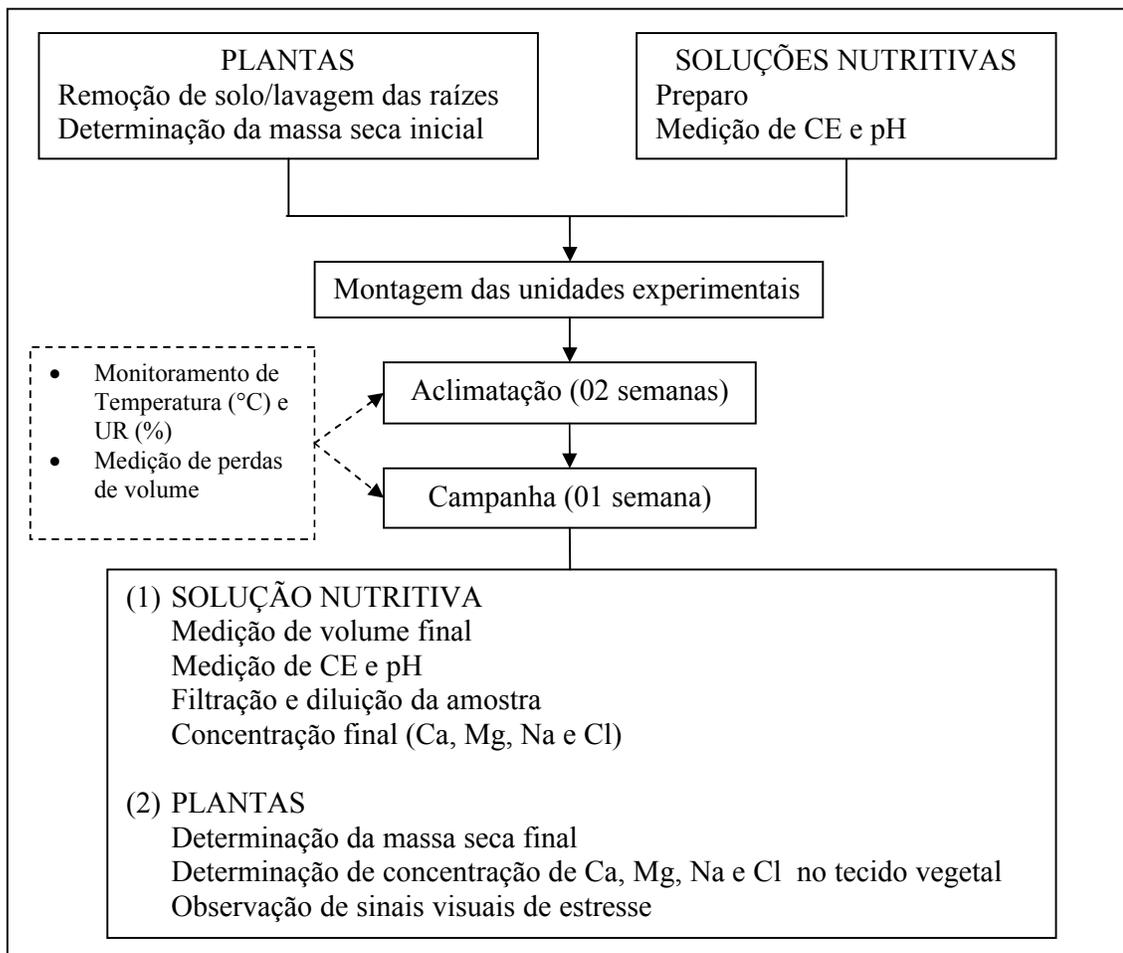


FIGURA 5.4 – Trabalho Experimental I (Etapas Metodológicas)

5.3.1 Comparação Capim Vetiver X Aguapé

Esse experimento foi realizado no período de 23 de março a 02 de maio de 2011, em casa de vegetação localizada no Campus da Universidade Federal de Minas Gerais, em Belo Horizonte (MG).

Foram estudadas duas espécies vegetais, o capim vetiver (CV) e o aguapé (AG). Simultaneamente, também foi avaliado um grupo de controle (CO), sem plantas. Cada um dos três grupos testados contou com 10 repetições por tratamento, totalizando, assim, 30 unidades experimentais por solução nutritiva aplicada (A1 e A3).

5.3.1.1 Monitoramento das condições ambientais no período

O início dessa etapa praticamente coincidiu com o início do outono (20/03/2011), sendo observada redução das temperaturas mínimas e o final do período de chuvas intensas em Belo Horizonte. Os resultados do monitoramento das variáveis ambientais durante o período experimental são apresentados na Tabela 5.9.

TABELA 5.9 – Variação de temperatura do ar (°C) e UR (%) durante o período experimental

Variável		Mínima	Máxima
Temperatura	°C	18,5 ± 2,0	33,5 ± 1,3
UR	%	58,6 ± 8,5	82,2 ± 7,9

Os valores apresentados correspondem às médias ± DP (n=5)

5.3.1.2 Controle da redução de volume

Nessas condições ambientais, ao final da 3ª semana, observaram-se diferenças entre os grupos avaliados (CO, CV e AG) com a aplicação das soluções nutritivas A1 (300 mg L⁻¹ Na⁺) e A3 (1 000 mg L⁻¹ Na⁺), marcadamente em relação ao volume final, como é mostrado nas Figuras 5.5(A) e (B), respectivamente.

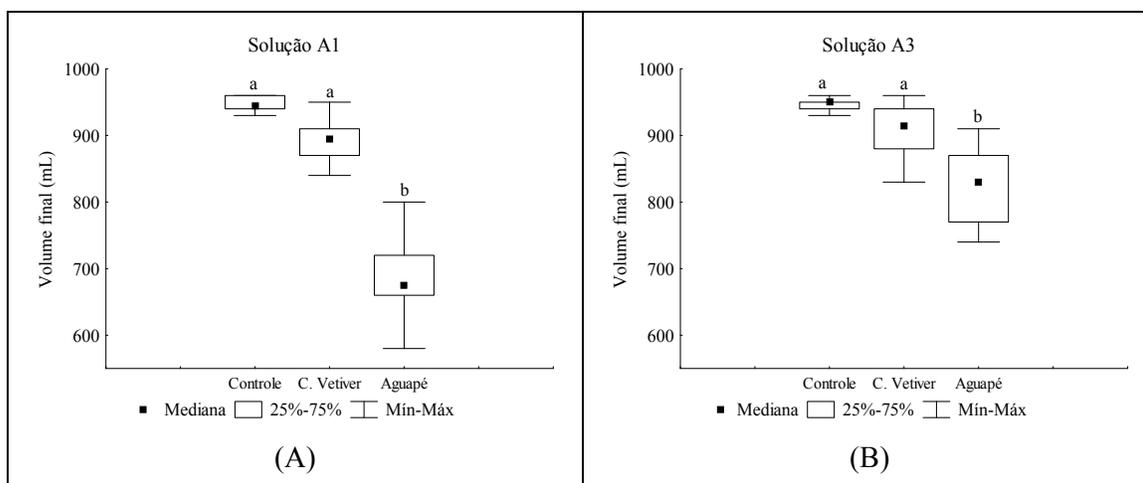


FIGURA 5.5 – Volume final (mL) da solução nutritiva utilizada: (A) Solução A1 (300 mg L⁻¹ Na⁺); (B) Solução A3 (1 000 mg L⁻¹ Na⁺)

Letras iguais sobre os box and whisker plots indicam que não houve diferença significativa com nível de significância de 5% (teste de Kruskal-Wallis)

A redução média de volume da solução A1, verificada com o cultivo das plantas AG, chegou a 31,5%, enquanto que, com as plantas CV e o grupo CO atingiu 10,7% e 5,3%,

respectivamente. Já com a solução A3, as diferenças foram menores, chegando a 18,0% para o AG, 9,1% para o CV e 5,4% para o CO. Esse comportamento do aguapé é conhecido e descrito em literatura, pois, segundo Lorenzi (1991), um lago coberto com aguapé perde 2 a 8 vezes mais água que com a superfície livre. Portanto, observa-se que, mesmo em condições salinizadas, o aguapé manteve essa característica distintiva.

5.3.1.3 Monitoramento de condutividade elétrica e pH

As soluções nutritivas salinizadas (A1 e A3) tiveram condutividade e pH medidos logo após terem sido produzidas, sendo posteriormente divididas entre as unidades experimentais. Portanto, no princípio de cada campanha, todas as plantas compartilharam das mesmas condições físico-químicas. Ao término da 3ª semana, foram medidos novamente CE e pH da solução final de cada unidade experimental para verificar sua evolução individual. Os resultados de CE e pH verificados nas soluções finais A1 e A3 (CO, CV e AG) são mostrados na Tabela 5.10.

TABELA 5.10 – CE (dS m^{-1}) e pH finais (soluções A1 e A3)

Variável	Tratamento	A1 ($300 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$)	A3 ($1\ 000 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$)
CE (dS m^{-1})	CO	$1,96 \pm 0,02$	$5,25 \pm 0,04$
	CV	$2,01 \pm 0,05$	$5,36 \pm 0,16$
	AG	$2,09 \pm 0,07$	$5,82 \pm 0,27$
pH	CO	$5,86 \pm 0,07$	$5,57 \pm 0,07$
	CV	$6,77 \pm 0,20$	$6,68 \pm 0,09$
	AG	$6,62 \pm 0,15$	$5,95 \pm 0,60$

Os valores apresentados correspondem às médias \pm DP (n=10)

Em relação à CE, a variação observada para as soluções A1 e A3 entre os grupos plantados e o controle sugere a concentração de íons não extraídos, talvez decorrente da perda de volume. Já o aumento de pH detectado nas soluções A1 e A3, propõe a possibilidade de maior extração de ânions que de cátions.

5.3.1.4 Concentração final de sódio, cálcio, magnésio e cloreto

Os resultados de concentração final dos íons cálcio, magnésio, sódio e cloreto presentes nas soluções A1 e A3 são apresentados na Tabela 5.11.

TABELA 5.11 – Concentração final de cálcio, magnésio, sódio e cloreto (mg L⁻¹)

Íon	A1 (300 mg L ⁻¹ Na ⁺)			A3 (1 000 mg L ⁻¹ Na ⁺)		
	CO	CV	AG	CO	CV	AG
Ca ²⁺	38,3 ± 0,8	40,1 ± 1,7	25,1 ± 5,1	45,4 ± 0,8	41,1 ± 1,9	37,8 ± 2,8
Mg ²⁺	10,9 ± 0,2	9,9 ± 0,3	7,9 ± 1,0	11,0 ± 0,1	10,1 ± 0,2	9,4 ± 0,6
Na ⁺	321 ± 8	342 ± 17	372 ± 23	994 ± 36	1028 ± 43	1118 ± 44
Cl ⁻	455 ± 2	477 ± 13	541 ± 33	1502 ± 11	1565 ± 65	1784 ± 125

Os valores apresentados correspondem às médias ± DP (n=10)

Considerando as perdas de volume ocorridas, uma análise baseada na concentração final dos íons estudados (cálcio, magnésio, sódio e cloreto) em mg L⁻¹ seria inadequada para avaliar a provável extração promovida pelas plantas testadas. Por esse motivo, em primeiro lugar, realizou-se um balanço de massa (mg) para determinar a massa residual desses íons no volume final de solução dos grupos estudados (CO, CV e AG), cujos resultados são apresentados nas Figuras 5.6(A) e (B), para as soluções A1 e A3, respectivamente.

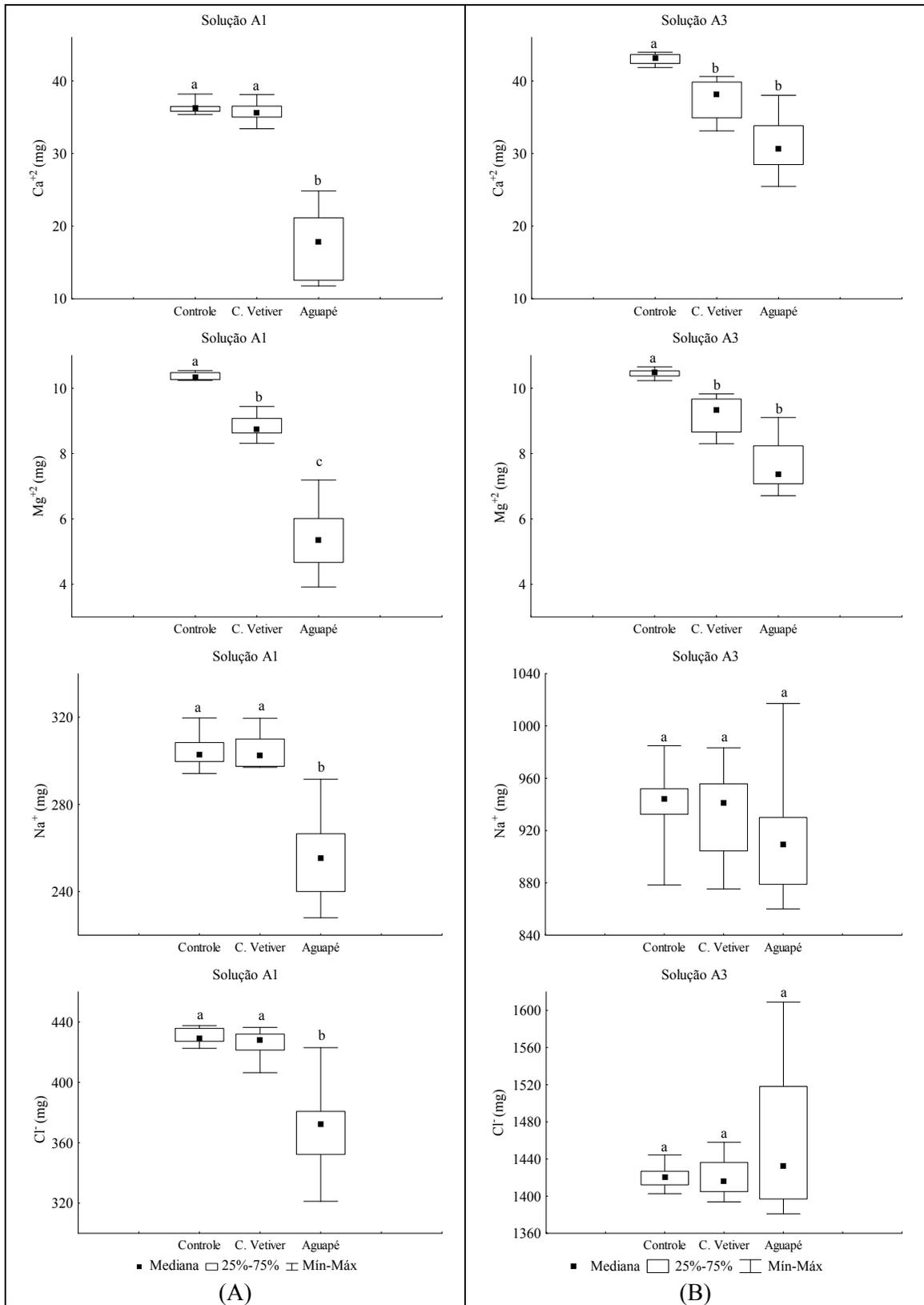


FIGURA 5.6 – Massa residual dos íons cálcio, magnésio, sódio e cloreto: (A) Solução A1 (300 mg L⁻¹ Na⁺); (B) Solução A3 (1 000 mg L⁻¹ Na⁺)

Com a aplicação da solução A1, foi observado que, com exceção da extração do magnésio, o CV apresentou comportamento semelhante ao CO, não demonstrando capacidade de remoção nessas condições de cultivo. Por outro lado, o AG distinguiu-se ao promover remoção de todos os íons estudados, apesar da maior perda de volume. O cultivo com a solução A3 revelou remoção semelhante de cálcio e magnésio para ambas as espécies estudadas, assim como incapacidade de extrair sódio e cloreto, já que os resultados alcançados tanto pelo CV como pelo AG não se distinguiram do grupo CO.

5.3.1.5 Avaliação da capacidade de extração

A avaliação da extração promovida pelo CV e o AG considerou apenas as diferenças estatisticamente significativas:

- Solução A1: (1) Cálcio: o AG alcançou uma remoção média de 81,6%; (2) Magnésio: enquanto o CV atingiu extração média de 29,0%, o AG chegou a 89,6%; (3) Sódio: o AG removeu, em média, 20,2%; e (4) Cloreto: extração média de 14,7% promovida pelo AG.
- Solução A3: (1) Cálcio: o CV conseguiu remoção média de 26,8% e o AG chegou a 66,9%; (2) Magnésio: o CV extraiu, em média, 25,5% e o CV 71,8%; (3) Sódio e; (4) Cloreto: ambas as espécies não apresentaram remoção significativa.

5.3.1.6 Sintomas visuais

Os dois grupos apresentaram os comportamentos distintos frente às soluções aplicadas (A1 e A3). Em relação ao comportamento com a aplicação da solução A1 ($300 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$), pode-se relatar:

- Capim vetiver: na parte aérea, não foi percebida alteração de cor ou murchamento durante as 03 semanas de experimento, enquanto que, nesse período, o sistema radicular apresentou desenvolvimento de novas raízes. O aspecto visual do capim vetiver observado no período do experimento (03 semanas) é mostrado nas Figuras 5.7(A), (B), (C) e (D).

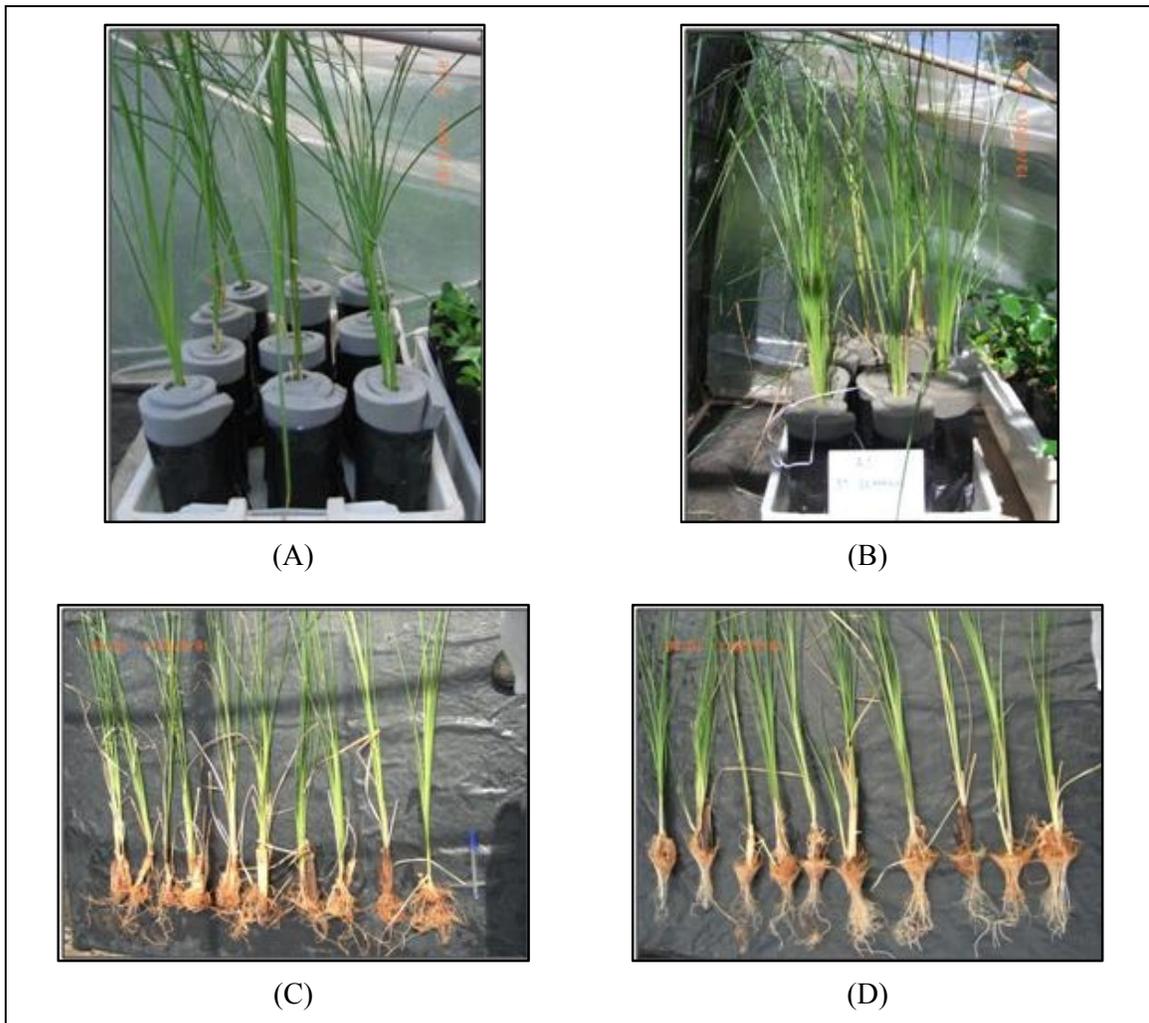


FIGURA 5.7 – Aspecto visual do capim vetiver frente à aplicação de Solução A1 (03 semanas: 23/04 – 13/04/2011): (A) parte aérea inicial; (B) parte aérea final; (C) sistema radicular inicial; (D) sistema radicular final

- Agupé: na parte aérea, desde o início, foi verificado murchamento das bordas das folhas novas e necrose das folhas velhas; porém, com o decorrer das três semanas, observou-se grande aumento de folhas novas (estolões), cor verde escuro, mesmo sob ataque de lagartas, ocorrido a partir da 2ª semana (realizada catação manual). O sistema radicular demonstrou grande crescimento, com novas raízes esbranquiçadas. As fotos relativas ao desenvolvimento visual do agupé são mostradas nas Figuras 5.8(A), (B), (C), (D) e (E).

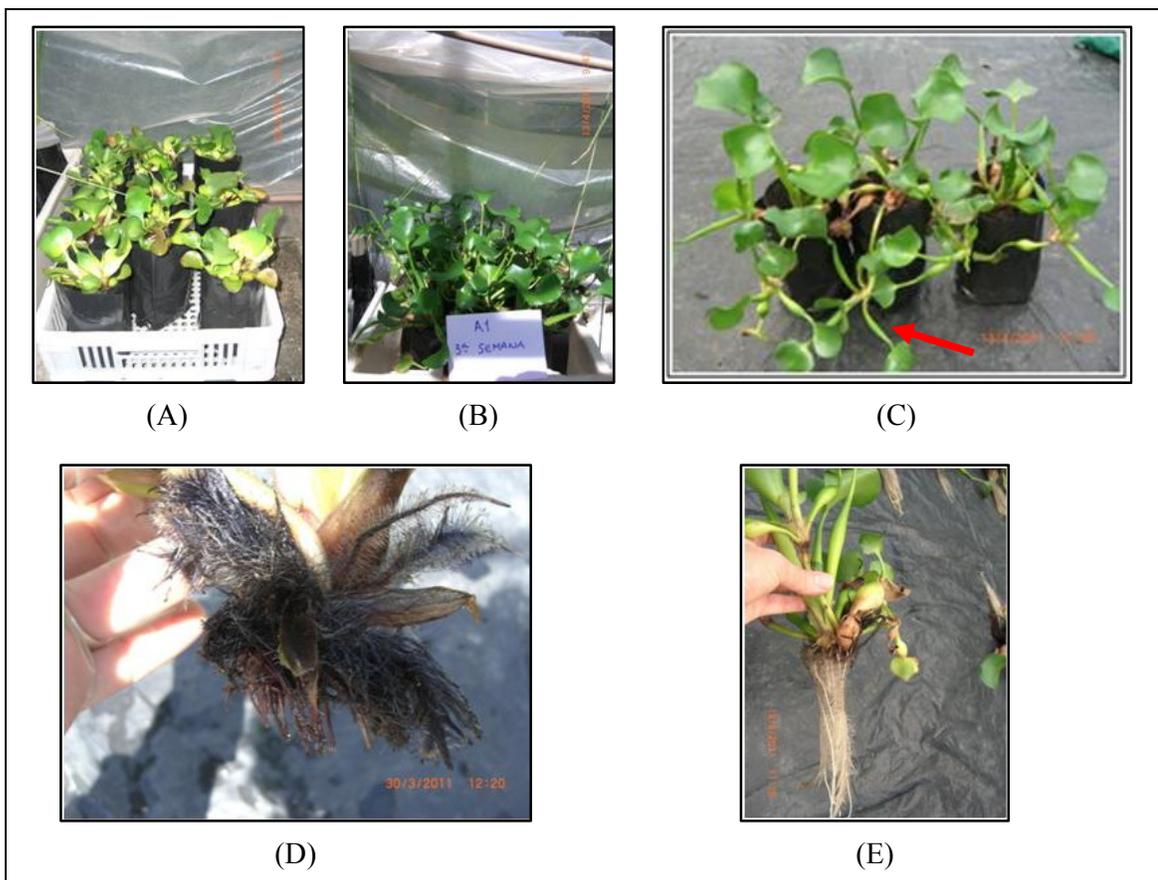


FIGURA 5.8 – Aspecto visual do aguapé frente à aplicação de Solução A1 (03 semanas: 23/03 – 13/04/2011): parte aérea inicial (A) e final (B e C); sistema radicular inicial (D) e final (E)

Já em relação à solução A3 ($1\ 000\ \text{mg L}^{-1}\ \text{Na}^+$), foi observado:

- Capim vetiver: na parte aérea, durante as 03 semanas de experimento, não foram notados sinais de murchamento; porém, ao final desse período, as folhas apresentaram uma coloração mais clara. Já o sistema radicular apresentou desenvolvimento de novas raízes. O aspecto visual do capim vetiver observado no período do experimento (03 semanas) é mostrado nas Figuras 5.9(A), (B), (C) e (D).

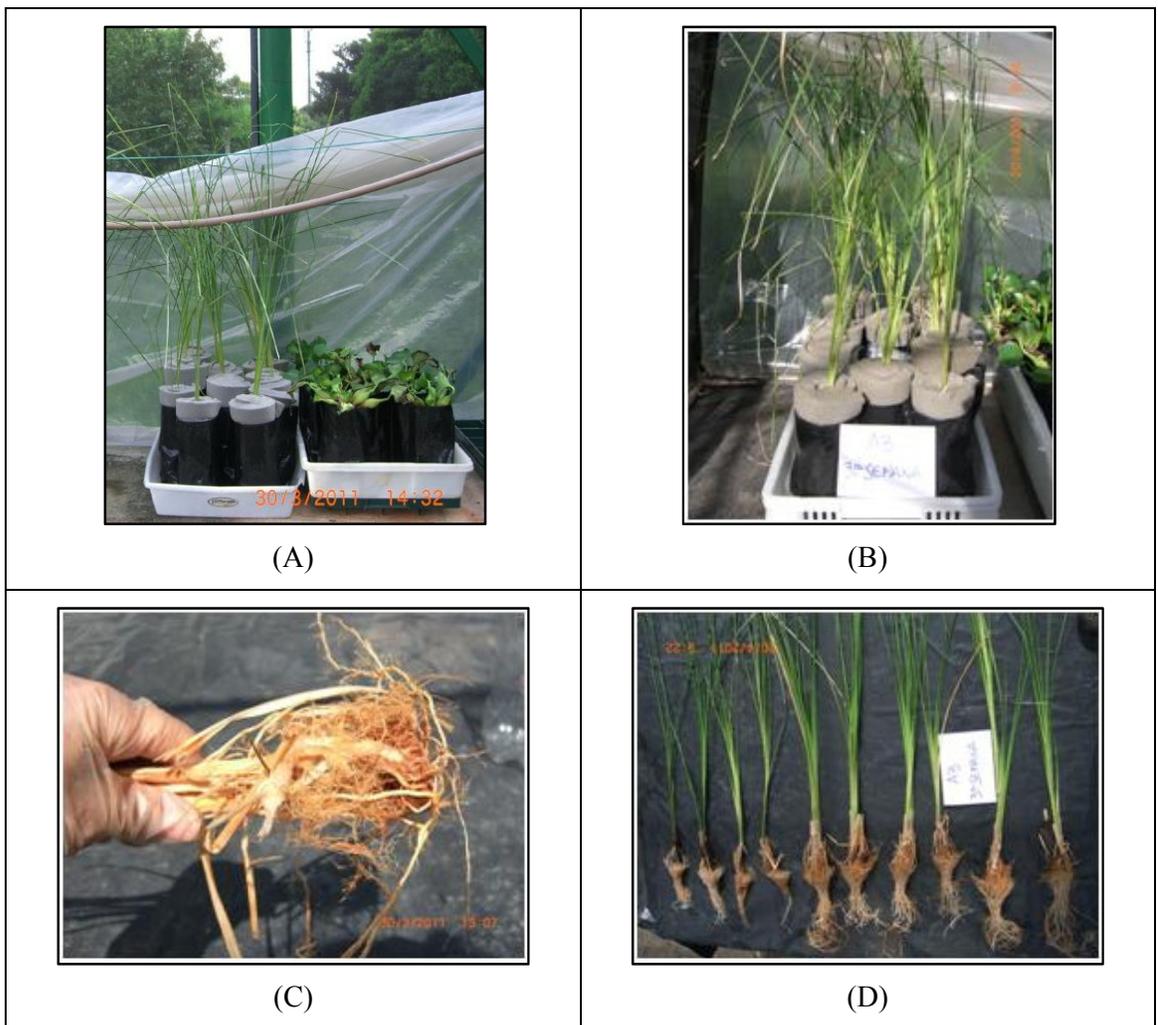


FIGURA 5.9 – Aspecto visual do capim vetiver frente à aplicação de Solução A3 (03 semanas – 30/03 – 20/04/2011): parte aérea inicial (A) e final (B); sistema radicular inicial (C) e final (D)

- Agupapé: na parte aérea, desde a primeira semana, foi verificado enrolamento das bordas nas folhas novas e necrose das folhas velhas; porém, com o decorrer das três semanas, em geral, notou-se diferença entre as plantas, havendo casos de crescimento (folhas novas/estolões) com coloração verde escuro (sem sinal de clorose) e outras em que a necrose das folhas velhas também atingiu as folhas novas ou que exibiram folhas de tamanho menor que o verificado com o uso da solução A1. A partir da 1ª semana, esse grupo também sofreu ataque de lagartas em menor intensidade que o grupo A1, tendo sido realizada catação manual. Observado grande crescimento do sistema radicular em quase todas as plantas, com novas raízes esbranquiçadas. As fotos relativas ao desenvolvimento visual do agupapé com o emprego da solução A3 são mostradas nas Figuras 5.10(A), (B), (C) e (D).

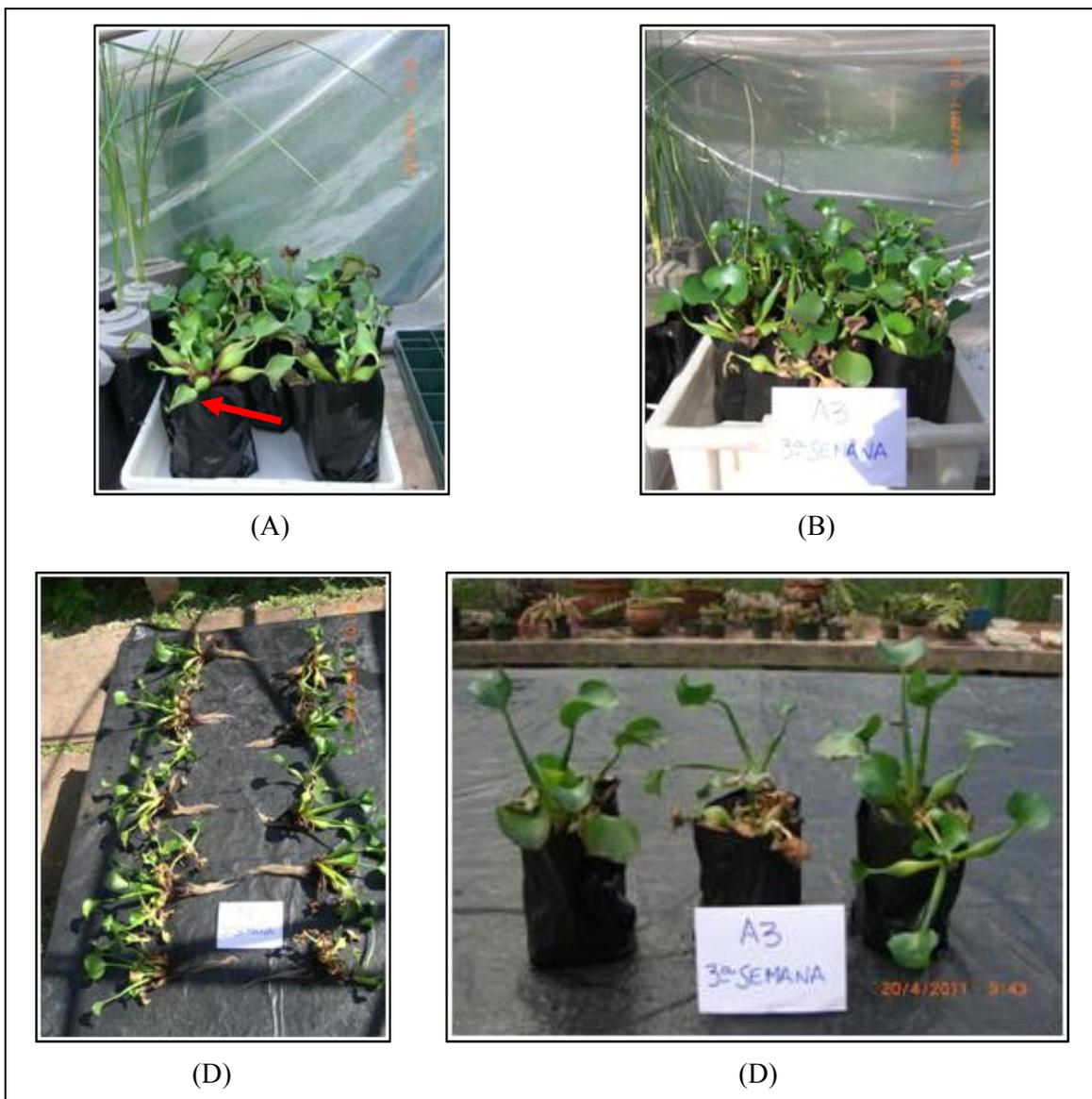


FIGURA 5.10 – Aspecto visual do aguapé frente à aplicação de Solução A3 (03 semanas – 30/03 – 20/04/2011): parte aérea inicial com enrolamento das bordas nas folhas novas (A) e final (B); sistema radicular final (C); comparação entre unidades (D)

5.3.2 Comparação Beldroega X Aguapé

Além da avaliação da extração ter sido feita a partir do balanço de massa das soluções nutritivas residuais e dos conceitos de Força Iônica e Coeficiente de Atividade dos íons estudados (estendida à comparação CV X AG), neste experimento também foi incluída a avaliação do acúmulo de biomassa ocorrido durante o período experimental. Além disso, esse acúmulo de biomassa foi posteriormente associado ao consumo das soluções nutritivas

durante o período experimental, sendo determinante para a escolha da espécie vegetal empregada no Trabalho Experimental II.

Esse experimento foi conduzido no período de 04 de outubro a 08 de novembro de 2011, utilizando também a casa de vegetação do Colégio Técnico – COLTEC, localizada no Campus da Universidade Federal de Minas Gerais, em Belo Horizonte (MG).

Nessa comparação, foram estudadas a beldroega (BE) e o aguapé (AG) e, simultaneamente, também foi avaliado um grupo de controle (CO), sem plantas. Cada um dos três grupos testados contou com 05 repetições por tratamento, totalizando assim 15 unidades experimentais por solução nutritiva aplicada (A1(300 mg L⁻¹ Na⁺), A2 (500 mg L⁻¹ Na⁺) e A3(1 000 mg L⁻¹ Na⁺)).

5.3.2.1 Monitoramento das condições ambientais no período

Os resultados do monitoramento das variáveis ambientais durante o período experimental são apresentados na Tabela 5.12.

TABELA 5.12 – Variação de Temperatura e Umidade Relativa (UR) durante o período experimental

Variável		Mínima	Máxima
Temperatura	°C	17,2 ± 1,6	30,6 ± 3,0
UR	%	58,2 ± 6,5	86,0 ± 8,5

Os valores apresentados correspondem às médias ± DP (n=5)

5.3.2.2 Produção de biomassa associada ao consumo de solução nutritiva

Os volumes consumidos semanalmente foram registrados e totalizados ao final do experimento (21 dias), configurando o volume total consumido (VTC), cuja avaliação teve como objetivo identificar diferenças entre os tratamentos (BE e AG) e o CO. Os resultados observados de VTC e as respectivas massas secas acumuladas (MSA's) produzidas com o uso das soluções A1, A2, e A3 são apresentados nas Figuras 5.11(A), (B) e (C), respectivamente.

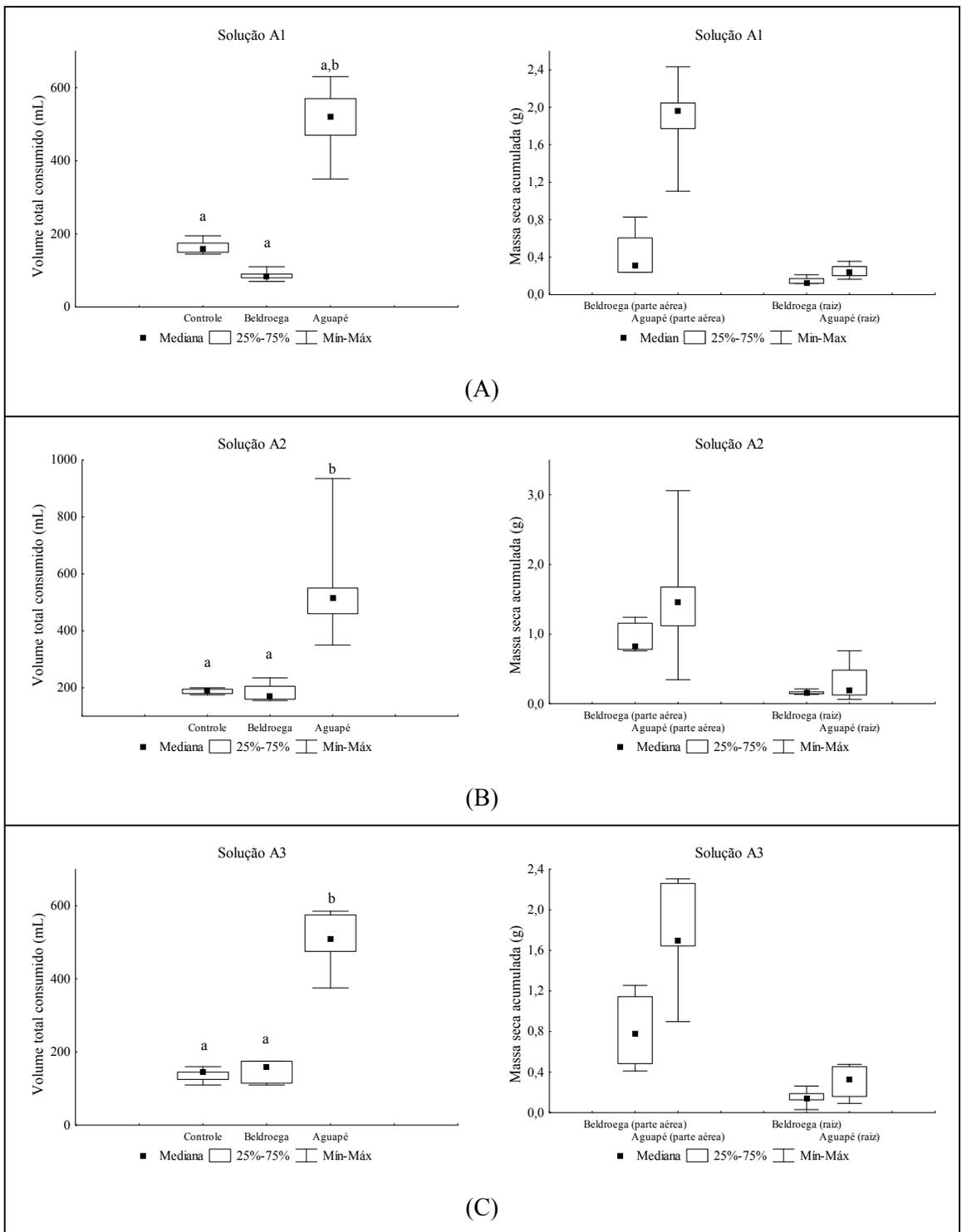


FIGURA 5.11 – Volume total consumido (mL) e Massa seca acumulada (g) – parte aérea e raiz: (A) Solução A1 (300 mg L⁻¹ Na⁺); (B) Solução A2 (500 mg L⁻¹ Na⁺); (C) Solução A3 (1 000 mg L⁻¹ Na⁺)

Letras iguais sobre os box and whisker plots indicam que não houve diferença significativa com nível de significância de 5% (teste de Kruskal-Wallis)

Com relação ao VTC, foi observado que a beldroega apresentou comportamento semelhante ao tratamento CO com a aplicação das soluções A1, A2 e A3, sugerindo baixo consumo de água. Por outro lado, o aguapé se distinguiu pelo maior consumo de solução nas três diferentes concentrações de sódio testadas. Portanto, mesmo em condições salinizadas, o aguapé manteve sua característica distintiva de promover grandes perdas de água por transpiração.

A simples avaliação da MSA sugere que o aguapé se destacou em relação à beldroega no acúmulo de biomassa na parte aérea, não apresentando o mesmo desempenho em relação ao desenvolvimento de raízes. Foram determinadas as TCR's resultantes da aplicação das soluções nutritivas salinizadas de maneira a verificar eventuais diferenças no acúmulo de biomassa entre as duas espécies estudadas, cujos resultados são apresentados nas Figuras 5.12(A), (B) e (C).

A avaliação das TCR's indica que a beldroega apresentou produção de biomassa semelhante àquela gerada pelo aguapé com a utilização das soluções A1 e A3 e alcançou resultado superior com a solução A2. Portanto, considerando-se o menor consumo de água gasto no cultivo da beldroega com a aplicação das soluções, concluiu-se que essa espécie apresentou maior eficiência no acúmulo de biomassa que o aguapé.

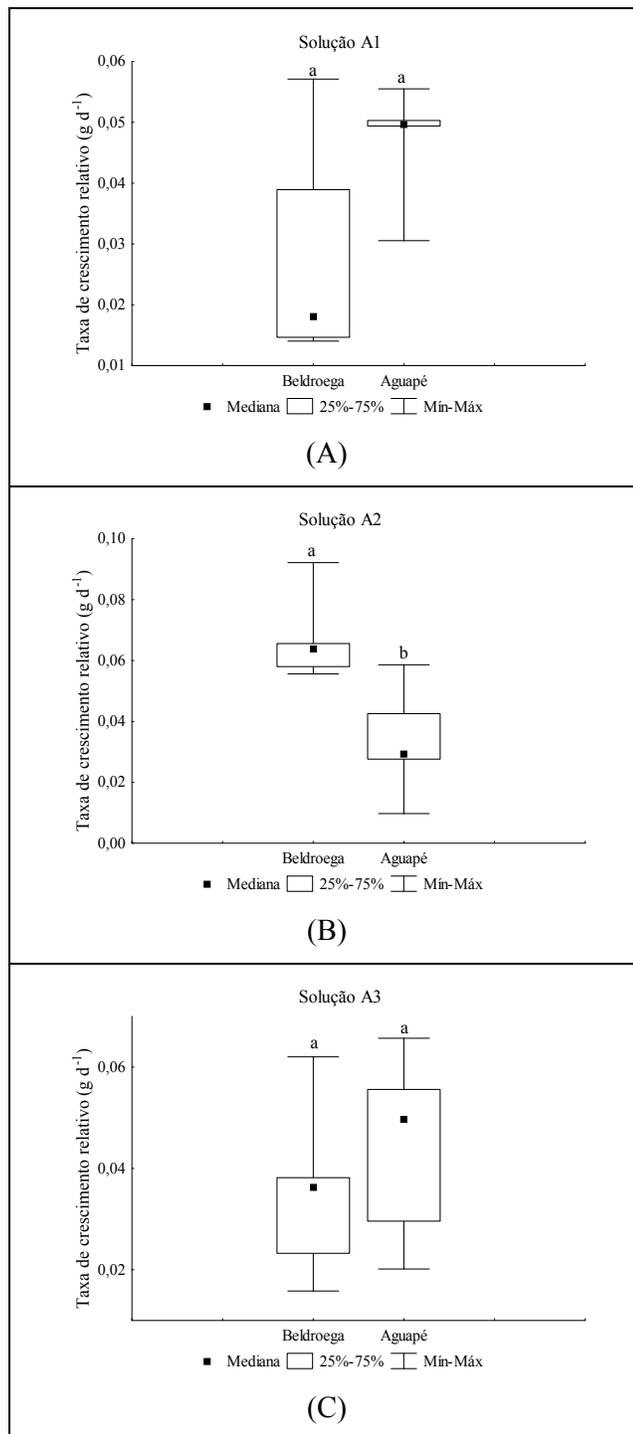


FIGURA 5.12 – Taxa de crescimento relativo (g d^{-1}): (A) Solução A1 ($300 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$); (B) Solução A2 ($500 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$); (C) Solução A3 ($1000 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$)

Letras iguais sobre os box and whisker plots indicam que não houve diferença significativa com nível de significância de 5% (teste de Mann-Whitney)

5.3.2.3 Monitoramento de condutividade elétrica e pH

Os resultados de CE e pH observados com a aplicação das soluções nutritivas (A1, A2 e A3) foram avaliados ao término da terceira semana de experimento (7 dias), sendo apresentados na Tabela 5.13.

TABELA 5.13 – CE (dS m^{-1}) e pH finais (soluções A1, A2 e A3)

Variável	Tratamento	A1	A2	A3
CE (dS m^{-1})	Controle	$1,96 \pm 0,01$	$3,03 \pm 0,03$	$5,38 \pm 0,03$
	Beldroega	$1,88 \pm 0,03$	$2,90 \pm 0,04$	$5,34 \pm 0,09$
	Aguapé	$1,99 \pm 0,06$	$3,44 \pm 0,36$	$6,23 \pm 0,17$
pH	Controle	$6,5 \pm 0,2$	$6,2 \pm 0,2$	$6,6 \pm 0,1$
	Beldroega	$6,7 \pm 0,3$	$6,5 \pm 0,1$	$7,0 \pm 0,3$
	Aguapé	$7,3 \pm 0,3$	$6,9 \pm 0,1$	$7,0 \pm 0,1$

Os valores apresentados correspondem às médias \pm DP (n=5)

A extração de íons pelas plantas estudadas deveria causar redução na CE das soluções aplicadas nos tratamentos BE e AG em relação ao CO; assim como, a variação de pH indicaria maior remoção de cátions ou ânions. A identificação de diferenças significativas entre os grupos com a aplicação das soluções A1, A2 e A3 foi realizada com o emprego de teste não paramétrico, cujos resultados são mostrados nas Figuras 5.13(A), (B) e (C), respectivamente.

Em relação à CE, com exceção da solução A1, onde não foi apontada diferença significativa entre os tratamentos BE e AG e o CO; nas soluções A2 e A3 foi observado que o tratamento AG apresentou aumento de condutividade, o que poderia sugerir concentração de íons não extraídos, talvez decorrente da perda de volume por ele proporcionada. Já o aumento de pH detectado nas soluções A1 e A2, especialmente no tratamento AG, sugere a possibilidade de maior extração de ânions que de cátions.

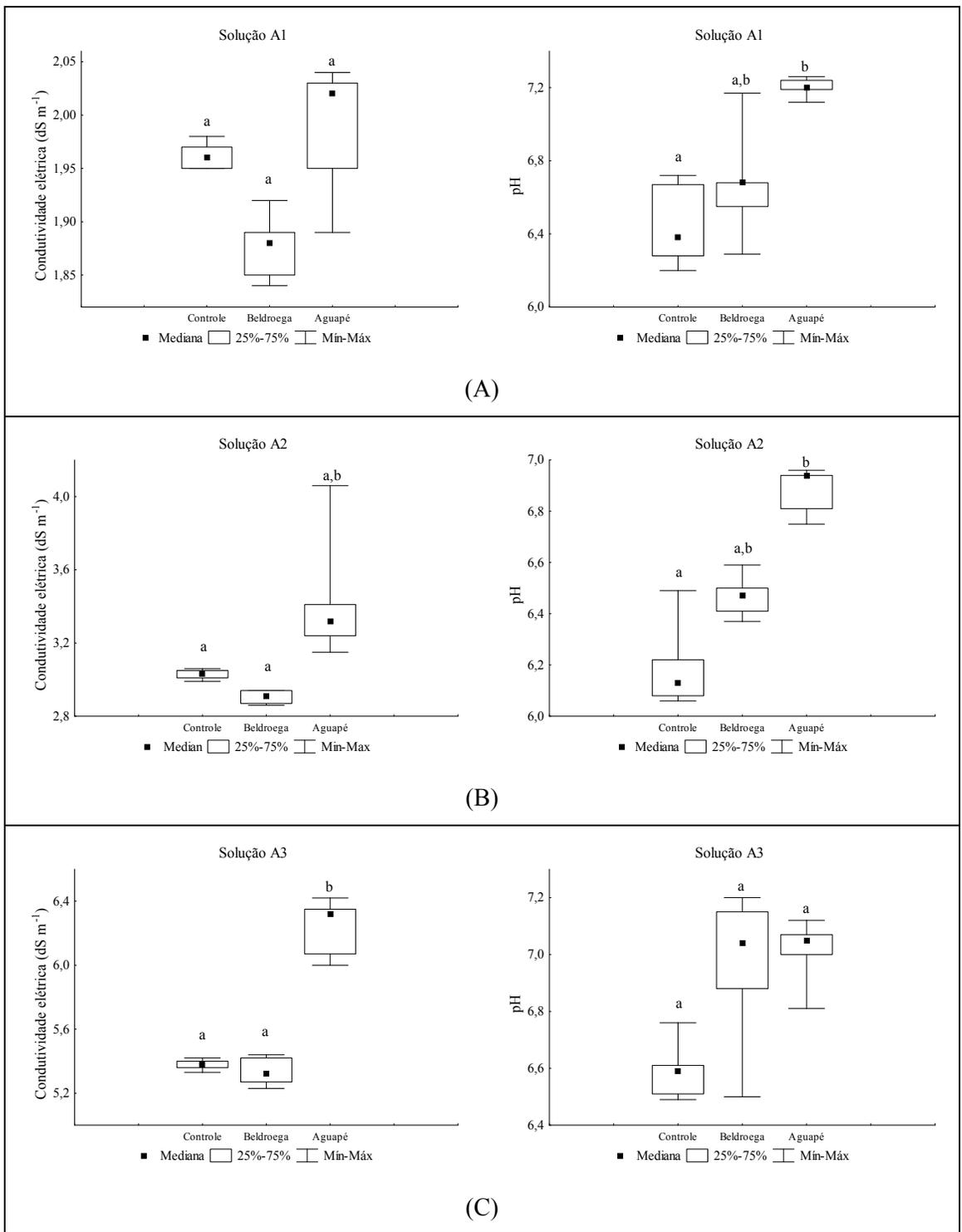


FIGURA 5.13 – Condutividade elétrica (dS m⁻¹) e pH finais: (A) Solução A1 (300 mg L⁻¹ Na⁺); (B) Solução A2 (500 mg L⁻¹ Na⁺); (C) Solução A3 (1 000 mg L⁻¹ Na⁺)

Letras iguais sobre os box and whisker plots indicam que não houve diferença significativa com nível de significância de 5% (teste de Kruskal-Wallis)

5.3.2.4 Redução de salinidade

A redução da salinidade promovida pela capacidade extratora das plantas escolhidas foi determinada, assim como a CE e o pH, pela avaliação da solução residual obtida ao término da terceira semana de experimento (7 dias), de forma qualitativa (concentração final dos íons estudados) e quantitativa (volume final). Os resultados de volume final obtidos com a aplicação das soluções nutritivas A1, A2 e A3 nos tratamentos impostos (CO, BE e AG) são apresentados nas Figuras 5.14(A), (B) e (C), respectivamente.

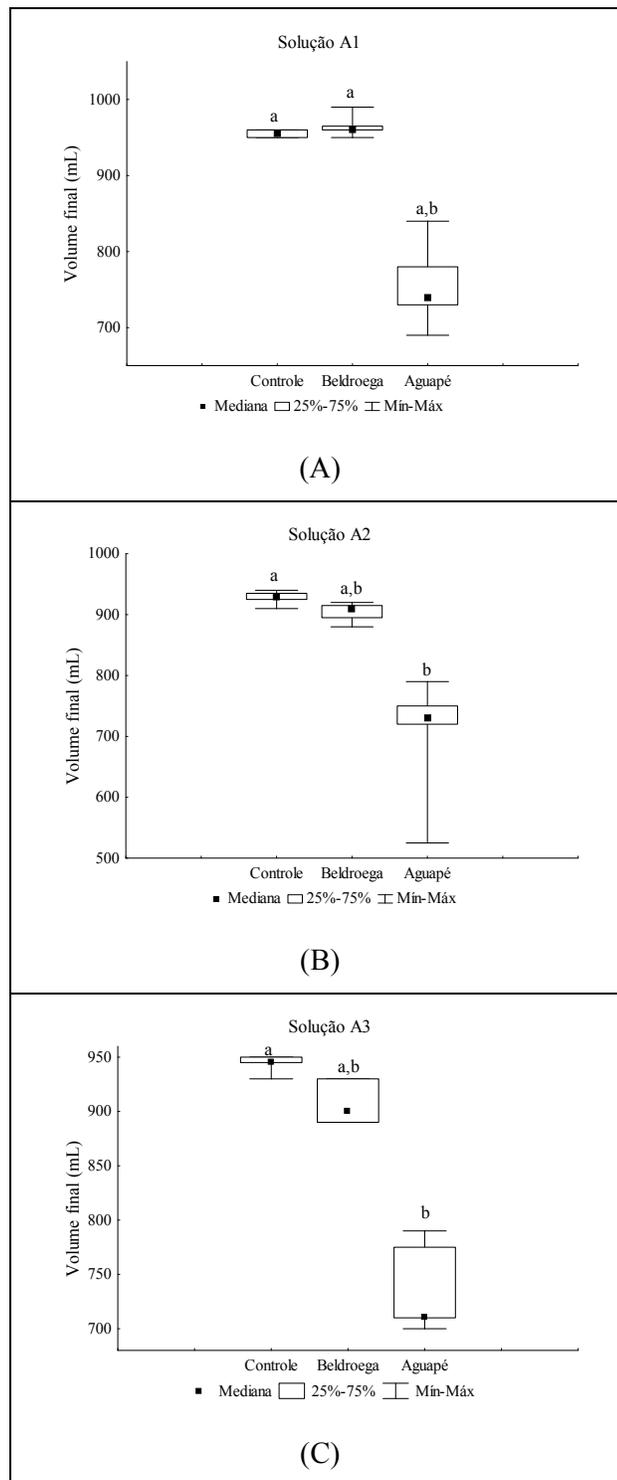


FIGURA 5.14 – Volume final (mL) - 3^a semana: (A) Solução A1 (300 mg L⁻¹ Na⁺); (B) Solução A2 (500 mg L⁻¹ Na⁺); (C) Solução A3 (1 000 mg L⁻¹ Na⁺)

Letras iguais sobre os box and whisker plots indicam que não houve diferença significativa com nível de significância de 5% (teste de Kruskal-Wallis)

Ao final da terceira semana, da mesma forma como o ocorrido com a verificação do período completo do experimento (21 dias) para avaliação da biomassa produzida, o aguapé se destacou pela maior perda de volume com a utilização das soluções A1, A2 e A3, apresentando reduções médias de 24,4; 29,7 e 26,3%, respectivamente. Por outro lado, a beldroega demonstrou comportamento semelhante ao tratamento CO, indicando maior economia no consumo das soluções ao ser cultivada nas mesmas condições ambientais.

Os resultados de concentração final dos íons cálcio, magnésio, sódio e cloreto presentes nas soluções A1, A2 e A3 são apresentados na Tabela 5.14.

TABELA 5.14 – Concentração final de cálcio, magnésio, sódio e cloreto (mg L^{-1}) – soluções A1, A2 e A3

Solução	Tratamento	Íon			
		Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	Cl^-
A1	Controle	$37,0 \pm 0,8$	$9,7 \pm 0,3$	309 ± 5	483 ± 8
	Beldroega	$36,3 \pm 0,2$	$8,8 \pm 0,8$	294 ± 4	471 ± 10
	Aguapé	$29,4 \pm 1,8$	$7,8 \pm 0,8$	344 ± 11	577 ± 12
A2	Controle	$41,9 \pm 0,8$	$10,3 \pm 0,3$	541 ± 12	815 ± 13
	Beldroega	$39,9 \pm 0,4$	$7,7 \pm 0,7$	481 ± 9	819 ± 21
	Aguapé	$31,7 \pm 5,4$	$7,9 \pm 0,6$	592 ± 22	1021 ± 21
A3	Controle	$44,8 \pm 0,6$	$9,7 \pm 0,2$	1037 ± 24	1612 ± 15
	Beldroega	$45,4 \pm 1,4$	$8,4 \pm 0,7$	1013 ± 32	1650 ± 40
	Aguapé	$37,4 \pm 1,8$	$8,9 \pm 0,9$	1220 ± 62	1973 ± 96

Os valores apresentados correspondem às médias \pm DP (n=5)

Em virtude das perdas de volume ocorridas, assim como foi feito na avaliação envolvendo o capim vetiver e o aguapé, realizou-se um balanço de massa (mg) para determinar a massa presente de cada íon estudado no volume final de solução dos tratamentos BE, AG e CO. Os resultados de massa final (íons sódio, cálcio, magnésio e cloreto) presentes nas soluções A1, A2 e A3 são apresentados nas Figuras 5.15(A), (B) e (C), respectivamente.

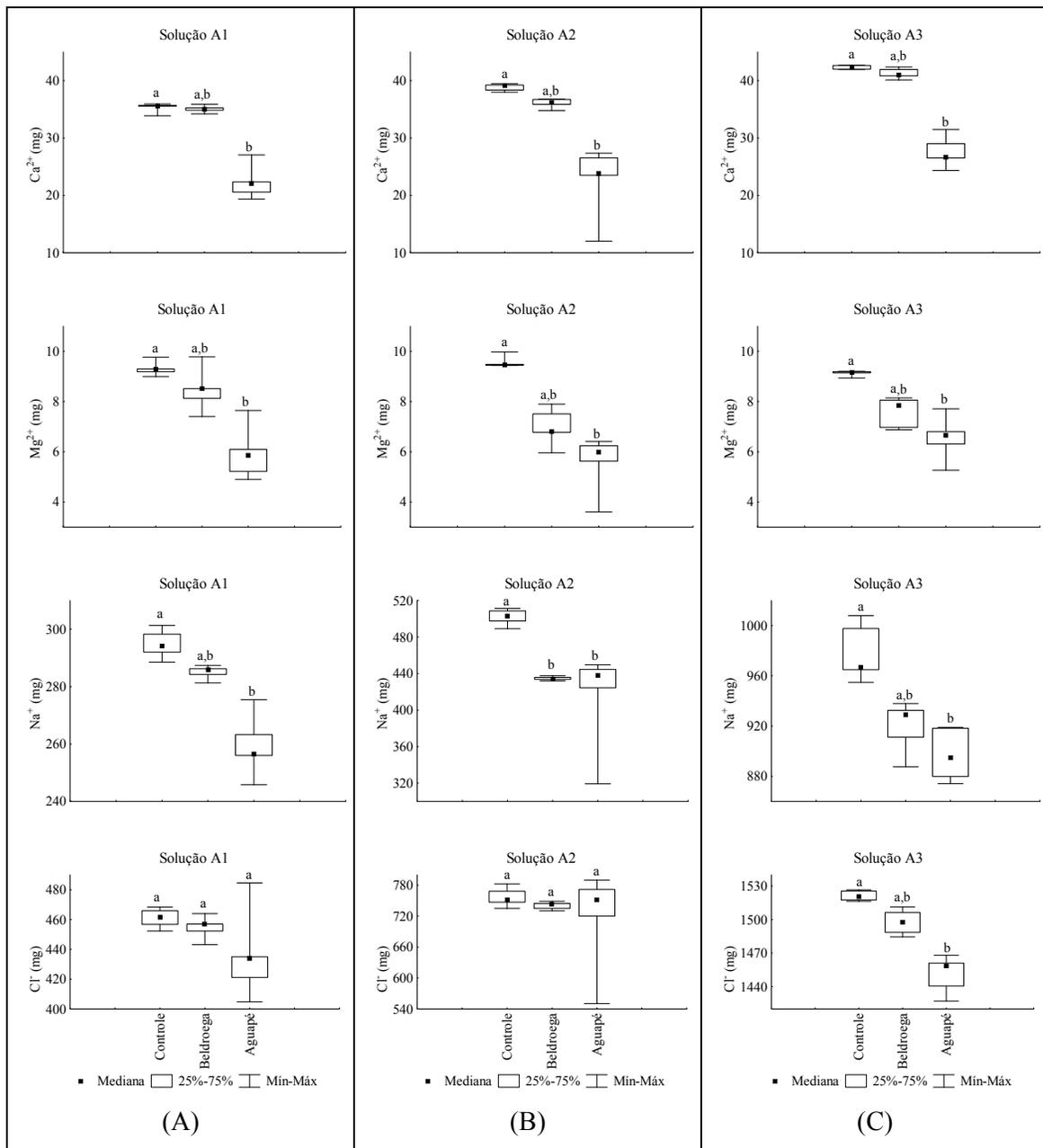


FIGURA 5.15 – Massa final dos íons cálcio, magnésio, sódio e cloreto (mg): (A) Solução A1 (300 mg L⁻¹ Na⁺); (B) Solução A2 (500 mg L⁻¹ Na⁺); (C) Solução A3 (1 000 mg L⁻¹ Na⁺)

Letras iguais sobre os box and whisker plots indicam que não houve diferença significativa com nível de significância de 5% (teste de Kruskal-Wallis)

Considerando a força iônica das soluções aplicadas e seu efeito sobre a disponibilidade dos íons, estimou-se que as plantas cultivadas neste experimento atingiram os seguintes resultados de extração (em porcentagem):

- Com a aplicação da solução A1, ao final da última semana, AG atingiu extração média de cálcio, magnésio e sódio de 57,0; 61,3 e 13,6%, respectivamente. Nas mesmas condições, BE se destacou apenas na extração de magnésio (21,4%).
- O cultivo com o uso da solução A2 demonstrou que a extração de sódio promovida pelo AG e BE alcançou 20,5 e 15,9%, respectivamente. Na extração de cálcio e magnésio, AG se distinguiu atingindo reduções médias acima de 65% para esse dois íons; enquanto que, o cultivo de BE chegou a 50,5% na extração de magnésio. Em relação ao cloreto, as duas espécies apresentaram baixa remoção.
- A aplicação da solução A3 no cultivo de AG resultou em extrações expressivas de cálcio e magnésio, 81,5 e 61,4%, respectivamente. Nas mesmas condições, o cultivo de BE destacou-se apenas na remoção de magnésio (36,9%). A extração de sódio atingiu 10,1 e 7,3% para AG e BE, respectivamente. As duas espécies estudadas apresentaram baixa extração de cloreto com a aplicação da solução A3, 5,6 e 1,9% para AG e BE, respectivamente.

5.3.2.5 Determinação da concentração final dos íons estudados nos tecidos vegetais (parte aérea e raiz)

Concluído esse experimento, foram preparadas amostras para determinação dos íons estudados no tecido vegetal (parte aérea e raiz). Essas amostras foram enviadas para análise no Instituto de Agronomia/UFRRJ, onde foram determinadas as concentrações de cálcio, magnésio, sódio e potássio. Infelizmente, não foi possível determinar a concentração final de cloreto em virtude da insuficiência de massa seca de beldroega.

Avaliando as concentrações finais de cálcio, observou-se que o aguapé apresentou menores dispersões que a beldroega, tanto na parte aérea como na raiz; porém, não foi possível perceber tendência de queda ou aumento de extração em decorrência do acréscimo de salinidade representado pela aplicação das soluções A1, A2 e A3. Os resultados de concentração final de cálcio (parte aérea e raiz) são mostrados nas Figuras 5.16(A) e (B), respectivamente.

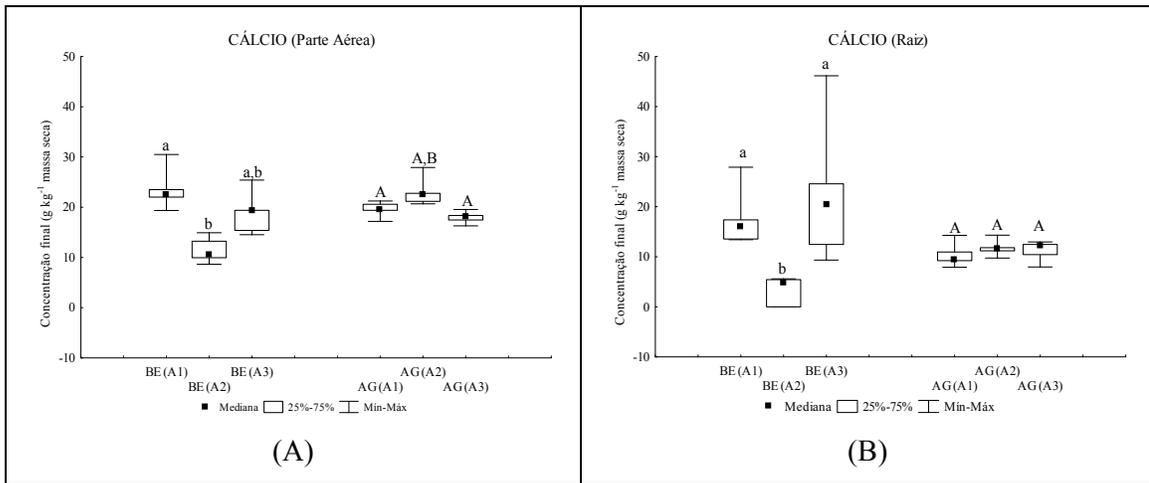


FIGURA 5.16 – Concentração final de Cálcio (g kg^{-1} massa seca) com a aplicação das soluções A1 ($300 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$); A2 ($500 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$); e A3 ($1\ 000 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$): (A) Beldroega e Aguapé (Parte aérea); (B) Beldroega e Aguapé (Raiz)

Letras iguais sobre os box and whisker plots indicam que não houve diferença significativa com nível de significância de 5% (teste de Kruskal-Wallis)

Em relação ao magnésio, a beldroega manteve concentrações finais semelhantes entre si na parte aérea e nas raízes, não apresentando diferenças significativas com as soluções nutritivas aplicadas. Por sua vez, o aguapé exibiu concentrações finais mais baixas na parte aérea e tendência à queda (raízes) com o aumento da salinidade. Os resultados de concentração final de magnésio (parte aérea e raiz) são mostrados nas Figuras 5.17(A) e (B), respectivamente.

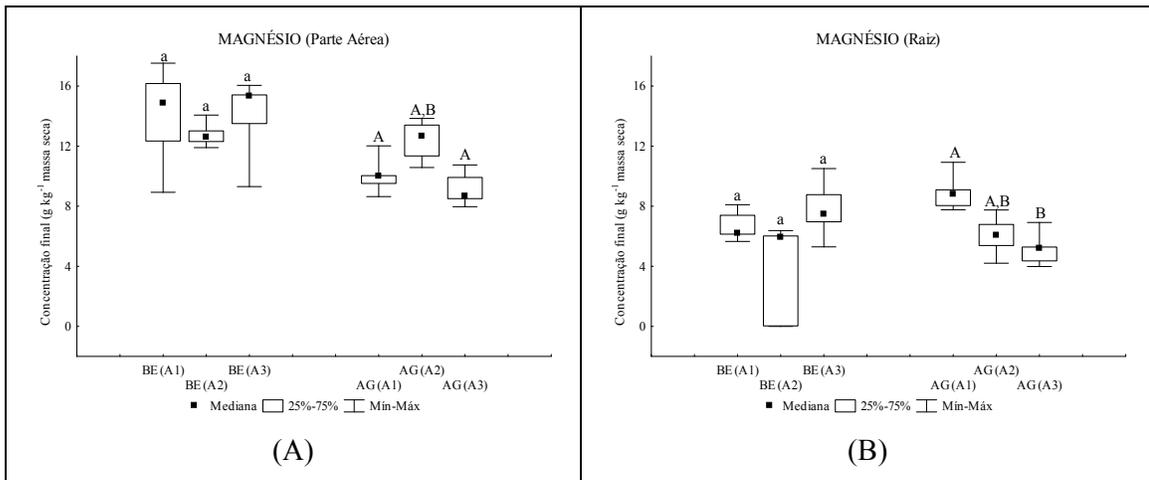


FIGURA 5.17 – Concentração final de Magnésio (g kg^{-1} massa seca) com a aplicação das soluções A1 ($300 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$); A2 ($500 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$); e A3 ($1\ 000 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$): (A) Beldroega e Aguapé (Parte aérea); (B) Beldroega e Aguapé (Raiz)

Letras iguais sobre os box and whisker plots indicam que não houve diferença significativa com nível de significância de 5% (teste de Kruskal-Wallis)

Os resultados apresentados na Figura 5.15 indicaram que o aguapé havia se destacado na extração de cálcio e magnésio; porém, as Figuras 5.16 e 5.17 sugerem que as concentrações finais desses íons em seus tecidos mantiveram-se compatíveis aos apresentados pela beldroega. Essa aparente contradição talvez possa ser explicada pelo fato do aguapé ter apresentado, em números absolutos, maior acúmulo de massa seca que a beldroega (Figura 5.11); portanto, a maior quantidade de íons extraída possivelmente foi distribuída em uma massa maior de tecidos, resultando em uma concentração final menor (efeito de diluição).

Com relação ao sódio, diferentemente da beldroega, o aguapé apresentou tendência de aumento de concentração final com a aplicação das soluções A1, A2 e A3, na parte aérea e nas raízes. Os resultados obtidos (parte aérea e raiz) são mostrados nas Figuras 5.18(A) e (B), respectivamente.

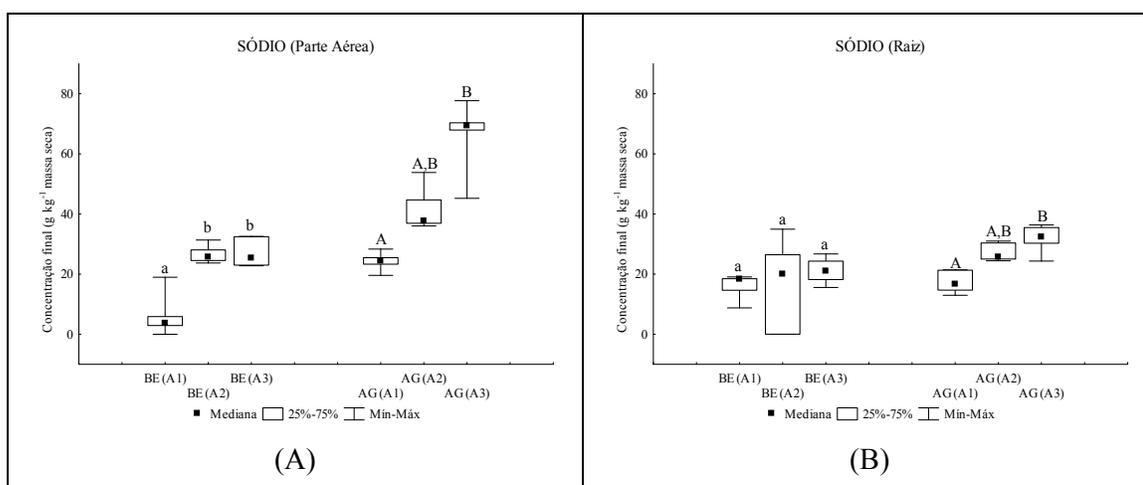


FIGURA 5.18 – Concentração final de Sódio (g kg^{-1} massa seca) com a aplicação das soluções A1 ($300 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$); A2 ($500 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$); e A3 ($1\ 000 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$): (A) Beldroega e Aguapé (Parte aérea); (B) Beldroega e Aguapé (Raiz)

Letras iguais sobre os box and whisker plots indicam que não houve diferença significativa com nível de significância de 5% (teste de Kruskal-Wallis)

A avaliação dos resultados de potássio demonstrou que, na parte aérea (Figura 5.19(A)), a beldroega exibiu maiores concentrações finais; enquanto que, nas raízes (Figura 5.19(B)), seu desempenho foi semelhante ao aguapé, ressalvada a dispersão observada com a aplicação da solução A2, que inviabilizou a avaliação estatística desse conjunto de dados.

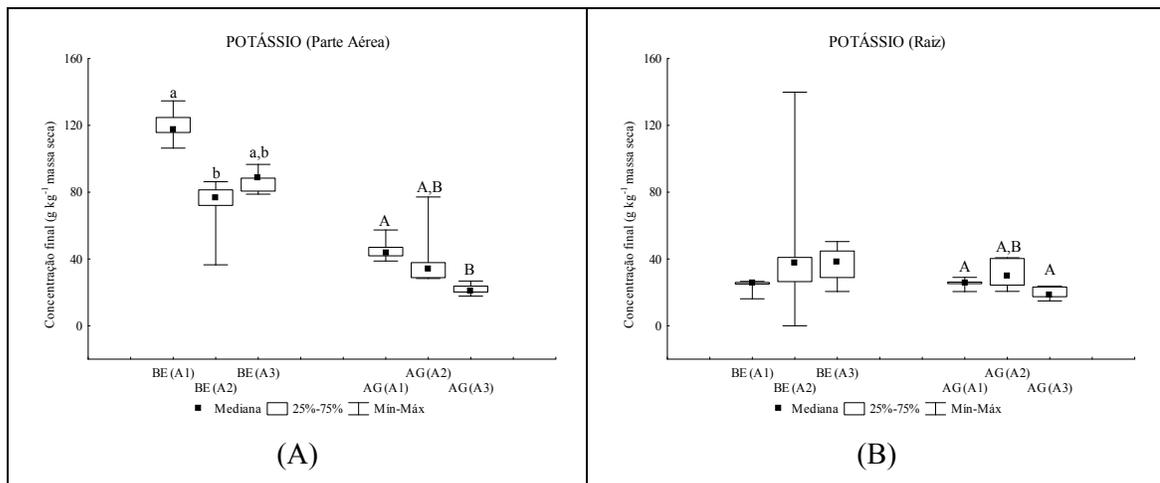


FIGURA 5.19 – Concentração final de Potássio (g kg^{-1} massa seca) com a aplicação das soluções A1 ($300 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$); A2 ($500 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$); e A3 ($1\ 000 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$): (A) Beldroega e Aguapé (Parte aérea); (B) Beldroega e Aguapé (Raiz)

Letras iguais sobre os box and whisker plots indicam que não houve diferença significativa com nível de significância de 5% (teste de Kruskal-Wallis)

5.3.2.6 Sintomas visuais

Em relação aos sintomas visuais apresentados pelas espécies cultivadas (BE e AG), registraram-se comportamentos distintos com a aplicação das soluções A1, A2 e A3. As plantas BE apresentaram murchamento temporário ao serem transferidas do solo para as soluções nutritivas salinizadas; porém, no decorrer das três semanas de experimento apresentaram desenvolvimento de parte aérea (sem alterações de cor nas folhas/necrose) e de sistema radicular com a aplicação das três soluções aplicadas. Já o aguapé apresentou sintomas de estresse com o uso da solução A3 ($1\ 000 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$), tendo sido observado enrolamento das bordas nas folhas novas e necrose das folhas velhas; porém, com o decorrer das três semanas, em geral, houve crescimento (folhas novas/estolões) com coloração verde escuro (sem sinal de clorose) com redução no tamanho das folhas. Além disso, foi notado crescimento do sistema radicular em quase todas as plantas, com novas raízes esbranquiçadas. Apesar da CE aplicada ($5,12 \text{ dS m}^{-1}$) ter superado o limite tóxico calculado ($4,04 \text{ dS m}^{-1}$) por Sooknah & Wilkie (2004), as plantas de aguapé sobreviveram às três semanas de experimento. Nas Figuras 5.20(A), (B), (C), (D) e (E) são mostradas algumas fotos das plantas (beldroega e aguapé) ao final desse experimento.

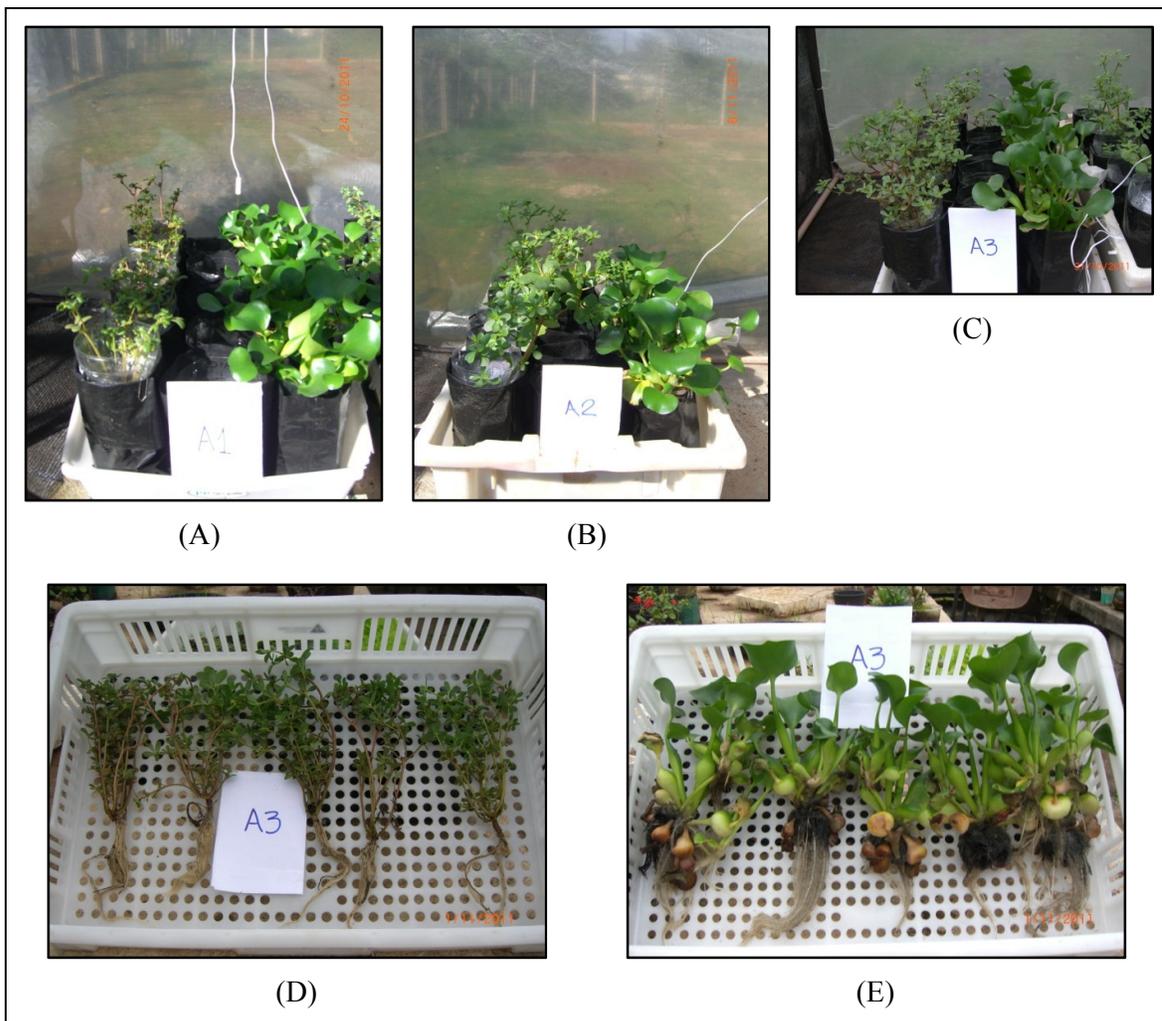


FIGURA 5.20 – Aspecto visual da beldroega e do aguapé: (A) Final de experimento (Solução A1); (B) Final de experimento (Solução A2); (C) Final de experimento (Solução A3); (D) Beldroega – tamanho final (Solução A3); (E) Aguapé – tamanho final (Solução A3)

5.4 Trabalho experimental II

Os resultados do trabalho experimental I demonstraram que o tratamento BE se destacou ao demonstrar menor consumo de solução nutritiva associado a um acúmulo de biomassa igual ou superior ao AG. Apesar de não ter apresentado desempenho superior ao alcançado pelo tratamento AG na remoção dos íons estudados já que, além da extração de sódio (solução A2), o tratamento BE se distinguiu apenas na remoção de magnésio com a aplicação das soluções A1, A2 e A3, escolheu-se a beldroega para dar prosseguimento ao experimento. A escolha da beldroega baseou-se nas seguintes premissas:

- (1) Diferentemente do aguapé, a beldroega é uma espécie de alto valor nutritivo, podendo ser empregada na alimentação humana e animal; além disso, é listada como uma hortaliça não convencional (MAPA, 2010).
- (2) A literatura pesquisada indica a beldroega como uma espécie promissora na remoção de sódio e cloreto, apresentando aumento dessa capacidade após subseqüentes cortes (Kiliç *et al.* (2008); Grieve & Suarez (1997)).
- (3) Considerou-se que o emprego de plantas adultas coletadas do ambiente natural poderia ter influenciado negativamente seu desempenho em função de possíveis diferenças de idade, apesar de terem sido escolhidas de maneira a apresentarem uniformidade de tamanho.
- (4) Quando dessa escolha, os resultados de concentração final no tecido vegetal não puderam ser avaliados porque as análises ainda não tinham sido concluídas.

Assim sendo, o trabalho experimental II empregou plantas de beldroega cultivadas a partir de sementes comercialmente disponíveis, como mostrado nas Figuras 5.21(A), (B) e (C).

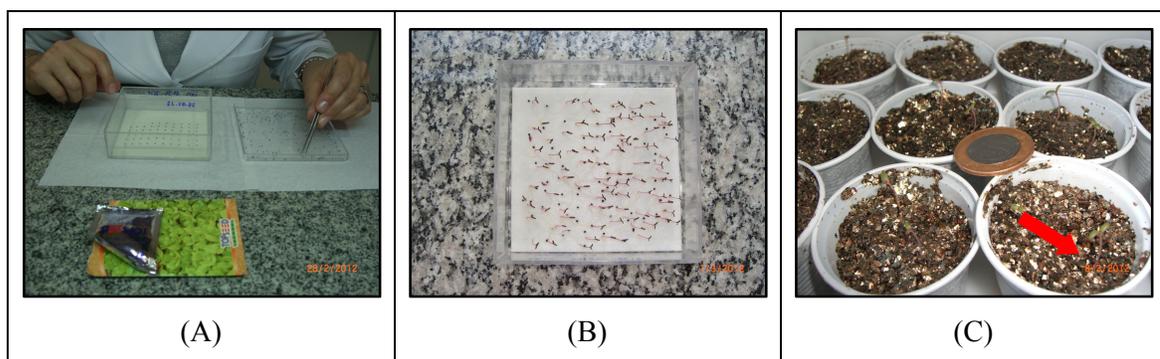


FIGURA 5.21 – Cultivo de beldroega: (A) Semeadura; (B) Sementes germinadas; (C) Transplântio

Esse experimento foi conduzido no período de 12 de abril a 17 de maio de 2012, também utilizando a casa de vegetação do Colégio Técnico – COLTEC, localizada no Campus da Universidade Federal de Minas Gerais, em Belo Horizonte (MG).

Além da utilização de plantas de mesma idade, nessa etapa foram estudadas as seguintes alterações no cultivo hidropônico da beldroega em condições salinas em relação ao Trabalho Experimental I:

- (1) Dois grupos de beldroega e um controle (sem plantas) foram cultivados simultaneamente, sendo que, após o período de aclimatação (02 semanas), as plantas que compunham um dos grupos plantados foram podadas entre o 3º e o 4º nó. Dessa forma, nesse experimento foram comparados os seguintes grupos: não podado (NP), podado (PO) e controle (CO). Esse corte teve como objetivo verificar o aumento na capacidade de extração de salinidade descrito na literatura;
- (2) O volume a ser tratado foi reduzido de 1 para 0,5 L por planta
- (3) O tempo total de experimento foi aumentado de 03 para 05 semanas (35 dias), sendo mantidas as duas primeiras semanas de aclimatação;
- (4) Após a 3ª semana de cultivo, as perdas de volume foram repostas com a adição semanal de água deionizada (AD).

Cada um dos três grupos testados contou com 05 repetições por tratamento, totalizando assim 15 unidades experimentais por solução nutritiva aplicada (A1(300 mg L⁻¹ Na⁺), A2 (500 mg L⁻¹ Na⁺) e A3(1 000 mg L⁻¹ Na⁺)). A estrutura do trabalho experimental II é mostrada na Figura 5.22.

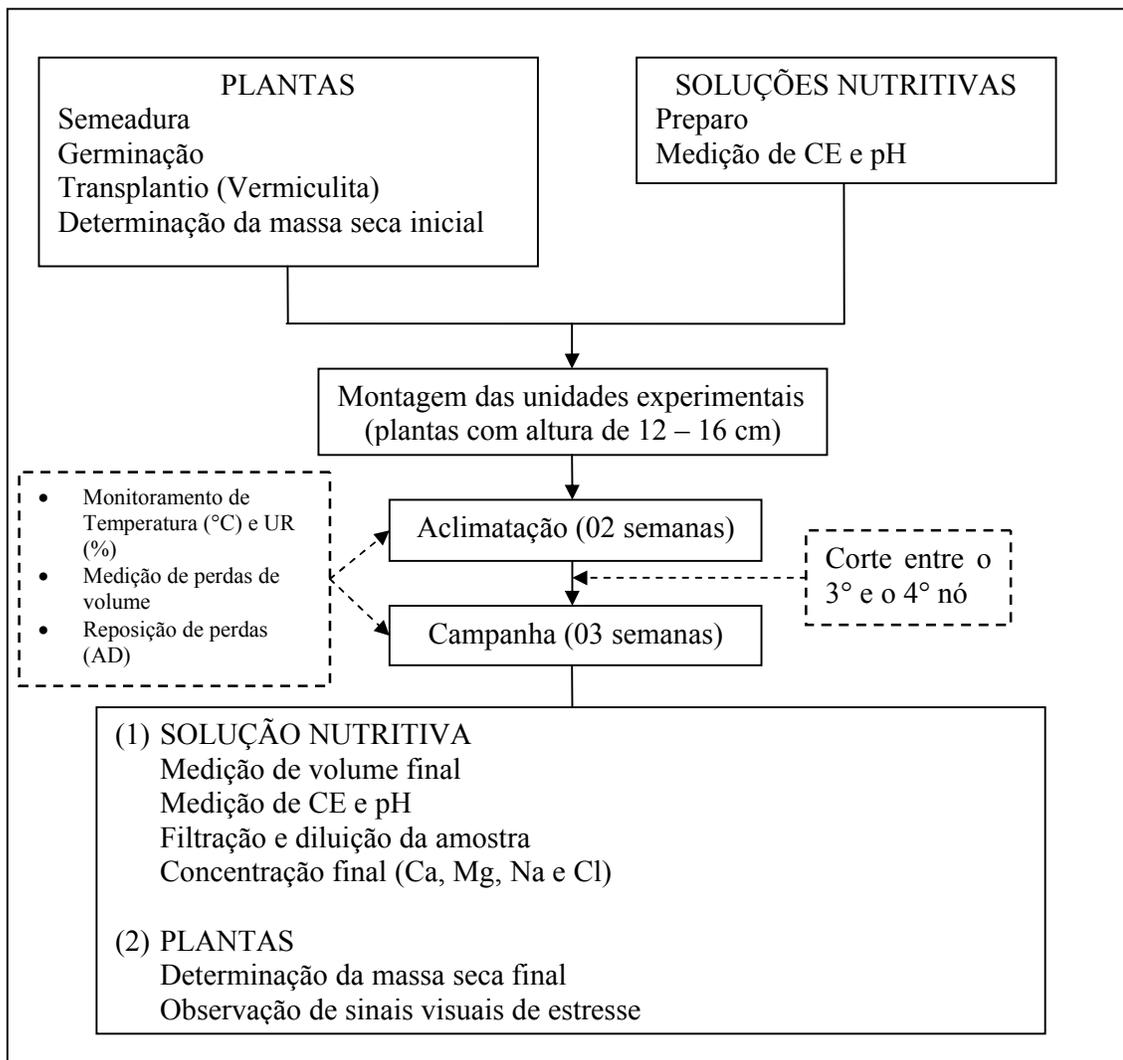


FIGURA 5.22 – Trabalho Experimental II (Etapas Metodológicas)

5.4.1 Monitoramento das condições ambientais no período

Durante o período experimental, as condições ambientais variaram de acordo com os resultados apresentados na Tabela 5.15.

TABELA 5.15 – Variação de Temperatura e Umidade Relativa (UR) durante o período experimental

Variável		Mínima	Máxima
Temperatura	°C	15,6 ± 1,5	33,5 ± 2,4
UR	%	48,0 ± 8,2	91,0 ± 2,2

Os valores apresentados correspondem às médias ± DP (n=5)

5.4.2 Produção de biomassa associada ao consumo de solução nutritiva

Ao final do período total do experimento (35 dias), os volumes consumidos semanalmente foram registrados e totalizados, configurando o volume total consumido (VTC), cuja avaliação teve como objetivo identificar diferenças entre os tratamentos (NP e PO) e o CO. Os resultados observados de VTC com o uso das soluções A1, A2, e A3 são apresentados nas Figuras 5.23(A), (B) e (C), respectivamente.

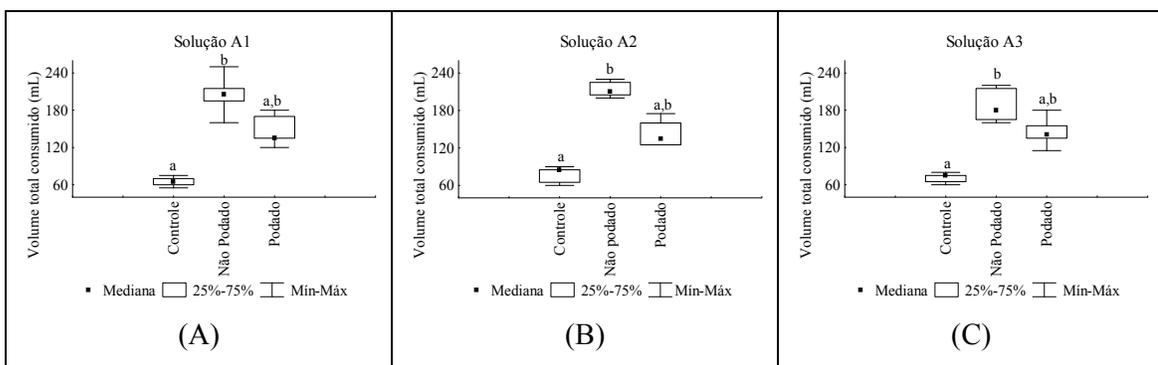


FIGURA 5.23 – Volume total consumido (mL): (A) Solução A1 (300 mg L⁻¹ Na⁺); (B) Solução A2 (500 mg L⁻¹ Na⁺); (C) Solução A3 (1 000 mg L⁻¹ Na⁺)

Letras iguais sobre os box and whisker plots indicam que não houve diferença significativa com nível de significância de 5% (teste de Kruskal-Wallis)

Foi observado que o tratamento NP se distinguiu significativamente, demonstrando maior consumo com a aplicação das três soluções nutritivas; enquanto que, nas mesmas condições, o tratamento PO apresentou desempenho intermediário.

A avaliação da MSA's foi realizada separando-se os dados obtidos na parte aérea da raiz e apresentando-se as massas secas iniciais e finais dos tratamentos NP e PO, como mostrado nas Figuras 5.24(A) e (B), respectivamente.

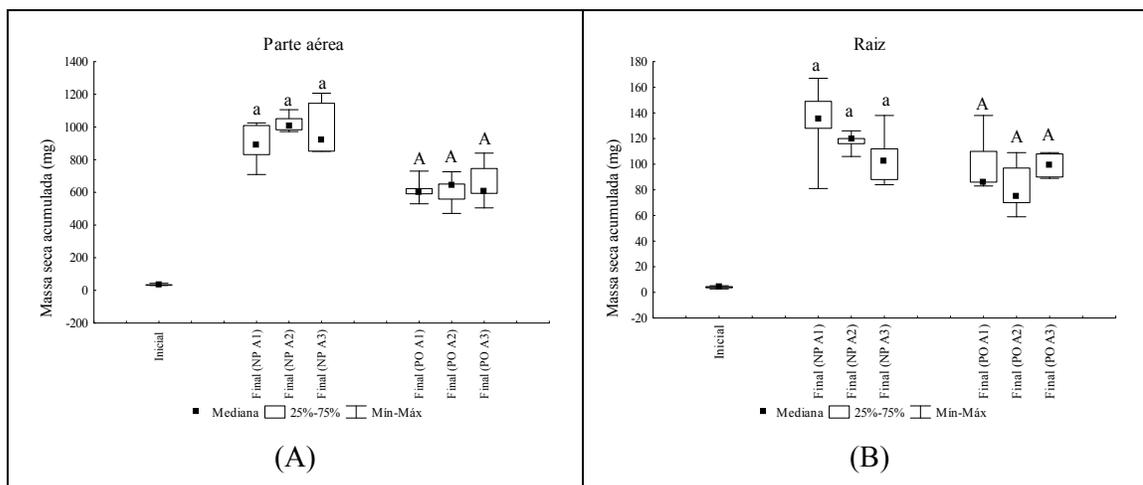


FIGURA 5.24 – Massa seca acumulada (mg): (A) Parte aérea; (B) Raiz

Letras iguais sobre os box and whisker plots indicam que não houve diferença significativa com nível de significância de 5% (teste de Kruskal-Wallis)

Em primeiro lugar, ao se comparar a massa seca inicial com a final, foi verificado que a beldroega exibiu crescimento vigoroso e que o tratamento NP se sobressaiu no acúmulo de biomassa, especialmente na parte aérea. Além disso, não foi verificada diferença significativa no acúmulo de massa seca final decorrente da aplicação das soluções salinas testadas, ou seja, os tratamentos NP e PO apresentaram desempenhos semelhantes (parte aérea e raiz) ao serem cultivados com três diferentes concentrações de sódio (300, 500 e 1 000 mg L⁻¹).

A seguir, foram calculadas as TCR's dos tratamentos NP e PO, cujos resultados são apresentados na Figura 5.25.

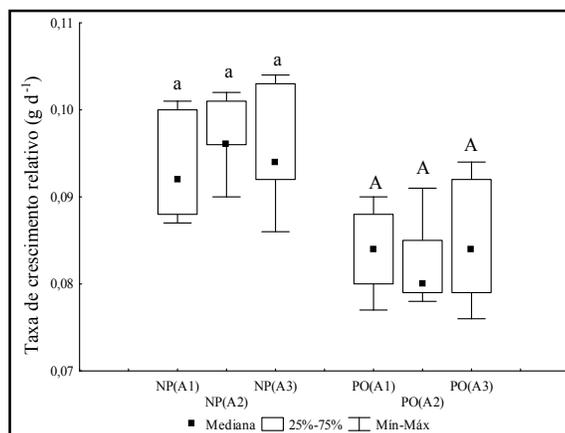


FIGURA 5.25 – Taxa de crescimento relativo (g d⁻¹): Não Podado e Podado

Letras iguais sobre os box and whisker plots indicam que não houve diferença significativa com nível de significância de 5% (teste de Kruskal-Wallis)

Avaliando-se as TCR's calculadas, confirmou-se o que tinha sido verificado com a análise inicial da MSA's, tanto no tratamento NP quanto no PO, a beldroega apresentou acúmulo de massa seca semelhante com a aplicação das três soluções nutritivas A1, A2 e A3.

Outra constatação importante refere-se à eficiência no consumo das soluções nutritivas, já que, apesar de ter apresentado maior consumo das soluções nutritivas salinizadas aplicadas (A1, A2 e A3) durante o período total do experimento (35 dias), o tratamento NP alcançou TCR superior ao tratamento PO.

5.4.3 Redução de salinidade

A redução da salinidade promovida pela capacidade extratora das plantas escolhidas foi determinada pela avaliação da solução residual obtida ao término da campanha de 03 semanas (21 dias), de forma qualitativa (concentração final dos íons estudados) e quantitativa (volume final). Ressalta-se que, nessa etapa (trabalho experimental II), os resultados de massa final dos íons estudados foram calculados sobre o volume tratado (0,5 L).

Os resultados de massa final de cálcio obtidos pelos tratamentos CO, NP e PO com a aplicação das soluções nutritivas A1, A2 e A3 são apresentados nas Figuras 5.26(A), (B) e (C), respectivamente.

Verificado que, com a aplicação da solução A1, o tratamento NP apresentou diferença significativa, atingindo extração média de cálcio de 36,0%; enquanto que, o tratamento PO, mesmo não se distinguindo, chegou a 20,0% de redução, em média. Com a solução A2, mesmo não havendo desempenho considerado significativamente diferente do tratamento controle, as extrações médias de cálcio promovidas pelos tratamentos NP e PO chegaram a 29,5 e 33,8%, respectivamente. Os tratamentos NP e PO não apresentaram desempenho significativo com a aplicação da solução A3 em relação ao CO. As avaliações de extração de cálcio consideraram a força iônica das soluções aplicadas e seu efeito sobre a disponibilidade dos íons.

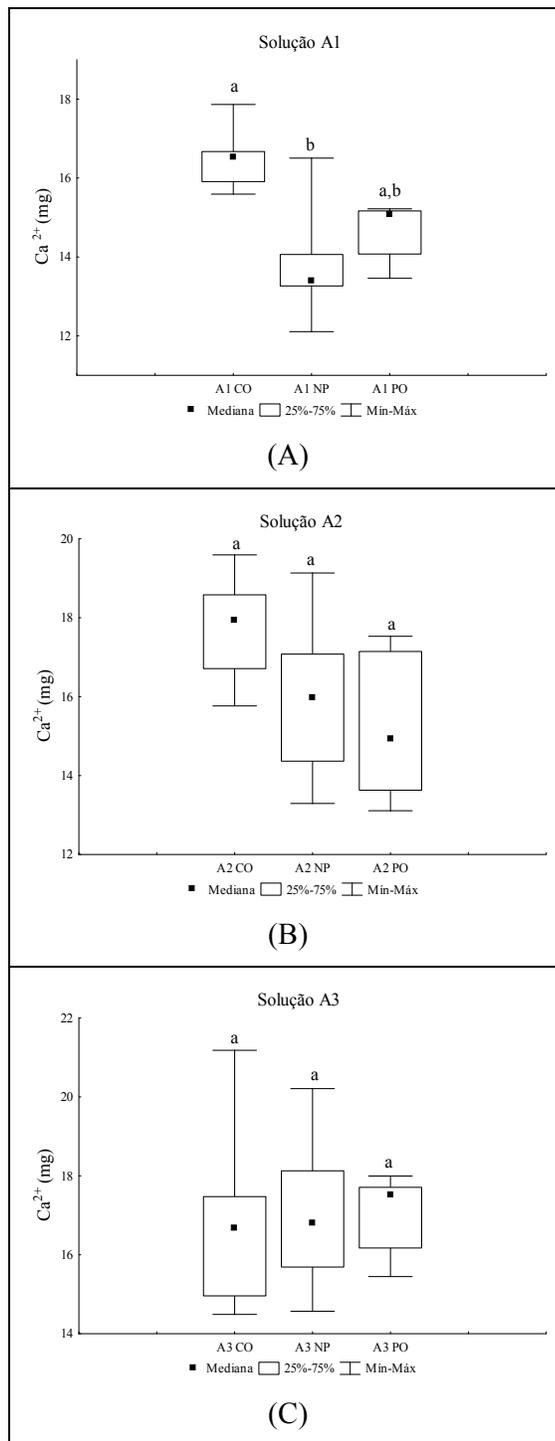


FIGURA 5.26 – Massa final de cálcio (mg): (A) Solução A1 ($300 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$); (B) Solução A2 ($500 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$); (C) Solução A3 ($1\ 000 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$)

Letras iguais sobre os box and whisker plots indicam que não houve diferença significativa com nível de significância de 5% (teste de Kruskal-Wallis)

Nas Figuras 5.27(A), (B) e (C), são mostrados os resultados de massa final de magnésio resultantes dos tratamentos CO, NP e PO com a aplicação das soluções nutritivas A1, A2 e A3, respectivamente.

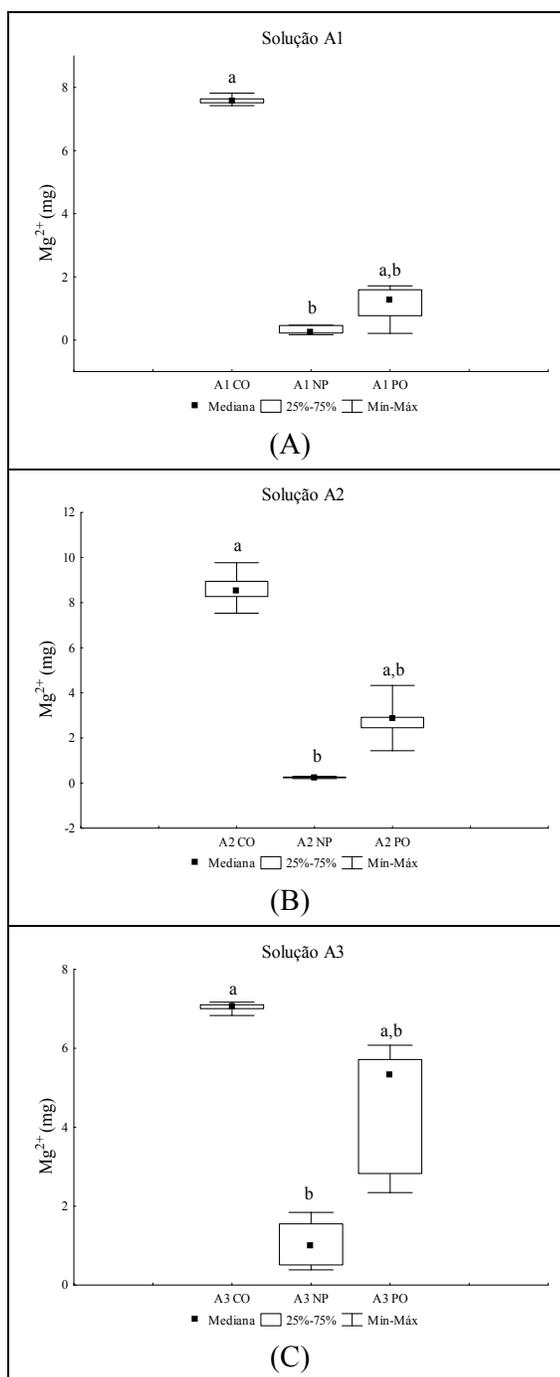


FIGURA 5.27 – Massa final de magnésio (mg): (A) Solução A1 ($300 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$); (B) Solução A2 ($500 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$); (C) Solução A3 ($1\ 000 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$)

Letras iguais sobre os box and whisker plots indicam que não houve diferença significativa com nível de significância de 5% (teste de Kruskal-Wallis)

A extração média de magnésio obtida pelo tratamento NP foi considerada significativamente distinta com a aplicação da solução A1, atingindo 95,9%; porém, apesar do tratamento PO ter apresentado desempenho inferior ao do NP, alcançou extração média de 85,4%. Com a solução A2, foi também detectada distinção significativa do tratamento NP, que atingiu extração média de 97,1%; enquanto, o PO chegou a 67,5%. Novamente, com o uso da solução A3, o tratamento NP se distinguiu, com extração média estimada em 84,9%; nas mesmas condições e sem apresentar desempenho significativamente distinto, o tratamento PO removeu, em média, 36,4% do magnésio. A força iônica das soluções aplicadas e seu efeito sobre a disponibilidade dos íons não pode ser considerada nessas avaliações, já que a extração de magnésio foi superior à massa estimada como disponível.

Os resultados de massa final de sódio obtidos pelos tratamentos CO, NP e PO com a aplicação das soluções nutritivas A1, A2 e A3 são apresentados nas Figuras 5.28(A), (B) e (C), respectivamente.

A avaliação do desempenho alcançado com o uso da solução A1 apontou diferença significativa para ambos os tratamentos (NP e PO), sendo estimada extração média de sódio de 18,2 e 15,5%, respectivamente. Com a solução A2, os dois tratamentos também se distinguiram significativamente do CO, alcançando remoção média de 15,0 e 14,0%, respectivamente. No caso da solução A3, observado desempenho distinto apenas para o tratamento PO, que atingiu extração média de sódio de 22,5%; enquanto que, o tratamento NP alcançou desempenho inferior, 9,8%.

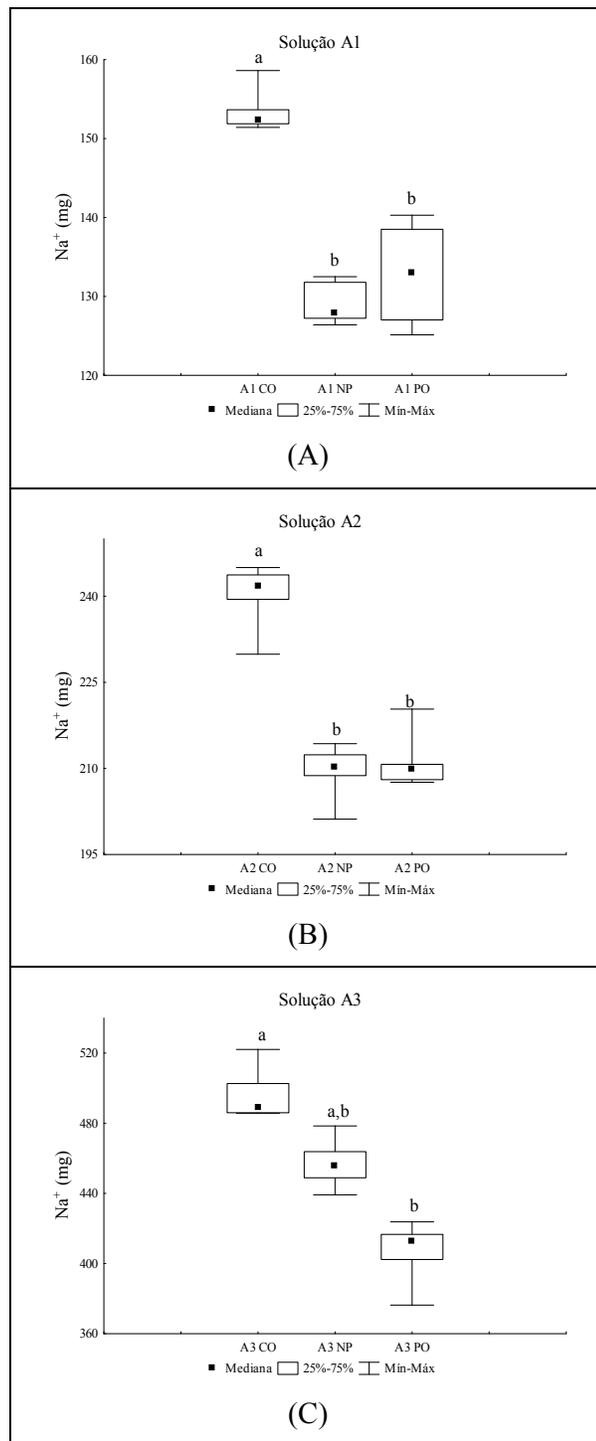


FIGURA 5.28 – Massa final de sódio (mg): (A) Solução A1 ($300 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$); (B) Solução A2 ($500 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$); (C) Solução A3 ($1\ 000 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$)

Letras iguais sobre os box and whisker plots indicam que não houve diferença significativa com nível de significância de 5% (teste de Kruskal-Wallis)

Com relação à extração de cloreto, os tratamentos NP e PO apresentaram os resultados mostrados nas Figuras 5.29(A), (B) e (C) com as soluções A1, A2 e A3.

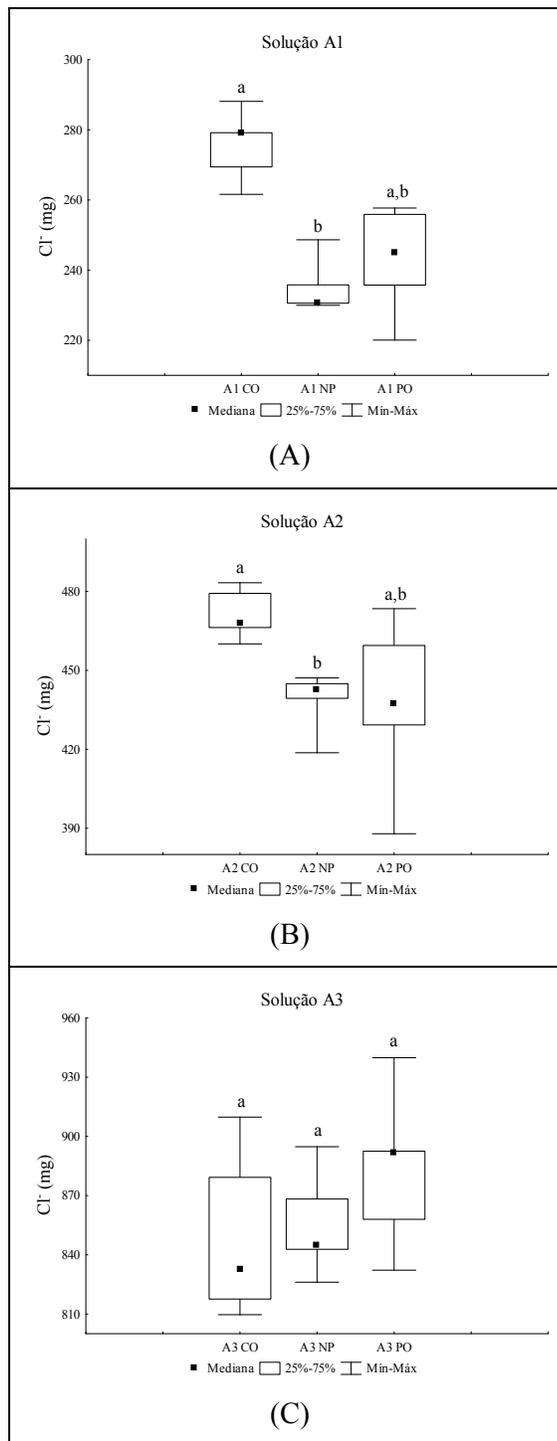


FIGURA 5.29 – Massa final de cloreto (mg): (A) Solução A1 ($300 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$); (B) Solução A2 ($500 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$); (C) Solução A3 ($1\ 000 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}^+$)

Letras iguais sobre os box and whisker plots indicam que não houve diferença significativa com nível de significância de 5% (teste de Kruskal-Wallis)

Foi verificado que, com a aplicação das soluções A1 e A2, o tratamento NP alcançou desempenho significativamente distinto do CO, chegando a extrações médias de cloreto de

16,7 e 8,2%, respectivamente; enquanto que, o tratamento PO não obteve distinção. Os tratamentos NP e PO não promoveram extrações significativas de cloreto com o uso da solução A3.

Em experimento simulando o cultivo de beldroega em condições salinas (2,1 (controle); 15,2 e 28,5 dS m⁻¹), essa espécie apresentou em seus tecidos (planta inteira), concentrações progressivas de sódio (15,3; 45,3 e 72,1 g kg⁻¹ massa seca, respectivamente) e cloreto (10,2; 12,1 e 20,4 g kg⁻¹ massa seca) (Grieve & Suarez, 1996). Em outra pesquisa, ao ser cultivada em diferentes salinidades (0,65 (controle), 3,5, 5,0 e 6,4 dS m⁻¹), a beldroega também atingiu concentrações crescentes de sódio (1,20; 1,72; 1,85 e 2,06 %, respectivamente) e de cloreto (4,35; 5,81; 6,32 e 6,61 %, respectivamente) em seus tecidos (parte aérea) (Kiliç *et al.*, 2008). Portanto, esses estudos apontam a beldroega como uma planta acumuladora de sódio e cloreto.

Porém, neste trabalho experimental, ao analisar as soluções residuais após tratamento, não foi possível perceber remoção significativa de sódio e cloreto promovida pela beldroega, afastando-se a possibilidade de que isso tenha ocorrido em virtude da falta de aeração das soluções nutritivas (Lara *et al.*, 2011).

5.4.4 Sintomas visuais

Em relação aos sintomas visuais apresentados pela beldroega nos tratamentos NP e PO, não foram registrados comportamentos distintos com a aplicação das soluções A1, A2 e A3. No decorrer das 05 semanas, as plantas apresentaram vigoroso desenvolvimento de parte aérea (sem alterações de cor nas folhas/necrose) e de sistema radicular com a aplicação das três soluções aplicadas. O aumento de tamanho observado durante esse experimento e a aparência das plantas (parte aérea e raízes) são apresentados nas Figuras 5.30(A), (B), (C), (D), (E), (F) e (G).

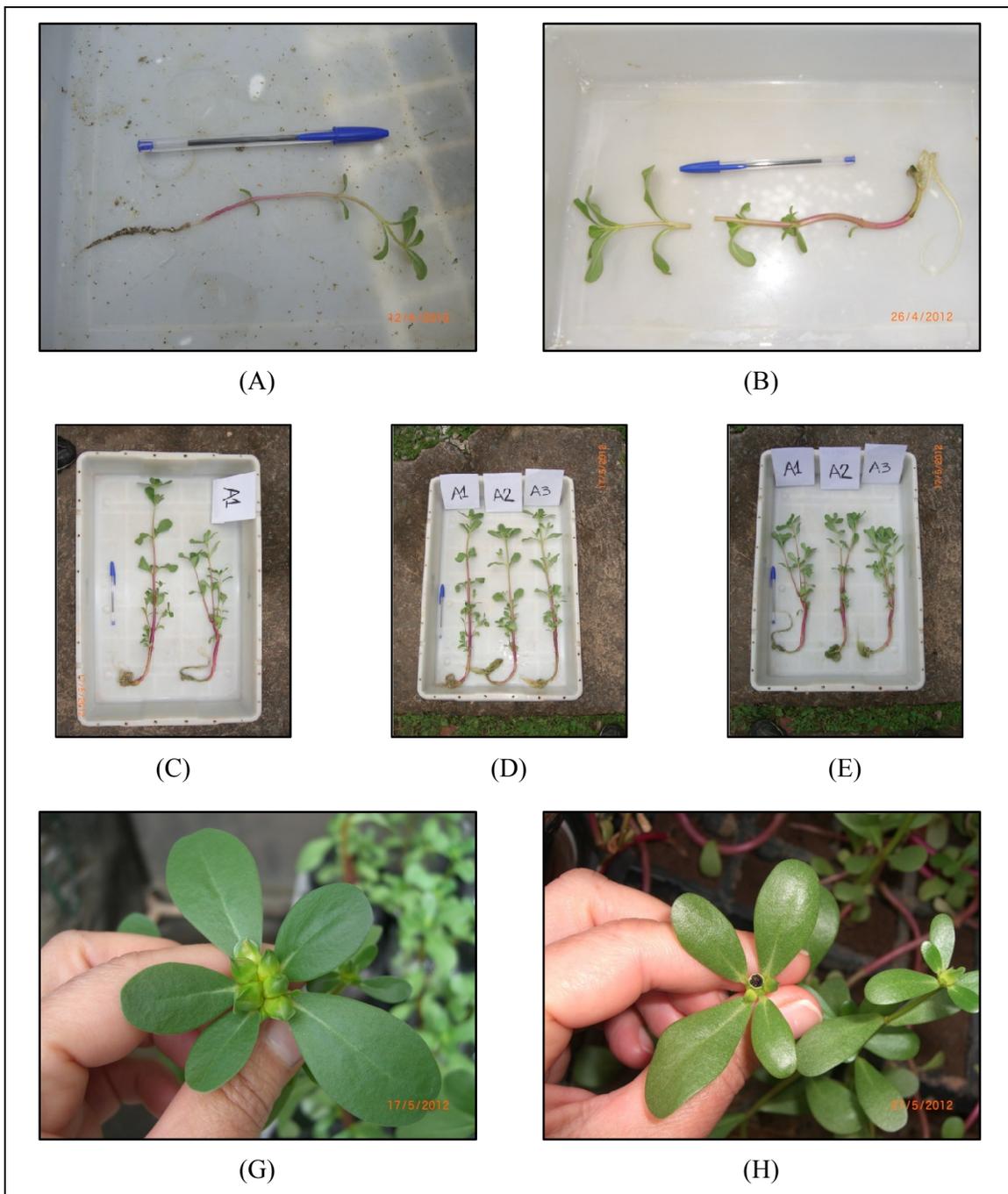


FIGURA 5.30 – Aspecto visual da beldroega: (A) Início do experimento – Aclimação (12/04/12); (B) Final da aclimação e poda (26/04/2012); (C) Tamanho final (17/05/12) – planta não podada e podada (Solução A1); (D) Tamanho final (17/05/12) – plantas não podadas (Soluções A1, A2 e A3); (E) Tamanho final (17/05/12) – plantas podadas (Soluções A1, A2 e A3); (G) Planta com botão floral (17/05/12); (H) Planta cultivada em solo

5.5 Considerações finais

O cultivo de espécies vegetais em condições salinas para propósitos diversos é uma realidade cada vez mais presente; portanto, a ampliação do conhecimento sobre o comportamento das plantas nessas circunstâncias poderá contribuir para o aproveitamento de recursos, a minimização de danos ambientais e o desenvolvimento de novas formas de produção e de geração de trabalho e renda.

Este trabalho procurou inserir-se nessa frente de pesquisa, tendo como objetivo avaliar o potencial de remoção de salinidade da água promovido pelas plantas escolhidas e tomando como base a qualidade das águas subterrâneas existentes no Estado de Minas Gerais.

Em virtude da operação da rede de monitoramento das águas subterrâneas no Estado de Minas ser bastante recente (operando desde 2007), em 2010, quando foram realizadas as pesquisas para determinar as formulações das soluções nutritivas a serem empregadas, não foram encontradas informações detalhadas e consolidadas (baseadas em séries históricas) sobre as características físico-químicas das águas subterrâneas mineiras. Dessa forma, foi necessário recorrer ao banco de dados da Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA MG como fonte de informação para identificar exemplos de águas subterrâneas salinas ocorrentes no semiárido mineiro. Constatou-se que, como o monitoramento é reservado apenas aos poços com potencial de utilização para o consumo humano, uma vez constatada a sua inadequação para esse fim por meio de uma análise das suas características físico-químicas, esses poços “inadequados” deixavam de ser operados (e monitorados).

Nessas circunstâncias, foram escolhidos três exemplos de água subterrânea salobra encontrados em localidades mineiras (São João do Paraíso, Nanuque e Varzelândia), para estabelecer as concentrações de sódio a serem estudadas (300, 500 e 1 000 mg L⁻¹).

Os resultados sobre a qualidade da água subterrânea mineira foram posteriormente divulgados pelo IGAM, indicando a presença de água salobra e salina nos poços monitorados. Comparando os resultados dos poços tubulares existentes no Norte de Minas (onde já foram realizadas 05 campanhas de monitoramento) com as soluções nutritivas salinizadas aplicadas neste trabalho, observou-se que, as soluções nutritivas empregadas, especialmente a A3, apresentaram classificação USSL inferior às águas monitoradas, como mostrado na Figura 5.1. Dessa forma, pode-se afirmar que as plantas estudadas foram submetidas a condições de cultivo mais adversas que as águas reais poderiam proporcionar.

Este estudo restringiu-se a estudos em laboratório, utilizando técnicas de cultivo hidropônico e abordagens específicas para verificar o potencial das espécies vegetais escolhidas (USEPA, 2001). Como principal abordagem específica, empregou-se soluções nutritivas na forma diluída (1/5 da força) visando induzir a extração dos íons estudados (cálcio, magnésio, sódio e cloreto) e obter resultados por meio de campanhas curtas.

Com relação aos testes exploratórios realizados, considerou-se que, em virtude do método de cultivo adotado, a escolha da erva sal foi equivocada, principalmente, por se tratar de uma planta de grande porte e de crescimento lento. Por outro lado, o estudo do capim vetiver foi prejudicado pela falta de análises químicas das soluções tratadas durante o seu cultivo, por decorrência de problemas técnicos com a Cromatografia iônica, que só foram superados com o início de operação da Absorção Atômica, a partir de 2011.

Avaliando o trabalho experimental I, concluiu-se que, ao serem cultivados com a aplicação da solução A1, os tratamentos CV e o AG apresentaram as diferenças significativas: (1) Cálcio: o AG alcançou uma remoção média de 81,6%; (2) Magnésio: enquanto o CV atingiu extração média de 29,0%, o AG chegou a 89,6%; (3) Sódio: o AG removeu, em média, 20,2%; e (4) Cloreto: extração média de 14,7% promovida pelo AG. Com a solução A3, as extrações significativas foram: (1) Cálcio: o CV conseguiu remoção média de 26,8% e o AG chegou a 66,9%; (2) Magnésio: o CV extraiu, em média, 25,5% e o CV 71,8%; (3) Sódio e; (4) Cloreto: ambas as espécies não apresentaram remoção significativa. Como pode ser observado, o aguapé se distinguiu nas extrações dos macronutrientes (cálcio e magnésio), apresentando baixa remoção de sódio, apenas com a aplicação da solução A1. O capim vetiver se destacou significativamente apenas na remoção de magnésio ao ser cultivado com a solução A1. Portanto, essa comparação demonstrou que o capim vetiver não apresentava potencial para ser empregado no trabalho experimental II.

Concluindo a avaliação do trabalho experimental I, a outra comparação realizada (beldroega (BE) X aguapé (AG)) foi ampliada, além da análise da extração promovida pelo cultivo dessas espécies, incluiu-se a verificação da massa seca acumulada associada ao respectivo consumo de solução nutritiva. A avaliação das TCR's foi decisiva ao demonstrar que a beldroega apresentou produção de biomassa semelhante àquela gerada pelo aguapé com a utilização das soluções A1 e A3 e alcançou resultado superior com a solução A2. Portanto, considerando-se o menor consumo de água gasto no cultivo da beldroega com a aplicação das soluções, concluiu-se que essa espécie apresentou maior eficiência no acúmulo de biomassa

que o aguapé. Com relação às extrações dos íons estudados, foram estimados os seguintes resultados com a aplicação da solução A1: o tratamento AG atingiu extração média de cálcio, magnésio, sódio e cloreto de 57,0; 61,3; 13,6 e 9,0%, respectivamente. Nas mesmas condições, BE se destacou apenas na extração de magnésio (21,4%). O cultivo com o uso da solução A2 demonstrou que a extração de sódio promovida pelos grupos AG e BE atingiu 20,5 e 15,9%, respectivamente. Na extração de cálcio e magnésio, AG se distinguiu atingindo reduções médias acima de 65% para esse dois íons; enquanto que, o cultivo de BE chegou a 50,5% na extração de magnésio. Em relação ao cloreto, as duas espécies apresentaram baixa remoção – AG com 13,4% e BE com 3,7%. A aplicação da solução A3 no cultivo de AG resultou em extrações expressivas de cálcio e magnésio, 81,5 e 61,4%, respectivamente. Nas mesmas condições, o cultivo de BE destacou-se apenas na remoção de magnésio (36,9%). A extração de sódio atingiu 10,1 e 7,3% para AG e BE, respectivamente. As duas espécies estudadas apresentaram baixa extração de cloreto com a aplicação da solução A3, 5,6 e 1,9% para AG e BE, respectivamente.

Essa comparação entre a beldroega e o aguapé também incluiu a determinação da concentração dos íons estudados no tecido vegetal acumulado durante o experimento. Foram determinadas as concentrações finais de cálcio, magnésio, sódio e potássio; infelizmente, a concentração de cloreto não pode ser analisada por falta de material. Em relação ao cálcio e ao magnésio, apesar do aguapé ter se destacado na extração desses íons ao se analisar as soluções residuais no final do experimento, as concentrações finais presentes em seus tecidos mantiveram-se compatíveis às apresentadas pela beldroega. Como o aguapé apresentou, em números absolutos, maior acúmulo de massa seca que a beldroega, possivelmente, essa maior massa extraída acabou sendo distribuída em uma massa maior de tecido vegetal, resultando em uma concentração final menor. Com referência ao sódio, diferentemente da beldroega, o aguapé apresentou tendência de aumento de concentração final com a aplicação das soluções nutritivas A1, A2 e A3, na parte aérea e nas raízes. A beldroega exibiu maiores concentrações de potássio na parte aérea; enquanto que, nas raízes, foram observados valores semelhantes aos apresentados pelo aguapé.

Portanto, os resultados do trabalho experimental I demonstraram que a beldroega se destacou ao apresentar menor consumo de solução nutritiva associado a um acúmulo de biomassa, pelo menos, igual ao alcançado pela aguapé. Apesar de não atingido o desempenho alcançado pelo aguapé na remoção dos íons estudados já que, além da extração de sódio (solução A2), o

tratamento BE se distinguiu apenas na remoção de magnésio com a aplicação das soluções A1, A2 e A3, escolheu-se a beldroega para dar prosseguimento ao experimento pelas seguintes razões: (1) trata-se de uma espécie de alto valor nutritivo, podendo ser empregada na alimentação humana e animal, (2) a literatura pesquisada indicava a beldroega como uma espécie promissora na remoção de sódio e cloreto, apresentando aumento dessa capacidade após subseqüentes cortes, (3) considerou-se que o emprego de plantas adultas coletadas do ambiente natural poderia ter influenciado negativamente seu desempenho, e (4) os resultados de concentração final no tecido vegetal não estavam disponíveis quando da escolha.

Iniciando a avaliação do trabalho experimental II pela verificação do desempenho da espécie escolhida, a beldroega, em duas condições de cultivo (não podada (NP) e podada (PO)) em relação ao acúmulo de biomassa e respectivo consumo de soluções nutritivas, concluiu-se que, assim como tinha sido verificado com a análise inicial da MSA's, tanto no tratamento NP quanto no PO, a beldroega apresentou acúmulo de massa seca semelhante com a aplicação das três soluções nutritivas A1, A2 e A3. Outra constatação importante nesse aspecto referiu-se à eficiência no consumo das soluções nutritivas, já que, apesar de ter apresentado maior consumo das soluções nutritivas salinizadas aplicadas (A1, A2 e A3) durante o período total do experimento (35 dias), o tratamento NP alcançou TCR superior ao tratamento PO. Com relação às extrações alcançadas, foi verificado: (1) Cálcio: com a aplicação da solução A1, o tratamento NP apresentou diferença significativa, atingindo extração média de cálcio de 36,0%; enquanto que, o tratamento PO, mesmo não se distinguindo, chegou a 20,0% de redução, em média. Com a solução A2, mesmo não havendo desempenho considerado significativamente diferente do tratamento controle, as extrações médias de cálcio promovidas pelos tratamentos NP e PO chegaram a 29,5 e 33,8%, respectivamente. Os tratamentos NP e PO não apresentaram desempenho significativo com a aplicação da solução A3 em relação ao CO. As avaliações de extração de cálcio consideraram a força iônica das soluções aplicadas e seu efeito sobre a disponibilidade dos íons; (2) Magnésio: a extração média de magnésio obtida pelo tratamento NP foi considerada significativamente distinta com a aplicação da solução A1, atingindo 95,9%; porém, apesar do tratamento PO ter apresentado desempenho inferior ao do NP, alcançou extração média de 85,4%. Com a solução A2, foi também detectada distinção significativa do tratamento NP, que atingiu extração média de 97,1%; enquanto, o PO chegou a 67,5%. Novamente, com o uso da solução A3, o tratamento NP se distinguiu, com extração média estimada em 84,9%; nas mesmas condições e sem apresentar desempenho significativamente distinto, o tratamento PO removeu, em média, 36,4% do

magnésio. A força iônica das soluções aplicadas e seu efeito sobre a disponibilidade dos íons não pode ser considerada nessas avaliações, já que a extração de magnésio foi superior à massa estimada como disponível; (3) Sódio: a avaliação do desempenho alcançado com o uso da solução A1 apontou diferença significativa para ambos os tratamentos (NP e PO), sendo estimada extração média de sódio de 18,2 e 15,5%, respectivamente. Com a solução A2, os dois tratamentos também se distinguiram significativamente do CO, alcançando remoção média de 15,0 e 14,0%, respectivamente. No caso da solução A3, observado desempenho distinto apenas para o tratamento PO, que atingiu extração média de sódio de 22,5%; enquanto que, o tratamento NP alcançou desempenho inferior, 9,8%, e (4) Cloreto: observado que, com a aplicação das soluções A1 e A2, o tratamento NP alcançou desempenho significativamente distinto do CO, chegando a extrações médias de cloreto de 16,7 e 8,2%, respectivamente; enquanto que, o tratamento PO não obteve distinção. Os tratamentos NP e PO não promoveram extrações significativas de cloreto com o uso da solução A3.

Os resultados obtidos no trabalho experimental II indicaram que a beldroega não apresentou o desempenho esperado na remoção de sódio e cloreto apesar de ter se destacado na remoção de magnésio e apresentado notável acúmulo de biomassa, mesmo em condições de cultivo tão adversas. Dessa forma, confirmou-se tratar-se de uma espécie tolerante à salinidade; porém, nos experimentos realizados neste estudo, não demonstrou ser acumuladora de sódio e cloreto como indicado pela literatura pesquisada.

6 CONCLUSÕES

Retomando as hipóteses formuladas no princípio deste trabalho, pode-se concluir que:

6.1 Aproveitamento de águas salinas na produção de biomassa

O cultivo hidropônico realizado possibilitou a produção de biomassa de interesse econômico, uma vez que a beldroega chegou a igualar-se, em termos de crescimento relativo, ao desempenho alcançado pelo aguapé, conhecido por seu vigoroso desenvolvimento.

6.2 Remoção de salinidade

Dentre as espécies vegetais testadas, o aguapé demonstrou capacidade superior de extração de salinidade (cálcio, magnésio e sódio) nas condições de cultivo propostas neste projeto. Tal capacidade foi confirmada pelas análises do seu tecido vegetal. Porém, em virtude do limitado emprego da sua biomassa e do elevado consumo de solução nutritiva observado, o estudo dessa espécie não foi continuado.

6.3 Conclusão final

Apesar do sucesso obtido na produção de biomassa em cultivo hidropônico sem aeração, a espécie escolhida (beldroega) não conseguiu associar remoção de salinidade que pudesse indicar capacidade de promover melhoria na qualidade de uma corrente aquosa salina a ponto de viabilizar seu uso na irrigação sem a imposição de restrições para a proteção do solo.

7 RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos e observações reunidas durante esta pesquisa, citam-se algumas sugestões para futuros trabalhos:

- Avaliação de outras espécies tais como: (1) *Salicornia*, também conhecida como aspargo do mar; além de ser comestível, possui potencial para ser empregada na produção de óleos (Brown *et al.*, 1999; Webb *et al.*, 2012; Pantanella, 2012). No Brasil, uma espécie semelhante (*Sarcocornia ambigua*, halófita de rápido crescimento) está sendo pesquisada pela Universidade Estadual do Ceará; (2) *Salsola soda* (barrilha), espécie originalmente usada na produção de carbonato de sódio impuro (usado pela indústria de sabão e vidro), mas que também pode ser cultivada e consumida como hortaliça (Hammer *et al.*, 1990; Pantanella, 2012).
- Avaliação de cultivo combinado também é outra possibilidade a ser considerada. No caso das espécies avaliadas neste projeto, esse cultivo poderia associar o cultivo de aguapé, beldroega e capim vetiver, como apresentado na Figura 7.1. Dessa forma, o aguapé, que apresentou os melhores resultados de remoção de sódio e cloreto, seria o primeiro a entrar em contato com a corrente aquosa salina (o que também poderia servir para limitar seu crescimento) a ser tratada. A seguir, seria cultivada a beldroega, espécie de ciclo curto e comestível e, por último, o capim vetiver, cujas longas raízes poderiam concluir o processo de tratamento.

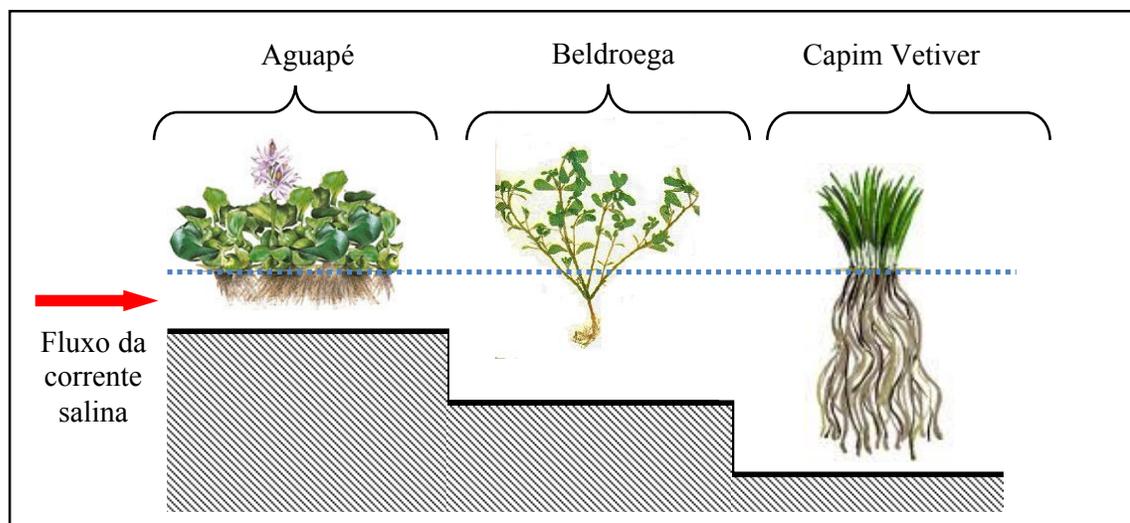


FIGURA 7.1 – Cultivo combinado de espécies para tratamento de correntes salinas

- Projeto de cooperação em parceria com um sistema integrado conduzido pelo PAD, de maneira a avaliar espécies alternativas à *Atriplex nummularia*, por meio de cultivo hidropônico empregando o efluente gerado pela dessalinização/aquacultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *ATLAS NORDESTE – abastecimento urbano de água: alternativas de oferta de água para sedes municipais da Região Nordeste do Brasil e do norte de Minas Gerais.* Agência Nacional de Águas, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos; Consórcio Engecorps/Projetec/Geoambiente/ Riverside Technology. Brasília: ANA, SPR, 2006. 80p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Panorama de enquadramento dos corpos d'água do Brasil, e, Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil* (Caderno de Recursos Hídricos, 5). Coordenação Geral, João Gilberto Lotufo Conejo; Coordenação Executiva, Marcelo Pires da Costa, José Luiz Gomes Zoby. Brasília: ANA, 2007. 124p.

Ajub, A. C. *Estado de Minas*, Belo Horizonte, 17 jan. 2011. Caderno Agropecuário, p.1, 1 fot., colorida.

Alves, M. S.; Soares, T. M.; Silva, L. T.; Fernandes, J. P.; Oliveira, M. L. A.; Paz, V. P. S. Estratégias de uso de água salobra na produção de alface em hidroponia NFT. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.5, p.491-498, 2011.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. C. Mercuric Nitrate Method. 21st ed. Washington, 2005. p. 4-71-4-72.

Amorim, D. M. B.; Notaro, I. A.; Furtado, D. A.; Gheyi, H. R.; Baracuhy, J. G. V. Avaliação de diferentes níveis de salinidade da água utilizada na produção de forragem hidropônica de milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* (suplemento), 2005.

Andrade Júnior, A. S.; Silva, E. F. F.; Bastos, E. A.; Melo, F. B.; Leal, C. M. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no semi-árido piauiense. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.4, p.873-880, 2006.

Andrade, J. C. M.; Tavares, S. R. L.; Mahler, C. F. *Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, 176p.

Ayers, R. S.; Westcot, D. W. *A qualidade da água na agricultura*. 2ª ed. Campina Grande: UFPB (Estudos FAO – Irrigação e Drenagem, 29), 1999. 153 p.

Azevedo, C. M. S. B.; Pedrosa, G. P.; Medeiros, J. F.; Nunes, G. H. Uso de *Atriplex nummularia* na extração de sais de solos irrigados com efluentes salinos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9 (Suplemento), p.300-304, 2005.

Baird, C. *Química Ambiental*. Trad. Maria Angeles Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrera. 2ª ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2002, 622p.

Barrett-Lennard, E. G.; Malcolm, C. V.; Bathgate, A. *Saltland pastures in Australia – a practical guide*. 2ª ed. Australia: Land, Water & Wool Sustainable Grazing on Saline Lands Sub-program (Land, Water & Wool), 2003 150 p.

Bernardo, S.; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. *Manual de irrigação*. 8ª ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 625p.

Bolenz, S.; Omran, H.; Gierschner, K. Treatments of water hyacinth tissue to obtain useful products. *Biological Wastes*, 33, 263-274, 1990.

Brasil, M. S.; Matos, A. T.; Fia, R.; Silva, N. C. L. Desempenho agrônomo de vegetais cultivados em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, MG, v.15, n.3, 307-315, Jul./Set., 2007.

BRASIL. Portaria MS nº 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Disponível em: <http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria_518.pdf> Acesso em: 23 mai. 2011.

Brown, J. J.; Glenn, E. P.; Fitzsimmons, K.; Smith, S. E. Halophytes for the treatment of saline aquaculture effluent. *Aquaculture*, 175, 255-268, 1999.

Chung, C. H. Forty years of ecological engineering with *Spartina* plantations in China. *Ecological Engineering*, 27, 49-57, 2006.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). Apresenta informações gerais sobre água. Disponível em: <<http://www.sabesp.com.br/CalandraWeb/CalandraRedirect/?temp=4&proj=sabesp&pub=T&db=&docid=FA6CEC90E39669E5832571C600637D19>>. Acesso em 01 dez. 2008.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS (COPASA). Disponibilidades hídricas nas Bacias dos rios Jequitinhonha, Mucuri e São Mateus. Belo Horizonte, 2006.

Cros, V.; Martínez-Sánchez, J. J.; Franco, J. A. Good yields of common purslane with a high fatty acid content can be obtained in a peat-based floating system. *HortTechnology*, January–March, 17, 14–20, 2007a.

Cros, V.; Martínez-Sánchez, J.J.; Fernández, J. A.; Conesa, E.; Vicente, M. J.; Franco, J. A.; Carreño, S. Salinity effects on germination and yield of purslane (*Portulaca oleracea* L.) in a hydroponic floating system. In: Proc. VIIIth IS on Protected Cultivation in Mild Climates. Eds.: A. Hanafi and W. H. Schnitzler. *Acta Horticulturae*, 747, 571–578, 2007b.

De Casabianca, M.-L.; Laugier T. *Eichhornia crassipes* production on petroliferous wastewaters: effects of salinity. *Bioresource Technology*, 54, 39–43, 1995.

Dias, N. S.; Lira, R. B.; Brito, R. F.; Sousa Neto, O. N.; Ferreira Neto, M. F.; Oliveira, A. M. Produção de melão rendilhado em sistema hidropônico com rejeito da dessalinização de água em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.7, p.755-761, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Uso da erva-sal (*Atriplex nummularia*) como forrageira irrigada com água salina*. Circular Técnica nº 53. Petrolina: EMBRAPA Semiárido, 2000. 17p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Parâmetros do sistema relacionados à qualidade e custo de captação da água para irrigação. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/sibcti/downloads/SIBCTI%20-%20Capitulo%2004.pdf>> Acesso em: 18 abr. 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Qualidade da água de irrigação [recurso eletrônico] / Otávio Álvares de Almeida – Dados eletrônicos. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.

Faquin, V.; Furtini Neto, A. E.; Vilela, L. A. A. *Produção de alface em hidroponia*. Lavras, MG: UFLA, 1996. 50p.

Faquin, V.; Andrade A. T. *Nutrição mineral e diagnose do estado nutricional das hortaliças*. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 88p.

Feitosa, F. A. C.; Manoel Filho, J.; Feitosa, E. C.; Demetrio, J. G. A. *HIDROGEOLOGIA – Conceitos e Aplicações*. Rio de Janeiro: CPRM/LABHID, 2008, 812p.

Fisher, R. A. Some remarks on the methods formulated in a recent article on 'The quantitative analysis of plant growth'. *Annals of Applied Biology*, 7, 367-372, 1921.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Handbook of utilization of aquatic plants (1979). Disponível em: <<http://www.fao.org/DOCREP/003/X6862E/X6862E11.htm#ch10>>. Acesso em: 08 nov. 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Small-scale seaweed farming in North East Brazil (TCP/BRA/0065). FAO Aquaculture Newsletter (December 2005). Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/009/a0435e/A0435E16.htm>>. Acesso em: 14 set. 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). The state of the world fisheries and aquaculture (2012). Disponível em: <<http://www.fao.org/DOCREP/003/X6862E/X6862E11.htm#ch10>>. Acesso em: 14 set. 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Water quality for agriculture (1985). Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/003/t0234e/T0234E01.htm#ch1>>. Acesso em: 08 nov. 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Wastewater treatment and use in agriculture (1992). Disponível em: <[http://www.fao.org/docrep/t0551e/t0551e05.htm#3.3.3 macrophyte treatment](http://www.fao.org/docrep/t0551e/t0551e05.htm#3.3.3%20macrophyte%20treatment)>. Acesso em: 23 MAI. 2011.

Furlani, P. R.; Silveira, L. C. P.; Bolonhezi, D.; Faquin, V. *Cultivo hidropônico de plantas*. Campinas: IAC, 1999, 52p. Boletim técnico, 180.

Ghaly, A. E.; Kamal, M.; Mahmoud, N. S. Phytoremediation of aquaculture wastewater for water recycling and production of fish feed. *Environment International*, 31, 1-13, 2005.

Grieve, C. M.; Suarez, D. L. Purslane (*Portulaca oleracea* L.): a halophytic crop for drainage water reuse systems. *Plant and Soil*, 192, 277–283, 1997.

Gunnarsson, C. C.; Petersen, C. M. Water hyacinths as a resource in agriculture and energy production: a literature review. *Waste Management*, 27, 117–129, 2007.

Haller, W. T.; Sutton, D. L.; Barlowe, W. C. effects of salinity on growth of several aquatic macrophytes. *Ecology*, Vol. 55, No. 4, pp. 891-894, Jul., 1974.

- Hammer, K.; Pignone, D.; Cifarelli, S.; Perrino, P. Notes on economic plants. Barilla (*Salsola soda*, *Chenopodiaceae*). *Economic Botany*, 44(3), 410-412, 1990.
- Heller, L.; Pádua, V. L. (organizadores). *Abastecimento de água para consumo humano*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006, 859p.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). Monitoramento das águas subterrâneas de Minas Gerais. Relatórios Projeto Aquífero Guarani (2009) e Projeto Jaíba, Varzelândia e Verdelândia (2007 a 2009). Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2010.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). Programa Água Doce – Plano Estadual de Minas Gerais 2010 – 2014 [versão preliminar]. Belo Horizonte, 2009.
- INTERSTATE TECHNICAL REGULATORY COUNCIL (ITRC). *Phytotechnology technical and regulatory guidance and decision trees, revised*. Washington, February 2009.
- Kiliç, C. C.; Kukul, Y. S.; Anaç, D. Performance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) as a salt-removing crop. *Agricultural Water Management*, 95, 854–858, 2008.
- Kinupp, V. F.; Barros, I. B. I. Teores de proteína e minerais de espécies nativas, potenciais hortaliças e frutas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28(4): 846-857, 2008.
- Klomjek, P.; Nitisoravut, S. Constructed treatment wetland: a study of eight plant species under saline conditions. *Chemosphere*, 58, 585-593, 2005.
- Kotzen, B.; Appelbaum S. An investigation of aquaponics using brackish water resources in the Negev Desert. *Journal of Applied Aquaculture*, 22, 297-320, 2010.
- Lara, L. J.; Egea-Gilabert, C.; Niñirola, D.; Conesa, E.; Fernández, J. A. Effect of aeration of the nutrient solution on the growth and quality of purslane (*Portulaca oleracea*). *The Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, Vol. 86, No. 6, 2011.
- Lorenzi, H. *Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais*. 2. ed. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 1991. 440p.
- Majerowicz, N.; França, M. G. C.; Peres, L. E. P. *Fisiologia vegetal – curso prático*. Rio de Janeiro: Ed. Âmbito Cultural Edições, 2003, 138p.
- Manousaki, E.; Kalogerakis, N. Halophytes present new opportunities in phytoremediation of heavy metals and saline soils. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(2), 656-660, 2011.
- Marenco, R. A.; Lopes, N. F. *Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral*. 3ª ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2009, 486p.
- Marinho-Soriano, E. Seaweed biofilters: an environmentally friendly solution. *World Aquaculture*, 38(3), 31-33, 2007.
- Marinho-Soriano, E.; Morales, C.; Moreira, S. C. Cultivation of *Gracilaria* (Rhodophyta) in shrimp pond effluents in Brazil. *Aquaculture Research*, 33, 1081-1086, 2002.

Marinho-Soriano, E.; Panucci, R. A.; Carneiro, M. A. A.; Pereira, D. C. Evaluation of *Gracilaria caudata* J. Agardh for bioremediation of nutrients from shrimp farming wastewater. *Bioresource Technology*, 100, 6192-6198, 2009.

Marschner, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2ª ed. London: Academic Press, 1995, 889p.

Martinez, H. E. P. *O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa*. 3ª ed. Viçosa: UFV, 2002, 61p.

Martinez, H. E. P.; Araújo, J. A. c.; Scotti, C. A.; Bliska Júnior, A.; Meyer, A. R. K.; Silva, M. L. J. *Solução nutritiva para hidroponia – cálculo, preparo e manejo*. Brasília: SENAR, 1999, 108p.

Masters, D. G.; Benes, S. E.; Norman, H. C. Biosaline agriculture for forage and livestock production. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 119, p.234-248, 2007.

Matos, A. T.; Abrahão, S. S.; Lo Monaco, P. A. V.; Sarmiento, A. P.; Matos, M. P. Capacidade extratora de plantas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias de laticínios. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.12, p.1311-1317, 2010.

Matos, A. T.; Freitas, W. S.; Lo Monaco, P. A. V. Capacidade extratora de diferentes espécies vegetais cultivadas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura. *Revista Ambiente & Água – an Interdisciplinary Journal of Applied Science*: v. 4, n. 2, 2009.

MINAS GERAIS. Secretaria de Planejamento. *Plano Mineiro de Desenvolvimento Integrado – PMDI 2011 – 2030. Gestão para a Cidadania*. Belo Horizonte, 2011, 129p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). *Manual de hortaliças não-convencionais*. Brasília: MAPA/ACS, 2010. 92p.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL (MIN). CONVIVER – Programa de Desenvolvimento Integrado e Sustentável do Semi-Árido. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/programasregionais/publicacoes/conviver.asp>>. Acesso em: 13 out. 2008b.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL (MIN). Nova Delimitação do Semi-Árido Brasileiro. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/desenvolvimentoregional/publicacoes/delimitacao.asp>>. Acesso em: 13 out. 2008a.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – Um recurso a ser conhecido e protegido. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/srh/_arquivos/Cartilha_MMA_web_correto.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2008.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Programa Água Doce – Um caminho para a Sustentabilidade. Disponível em: <

http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_drb/_arquivos/AguaDoce_Folder.pdf >. Acesso em: 12 abr. 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 03 dez. 2008.

Mishima, D.; Kuniki, M.; Sei, K.; Soda, S.; Ike, M.; Fujita, M. Ethanol production from candidate energy crops: water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and water lettuce (*Pistia stratiotes* L.). *Bioresource Technology*, 99, 2495–2500, 2008.

Mufarrege, M. M.; Di Luca, G. A.; Hadad, H. R. Adaptability of *Typha domingensis* to high pH and salinity. *Ecotoxicology*, 20:457-465, 2011.

MULTIFERTIL. Apresenta informações sobre os fertilizantes produzidos pela empresa. Disponível em:< <http://www.multifertil.com.br/produtos.asp>> Acesso em: 01 03 2011

NATIONAL ACADEMY PRESS (NAP). *Saline Agriculture: salt-tolerant plants for developing countries*. Washington, DC: National Academy Press, 1990, 152p.

National Sustainable Agriculture Information Service (ATTRA). *Aquaponics – integration of hydroponics with aquaculture* (2006). Disponível em: <http://www.extension.org/mediawiki/files/2/28/Hydroponics_with_Aquaculture.pdf>. Acesso em: 12 set. 2012.

Neori, A.; Chopin, T.; Troell, M.; Buschmann, A. H.; Kraemer, G. P.; Halling, C.; Shpigel, M.; Yarish, C. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture*, 231, 361-391, 2004.

Ohse, S.; Dourado-Neto, D.; Manfron, P. A.; Santos, O. S. Qualidade de cultivares de alface produzidos em hidroponia. *Scientia Agricola*, v.58, n.1, p.181-185, jan./mar. 2001.

Oliveira, A. J.; Garrido, W. E.; Araújo, J. D.; Lourenço, S. (Coord.). *Métodos de pesquisa em fertilidade do solo*. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991, 392p.

Oliveira, D. L.; Rocha, C.; Moreira, P. C.; Moreira, S. O. L. Plantas nativas do cerrado: uma alternativa para fitorremediação. *Estudos*, Goiânia, v. 36, n. 11/12, p. 1141-1159, Nov./dez. 2009.

Pantanella, E. Integrated marine aquaculture-agriculture: sea farming out of the sea. *Global Aquaculture Advocate*, p.70-72, (January/February 2012).

Pereira, A. R. CD, 3 fot., coloridas, 2010.

Pereira, A. R. *Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão*. 2ª ed. Belo Horizonte, MG: Editora FAPI, 2006, 239p.

Poole, J. L. Saline ground water — a little used and unmapped resource. *Ground Water*, 1, 18–20, 1963.

Porto, E. R.; Amorim, M. C. C.; Dutra, M. T.; Paulino, R. V.; Brito, L. T.; Matos, A. N. B. Rendimento da *Atriplex nummularia* com efluentes da criação de tilápia em rejeito da dessalinização de água. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.1, p.97-103, 2006.

Porto, E. R.; Amorim, M. C. C.; Silva Jr., L. G. A. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, n.1, p.111-114, 2001.

Pott, J. V.; Pott, A. *Potencial de uso de plantas aquáticas na despoluição da água*. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2002, 25p.

Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB). *Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura*. Rafael Kopschitz Xavier Bastos (coord.). Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. 267 p.

Raskin, I.; Smith, R. D.; Salt, D. E. Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. *Current Opinion in Biotechnology*, 8, 221-226, 1997.

Reddy, K. R.; De Busk, W. F. Nutrient removal potencial of selected aquatic macrophytes. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 14, no. 4, p. 459-462, October-december, 1985.

Rural Industries Research & Development Corporation (RIRDC). *Integrated agri-aquaculture systems – a resource handbook for Australian industry development*. Austrália, 2003, 183p.

Sawyer, C. N.; McCarty, P. L.; Parkin, G. F. *Chemistry for environmental engineering and science* (5th ed.). McGraw-Hill, New York, 2003. 752p.

Schmidt, D.; Santos, O. S.; Bonnacarrère, R. A. G.; Mariani, O. A.; Manfron, P. A. Desempenho de soluções nutritivas e cultivares de alface em hidroponia. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 19, n. 2, p. 122-126, julho 2001.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS (SEMARH-RN). Apresenta informações gerais sobre atuação relativa meio ambiente e recursos hídricos no estado do Rio Grande do Norte (RN). Disponível em: < <http://www.semarh.rn.gov.br/detalhe.asp?IdPublicacao=38> >. Acesso em: 26 nov. 2008.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). Atlas digital dos recursos hídricos subterrâneos do Vale do Rio Jequitinhonha (2005). Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br/> >. Acesso em: 08 mai 2012.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). Projeto cadastro da infra-estrutura hídrica do nordeste. Relatório preliminar: 1ª etapa – 225.000 km². Versão beta Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br/rehi/projeto.pdf> >. Acesso em: 12 abr. 2011a.

Shannon, M. C.; Grieve, C. M. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae*, 78, 5–38, 1999.

Soares, T. M.; Duarte S. N.; Silva, E. F. F.; Jorge, C. A. Combinação de águas doce e salobra para produção de alface hidropônica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.7, p.705-714, 2010.

Soares, T. M.; Silva, E. F. F.; Duarte, S. N.; Mélo, R. F.; Jorge, C. A.; Bonfim-Silva, E. M. Produção de alface utilizando águas salinas em sistema hidropônico. *Irriga, Botucatu*, v. 12, n. 2, p. 235-248, abril-junho, 2007.

Soares, T. M.; Silva, I. J. O.; Duarte, S. N.; Silva, E. F. F. Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.3, p.730-737, 2006.

Sooknah R. D.; Wilkie, A. C. Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anaerobically digested flushed dairy manure wastewater. *Ecological Engineering*, 22, 27-42, 2004.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *Brownfields technology primer: selecting and using phytoremediation for site cleanup*. EPA 542-R-01-006, 2001. 45p.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Introduction to Phytoremediation (February 2000). Disponível em: <<http://www.cluin.org/download/remed/introphyto.pdf>> Acesso em: 23 fev. 2011

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *Phytotechnologies for site cleanup*. EPA 542-F-10-009, 2010. 12p.

UNITED NATIONS CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION (UNCCD). ONU lança década de esforços para combater a desertificação. Agosto 2010. Disponível em: <http://undd.unccd.int/docs/press_releases/08_16_2010_por.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2010.

UNITED STATES SALINITY LABORATORY (USSL). *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. L. A. Richards (Editor). Washington: United States Department of Agriculture, February 1954, 159p.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MONTES CLAROS (UNIMONTES). Centro de estudos de convivência com o semiárido. Disponível em: <<http://www.semiarido.unimontes.br/images/stories/mapas/idene.jpg>>. Acesso em: 16 nov. 2012.

Van Rijn, J. The potential for integrated biological treatment systems in recirculating fish culture – a review. *Aquaculture*, 139, 181-201, 1996.

Webb, J. M.; Quintã, R.; Papadimitriou, S.; Norman, L.; Rigby, M.; Thomas, D. N.; Le Vay, L. Halophyte filter beds for treatment of saline wastewater from aquaculture. *Water Research*, 46, 5102-5114, 2012.

Wikfors, G. H.; Ohno, M. Impact of algal research in aquaculture. *Journal of Phycology*, 37, 968-974, 2001.

Zoby, J. L. G.; Matos, B. Águas subterrâneas no Brasil e sua inserção na Política Nacional de Recursos Hídricos. In: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Florianópolis, Brasil, setembro de 2002. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.emnuvens.com.br/asubterraneas/article/view/22634>> Acesso em: 09 mai. 2012.

APÊNDICE I – CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS ÁGUAS ESCOLHIDAS

COPASA MG DRTM / SPAM / DVHD

BANCO DE DADOS HIDROGEOLOGICO

CONTROLE DAS ANALISES FISICO-QUIMICAS E BACTERIOLOGICAS DE AGUAS SUBTERRANEAS - POR CÓDIGO

LEGENDA: SD - SEM DADOS NO BOLETIM, OU SEM DADOS NECESSÁRIOS PARA CALCULO E CONSISTENCIA
 ND - NÃO FOI DETECTADO A PRESENÇA DO ELEMENTO ANALISADO
 --- - SEM POSSIBILIDADE PARA CALCULO OU CONSISTENCIA
 VMP - VALOR MÁXIMO PERMITIDO
 * - INDICA VALORES CALCULADOS

CODIGO: C627036010

MUNICIPIO: SÃO JOÃO DO PARAÍSO

PROGRAMA: PROGRAMA DE APOIO SOCIAL

LOCALIDADE: TRAÇADO

DATA DA COLETA: 18/06/1997

EXECUTOR: GEOSOL

LABORATÓRIO: GEOLAB

Parametros Fisico-Quim	Resultados	VMP	Potabilidade
Cond.(Micromomhos/cm) :	2220	-----	-----
Acidez (mg / l (CO2)) :	SD	-----	-----
Dur.Tot (mg / l (CaCO3)) :	373	500	SIM
Dur. Calcio (mg / l CaCO3)) :	295	-----	-----
Magnésio (mg / l (Mg)) :	18,954 *	-----	-----
Ferro (mg / l (Fe)) :	1.9	0,3	NÃO
Manganes (mg / l (Mn)) :	0.85	0,1	NÃO
Nitrito (mg / l (N)) :	SD	1	SD
Alc. Bic. (mg / l (CaCO3)) :	172	-----	-----
Alc. Carb. (mg / l (CaCO3)) :	22	-----	-----
Alc. Hid. (mg / l (CaCO3)) :	ND	-----	-----
Cor (uH) :	<1.0	15	SIM
pH :	8.31	6,0 a 9,5	SIM
Turbidez (uF) :	6.7	5	NÃO
Cloreto (mg / l (CL)) :	552	250	NÃO
Fluoreto (mg / l (F)) :	SD	1,5	SD
Nitrato (mg / l (N)) :	0.20	10	SIM
Sulfato (mg / l (SO4)) :	350	250	NÃO
Sódio (mg / l (NA)) :	304	200	NÃO
Potássio (mg / l (K)) :	20.7	-----	-----
Calcio (mg / l (Ca)) :	118 *	-----	-----

Parametros Bacteriologicos	Resultados	VMP	Potabilidade
Coliforme Fecal (100 ml) :		0	SD
Coliforme Total (100 ml) :		0	SD

OBS: Caso os resultados de col. fecal ou col. total sejam iguais a 1,09 , considerar como sendo < 1,1 ou " presente "

OBS

BALANÇO IONICO

SOMATORIO DE ANIONS(Meq / l) : 26,74
 SOMATORIO DE CATIONS(Meq / l) : 21,31
 PORCENTAGEM DE ERRO : 1,12

CARACTERISTICAS DA AGUA

I. RYZNAR: 6,458 Pouco Incrustante ou Corrosiva
 DUREZA : Dura

LEGENDA : SD - SEM DADOS NO BOLETIM, OU SEM DADOS NECESSÁRIOS PARA CÁLCULO E CONSISTÊNCIA
 ND - NÃO FOI DETECTADO A PRESENÇA DO ELEMENTO ANALISADO
 ---- - SEM POSSIBILIDADE PARA CÁLCULO OU CONSISTÊNCIA
 VMP - VALOR MÁXIMO PERMITIDO
 * - INDICA VALORES CALCULADOS

CODIGO : C443002020

MUNICÍPIO : NANUQUE

PROGRAMA : PLANO DE EMERGENCIA

LOCALIDADE : GABRIEL PASSOS

DATA DA COLETA : 08/11/1998

EXECUTOR : GEOSOL

LABORATÓRIO : LAKEFIELD GEOSOL

Parametros Fisico-Quim	Resultados	VMP	Potabilidade
Cond.(Micromohm/cm) :	1944.0	-----	-----
Acidez (mg / l (CO2)) :	2,7630 *	-----	-----
Dur.Tot (mg / l (CaCO3)) :	2621	500	NÃO
Dur. Calcio (mg / l CaCO3)) :	1008	-----	-----
Magnésio (mg / l (Mg)) :	391,959 *	-----	-----
Ferro (mg / l (Fe)) :	<0.05	0,3	SIM
Manganes (mg / l (Mn)) :	5.21	0,1	NÃO
Nitrito (mg / l (N)) :	SD	1	SD
Alc. Bic. (mg / l (CaCO3)) :	104.8	-----	-----
Alc. Carb. (mg / l (CaCO3)) :	<1	-----	-----
Alc. Hid. (mg / l (CaCO3)) :	<1	-----	-----
Cor (uH) :	<1	15	SIM
pH :	7.88	6,0 a 9,5	SIM
Turbidez (uF) :	15.0	5	NÃO
Cloreto (mg / l (CL)) :	2384.3	250	NÃO
Fluoreto (mg / l (F)) :	SD	1,5	SD
Nitrato (mg / l (N)) :	0.34	10	SIM
Sulfato (mg / l (SO4)) :	48.0	250	SIM
Sódio (mg / l (NA)) :	505	200	NÃO
Potássio (mg / l (K)) :	6.42	-----	-----
Calcio (mg / l (Ca)) :	403,2 *	-----	-----

Parametros Bacteriológicos	Resultados	VMP	Potabilidade
Coliforme Fecal (100 ml) :		0	SD
Coliforme Total (100 ml) :		0	SD

OBS: Caso os resultados de col. fecal ou col. total sejam iguais a 1,09 , considerar como sendo < 1,1 ou " presente "

OBS:

BALANÇO IONICO

SOMATORIO DE ANIONS(Meq / l) : 70,36
 SOMATORIO DE CATIONIS(Meq / l) : 74,74
 PORCENTAGEM DE ERRO : 3,02

CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA

I. RYZNAR: 6,207 Pouco Incrustante ou Corrosiva
 DUREZA : Dura

APÊNDICE II – FICHAS DE ANÁLISE (IGAM)

PROJETO DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SISTEMA AQUIFERO GUARANI, NO TRIÂNGULO MINEIRO
FICHA DE ANÁLISE
ESTAÇÃO: CD3

Poço DNPM
Código: Fonte 3
Localidade: Cachoeira Dourada
Município: Cachoeira Dourada
Coordenadas: 18° 31' 03"; 49° 29' 55,2" 658480.1/7951892.1
Proprietário: Yquara Termas
Setor: Termalismo Balneário
Vazão: 9,615 L/s ou 34,6 m³/h
Profundidade: 470 m
Profundidade de revestimento: 470 m
Litologia: Solo 0- 15,00m/ Fm. Serra
Geral:15,00-370,00m/ Fm. Botucatu:370,00-470,00m
Entradas d'água: 385,00-470,00m
Nível Estático:
Observações: Dados obtidos de Dissertação de Mestrado



Variável	Limite Portaria MS 518/04	Unidade	CD3
Data de Amostragem			07/07/09
Hora de Amostragem			11:00
Condições do tempo			Bom
Temperatura da água		°C	27
Cond. Elétrica in loco		µS/cm	12060
EH in loco		mV	92
STD in loco	1000	mg/L	11.41
pH in loco	6,0 a 9,5		7.56
Oxigênio dissolvido in loco		mg/L O ₂	1.55
Temperatura da ar		°C	37.1
Alcalinidade bicarbonato		mg/L	206
Alcalinidade carbonato		mg/L	0
Alcalinidade hidróxido		mg/L	0.0
Alcalinidade total		mg/L	206.0
Alumínio solúvel		mg/L Al	< 0.1
Alumínio total	0.2	mg/L Al	1.506
Arsênio total	0.01	mg/L As	0.01
Bicarbonato		mg/L	251
Cádmio solúvel		mg/L Cd	< 0.0005
Cádmio total	0.005	mg/L Cd	< 0.0005
Cálcio solúvel		mg/L Ca	125.50
Cálcio total		mg/L Ca	137.00
Carbonato		mg/L	0
Cloreto total	250	mg/L Cl	1155
Cobre total	2	mg/L Cu	< 0.004
Cond. Elétrica lab		µS/cm	12620.0
Cromo total	0.05	mg/L Cr	< 0.04
Fluoreto ionizado	1.5	mg/L F	0.67
Magnésio solúvel		mg/L Mg	32.850
Magnésio total		mg/L Mg	42.2400
Nitrato	10	mg / L N	< 0.0100
Nitrito	1	mg / L N	< 0.0010
Nitrogênio Amoniacal	1.5	mg / L N	< 0.1
Oxigênio dissolvido lab		mg/L O ₂	5.600
pH laboratório	6,0 a 9,5		7.600
Potássio solúvel		mg/L K	17.90
Potássio total		mg/L K	18.37
Silício solúvel		mg/L Si	6.740
Sódio solúvel	200	mg/L Na	2952.00
Sódio total		mg/L Na	3056.00
Sulfatos	250	mg/L SO ₄	5302.000
Zinco total	5	mg/L Zn	0.080

Projeto: Aperfeiçoamento do Estudo da Qualidade das águas subterrâneas nos municípios de Jaíba, Varzelândia e Verdelândia

FICHA DE ANÁLISE
CÓDIGO: VD004

Estação: VD17
Localidade: Caetité / Odon
Município: Verdelândia
Coordenadas (SAD69): 647867/ 8272938
Proprietário: Particular
Setor: Dessedentação de animais
Profundidade: 100 m
Profundidade de revestimento:

Litologia:

Entradas d'água:
Nível Estático: 12 m
Observações: Água salgada utilizada para dessedentação de animais
Informante: Geraldo

Variável	Limite Portaria MS 518/04	Unidade	1ª Campanha	2ª Campanha	3ª Campanha	4ª Campanha	5ª Campanha
Data de Amostragem			30/09/07	25/04/08	03/09/08	08/03/09	30/09/09
Hora de Amostragem			14:40	16:45	14:00	16:30	16:15
Condições do Tempo			Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
Temperatura da Água		°C	26.7	27.3	28.8	28.5	28.7
Condutividade Elétrica		µS/cm	2780.0	2569.0	2342.0	1954.0	2534.0
EH		mV	52.0	53.0	67.0	20.0	29.0
Sólidos totais dissolvidos	1000	mg / L	2106.0	1974.0	1814.0	1455.0	1949.0
pH in loco	6,0 a 9,5		7.2	6.6	6.7	6.7	6.4
pH laboratório	6,0 a 9,5					7.2	7
Turbidez	5	UT	0.85	7.07	0.72	3.50	1.01
Cor Real	15	UPt	10	13	5	5	5
Sólidos Dissolvidos Totais 103 a 105°C		mg / L	1517	1767	1541	1340	1814
Alcalinidade de Bicarbonato		mg / L CaCO ₃		309.8	282.8	279.0	349.0
Cloro	250	mg / L Cl	858.0	749.0	859.0	405.0	878.0
Potássio Dissolvido		mg / L K	2.2	2.39	2.34	2.88	2.10
Sílicio Solúvel		mg / L Si	16.8	16.90	16.60	13.88	16.05
Sódio Solúvel	200	mg / L Na	213.70	213.4	191.5	125.8	279.9
Sulfato Total	250	mg / L SO ₄	9.4	9.7	9.8	6.8	13.8
Sulfeto	0.05	mg / L S	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
Fósforo Total		mg / L P	< 0.01	0.07	< 0.01	0.02	< 0.01
Nitrogênio Orgânico		mg / L N	0.30	0.20	0.60	0.33	0.36
Nitrogênio Amiacal Total	1.5	mg / L N	0.20	0.10	< 0.10	0.15	< 0.1
Nitrato	10	mg / L N	0.50	0.01	0.14	0.24	1.62
Nitrito	1	mg / L N	0.007	0.012	0.001	0.065	0.037
DBO		mg / L		< 2	< 2	< 2	< 2
DQO		mg / L	62.0	53.0	11.0	10.0	18.0
Coliformes Termotolerantes	ausência	NMP / 100 ml		< 2	< 2	< 2	30
Alumínio Solúvel		mg / L Al	< 0.10	< 0.10	< 0.10	0.24	< 0.10
Alumínio Total	0.2	mg / L Al	0.140	0.120	0.130	0.386	0.318
Arsênio Total	0.01	mg / L As	< 0.0003	< 0.0003	< 0.0003	< 0.0003	< 0.0003
Bário Total	0.7	mg / L Ba	0.0440	0.0860	0.0690	0.0621	0.0664
Cádmio Total	0.005	mg / L Cd	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005
Cálcio Solúvel		mg / L Ca	137.3	236.1	235.1	187.0	218.4
Chumbo Total	0.01	mg / L Pb	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005
Cobre Total	2	mg / L Cu	< 0.004	< 0.004	< 0.004	0.004	0.006
Cromo Total	0.05	mg / L Cr	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04
Ferro Solúvel		mg / L Fe	< 0.03	0.06	< 0.03	0.11	< 0.03
Ferro Total	0.3	mg / L Fe	0.240	4.370	0.160	0.519	0.227
Fluoreto Ionizado	1.5	mg / L F	0.29	0.26	0.25	0.25	0.29
Magnésio Solúvel		mg / L Mg	17.75	16.40	18.10	16.82	21.05
Manganês Solúvel		mg / L Mn	< 0.003	0.187	0.110	0.174	0.106
Manganês Total	0.1	mg / L Mn	0.094	0.362	0.120	0.159	0.114
Mercurio Total	1	µg / L Hg	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Níquel Total		mg / L Ni	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004
Zinco Total	5	mg / L Zn	0.190	0.070	0.340	0.567	0.141
2,4,6 Triclorofenol	200	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Molinate	6	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 1.00	
Trifluoralina	20	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Simazina	2	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Atrazina	2	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Pentaclorofenol	9	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Hexaclorobenzeno	1	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Lindano	2	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Heptacloro + Heptacloroepóxido	0.03	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Aldrin + Dieldrin	0.03	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Clordano (alfa + gama)	0.2	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Endossulfan (I e II)	20	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Endrin	0.6	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
DDT	2	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Metoxicloro	20	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Permetrina (cis + trans)	20	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	

Projeto: Aperfeiçoamento do Estudo da Qualidade das águas subterrâneas nos municípios de Jaíba, Varzelândia e Verdelândia

FICHA DE ANÁLISE
CÓDIGO: VD003

Estação: VDQ-02
Localidade: Fazenda Sapé
Município: Verdelândia
Coordenadas (SAD69): 653665 / 8271476
Proprietário:
Setor: Utilizada na fábrica de laticínios, dessedentação



Litologia:
Entradas água:
Nível Estático: 18 m
Observações: Próximo ao infiltrômetro da Fazenda de Inormante:
Profundidade de revestimento:

Variável	Limite Portaria MS 518/04	Unidade	1ª Campanha	2ª Campanha	3ª Campanha	4ª Campanha	5ª Campanha
Data de Amostragem			25/11/07	23/04/08	22/08/08	13/03/09	22/09/09
Hora de Amostragem			16:15	16:10	17:00	10:50	17:10
Condições do Tempo				Bom	Bom	Bom	
Temperatura da Água		° C	29.7	27.4	26.9	26.8	26.6
Condutividade Elétrica		µS/cm	2517.0	2782.0	2290.0	2592.0	2553.0
EH		mV	180.0		111.0	72.0	111.0
Sólidos totais dissolvidos	1000	mg / L	1805.0	2156.0	2116.0	1982.0	1975.0
pH in loco	6,0 a 9,5		6.4	6.3	6.7	6.4	6.6
pH laboratório	6,0 a 9,5		6.8			6.7	6.8
Turbidez	5	UT	0.31	0.57	3.26	1.00	1.52
Cor Real	15	UPt	< 5	< 5	25	5	11
Sólidos Dissolvidos Totais 103 a 106°C		mg / L	1732	2080	1932	1820	1801
Alcalinidade de Bicarbonato		mg / L CaCO ₃	360.4	369.8	374.5	375.0	363.0
Cloreto	250	mg / L Cl	600.0	582.0	801.0	518.0	527.0
Potássio Dissolvido		mg / L K	2.39	2.50	2.35	2.31	1.34
Sílicio Solúvel		mg / L Si	10.81	10.10	11.00	10.80	7.97
Sódio Solúvel	200	mg / L Na	87.09	110.2	117.3	111.5	53.1
Sulfato Total	250	mg / L SO ₄	7.3	259	252.1	233	213
Sulfeto	0.05	mg / L S	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
Fósforo Total		mg / L P	0.5	< 0.01	0.22	< 0.01	< 0.01
Nitrogênio Orgânico		mg / L N	0.20	0.30	0.30	< 0.10	0.20
Nitrogênio Amoniacal Total	1.5	mg / L N	0.10	0.10	0.20	< 0.1	< 0.1
Nitrato	10	mg / L N	< 0.01	0.15	0.29	0.33	0.26
Nitrito	1	mg / L N	0.001	0.003	0.029	0.004	0.002
DBO		mg / L	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
DQO		mg / L	15.0	49.0	12.0	30.0	14.0
Coliformes Termotolerantes	ausência	NMP / 100 ml		70	30	500	30
Alumínio Solúvel		mg / L Al	< 0.10		< 0.10	0.12	< 0.10
Alumínio Total	0.2	mg / L Al	< 0.100	< 0.100	0.120	0.356	0.287
Arsênio Total	0.01	mg / L As	< 0.0003	< 0.0003	< 0.0003	< 0.0003	< 0.0003
Bário Total	0.7	mg / L Ba	0.1080	0.0910	0.0880	0.0839	0.1610
Cádmio Total	0.005	mg / L Cd	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005
Cálcio Solúvel		mg / L Ca	236.2	339.7	296.3	326.0	81.0
Chumbo Total	0.01	mg / L Pb	0.010	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005
Cobre Total	2	mg / L Cu	0.013	< 0.004	0.010	0.007	< 0.004
Cromo Total	0.05	mg / L Cr	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04
Ferro Solúvel		mg / L Fe	0.05	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03
Ferro Total	0.3	mg / L Fe	0.040	< 0.030	0.410	0.154	0.091
Fluoreto Ionizado	1.5	mg / L F	0.22	0.20	0.20	0.21	0.28
Magnésio Solúvel		mg / L Mg	47.26	52.00	62.20	59.40	13.74
Manganês Solúvel		mg / L Mn	0.006	0.034	0.005	0.056	< 0.003
Manganês Total	0.1	mg / L Mn	0.082	0.033	0.047	0.054	< 0.003
Mercurio Total	1	µg / L Hg	< 0.2	< 0.2	0.6	< 0.2	< 0.2
Níquel Total		mg / L Ni	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004
Zinco Total	5	mg / L Zn	0.220	0.050	0.110	0.213	0.095
2,4,6 Triclorofenol	200	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Molinato	6	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 1.00	
Trifluoralina	20	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Simazina	2	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Atrazina	2	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Pentaclorofenol	9	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Hexaclorobenzeno	1	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Lindano	2	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Heptacloro + Heptacloroepóxido	0.03	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Aldrin + Dieldrin	0.03	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Clordano (alfa + gama)	0.2	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Endossulfan (I e II)	20	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Endrin	0.6	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
DDT	2	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Metoxicloro	20	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Permetrina (cis + trans)	20	µg / L	< 0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	

APÊNDICE III – TRABALHO EXPERIMENTAL I (COMPARAÇÃO CAPIM VETIVER X AGUAPÉ) – CÁLCIO

A1	Volume Final (L)			CONCENTRAÇÃO CÁLCIO (mg L ⁻¹)			MASSA CÁLCIO (mg)		
	Amostras	Grupo de controle	Capim vetiver	Aguapé	Grupo de controle	Capim vetiver	Aguapé	Grupo de controle	Capim vetiver
1	0,93	0,85	0,66	39,1	41,8	26,9	36,3	35,5	17,8
2	0,94	0,89	0,70	38,7	37,5	30,2	36,4	33,4	21,2
3	0,94	0,84	0,66	38,8	42,5	18,8	36,5	35,7	12,4
4	0,94	0,93	0,68	38,4	37,7	32,5	36,1	35,0	22,1
5	0,94	0,90	0,63	37,8	40,4	19,9	35,6	36,4	12,6
6	0,95	0,91	0,58	38,2	40,1	20,3	36,3	36,5	11,8
7	0,96	0,95	0,67	37,3	40,1	20,6	35,8	38,1	13,8
8	0,95	0,90	0,75	37,2	39,1	24,0	35,4	35,2	18,0
9	0,96	0,89	0,80	38,2	41,6	31,1	36,6	37,1	24,8
10	0,96	0,87	0,72	39,8	39,8	26,9	38,2	34,6	19,4

A3	Volume Final (L)			CONCENTRAÇÃO CÁLCIO (mg L ⁻¹)			MASSA CÁLCIO (mg)		
	Amostras	Grupo de controle	Capim vetiver	Aguapé	Grupo de controle	Capim vetiver	Aguapé	Grupo de controle	Capim vetiver
1	0,93	0,95	0,91	46,3	42,7	41,8	43,0	40,6	38,0
2	0,94	0,91	0,77	45,9	42,9	37,0	43,1	39,0	28,5
3	0,95	0,94	0,78	44,6	39,7	34,9	42,4	37,3	27,3
4	0,95	0,94	0,84	44,8	42,4	37,4	42,6	39,8	31,4
5	0,95	0,88	0,87	44,1	37,6	39,0	41,9	33,1	33,9
6	0,94	0,85	0,76	46,0	41,1	33,5	43,3	34,9	25,5
7	0,94	0,91	0,74	44,5	39,3	40,5	41,8	35,7	30,0
8	0,95	0,96	0,82	45,9	41,7	41,2	43,6	40,1	33,8
9	0,96	0,83	0,84	45,8	40,0	34,9	44,0	33,2	29,3
10	0,95	0,92	0,87	46,1	43,2	37,6	43,8	39,8	32,7

APÊNDICE IV – TRABALHO EXPERIMENTAL I (COMPARAÇÃO CAPIM VETIVER X AGUAPÉ) - MAGNÉSIO

A1	Volume Final (L)			CONCENTRAÇÃO MAGNÉSIO (mg L ⁻¹)			MASSA MAGNÉSIO (mg)		
	Amostras	Grupo de controle	Capim vetiver	Aguapé	Grupo de controle	Capim vetiver	Aguapé	Grupo de controle	Capim vetiver
1	0,93	0,85	0,66	11,1	10,2	7,8	10,3	8,6	5,1
2	0,94	0,89	0,70	11,0	10,2	8,6	10,4	9,1	6,0
3	0,94	0,84	0,66	10,9	10,4	6,8	10,2	8,7	4,5
4	0,94	0,93	0,68	11,2	10,2	9,9	10,5	9,4	6,7
5	0,94	0,90	0,63	10,9	9,9	7,4	10,3	8,9	4,7
6	0,95	0,91	0,58	11,0	9,6	6,8	10,5	8,7	3,9
7	0,96	0,95	0,67	10,8	9,8	7,0	10,4	9,3	4,7
8	0,95	0,90	0,75	10,8	9,3	7,4	10,2	8,4	5,6
9	0,96	0,89	0,80	10,9	9,7	9,0	10,5	8,7	7,2
10	0,96	0,87	0,72	10,7	9,6	8,3	10,3	8,3	5,9

A3	Volume Final (L)			CONCENTRAÇÃO MAGNÉSIO (mg L ⁻¹)			MASSA MAGNÉSIO (mg)		
	Amostras	Grupo de controle	Capim vetiver	Aguapé	Grupo de controle	Capim vetiver	Aguapé	Grupo de controle	Capim vetiver
1	0,93	0,95	0,91	11,2	10,3	9,8	10,4	9,8	8,9
2	0,94	0,91	0,77	11,2	10,1	9,3	10,5	9,2	7,2
3	0,95	0,94	0,78	11,1	10,2	9,0	10,5	9,6	7,0
4	0,95	0,94	0,84	11,2	10,3	9,8	10,6	9,7	8,2
5	0,95	0,88	0,87	10,8	9,8	10,5	10,2	8,7	9,1
6	0,94	0,85	0,76	11,1	10,0	8,8	10,5	8,5	6,7
7	0,94	0,91	0,74	11,0	10,1	9,6	10,4	9,2	7,1
8	0,95	0,96	0,82	11,1	10,2	8,8	10,5	9,8	7,2
9	0,96	0,83	0,84	11,0	10,0	9,7	10,6	8,3	8,1
10	0,95	0,92	0,87	10,8	10,2	8,6	10,3	9,4	7,5

APÊNDICE V – TRABALHO EXPERIMENTAL I (COMPARAÇÃO CAPIM VETIVER X AGUAPÉ) - SÓDIO

A1	Volume Final (L)			CONCENTRAÇÃO SÓDIO (mg L ⁻¹)			MASSA SÓDIO (mg)			
	Amostras	Grupo de controle	Capim vetiver	Aguapé	Grupo de controle	Capim vetiver	Aguapé	Grupo de controle	Capim vetiver	Aguapé
1		0,93	0,85	0,66	321,1	364,7	369,3	298,6	310,0	243,7
2		0,94	0,89	0,70	340,0	333,7	360,9	319,6	297,0	252,7
3		0,94	0,84	0,66	322,2	354,2	391,3	302,9	297,5	258,2
4		0,94	0,93	0,68	328,0	322,8	343,5	308,4	300,2	233,6
5		0,94	0,90	0,63	321,2	330,3	361,8	301,9	297,3	228,0
6		0,95	0,91	0,58	309,7	339,2	413,8	294,2	308,7	240,0
7		0,96	0,95	0,67	321,9	317,2	385,0	309,0	301,3	258,0
8		0,95	0,90	0,75	319,0	337,4	388,7	303,1	303,7	291,5
9		0,96	0,89	0,80	312,2	359,0	336,4	299,7	319,5	269,1
10		0,96	0,87	0,72	318,6	364,8	370,2	305,8	317,4	266,5

A3	Volume Final (L)			CONCENTRAÇÃO SÓDIO (mg L ⁻¹)			MASSA SÓDIO (mg)			
	Amostras	Grupo de controle	Capim vetiver	Aguapé	Grupo de controle	Capim vetiver	Aguapé	Grupo de controle	Capim vetiver	Aguapé
1		0,93	0,95	0,91	1050,2	993,9	1117,8	976,7	944,2	1017,2
2		0,94	0,91	0,77	1012,7	1058,8	1155,5	951,9	963,5	889,7
3		0,95	0,94	0,78	1036,7	998,3	1114,5	984,9	938,4	869,3
4		0,95	0,94	0,84	999,3	1016,8	1086,1	949,3	955,8	912,3
5		0,95	0,88	0,87	981,5	1117,4	1064,7	932,4	983,3	926,3
6		0,94	0,85	0,76	1004,9	1057,3	1131,6	944,6	898,7	860,1
7		0,94	0,91	0,74	959,4	1018,0	1187,7	901,8	926,3	878,9
8		0,95	0,96	0,82	983,8	983,1	1172,3	934,7	943,8	961,3
9		0,96	0,83	0,84	983,4	1054,7	1078,4	944,0	875,4	905,9
10		0,95	0,92	0,87	924,7	983,1	1068,9	878,4	904,4	930,0

APÊNDICE VI – TRABALHO EXPERIMENTAL I (COMPARAÇÃO CAPIM VETIVER X AGUAPÉ) - CLORETO

A1	Volume Final (L)			CONCENTRAÇÃO CLORETO (mg L ⁻¹)			MASSA CLORETO (mg)		
	Amostras	Grupo de controle	Capim vetiver	Aguapé	Grupo de controle	Capim vetiver	Aguapé	Grupo de controle	Capim vetiver
1	0,93	0,85	0,66	454,3	492,9	555,2	422,5	418,9	366,4
2	0,94	0,89	0,70	456,1	473,5	544,0	428,8	421,4	380,8
3	0,94	0,84	0,66	456,8	483,9	561,1	429,4	406,5	370,3
4	0,94	0,93	0,68	456,8	464,5	485,6	429,4	432,0	330,2
5	0,94	0,90	0,63	451,4	472,8	509,8	424,3	425,5	321,2
6	0,95	0,91	0,58	456,7	467,7	607,4	433,8	425,6	352,3
7	0,96	0,95	0,67	453,9	456,5	559,1	435,7	433,7	374,6
8	0,95	0,90	0,75	449,7	484,9	532,8	427,2	436,4	399,6
9	0,96	0,89	0,80	454,2	483,4	528,7	436,0	430,2	423,0
10	0,96	0,87	0,72	455,8	494,7	525,5	437,6	430,4	378,4

A3	Volume Final (L)			CONCENTRAÇÃO CLORETO (mg L ⁻¹)			MASSA CLORETO (mg)		
	Amostras	Grupo de controle	Capim vetiver	Aguapé	Grupo de controle	Capim vetiver	Aguapé	Grupo de controle	Capim vetiver
1	0,93	0,95	0,91	1511,2	1514,6	1535,1	1405,4	1438,9	1397,0
2	0,94	0,91	0,77	1503,0	1562,9	1868,2	1412,8	1422,2	1438,5
3	0,95	0,94	0,78	1501,9	1482,8	1802,9	1426,8	1393,9	1406,3
4	0,95	0,94	0,84	1511,0	1498,6	1807,3	1435,4	1408,7	1518,1
5	0,95	0,88	0,87	1497,7	1602,3	1640,3	1422,8	1410,0	1427,1
6	0,94	0,85	0,76	1516,4	1652,7	1821,0	1425,4	1404,8	1384,0
7	0,94	0,91	0,74	1502,4	1578,4	1866,1	1412,2	1436,3	1380,9
8	0,95	0,96	0,82	1492,3	1518,7	1962,1	1417,7	1458,0	1608,9
9	0,96	0,83	0,84	1504,5	1680,4	1834,4	1444,3	1394,7	1540,9
10	0,95	0,92	0,87	1476,6	1558,4	1697,8	1402,7	1433,7	1477,1

APÊNDICE VII – TRABALHO EXPERIMENTAL I (COMPARAÇÃO BELDROEGA X AGUAPÉ) - CÁLCIO

A1		Volume Final (L)			CONCENTRAÇÃO CÁLCIO (mg L ⁻¹)			MASSA CÁLCIO (mg)		
Amostras	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	
1	0,96	0,96	0,73	37,6	36,4	30,3	35,9	35,0	22,1	
2	0,96	0,95	0,74	37,1	36,0	27,8	35,6	34,2	20,6	
3	0,95	0,99	0,78	35,7	36,3	28,7	33,9	35,9	22,4	
4	0,96	0,96	0,69	37,2	36,3	28,1	35,7	34,9	19,4	
5	0,95	0,97	0,84	37,4	36,5	32,2	35,5	35,3	27,0	

A2		Volume Final (L)			CONCENTRAÇÃO CÁLCIO (mg L ⁻¹)			MASSA CÁLCIO (mg)		
Amostras	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	
1	0,91	0,90	0,53	42,2	40,5	22,9	38,4	36,2	12,0	
2	0,94	0,91	0,73	40,6	39,4	37,5	38,0	35,9	27,4	
3	0,94	0,88	0,72	41,7	39,5	33,0	39,2	34,8	23,8	
4	0,93	0,92	0,79	42,1	40,0	33,6	39,2	36,8	26,5	
5	0,93	0,92	0,75	42,7	40,1	31,3	39,5	36,7	23,5	

A3		Volume Final (L)			CONCENTRAÇÃO CÁLCIO (mg L ⁻¹)			MASSA CÁLCIO (mg)		
Amostras	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	
1	0,93	0,90	0,71	45,9	44,6	37,6	42,7	40,1	26,7	
2	0,95	0,89	0,70	44,4	46,0	34,8	41,9	40,9	24,3	
3	0,95	0,89	0,79	44,9	47,6	39,8	42,6	42,4	31,5	
4	0,95	0,93	0,78	44,7	45,1	37,4	42,4	42,0	29,0	
5	0,95	0,93	0,71	44,5	43,9	37,3	42,0	40,8	26,5	

APÊNDICE VIII – TRABALHO EXPERIMENTAL I (COMPARAÇÃO BELDROEGA X AGUAPÉ) - MAGNÉSIO

A1	Volume Final (L)			CONCENTRAÇÃO MAGNÉSIO (mg L ⁻¹)			MASSA MAGNÉSIO (mg)		
	Amostras	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	Grupo de controle	Beldroega
1	0,96	0,96	0,73	10,2	8,9	7,2	9,8	8,5	5,2
2	0,96	0,95	0,74	9,7	7,8	7,9	9,3	7,4	5,8
3	0,95	0,99	0,78	9,8	9,9	7,8	9,3	9,8	6,1
4	0,96	0,96	0,69	9,6	8,5	7,1	9,2	8,1	4,9
5	0,95	0,97	0,84	9,5	8,8	9,1	9,0	8,5	7,6

A2	Volume Final (L)			CONCENTRAÇÃO MAGNÉSIO (mg L ⁻¹)			MASSA MAGNÉSIO (mg)		
	Amostras	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	Grupo de controle	Beldroega
1	0,91	0,90	0,53	10,4	6,7	6,9	9,4	6,0	3,6
2	0,94	0,91	0,73	10,1	7,5	8,6	9,5	6,8	6,2
3	0,94	0,88	0,72	10,1	7,7	7,8	9,4	6,8	5,6
4	0,93	0,92	0,79	10,2	8,2	8,1	9,5	7,5	6,4
5	0,93	0,92	0,75	10,8	8,6	8,0	10,0	7,9	6,0

A3	Volume Final (L)			CONCENTRAÇÃO MAGNÉSIO (mg L ⁻¹)			MASSA MAGNÉSIO (mg)		
	Amostras	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	Grupo de controle	Beldroega
1	0,93	0,90	0,71	9,9	9,0	9,4	9,2	8,1	6,7
2	0,95	0,89	0,70	9,7	7,8	7,5	9,2	7,0	5,3
3	0,95	0,89	0,79	9,7	9,1	9,8	9,2	8,1	7,7
4	0,95	0,93	0,78	9,4	8,4	8,8	8,9	7,8	6,8
5	0,95	0,93	0,71	9,7	7,4	8,9	9,1	6,9	6,3

APÊNDICE IX – TRABALHO EXPERIMENTAL I (COMPARAÇÃO BELDROEGA X AGUAPÉ) - SÓDIO

A1	Volume Final (L)			CONCENTRAÇÃO SÓDIO (mg L ⁻¹)			MASSA SÓDIO (mg)		
	Amostras	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	Grupo de controle	Beldroega
1	0,96	0,96	0,73	305,8	293,0	350,7	292,0	281,3	256,0
2	0,96	0,95	0,74	306,3	301,3	346,8	294,0	286,2	256,6
3	0,95	0,99	0,78	314,0	290,3	337,5	298,3	287,4	263,3
4	0,96	0,96	0,69	313,9	296,1	356,2	301,3	284,3	245,8
5	0,95	0,97	0,84	303,7	296,3	327,9	288,5	285,9	275,4

A2	Volume Final (L)			CONCENTRAÇÃO SÓDIO (mg L ⁻¹)			MASSA SÓDIO (mg)		
	Amostras	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	Grupo de controle	Beldroega
1	0,91	0,90	0,53	559,0	489,0	608,0	508,7	437,7	319,2
2	0,94	0,91	0,73	538,0	479,0	609,0	503,0	435,9	444,6
3	0,94	0,88	0,72	544,0	491,0	608,0	511,4	432,1	437,8
4	0,93	0,92	0,79	526,0	472,0	569,0	489,2	434,2	449,5
5	0,93	0,92	0,75	538,0	474,0	566,0	497,7	433,7	424,5

A3	Volume Final (L)			CONCENTRAÇÃO SÓDIO (mg L ⁻¹)			MASSA SÓDIO (mg)		
	Amostras	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	Grupo de controle	Beldroega
1	0,93	0,90	0,71	1039,8	986,1	1293,2	967,0	887,5	918,2
2	0,95	0,89	0,70	1066,6	1043,9	1248,8	1007,9	929,1	874,2
3	0,95	0,89	0,79	1050,2	1047,8	1132,6	997,7	932,5	894,8
4	0,95	0,93	0,78	1005,1	1008,5	1185,8	954,8	937,9	919,0
5	0,95	0,93	0,71	1021,1	979,8	1239,3	964,9	911,2	879,9

APÊNDICE X – TRABALHO EXPERIMENTAL I (COMPARAÇÃO BELDROEGA X AGUAPÉ) - CLORETO

A1	Volume Final (L)			CONCENTRAÇÃO CLORETO (mg L ⁻¹)			MASSA CLORETO (mg)		
	Amostras	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	Grupo de controle	Beldroega
1	0,96	0,96	0,73	490,4	461,6	576,9	468,3	443,1	421,1
2	0,96	0,95	0,74	471,2	480,8	586,6	452,4	456,8	434,1
3	0,95	0,99	0,78	480,8	461,6	557,7	456,8	457,0	435,0
4	0,96	0,96	0,69	480,8	471,2	586,6	461,6	452,4	404,8
5	0,95	0,97	0,84	490,4	480,8	576,9	465,9	464,0	484,6

A2	Volume Final (L)			CONCENTRAÇÃO CLORETO (mg L ⁻¹)			MASSA CLORETO (mg)		
	Amostras	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	Grupo de controle	Beldroega
1	0,91	0,90	0,53	807,7	836,6	1048,1	735,0	748,8	550,3
2	0,94	0,91	0,73	836,6	807,7	1028,9	782,2	735,0	751,1
3	0,94	0,88	0,72	817,3	846,2	1000,0	768,3	744,7	720,0
4	0,93	0,92	0,79	807,7	807,7	1000,0	751,2	743,1	790,0
5	0,93	0,92	0,75	807,7	798,1	1028,9	747,1	730,3	771,7

A3	Volume Final (L)			CONCENTRAÇÃO CLORETO (mg L ⁻¹)			MASSA CLORETO (mg)		
	Amostras	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	Grupo de controle	Beldroega	Aguapé	Grupo de controle	Beldroega
1	0,93	0,90	0,71	1634,7	1653,9	2057,8	1520,3	1488,5	1461,0
2	0,95	0,89	0,70	1605,8	1682,8	2038,6	1517,5	1497,7	1427,0
3	0,95	0,89	0,79	1605,8	1692,4	1846,2	1525,5	1506,2	1458,5
4	0,95	0,93	0,78	1596,2	1625,1	1894,3	1516,4	1511,3	1468,1
5	0,95	0,93	0,71	1615,5	1596,2	2028,9	1526,6	1484,5	1440,5

**APÊNDICE XI – TRABALHO EXPERIMENTAL I (COMPARAÇÃO
BELDROEGA X AGUAPÉ) – TECIDO VEGETAL
(CONCENTRAÇÃO FINAL – CÁLCIO)**

SOLUÇÃO A1

AMOSTRA	PARTE AÉREA (g kg ⁻¹)		RAIZ (g kg ⁻¹)	
	BELDROEGA	AGUAPÉ	BELDROEGA	AGUAPÉ
1	19,3	19,4	17,4	9,2
2	22,0	21,2	16,0	9,4
3	30,5	20,6	27,9	14,3
4	23,5	17,2	13,5	7,9
5	22,4	19,5	13,4	11,0

SOLUÇÃO A2

AMOSTRA	PARTE AÉREA (g kg ⁻¹)		RAIZ (g kg ⁻¹)	
	BELDROEGA	AGUAPÉ	BELDROEGA	AGUAPÉ
1	10,6	27,9	N.D.	11,7
2	8,6	21,2	5,6	11,8
3	14,9	20,7	4,9	9,8
4	13,2	22,8	5,4	14,3
5	9,9	22,5	N.D.	11,2

SOLUÇÃO A3

AMOSTRA	PARTE AÉREA (g kg ⁻¹)		RAIZ (g kg ⁻¹)	
	BELDROEGA	AGUAPÉ	BELDROEGA	AGUAPÉ
1	15,4	17,5	12,5	12,1
2	19,3	18,1	24,6	8,0
3	19,4	16,3	20,3	12,5
4	25,4	19,6	46,2	13,0
5	14,5	18,4	9,3	10,4

**APÊNDICE XII – TRABALHO EXPERIMENTAL I (COMPARAÇÃO
BELDROEGA X AGUAPÉ) – TECIDO VEGETAL
(CONCENTRAÇÃO FINAL – MAGNÉSIO)**

SOLUÇÃO A1

AMOSTRA	PARTE AÉREA (g kg ⁻¹)		RAIZ (g kg ⁻¹)	
	BELDROEGA	AGUAPÉ	BELDROEGA	AGUAPÉ
1	17,5	9,5	7,4	8,0
2	16,2	10,0	6,2	9,1
3	8,9	10,0	5,7	10,9
4	14,9	8,6	6,1	7,8
5	12,3	12,0	8,1	8,8

SOLUÇÃO A2

AMOSTRA	PARTE AÉREA (g kg ⁻¹)		RAIZ (g kg ⁻¹)	
	BELDROEGA	AGUAPÉ	BELDROEGA	AGUAPÉ
1	13,0	13,8	N.D.	4,2
2	14,1	11,3	5,9	7,8
3	12,6	10,6	6,0	6,8
4	11,9	12,7	6,4	6,1
5	12,3	13,4	N.D.	5,4

SOLUÇÃO A3

AMOSTRA	PARTE AÉREA (g kg ⁻¹)		RAIZ (g kg ⁻¹)	
	BELDROEGA	AGUAPÉ	BELDROEGA	AGUAPÉ
1	13,5	8,7	5,3	6,9
2	16,0	9,9	10,5	4,0
3	9,3	8,0	7,0	4,4
4	15,3	8,5	7,5	5,2
5	15,4	10,7	8,8	5,3

**APÊNDICE XIII – TRABALHO EXPERIMENTAL I (COMPARAÇÃO
BELDROEGA X AGUAPÉ) – TECIDO VEGETAL
(CONCENTRAÇÃO FINAL – SÓDIO)**

SOLUÇÃO A1

AMOSTRA	PARTE AÉREA (g kg ⁻¹)		RAIZ (g kg ⁻¹)	
	BELDROEGA	AGUAPÉ	BELDROEGA	AGUAPÉ
1	19,0	19,6	18,5	14,7
2	2,9	24,4	14,6	13,0
3	3,6	28,3	8,8	16,7
4	5,9	25,5	18,4	21,3
5	N.D.	23,3	19,1	21,4

SOLUÇÃO A2

AMOSTRA	PARTE AÉREA (g kg ⁻¹)		RAIZ (g kg ⁻¹)	
	BELDROEGA	AGUAPÉ	BELDROEGA	AGUAPÉ
1	23,7	53,8	N.D.	31,0
2	28,1	37,6	35,0	30,4
3	25,6	36,0	20,0	25,0
4	24,5	36,9	26,4	24,4
5	31,3	44,7	N.D.	25,8

SOLUÇÃO A3

AMOSTRA	PARTE AÉREA (g kg ⁻¹)		RAIZ (g kg ⁻¹)	
	BELDROEGA	AGUAPÉ	BELDROEGA	AGUAPÉ
1	25,3	70,3	18,2	35,5
2	32,6	45,2	24,3	36,4
3	23,0	69,4	26,7	30,3
4	32,4	77,7	15,6	32,3
5	22,8	67,9	20,9	24,3

**APÊNDICE XIV – TRABALHO EXPERIMENTAL I (COMPARAÇÃO
BELDROEGA X AGUAPÉ) – TECIDO VEGETAL
(CONCENTRAÇÃO FINAL – POTÁSSIO)**

SOLUÇÃO A1

AMOSTRA	PARTE AÉREA (g kg ⁻¹)		RAIZ (g kg ⁻¹)	
	BELDROEGA	AGUAPÉ	BELDROEGA	AGUAPÉ
1	117,3	43,3	25,0	25,5
2	115,7	57,3	25,9	20,5
3	106,4	47,0	16,2	26,2
4	134,7	38,8	26,6	25,2
5	124,7	41,9	25,9	29,0

SOLUÇÃO A2

AMOSTRA	PARTE AÉREA (g kg ⁻¹)		RAIZ (g kg ⁻¹)	
	BELDROEGA	AGUAPÉ	BELDROEGA	AGUAPÉ
1	36,5	77,1	N.D.	20,6
2	76,7	28,8	26,5	29,8
3	72,1	34,2	37,7	40,3
4	86,3	28,3	41,0	24,4
5	81,4	37,8	139,9	40,7

SOLUÇÃO A3

AMOSTRA	PARTE AÉREA (g kg ⁻¹)		RAIZ (g kg ⁻¹)	
	BELDROEGA	AGUAPÉ	BELDROEGA	AGUAPÉ
1	88,4	20,2	50,4	23,2
2	78,8	23,7	44,8	17,4
3	88,4	20,9	20,5	23,7
4	80,6	17,8	38,0	14,9
5	96,6	26,8	28,9	18,2

APÊNDICE XV – TRABALHO EXPERIMENTAL II (BELDROEGA – CONTROLE X NÃO PODADO X PODADO) – CÁLCIO

Amostras	Volume Final (mL)			CONCENTRAÇÃO CÁLCIO (mg L ⁻¹)			MASSA CÁLCIO (mg)		
	Grupo de controle	Não Podado	Podado	Grupo de controle	Não Podado	Podado	Grupo de controle	Não Podado	Podado
1	495	450	455	36,1	29,5	33,5	17,9	13,3	15,2
2	495	455	455	31,5	29,5	33,1	15,6	13,4	15,1
3	495	460	460	33,7	26,3	29,3	16,7	12,1	13,5
4	495	460	470	32,1	35,9	32,3	15,9	16,5	15,2
5	490	470	475	33,7	29,9	29,6	16,5	14,1	14,1

Amostras	Volume Final (mL)			CONCENTRAÇÃO CÁLCIO (mg L ⁻¹)			MASSA CÁLCIO (mg)		
	Grupo de controle	Não Podado	Podado	Grupo de controle	Não Podado	Podado	Grupo de controle	Não Podado	Podado
1	495	460	460	31,9	31,2	28,5	15,8	14,4	13,1
2	495	455	470	39,6	35,1	31,8	19,6	16,0	14,9
3	490	460	460	36,6	28,9	29,6	17,9	13,3	13,6
4	495	465	470	33,8	41,2	36,5	16,7	19,1	17,1
5	490	460	470	37,9	37,1	37,3	18,6	17,1	17,5

Amostras	Volume Final (mL)			CONCENTRAÇÃO CÁLCIO (mg L ⁻¹)			MASSA CÁLCIO (mg)		
	Grupo de controle	Não Podado	Podado	Grupo de controle	Não Podado	Podado	Grupo de controle	Não Podado	Podado
1	495	460	465	30,2	39,4	37,7	15,0	18,1	17,5
2	490	460	465	34,0	36,5	38,7	16,7	16,8	18,0
3	490	470	465	35,7	43,0	33,2	17,5	20,2	15,4
4	495	470	465	29,3	33,4	34,8	14,5	15,7	16,2
5	495	465	470	42,8	31,3	37,7	21,2	14,6	17,7

APÊNDICE XVI – TRABALHO EXPERIMENTAL II (BELDROEGA – CONTROLE X NÃO PODADO X PODADO) – MAGNÉSIO

A1	Volume Final (mL)			CONCENTRAÇÃO MAGNÉSIO (mg L ⁻¹)			MASSA MAGNÉSIO (mg)		
	Amostras	Grupo de controle	Não Podado	Podado	Grupo de controle	Não Podado	Podado	Grupo de controle	Não Podado
1	495	450	455	15,3	1,0	0,5	7,6	0,5	0,2
2	495	455	455	15,4	1,0	2,8	7,6	0,5	1,3
3	495	460	460	15,2	0,5	3,5	7,5	0,2	1,6
4	495	460	470	15,8	0,6	3,7	7,8	0,3	1,7
5	490	470	475	15,2	0,4	1,6	7,4	0,2	0,8

A2	Volume Final (mL)			CONCENTRAÇÃO MAGNÉSIO (mg L ⁻¹)			MASSA MAGNÉSIO (mg)		
	Amostras	Grupo de controle	Não Podado	Podado	Grupo de controle	Não Podado	Podado	Grupo de controle	Não Podado
1	495	460	460	16,7	0,5	3,1	8,3	0,2	1,4
2	495	455	470	17,2	0,7	9,2	8,5	0,3	4,3
3	490	460	460	15,4	0,4	5,3	7,5	0,2	2,5
4	495	465	470	18,1	0,6	6,2	8,9	0,3	2,9
5	490	460	470	19,9	0,5	6,1	9,8	0,2	2,9

A3	Volume Final (mL)			CONCENTRAÇÃO MAGNÉSIO (mg L ⁻¹)			MASSA MAGNÉSIO (mg)		
	Amostras	Grupo de controle	Não Podado	Podado	Grupo de controle	Não Podado	Podado	Grupo de controle	Não Podado
1	495	460	465	14,4	0,8	5,0	7,1	0,4	2,3
2	490	460	465	14,4	1,1	6,1	7,1	0,5	2,8
3	490	470	465	14,6	2,1	11,5	7,2	1,0	5,3
4	495	470	465	13,8	3,3	13,1	6,8	1,6	6,1
5	495	465	470	14,2	4,0	12,2	7,0	1,8	5,7

APÊNDICE XVII – TRABALHO EXPERIMENTAL II (BELDROEGA – CONTROLE X NÃO PODADO X PODADO) – SÓDIO

Amostras	Volume Final (mL)			CONCENTRAÇÃO SÓDIO (mg L ⁻¹)			MASSA SÓDIO (mg)		
	Grupo de controle	Não Podado	Podado	Grupo de controle	Não Podado	Podado	Grupo de controle	Não Podado	Podado
1	495	450	455	320,4	284,3	279,2	158,6	128,0	127,0
2	495	455	455	306,8	279,6	275,0	151,9	127,2	125,1
3	495	460	460	310,4	286,5	301,1	153,7	131,8	138,5
4	495	460	470	307,9	288,0	298,5	152,4	132,5	140,3
5	490	470	475	309,0	268,9	280,0	151,4	126,4	133,0

Amostras	Volume Final (mL)			CONCENTRAÇÃO SÓDIO (mg L ⁻¹)			MASSA SÓDIO (mg)		
	Grupo de controle	Não Podado	Podado	Grupo de controle	Não Podado	Podado	Grupo de controle	Não Podado	Podado
1	495	460	460	488,5	461,7	456,2	241,8	212,4	209,8
2	495	455	470	492,3	471,0	441,7	243,7	214,3	207,6
3	490	460	460	488,7	437,3	452,3	239,5	201,2	208,0
4	495	465	470	495,0	448,9	448,3	245,0	208,8	210,7
5	490	460	470	469,2	457,0	468,8	229,9	210,2	220,3

Amostras	Volume Final (mL)			CONCENTRAÇÃO SÓDIO (mg L ⁻¹)			MASSA SÓDIO (mg)		
	Grupo de controle	Não Podado	Podado	Grupo de controle	Não Podado	Podado	Grupo de controle	Não Podado	Podado
1	495	460	465	988,3	954,7	809,3	489,2	439,2	376,3
2	490	460	465	1025,8	991,1	896,0	502,6	455,9	416,6
3	490	470	465	991,2	1018,0	911,3	485,7	478,4	423,8
4	495	470	465	1054,7	986,8	865,2	522,1	463,8	402,3
5	495	465	470	981,8	965,4	878,3	486,0	448,9	412,8

APÊNDICE XVIII – TRABALHO EXPERIMENTAL II (BELDROEGA – CONTROLE X NÃO PODADO X PODADO) – CLORETO

Amostras	Volume Final (mL)			CONCENTRAÇÃO CLORETO (mg L ⁻¹)			MASSA CLORETO (mg)		
	Grupo de controle	Não Podado	Podado	Grupo de controle	Não Podado	Podado	Grupo de controle	Não Podado	Podado
1	495	450	455	563,9	511,1	518,1	279,1	230,0	235,7
2	495	455	455	528,5	507,1	483,6	261,6	230,7	220,0
3	495	460	460	582,0	501,2	532,7	288,1	230,6	245,0
4	495	460	470	564,0	512,6	548,3	279,2	235,8	257,7
5	490	470	475	549,8	529,0	538,7	269,4	248,6	255,9

Amostras	Volume Final (mL)			CONCENTRAÇÃO CLORETO (mg L ⁻¹)			MASSA CLORETO (mg)		
	Grupo de controle	Não Podado	Podado	Grupo de controle	Não Podado	Podado	Grupo de controle	Não Podado	Podado
1	495	460	460	942,0	910,2	843,2	466,3	418,7	387,9
2	495	455	470	945,5	972,5	1007,4	468,0	442,5	473,5
3	490	460	460	978,1	972,0	998,8	479,3	447,1	459,5
4	495	465	470	976,4	956,9	913,4	483,3	444,9	429,3
5	490	460	470	938,9	955,2	930,8	460,1	439,4	437,5

Amostras	Volume Final (mL)			CONCENTRAÇÃO CLORETO (mg L ⁻¹)			MASSA CLORETO (mg)		
	Grupo de controle	Não Podado	Podado	Grupo de controle	Não Podado	Podado	Grupo de controle	Não Podado	Podado
1	495	460	465	1651,7	1837,0	1789,7	817,6	845,0	832,2
2	490	460	465	1794,4	1887,6	2021,2	879,3	868,3	939,9
3	490	470	465	1699,1	1903,8	1917,2	832,6	894,8	891,5
4	495	470	465	1838,0	1793,1	1919,4	909,8	842,8	892,5
5	495	465	470	1635,7	1776,6	1825,5	809,7	826,1	858,0