



AGRICULTURA IRRIGADA EM AMBIENTES SALINOS

Editores Técnicos

Paulo Ricardo Santos Cerqueira

Claudivan Feitosa de Lacerda

Gherman Garcia Leal de Araujo

Hans Raj Gheyi

Welson Lima Simões



AGRICULTURA IRRIGADA EM AMBIENTES SALINOS

Presidente da República

Jair Messias Bolsonaro

Ministro do Desenvolvimento Regional

Rogério Simonetti Marinho

Diretor-Presidente da Codevasf

Marcelo Andrade Moreira Pinto

Diretor da Área de Desenvolvimento Integrado e Infraestrutura

Antônio Rosendo Neto Júnior

Diretor da Área de Gestão de Empreendimentos de Irrigação

Luiz Napoleão Casado Arnaud Neto

Diretor da Área de Revitalização das Bacias Hidrográficas

Rodrigo Moura Parentes Sampaio



Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba

Editores Técnicos

Paulo Ricardo Santos Cerqueira

Claudivan Feitosa de Lacerda

Gherman Garcia Leal de Araujo

Hans Raj Gheyi

Welson Lima Simões

AGRICULTURA IRRIGADA EM AMBIENTES SALINOS

**Brasília, DF
Codevasf
2021**

© 2021 Codevasf

É permitida a reprodução de dados e informações contidas nessa publicação, desde que citada a fonte.

Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/Plone/aceso-a-informacao/institucional/biblioteca-geraldo-rocha> → Catálogo on-line

Disponível também em: <https://www.codevasf.gov.br/aceso-a-informacao/institucional/biblioteca-geraldo-rocha/publicacoes>

A Webinar “Agricultura irrigada em Ambientes Salinos” pode ser vista em:
<https://www.youtube.com/watch?v=y6cfXm6Fit4&t=42s>

Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba – Codevasf
SGAN 601 – Conj. I – Ed. Deputado Manoel Novaes
CEP 70.830-019 Brasília - DF

Capa

Frederico Celente

Paulo Ricardo Santos Cerqueira

Fotos da capa

Gherman Garcia Leal de Araujo (Embrapa Semiárido)

Acervo Codevasf

Projeto gráfico

Nilva chaves

Normalização bibliográfica

Nilva Chaves

Diana Augusta Formiga da Luz

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Agricultura irrigada em ambientes salinos / editores técnicos, Paulo Cerqueira *et al.* –
Brasília : Codevasf, 2021.

363 p : il.

ISBN 978-65-88380-06-2 - eBook

1. Agricultura bioessalina. 2. Planta halófitas. 3. Sustentabilidade. 4. Drenagem agrícola. 5. Solo e água - monitoramento. 6. Região semiárida. I. Lacerda, Claudivan Feitosa de. II. Araujo, Gherman Garcia Leal de. III. Gheyi, Hans Raj. IV. Simões, Welson Lima. V. Codevasf.

CDU: 631.587

AUTORES



Alberto Soares de Melo
Doutor em Recursos Naturais,
Engenheiro Agrônomo, Professor da
Universidade Estadual da Paraíba,
Campina Grande-PB.
albertosoares915@gmail.com



Alessandra Monteiro Salviano
Doutora em Solos e Nutrição de PLantas,
Engenheira Agrônoma, Pesquisadora da
Embrapa Semiárido, Petrolina-PE.
alessandra.salviano@embrapa.br



Alide Mitsue Watanabe Cova
Doutora em Agricultura Irrigada e
Recursos Hídricos, Engenheira
Agrônoma, Professora Substituta da
Universidade Federal do Oeste do Pará.
alidewatanabe@yahoo.com.br



Anderson Ramos de Oliveira
Doutor em Produção Vegetal,
Engenheiro Agrônomo, Pesquisador
da Embrapa Semiárido, Petrolina-PE.
anderson.oliveira@embrapa.br



Antônia Leila Rocha Neves
Doutora em Irrigação e Drenagem,
Graduada em Recursos Hídricos,
Bolsista BIT-PIJ Funcap/Sedet/UFC.
leilaneves7@hotmail.com



Carlos Henrique Carvalho de Sousa
Doutor em Irrigação e drenagem,
Graduado em Recursos Hídricos e
Irrigação, Professor da Faculdade
IEDUCARE - FIED.
sousaibiapina@gmail.com



Carlos Roberto Silva de Oliveira
Mestre em Produção Vegetal, Engenheiro
Agrônomo, Doutorando em Agronomia (UFRPE),
Professor no Centro Territorial de Educação
Profissional do Sertão do São Francisco.
carlos.robertooliveira@ufrpe.br



Claudivan Feitosa de Lacerda
Doutor em Fisiologia Vegetal,
Engenheiro Agrônomo, Professor da
Universidade Federal do Ceará,
Fortaleza - CE.
cfeitosa@ufc.br



Eduardo Santos Cavalcante
Doutor em Engenharia Agrícola,
Bolsista BIT-PIJ Funcap/Sedet/UFC.
educavalcanteufc@gmail.com



Eliseu Marlônio Pereira de Lucena
Doutor em Fitotecnia, Engenheiro
Agrônomo, Professor da Universidade
Estadual do Ceará.
eliseu.lucena@uece.br



Elson Fernandez
Especialista em Geoprocessamento,
Engenheiro Agrônomo,
CODEVASF-Brasília-DF.
elson.fernandes@codevasf.gov.br



Fernando Victor Galdino Ponte
Mestre em Engenharia Civil
(Saneamento Ambiental), Engenheiro
Químico, Cagece-Ceará.
victorgponte@yahoo.com.br



Fleming Sena Campos
Doutor em Zootecnia, Zootecnista,
Bolsista PNPd-CAPES, Universidade
Federal do Agreste de Pernambuco,
Garanhuns-PE.
flemingcte@yahoo.com.br



Gherman Garcia Leal de Araujo
Doutor em Zootecnia, Zootecnista,
Pesquisador da Embrapa Semiárido,
Petrolina-PE.
gherman.araujo@embrapa.br



Geovani Soares de Lima
Doutor em Engenharia Agrícola,
Engenheiro Agrônomo, Professor da
Universidade Federal de Campina
Grande, Campina Grande-PB.
geovanisoareslima@gmail.com



Hans Raj Gheyi
Doutor em Ciências Agrônomicas,
Professor da Universidade Federal de
Campina Grande, Campina Grande-PB.
hgheyi@gmail.com



Hermínio Hideo Suguino
Doutor em Agricultura e Engenharia
de Irrigação, Engenheiro Agrônomo, -
CODEVASF – Brasília-DF.
herminio.suguino@codevasf.gov.br



José Amilton Santos Junior
Doutor em Engenharia Agrícola, Engenheiro
Agrícola, Professor do departamento de
Engenharia Agrícola da Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE.
eng.amiltonjr@hotmail.com



José Costa Barros
Engenheiro Agrônomo - Gerente
Regional de Irrigação - CODEVASF -
Petrolina-PE.
jose.costa@codevasf.gov.br



José Alfredo de Albuquerque
Doutor em Engenharia Agrícola,
Engenheiro Agrônomo -
Departamento Nacional de Obras
Contra Seca-DNOCS.
alfredo.albuquerque@dnocs.gov.br



Joselito Menezes de Sousa
Mestre em Extensão Rural,
Engenheiro Agrônomo, Codevasf -
Juazeiro-BA.
joselito.menezes@codevasf.gov.br



Jucicleia Soares da Silva
Doutora em Engenharia Agrícola,
Tecnóloga em Gestão de Fruticultura
Irigada pelo IF Sertão
Pernambucano, Petrolina-PE.
jucicleiass@gmail.com



Mairton Gomes da Silva
Doutor em Engenharia Agrícola,
Tecnólogo em Irrigação e Drenagem,
Professor da Universidade Federal do
Recôncavo da Bahia.
mairtong@hotmail.com



Marcelo Resende de Sousa Bastos
MBA em gestão de projetos, Assessor
técnico do Adapta Sertão em tecnologias
de uso de água, Gerente de Irrigação da
Chiquita Brands Internacional.
marcelorsbastos@gmail.com



Miguel Júlio Machado Guimarães
Doutor em Engenharia Agrícola,
Engenheiro Agrônomo, Professor EBTT
do Instituto Federal do Maranhão, São
Raimundo das Mangabeiras-MA.
mjmguimaraes@hotmail.com



Nelci Olszewski
Doutora em Física e Manejo do Solo
Engenheira Agrônoma, Professora da
Universidade Federal do Vale do São
Francisco, Juazeiro-BA.
nelci.olszewski@univasf.edu.br



Oriel Herrera Bonilla
Doutor em Ciências Naturais -
Ecologia, Engenheiro Florestal,
Professor da Universidade Estadual
do Ceará, Fortaleza-CE.
oriel.herrera@uece.br



Paulo Ricardo Santos Cerqueira
Mestre em Pedologia, Engenheiro
Agrônomo, CODEVASF, Brasília-DF.
paulo.cerqueira@codevasf.gov.br



Petterson Costa Conceição Silva
Doutor em Engenharia Agrícola,
Bolsista Pós-doutorado Junior da
Universidade Federal de Campina
Grande, Campina Grande-PB.
petter.ufrb@gmail.com



Raimundo Nonato Távora Costa
Doutor em Irrigação e Drenagem,
Engenheiro Agrônomo, Professor da
Universidade Federal do Ceará,
Fortaleza-CE.
mtcosta@ufc.br



Ricardo Bartholdy de Figueiredo
Técnico Naval, Pesquisador e fabricante do condensador eletrolítico da Brine Sistemas Ltda.
brinesistemas@hotmail.com



Tales Miler Soares
Doutor em Irrigação e Drenagem, Engenheiro Agrônomo, Professor da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas-BA.
talesmiler@gmail.com



Tatiana Ayako Taura
Mestre em Ciências Geodésicas, Engenheira Cartógrafa, Analista da Embrapa Semiárido, Petrolina-PE.
tatiana.taura@embrapa.br



Thieres George Freire Silva
Doutor em Meteorologia Agrícola, Engenheiro Agrônomo, Professor da Universidade Federal de Pernambuco - UAST, Serra Talhada-PE.
thigeoprofissional@hotmail.com



Tony Jarbas Ferreira da Cunha
Doutor em Ciência do Solo, Engenheiro Agrônomo, Pesquisador da Embrapa Semiárido, Petrolina-PE.
tony.cunha@embrapa.br
(In memoriam)



Vanderlise Giongo
Doutora em Manejo e Conservação do Solo, Engenheira Agrônoma, Pesquisadora da Embrapa Semiárido, Petrolina-PE.
vanderlise.giongo@embrapa.br



Wagner Pereira Felix
Doutor em Bioquímica e Biologia Molecular, Engenheiro Agrônomo e Químico, Professor da Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina-PE.
wagner.felix@univasf.edu.br



Welson Lima Simões
Doutor em Irrigação e Drenagem, Engenheiro Agrônomo, pesquisador da Embrapa Semiárido, Petrolina-PE.
welson.simoes@embrapa.br



Wiliana Júlia Ferreira de Medeiros
Mestre em Ciência do Solo, Engenheira Agrônoma, Doutoranda em Ciência do Solo, Universidade Federal do Ceará.
juliamedeirosagro@gmail.com

DEDICATÓRIA

A Tony Jarbas Ferreira Cunha (in memoriam) pelo incansável trabalho de iluminar as intrínsecas, complexas e delicadas relações solo, homem e ambiente, gerando possibilidades de desenvolvimento e preservação, irmanando a Caatinga a importantes cadeias produtivas no Semiárido brasileiro. Do seu legado, cabe a continuidade do seu amor e dedicação à Ciência do Solo.

SUMÁRIO

| | |
|--------------------|---|
| APRESENTAÇÃO | 16 |
| PREFÁCIO | 18 |
| 1 | CAPÍTULO 1 - Estratégias metodológicas para o monitoramento e espacialização da salinidade e sodicidade dos solos em projetos de irrigação |
| | <i>Paulo R. S. Cerqueira, Alessandra M. Salviano, Tatiana A. Taura, Nelci Olszewski, Vanderlise Giongo, Tony J. F. da Cunha, Elson Fernandez.....</i> |
| 1.1 | Introdução..... 20 |
| 1.2 | Fundamentação legal 22 |
| 1.3 | Objetivos estratégicos..... 24 |
| 1.4 | Processos envolvidos na salinização e sodificação dos solos: causas e consequências..... 25 |
| 1.5 | Monitoramento da salinidade e da sodicidade do solo: características químicas..... 28 |
| 1.6 | Etapas metodológicas de um programa de monitoramento e espacialização da salinidade e sodicidade dos solos..... 30 |
| 1.6.1 | Montagem da rede sociotécnica de participantes: diagnóstico..... 31 |
| 1.6.2 | Montagem do banco de dados parametrizado..... 32 |
| 1.6.3 | Análises dos dados coletados e espacialização dos dados no território.. 32 |
| 1.6.4 | Difusão dos resultados das análises do banco de dados e das recomendações de manejo da salinidade aos agricultores e instituições envolvidas..... 33 |
| 1.7 | Estudo de caso: monitoramento e espacialização da salinidade e da sodicidade dos solos nos Projetos Públicos de Irrigação Nilo Coelho e Maria Tereza 35 |
| 1.7.1 | Informações gerais sobre os Projetos Públicos de Irrigação 35 |
| 1.7.1.1 | Projetos Públicos de Irrigação Senador Nilo Coelho (SNC).....35 |
| 1.7.1.2 | Projetos Públicos de Irrigação Maria Tereza36 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1.7.2 | Metodologia..... | 37 |
| 1.7.3 | Resultados..... | 39 |
| 1.7.3.1 | Análise da variação da salinidade e da sodicidade e relação com as características químicas do solo | 40 |
| 1.7.3.2 | Espacialização da condutividade elétrica (dS/m) e da percentagem de saturação de sódio nas áreas dos projetos públicos irrigados | 46 |
| 1.8 | Considerações finais..... | 52 |
| | Referências..... | 53 |
| 2 | CAPÍTULO 2 – Drenagem nos projetos públicos de irrigação no semiárido brasileiro | |
| | <i>Hermínio H. Suguino, José C. Barros, José A. de Albuquerque, Raimundo N. T. Costa</i> | 58 |
| 2.1 | Introdução..... | 58 |
| 2.2 | Necessidade de drenagem nos Projetos Públicos de Irrigação no nordeste do Brasil | 62 |
| 2.3 | Estudo de caso: Projetos Públicos de Irrigação - DNOCS | 66 |
| 2.3.1 | Estudos, pesquisas e investimentos em sistemas de drenagem | 67 |
| 2.3.2 | Capacidade de investimentos e alternativas ao desenvolvimento..... | 72 |
| 2.4 | Estudo de caso: Projetos Públicos de Irrigação da Codevasf em Petrolina – PE | 73 |
| 2.4.1 | Instalação de drenos subterrâneos nos projetos de irrigação | 74 |
| 2.4.2 | Drenagem nos projetos da Codevasf..... | 75 |
| 2.4.2.1 | Projeto Bebedouro..... | 78 |
| 2.4.2.2 | Projeto Público de Irrigação Senador Nilo Coelho | 79 |
| 2.4.2.3 | Projeto Público de Irrigação Pontal | 81 |
| 2.4.2.4 | Projeto Público de Irrigação do Sistema Itaparica | 82 |
| 2.5 | Considerações finais..... | 84 |
| | Referências..... | 85 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 3 | CAPÍTULO 3 - Recuperação de solos afetados por sais | |
| | <i>Petterson C. C. Silva, Alide M. W. Cova, Mairton G. da Silva, Geovani S. de Lima, Claudivan F. de Lacerda, Hans R. Gheyi.....</i> | 89 |
| 3.1 | Introdução..... | 89 |
| 3.2 | Impactos da salinidade na agricultura | 90 |
| 3.3 | Diagnóstico para avaliação da salinidade do solo | 92 |
| 3.4 | Métodos de recuperação de solos afetados por sais..... | 96 |
| 3.4.1 | Lavagem do solo..... | 98 |
| 3.4.2 | Uso de condicionadores e melhoradores químicos: inorgânicos e orgânicos..... | 101 |
| 3.4.2.1 | Quantidade de corretivos..... | 105 |
| 3.4.2.2 | Condicionadores orgânicos | 107 |
| 3.4.2.3 | Métodos auxiliares..... | 109 |
| 3.5 | Considerações Finais | 111 |
| | Referências..... | 111 |
| 4 | CAPÍTULO 4 - Fontes de águas salobras no semiárido brasileiro: ocorrência e caracterização química | |
| | <i>José A. Santos Júnior, Claudivan F. de Lacerda, Hans R. Gheyi.....</i> | 118 |
| 4.1 | Introdução..... | 118 |
| 4.2 | Enquadramento das águas no Brasil..... | 120 |
| 4.3 | Contexto geológico do semiárido brasileiro | 121 |
| 4.4 | Concentração e prevalência iônica | 123 |
| 4.5 | Ocorrência e caracterização química de águas salobras no semi-árido brasileiro | 125 |
| 4.5.1 | Águas superficiais..... | 125 |
| 4.5.2 | Águas subterrâneas..... | 130 |
| 4.5.3 | Rejeito de dessalinizadores | 138 |
| 4.6 | Considerações finais..... | 139 |
| | Referências..... | 140 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 5 | CAPÍTULO 5 - Cultivo de cana-de-açúcar em áreas salinizadas: seleção de cultivares tolerantes e manejo de irrigação | |
| | <i>Welson L. Simões, Anderson R. de Oliveira, Alessandra M. Salviano, Miguel J. M. Guimarães, Jucicléia S. da Silva, Carlos R. S. de Oliveira ...</i> | 149 |
| 5.1 | Introdução..... | 149 |
| 5.2 | Riscos de salinização dos solos | 151 |
| 5.3 | Efeito da salinidade no desenvolvimento da cana-de-açúcar e seleção de cultivares tolerantes ao estresse salino | 153 |
| 5.4 | Manejo da irrigação com frações de lixiviação para solo salinizado . | 159 |
| 5.5 | Considerações finais..... | 165 |
| | Referências..... | 166 |
| 6 | CAPÍTULO 6 - Agricultura bioessalina e uso de águas salobras na produção de forragem | |
| | <i>Gherman G. L. de Araujo, Thieres G. F. Silva, Fleming S. Campos.....</i> | 174 |
| 6.1 | Introdução..... | 174 |
| 6.2 | Agricultura bioessalina | 176 |
| 6.3 | As águas salobras dos poços subterrâneos no semiárido | 178 |
| 6.4 | Estratégias de uso da água salobra para fins forrageiro | 180 |
| 6.5 | As características bioessalinas das espécies forrageiras | 183 |
| 6.6 | Produção bioessalina de erva sal (<i>Atriplex nummularia</i>) | 185 |
| 6.7 | Produção bioessalina de palma forrageira | 190 |
| 6.8 | Produção bioessalina de gliricídia..... | 195 |
| 6.9 | Produção bioessalina de sorgo | 198 |
| 6.10 | Produção bioessalina de milheto..... | 202 |
| 6.11 | Considerações finais..... | 205 |
| | Referências..... | 206 |
| 7 | CAPÍTULO 7 - Estresse salino em plantas e formas de mitigação | |
| | <i>Claudivan F. de Lacerda, Eduardo S. Cavalcante, Antônia L. R. Neves, Alberto S. de Melo, Carlos H. Carvalho de Sousa, Wiliana J. F. de Medeiros.....</i> | 212 |
| 7.1 | Introdução..... | 212 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 7.2 | A complexidade do estresse salino..... | 213 |
| 7.3 | Estratégias para redução da intensidade do estresse..... | 216 |
| 7.3.1 | Uso de plantas tolerantes..... | 217 |
| 7.3.2 | Cultivo de plantas ornamentais..... | 218 |
| 7.3.3 | Uso cíclico de água salina e mistura de águas de diferentes qualidades..... | 221 |
| 7.3.4 | Aproveitamento das águas salobras em cultivos hidropônicos..... | 223 |
| 7.4 | Mitigação dos efeitos do estresse salino | 224 |
| 7.5 | Considerações finais..... | 227 |
| | Referências..... | 228 |

8 CAPÍTULO 8 – Tratamento de águas salobras com catalisador eletrolítico

Ricardo B. de Figueiredo, Joselito M. de Souza, Wagner P. Felix, Fernando V. G. Ponte, Marcelo R. de S. Bastos 238

| | | |
|-------|---|-----|
| 8.1 | Introdução..... | 238 |
| 8.2 | Aspectos técnicos e teóricos | 239 |
| 8.2.1 | Dureza..... | 240 |
| 8.2.2 | Carbonato de cálcio (CaCO ₃)..... | 241 |
| 8.2.3 | Conceito do catalisador | 244 |
| 8.3 | Origem e desenvolvimento do catalisador eletrolítico | 248 |
| 8.4 | Aspectos gerais da tecnologia | 252 |
| 8.4.1 | Reações galvânicas..... | 252 |
| 8.4.2 | Perda de calor causada por incrustações..... | 254 |
| 8.4.3 | Corrosão sob depósitos..... | 254 |
| 8.4.4 | Comparativo entre tecnologias de tratamento de dureza | 256 |
| 8.5 | Aplicações da tecnologia | 257 |
| 8.5.1 | Tubulações..... | 257 |
| 8.5.2 | Condensador evaporativo | 258 |
| 8.5.3 | Caldeira | 259 |
| 8.5.4 | Torres de resfriamento..... | 261 |
| 8.5.5 | Resfriador adiabático | 263 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 8.5.6 | Irrigação | 264 |
| 8.5.7 | Instalações prediais | 264 |
| 8.6 | Considerações finais..... | 270 |
| | Referências..... | 270 |
| 9 | CAPÍTULO 9 - Caracterização de halófitas e halotolerantes: potenciais para o uso na agricultura | |
| | <i>Oriel H. Bonilla, Eliseu M. P. de Lucena.....</i> | <i>273</i> |
| 9.1 | Introdução..... | 273 |
| 9.2 | Salinização dos solos e halofitismo no Nordeste brasileiro..... | 275 |
| 9.3 | Considerações finais..... | 284 |
| | Referências..... | 285 |
| 10 | CAPÍTULO 10 - Experiências com o uso de águas salobras em hidroponia no nordeste brasileiro | |
| | <i>Mairton G. da Silva, Petterson C. C. Silva, Alide M. W. Cova, Hans R. Gheyj, Tales M. Soares.....</i> | <i>290</i> |
| 10.1 | Introdução..... | 290 |
| 10.2 | Hidroponia | 291 |
| 10.2.1 | Vantagens e desvantagens | 291 |
| 10.2.2 | Sistemas, instalações e culturas exploradas hidroponicamente | 293 |
| 10.2.3 | Manejos das soluções nutritivas e das culturas | 297 |
| 10.3 | Hidroponia como técnica condizente à realidade do semiárido | 300 |
| 10.3.1 | Estratégias de manejo para o uso de águas salobras..... | 301 |
| 10.3.2 | Restrições ao uso de águas salobras no semiárido | 301 |
| 10.4 | Possibilidades da hidroponia comercial com águas salobras | 306 |
| 10.5 | Considerações finais..... | 309 |
| | Referências..... | 310 |
| 11 | CAPÍTULO 11 - Uso de águas salobras com tecnologia de trata- mento por catalisador eletrolítico: projetos-pilotos em comu- nidades rurais nos municípios de Pintadas (BA) e de Russas (CE) | |
| | <i>Joselito M. de Souza, Ricardo B. de Figueiredo, Marcelo R. de S. Bastos, Fernando V. G. Ponte, Wagner P. Felix.....</i> | <i>322</i> |

| | | |
|--------|---|-----|
| 11.1 | Introdução..... | 322 |
| 11.2 | Projeto-piloto de uso de água salobra em Pintadas (BA)..... | 323 |
| 11.2.1 | Estudo meteorológico | 325 |
| 11.2.2 | Adaptação à mudança do clima..... | 327 |
| 11.2.3 | Adapta Sertão | 328 |
| 11.2.4 | Projetos-pilotos..... | 330 |
| 11.2.5 | Poços tubulares..... | 330 |
| 11.2.6 | Irrigação localizada..... | 335 |
| 11.2.7 | Prêmios recebidos..... | 336 |
| 11.2.8 | Registros fotográficos dos projetos implantados..... | 336 |
| 11.3 | Projeto-piloto de uso de água salobra na comunidade rural Serra dos Vieiras no município de Russas (CE)..... | 340 |
| 11.3.1 | Programa água + acesso..... | 341 |
| 11.3.2 | Sistema Integrado de Saneamento Rural (Sisar)..... | 347 |
| 11.3.3 | Catalisador eletrolítico para remoção de dureza..... | 349 |
| 11.3.4 | Resultados do estudo de caso | 352 |
| 11.3.5 | Pontos de coleta..... | 354 |
| 11.3.6 | Parâmetros analisados | 354 |
| 11.3.7 | Discussão dos resultados..... | 355 |
| 11.3.8 | Consumo de energia | 357 |
| 11.3.9 | Ligações domiciliares..... | 359 |
| 11.4 | Considerações finais..... | 360 |
| | Referências..... | 361 |

APRESENTAÇÃO

Esta obra foi inspirada na Webinar realizada no canal da Codevasf no YouTube intitulada “Agricultura Irrigada em Ambientes Salinos” que também dá nome ao título da publicação. Os capítulos foram coordenados e liderados pelos participantes da Webinar. Participaram, também, técnicos da Codevasf em parceria com pesquisadores e professores das seguintes instituições: Universidade Federal do Recôncavo Baiano, Universidade Federal do Ceará, Universidade Estadual do Ceará, Universidade Estadual da Paraíba, Universidade Federal de Pernambuco, Universidade Federal de Campina Grande, Universidade Federal do Vale do São Francisco e da Embrapa Semiárido. Foram agregados outros técnicos, professores e estudantes de pós-graduação das instituições: DNOCS, UFRB, UFPB, BIT-PIJ Funcap Universidade Federal de Pernambuco - UAST/Sedet/UFC, Faculdade IEDUCARE – FIED, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Centro Territorial de Educação Profissional do Sertão do São Francisco, IF Sertão Pernambucano, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, bem como bolsistas da rede de pesquisa que realizam trabalhos afins com os participantes da Webinar.

A publicação está dividida em 11 capítulos. Cada palestra da Webinar foi transformada em um capítulo do livro, agregando em rede outros técnicos e temas complementares aos assuntos nela discutidos. Essa obra se constitui em uma rica coletânea de informações e pesquisas que, com certeza, contribuirá para um melhor entendimento da agricultura irrigada em ambientes salinos no Brasil e no exterior. Esperamos que este material possa ser útil para os estudantes, irrigantes e os diversos profissionais que se dedicam ao trabalho de desenvolver a agricultura irrigada de maneira sustentável em ambientes, principalmente em regiões áridas e

semiáridas, onde os processos naturais e antrópicos da salinidade e sodicidade se manifestam com maior intensidade.

Paulo Ricardo Santos Cerqueira
Engenheiro Agrônomo - Mestre em Pedologia
Consultor Interno em Pedologia – Codevasf - Brasília

PREFÁCIO

A salinidade da água e do solo é um problema presente em todos os continentes. Atualmente, 20% do total de áreas cultivadas (sequeiro e irrigado) e 33% das terras agrícolas irrigadas no mundo são afetadas pelo excesso de sais no solo, notadamente nas regiões áridas e semiáridas. Além disso, parte significativa das fontes hídricas dessas regiões, notadamente as águas subterrâneas, apresentam concentrações elevadas de sais, o que torna um fator limitante para a produção agrícola tradicional. Entretanto, a crescente demanda por alimentos, a escassez de recursos hídricos e os cenários de mudanças climáticas globais indicam a necessidade de aproveitamento desses recursos salinos. Nesse contexto, a Agricultura Biossalina aparece como uma das ferramentas para incrementar a produção de alimentos e gerar empregos e renda para os agricultores de regiões semiáridas.

Os primeiros relatos de salinização dos solos no semiárido brasileiro datam da década de 1940, mesmo antes do início da irrigação na região. Portanto, existem riscos naturais de salinização dos solos, associados às condições de drenabilidade natural, altura do lençol freático, dentre outros fatores. Por outro lado, a escassez de água de baixa salinidade associada ao fenômeno recorrente das secas, tem levado os agricultores a produzirem com águas salobras, as quais apresentam restrições, especialmente se manejadas inadequadamente. Essa realidade sugere a necessidade de disseminação dos conhecimentos básicos e das técnicas necessárias para a utilização sustentável dos recursos salinos na agricultura no semiárido brasileiro, buscando contribuir para prevenir ou minorar o impacto da salinidade na sustentabilidade da agricultura irrigada.

Nesse contexto, este livro – **Agricultura Irrigada em Ambientes Salinos** – traz contribuições técnico-científicas não apenas para aqueles que precisam conhecer o problema, mas principalmente para os que querem aplicar as experiências de

produção agrícola com recursos bioassalinos. Aspectos básicos de drenagem agrícola, monitoramento da salinidade, técnicas de recuperação dos solos afetados por sais, estresse salino em plantas e caracterização das águas salobras, contidos neste livro, favorecem a compreensão do problema da salinidade pelos estudantes, técnicos e agricultores. Por outro lado, os cultivos hidropônicos, a produção de forragem, cultivo de halófitas e experiências com comunidades rurais são exemplos práticos que podem ser incorporados nos sistemas produtivos do semiárido brasileiro. Espera-se, portanto, que este livro seja uma ferramenta para aperfeiçoamento das ações relativas ao problema da salinidade, especialmente no campo da agricultura irrigada.

Prof. Hans Raj Gheyi

Vice-Coordenador

Instituto Nacional em Ciência de Tecnologia em Salinidade - INCTSal

CAPÍTULO 1

Estratégias metodológicas para o monitoramento e espacialização da salinidade e da sodicidade dos solos em projetos de irrigação

Paulo R. S. Cerqueira, A. M. Salviano, Tatiana A. Taura, Nelci Olszewski, Vanderlise Giongo, Tony J. F. da Cunha, Elson Fernandez

1.1 INTRODUÇÃO

A maior demanda na produção de alimentos em função do crescimento populacional mundial, com estimativa de alcançar 7 bilhões de pessoas em 2050 (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2009), visando a segurança alimentar e o aumento da qualidade de vida das populações, torna premente a pesquisa por alternativas eficientes para a produção agrícola. Dentre estas, a agricultura irrigada se torna primordial por tornar viável a produção de alimentos em regiões antes pouco exploradas, em função do regime hídrico e do pouco conhecimento técnico disponibilizado, a exemplo do semiárido brasileiro. Porém, com a expansão das áreas irrigadas, cresce também a possibilidade de degradação dos recursos naturais, principalmente pela ocorrência de problemas relacionados à salinidade e à sodicidade do solo. Esses processos ocorrem principalmente em regiões áridas e/ou semiáridas, onde a precipitação anual não garante a lixiviação dos sais acumulados, podendo provocar problemas de ordem física, química e biológica no solo. Ainda, o uso intensivo dos solos na agricultura irrigada associado às excessivas aplicações de água, corretivos químicos e adubos minerais, bem como, arações profundas, gradagens e translocação de partículas físicas e orgânicas no perfil

(GHEYI; QUEIROZ; MEDEIROS, 1997), colabora ainda mais para alterações na qualidade geral do solo. O monitoramento dos impactos dos manejos realizados na agricultura irrigada sobre o solo é ponto primordial. A sua finalidade precípua é a avaliação e monitoramento contínuo de suas características e, caso necessário, a correção de eventuais alterações, reduzindo o risco de degradação, além do refinamento na aplicação de tecnologias de manejo do solo e da água. Segundo TAVARES (2015), citando estudos do Banco Mundial, os solos agrícolas do mundo vêm se degradando a uma taxa de 0,1 % ao ano, dados que corroboram com os estabelecidos pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO). Essa Organização aponta a perda de cinco milhões de hectares de terras aráveis por ano devido às práticas agrícolas aplicadas sem o devido cuidado, à secas e à pressão do crescimento populacional, além de inúmeras ações antrópicas de exploração inadequada dos recursos naturais (BALIEIRO; TAVARES, 2008; CODEVASF, 2014). Para a condução de sistemas sustentáveis de produção agrícola irrigada, ou seja, ambientalmente corretos, economicamente viáveis e socialmente justos, trazendo melhoria de qualidade de vida para as famílias dos agricultores, são necessárias, dentre outras, avaliações constantes e detalhadas da salinidade e da sodicidade dos solos. Esse monitoramento visa conciliar o alcance da maior produtividade dos cultivos com resultados econômicos positivos e preservação dos recursos naturais. No entanto, a crescente expansão das atividades de agricultura irrigada sem a manutenção desses planos de monitoramento da qualidade do solo, podem promover degradação ambiental e insucessos econômicos e sociais. Os custos dos investimentos realizados pelos agricultores em projetos de agricultura irrigada são, geralmente, muito altos, sendo, portanto, imprescindível que o manejo intensivo da área agricultada leve em consideração a sua sustentabilidade, não só do ponto de vista agroeconômico como também socioambiental. O termo “Sustentabilidade” significa tornar as coisas permanentes, disponíveis ou duráveis,

assim, a busca do desenvolvimento sustentável em projetos irrigados significa discutir a permanência ou durabilidade da estrutura de funcionamento de todo o processo produtivo, onde cada elemento deve ser considerado prioritário na tomada de decisões, fazendo com que as ações sejam baseadas numa estratégia de “antecipar e prevenir” possíveis problemas (BASTOS, 2004; MÉRICO, 1996; ZHOU, 1998). O desenvolvimento sustentável também sugere que os recursos naturais sejam utilizados pelas gerações atuais, mas preservado-os para gerações futuras. Assim, visando a sustentabilidade dos sistemas agrícolas irrigados, o monitoramento da qualidade dos solos nos agroecossistemas deve englobar suas propriedades químicas, físicas, morfológicas e biológicas, de forma a associar suas alterações às práticas de manejo utilizadas. Para isso, podem ser utilizadas características qualitativas e quantitativas, visando fomentar a escolha de medidas educativas preventivas (custos menores) e, caso necessário, a implementação de medidas corretivas (custos mais elevados), evitando a instalação de processos de degradação, perdas ambientais, sociais e econômicas (CORDEIRO, 1988).

1.2 FUNDAMENTAÇÃO LEGAL

A Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 (BRASIL, [2016]) no seu Capítulo VI – Do Meio Ambiente, define no Art. 225 que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. Define, ainda, no § 1º Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público: IV - exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade; VI - promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio

ambiente; § 3º As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados. Segundo a Lei 12.787 de 11 de janeiro de 2013 (dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação) (BRASIL, 2013) no seu artigo 36 incisos II e IV, colocam como obrigações do agricultor irrigante em Projetos públicos de Irrigação: Adotar práticas e técnicas que promovam a conservação dos recursos ambientais, em especial do solo e dos recursos hídricos, ademais deve colaborar com a fiscalização das atividades inerentes ao sistema de produção e ao uso do solo, prestando, em tempo hábil, as informações solicitadas às instituições demandantes. Ademais, para obtenção dos licenciamentos ambientais, na intenção de organizar o Estado para garantir os direitos ambientais previstos na constituição de 1981, a lei 6938/81 (BRASIL, 1981) criou o Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, uma estrutura estatal de gestão ambiental descentralizada, formada por órgãos e entidades com atribuições e objetivos definidos. Para atender a renovação das licenças de operação alguns institutos do Meio Ambiente e Recursos Hídricos dos estados têm exigido, como condicionantes ambientais, a apresentação de um programa de monitoramento da salinidade e da sodicidade, bem como de sua qualidade física e química, visando definir e difundir aos agricultores programas de educação ambiental e difusão de tecnologias para o manejo adequado do solo e água por meio de práticas agrícolas adequadas.

A manutenção da qualidade do solo é a base de qualquer sistema de produção sustentável, pois este é responsável por diversos serviços ecossistêmicos e ambientais. Sua avaliação auxilia na determinação do status das funções do solo e na avaliação dos riscos associados às práticas de produção, principalmente em longo prazo, sendo que diversos resultados de pesquisas mostram o efeito negativo do uso inadequado do solo, nas suas propriedades (AZIZ; MAHMOOD; ISLAM, 2013;

SILVA; FELIZMINO; OLIVEIRA, 2015). Assim, conhecer a dimensão dessas alterações nos atributos do solo, causadas pelo cultivo agrícola, pode subsidiar a escolha de práticas de manejo que permitam manter ou incrementar a qualidade do solo, aumentando o rendimento das culturas, garantindo a sustentabilidade e a manutenção dos serviços ecossistêmicos do solo, como ciclagem de nutrientes, capacidade de armazenar água e de disponibilizar nutrientes para as culturas. Para isso, faz-se necessário a utilização de programas de monitoramento da qualidade do solo, ou seja, a avaliação, que pode ser contínua ou periódica, das suas características químicas, físicas e biológicas, escolhidas em função das características do sistema de produção e edafoclimáticas da região. A manutenção da qualidade do solo deve ser realizada de maneira preventiva, a fim de garantir a manutenção da sua funcionalidade ou, de maneira corretiva, com custos mais elevados, visando restaurar sua qualidade ou recuperá-la de forma compatível com os usos previstos. Por meio do monitoramento da qualidade do solo, além da identificação das áreas com impactos negativos provenientes de práticas de manejo inadequadas, é possível fazer estimativas de produtividade, monitorar mudanças na qualidade ambiental e auxiliar agricultores e agências governamentais a formular e avaliar políticas agrícolas de uso das terras (CONAMA, 2009).

1.3 OBJETIVOS ESTRATÉGICOS

Um Programa de Monitoramento de Solos deve ser fundamentado em dados previamente fornecidos pelos agricultores irrigantes (maiores interessados), integrados com instituições públicas ou privadas de desenvolvimento regional, de pesquisa e de ensino. Para o estabelecimento inicial do banco de dados devem ser resgatadas informações já existentes nas propriedades rurais e utilizadas no manejo das adubações dos cultivos. A partir deste banco inicial e das características da propriedade, devem ser estabelecidos os atributos do solo a serem monitorados, a

periodicidade, a profundidade de coleta, o número de amostras e a localização mais estratégica. Uma das técnicas de amostragem muito importante é a geoespacialização dos indicadores de qualidade referentes à salinidade e sodicidade dos solos, utilizando-se técnicas geoestatísticas e/ou imagens de satélites. Esses resultados visam orientar o trabalho de planejamento da extensão rural, além de fornecer e difundir, entre os agricultores da região, as recomendações técnicas de manejo do solo e água que mitiguem os impactos negativos do sistema de produção avaliado. A instituição que irá gerir o banco de dados deverá ser escolhida em consenso entre os participantes do programa de monitoramento.

1.4 PROCESSOS ENVOLVIDOS NA SALINIZAÇÃO E SODIFICAÇÃO DOS SOLOS: CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS

A agricultura irrigada nas regiões áridas e semiáridas tem o elemento sódio como um inconveniente muito contundente, tanto pela fitotoxicidade, quando presente em excesso na solução do solo, como pela sua ação de dispersão das argilas, reduzindo a quantidade e a estabilidade dos agregados do solo, e conseqüentemente, alterando propriedades físico-hídricas do solo. Dentre os impactos negativos do acúmulo de sódio no solo podemos citar a baixa permeabilidade reduzindo a infiltração e a baixa condutividade hidráulica e, conseqüentemente o armazenamento da água para posterior suprimento reduzindo o armazenamento da água no solo para posterior suprimento às raízes, afetando o rendimento dos cultivos e a renda dos agricultores (AYERS; WESTCOT 1989; AMARAL, 2011, p. 55). Em locais de clima semiárido é comum a ocorrência de solos com elevadas concentrações de sais, sendo que alguns deles apresentam-se salinizados, independentes da ação antrópica, ou seja, são decorrentes de processos naturais. Isso ocorre quando as condições do ecossistema são propícias,

seja pela natureza do material de origem (rochas ricas em sais), pelas altas taxas de evapotranspiração potencial e pelo déficit hídrico em, pelo menos, uma parte do ano; pela drenagem deficiente no perfil do solo; pelas águas subterrâneas enriquecidas por sais e pela posição do solo na paisagem. Assim, a salinização pode ocorrer na presença de um ou de vários destes fatores associados. A concentração salina da solução do solo antes da ação antrópica, é definida como salinização primária e seus efeitos dependem basicamente das condições pedoclimáticas. Por outro lado, a salinização pode ocorrer também devido ao manejo inadequado do solo e da água pelos agricultores, definida assim como salinização induzida ou salinização secundária. Os processos de salinização e/ou sodificação secundária podem ocorrer em uma ou mais das seguintes condições: uso de solos já salinizados de origem; uso de solos rasos; uso não eficiente da água na irrigação; uso de água de irrigação com alto teor de sais; elevação do nível de água subterrânea e/ou do lençol freático possibilitando a ascensão de sais das camadas profundas; adição de sais ao solo pelo uso de grandes quantidades de fertilizantes químicos; ausência ou deficiência de sistemas de drenagem nos projetos de agricultura irrigada; perda de água por infiltração nos canais e reservatórios e/ou acumulação de água de irrigação nas partes mais baixas do terreno (GHEYI; QUEIROZ; MEDEIROS, 1997; LIMA JÚNIOR; SILVA, 2010; SANTOS, 1995). Embora, sob condições naturais, a intemperização dos minerais primários seja a fonte principal de quase todos os sais solúveis no solo, a fonte direta desses sais em áreas irrigadas é a própria água usada na irrigação e/ou o lençol freático (RICHARDS, 1954). Assim, mesmo em solos com boas características e com adoção de práticas conservacionistas adequadas, o processo de salinização pode acontecer quando há o manejo inadequado da água de irrigação. Nesse sentido, por exemplo, uma água considerada de boa qualidade com condutividade elétrica de $0,75 \text{ dS m}^{-1}$ (deciSiemens por metro), intermediária entre as classes C1 e C2 de salinidade, quando aplicada num volume anual de

20.000 m³ ha⁻¹, que corresponde ao requerido de culturas como acerola, adiciona ao solo cerca de 10 toneladas de sais por ano (SMEDEMA; SHIATI, 2002). Em áreas com drenagem deficiente, o processo de salinização poderá ser acelerado. Na realidade, a concentração de sais nos solos irrigados apresenta relação direta com a precipitação pluviométrica total anual, com as características físicas do solo e com as condições de drenagem. Sob condições favoráveis, esses sais poderão voltar ao rio ou ao aquífero de origem (PEREIRA; MATIAS FILHO; ANDRADE, 1986; BEN-HUR *et al*, 2001). Se o manejo é deficiente, se não existe fração de lixiviação e de drenagem, naturalmente haverá um acúmulo de sais que, em médio prazo, pode comprometer a sustentabilidade dos cultivos irrigados. Na medida em que o conteúdo total de sais aumenta, os problemas do solo e das culturas se agravam, o que requer o uso de práticas especiais de manejo, para manter rendimentos aceitáveis. Isto ocorre em razão da elevação do potencial osmótico da solução do solo, por efeitos tóxicos dos íons específicos e alteração das condições físicas e químicas do solo (LIMA, 1998). Desta forma, o excesso de sais dissolvidos na solução do solo reduz a disponibilidade da água para as plantas, pelo efeito osmótico, reduz a qualidade físico-hídrica do solo, pela capacidade dispersante do sódio, afetando a produtividade e a rentabilidade das culturas. Esta redução pode alcançar uma magnitude tal que as raízes das plantas não recebem suficiente água entre as irrigações. Ocorre toxicidade de íons específicos de sódio, cloreto e boro contidos no solo ou na água que se acumulam nas plantas em concentrações consideradas fitotóxicas, reduzindo os rendimentos das culturas mais sensíveis, bem como a qualidade dos produtos. O aparecimento de manchas nas frutas ou na folhagem, causados pela salinidade, prejudicam a comercialização dos produtos e reduzem seu valor de mercado. Além disso, a corrosão excessiva dos equipamentos de irrigação aumenta os custos de manutenção e reparos. O excesso de alguns

elementos químicos na solução do solo pode ainda deprimir a absorção de outros, causando desbalanços nutricionais e consequente queda de produtividade.

1.5 MONITORAMENTO DA SALINIDADE E DA SODICIDADE DO SOLO: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

O monitoramento da salinidade e da sodicidade dos solos requer a aplicação de técnicas adequadas de amostragem, coleta de dados no campo, avaliação de parâmetros, análise e difusão dos dados, análises das amostras para obtenção dos indicadores escolhidos, análise do banco de dados, conforme valores de referência de qualidade pré-definidos, e difusão dos resultados. A avaliação tem como objetivo identificar os fatores que contribuem e/ou estão contribuindo para aumentar o grau de salinidade e sodicidade dos solos, definir um sistema de amostragem adequado e classificar os resultados conforme a magnitude dos dados. Uma das classificações da concentração de sódio mais utilizadas é a do Laboratório de Salinidade dos EUA, que utiliza a condutividade elétrica (CE), a percentagem de saturação por sódio trocável (PST) e o pH (H). Os solos são classificados como: normais (não salinos) ($CE < 4$, $PST < 15$ e $pH < 8,5$); Salinos ($CE > 4$, $PST < 15$ e $pH < 8,5$); Salinos-sódicos ($CE > 4$, $PST > 15$ e $pH < 8,5$) e Sódicos ($CE < 4$, $PST > 15$ e $pH > 8,5$). A variável “CE” corresponde à condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, medida em dS/m; PST ($PST = 100 \text{ Na} / T$) é a percentagem de saturação por sódio em relação à capacidade de troca de cátions ($T = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na} + \text{H} + \text{Al}$). Outra classificação utilizada, quanto à sodicidade, define a sodicidade em cinco classes distintas: Não Sódicos ($PST < 7$); Ligeiramente Sódicos ($7 < PST < 10$); Medianamente Sódicos ($10 < PST < 21$); Fortemente Sódicos ($21 < PST < 30$) Excessivamente Sódicos ($PST > 30$). (AMARAL, 2011; PIZARRO, 1978).

No Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 2018) também são utilizadas algumas classificações relativas à salinidade e sodicidade. O solo tem

caráter Sálco quando a CE for igual ou maior que 7 dS/m (a 25 °C), em alguma época do ano; Salino quando a CE > 4 dS m⁻¹ e < 7 dS/m (a 25 °C), em alguma época do ano (ESTADOS UNIDOS, 1951, 1954; EMBRAPA, 2018); Sódico é usado para distinguir horizontes ou camadas que apresentem PST ≥ 15% em alguma parte da seção de controle que defina a classe (ESTADOS UNIDOS 1954; 1999; EMBRAPA, 2018) e Solódico é usado para distinguir horizontes ou camadas que apresentem 6% <PST> 15% em alguma parte da seção de controle que defina a classe (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015; EMBRAPA, 2018).

Todos os sistemas de classificação apresentados utilizam apenas as variáveis CE, PST e pH, sendo necessária a determinação em laboratório das características abaixo listadas e descritas, sendo importantes na composição do plano de monitoramento.

Condutividade Elétrica (CE): A condutividade elétrica do extrato de saturação do solo é uma medida indireta da salinidade do meio, estando relacionada aos constituintes iônicos totais na solução, ou seja, com a soma de cátions ou ânions determinados quimicamente e com os sólidos dissolvidos. A CE de um solo pode ser determinada por meio de um extrato de uma pasta de solo saturado ou em suspensão mais diluída. Porém, para preparação da pasta de saturação, há necessidade de um bom adestramento técnico e certas precauções com a textura do solo. (AMARAL, 2011; LIMA JÚNIOR; SILVA, 2010).

Teores de cátions trocáveis: Os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ nas amostras de TFSA são determinadas por espectrofotometria de absorção atômica após extração com KCl 1 mol L⁻¹ e de K⁺ e Na⁺ por fotometria de chama após extração por Mehlich-1. Esses resultados serão utilizados para o cálculo da CTC e da PST.

Acidez potencial (H+Al): Determinada por titulometria de neutralização com NaOH após extração por acetato de cálcio tamponado a pH 7,0. Esse resultado será utilizado no cálculo da CTC e da PST.

Capacidade de Troca de Cátions (Valor T): É a quantidade total de cátions retida por unidade de peso do solo e representa o poder que o solo tem de reter em sua matriz os cátions necessários ao desenvolvimento da planta, impedindo a perda por lixiviação profunda ($T=Ca+Mg+K+Na+H+Al$) (AMARAL, 2011).

Porcentagens de Sódio Trocável (PST): Porcentagem de sódio trocável (PST), representa a porcentagem do sódio em relação aos demais cátions adsorvidos no complexo sortivo do solo (T). Seu valor é calculado pela Equação: $PST=(Na/T) \times 100$

pH em água (1:2,5): O pH é um índice que caracteriza o grau de acidez ou alcalinidade de uma solução ou dispersão. No caso do solo, a faixa de pH considerada normal vai de 5,0 a 7,0. Valores fora dessa faixa podem criar desequilíbrios de nutrição ou induzir a elevação da concentração de íons tóxicos. O pH de uma solução aquosa é o logaritmo negativo da atividade do íon hidrogênio. É uma medida adimensional. O pH do solo é influenciado pela composição e natureza dos cátions trocáveis, composição e concentração dos sais solúveis e a presença ou ausência do gesso e carbonatos de cálcio e magnésio. (AMARAL, 2011; LIMA JÚNIOR; SILVA, 2010).

1.6 ETAPAS METODOLÓGICAS DE UM PROGRAMA DE MONITORAMENTO E ESPACIALIZAÇÃO DA SALINIDADE E SODICIDADE DOS SOLOS

Nesse item será listada uma sequência de ações e estratégias que, se colocadas em prática a contento, viabilizará um monitoramento da salinidade e

sodicidade dos solos em projetos irrigados que atenda aos interesses que se propõe.

1.6.1 Montagem da rede sociotécnica de participantes: diagnóstico

Nessa fase é realizada a identificação da atual situação ou do estado da arte do manejo dos solos e água praticados pelos agricultores. Para isso, deve ser verificada a situação da fertilidade do solo (teores de macro e micronutrientes, pH, Na, PST e CE) com o resgate de análises químicas e físicas realizadas ao longo do tempo. Ainda, a avaliação de quais as práticas de manejo foram e estão sendo realizadas para correções, adubações, manejo da matéria orgânica, avaliação do sistema de drenagem, avaliação dos sistemas de irrigação e de manejo da água. Devem ser consultados laboratórios regionais e identificadas instituições públicas e privadas de desenvolvimento regional, ensino e pesquisa, profissionais liberais, lideranças de comunidades, associações, cooperativas e agricultores que já possuam dados e realizam trabalhos de boas práticas em manejo de água e solo e da matéria orgânica. Este trabalho inicial visa obter um marco zero do monitoramento e difusão entre os agricultores da situação atual dos solos e identificação de experiências bem-sucedidas. O resgate junto aos agricultores de todos os laudos de análises laboratoriais realizadas visa à reconstituição do histórico de uso e da saúde do solo para composição de um banco de dados parametrizado, que ficará disponível a todos os envolvidos. As informações geradas a partir da análise do banco de dados subsidiarão a escolha das práticas de manejo do solo e da água a serem adotadas pelos agricultores, políticas públicas, o estabelecimento de parcerias público privadas para desenvolvimento de trabalhos técnico-científicos com Instituições de Ensino e de Pesquisa.

1.6.2 Montagem do banco de dados parametrizado

O custo referente às análises de solo para formação e alimentação do banco de dados é atribuído aos agricultores e representa um custo indireto, visto que as mesmas são realizadas para o planejamento da adubação dos cultivos. Em geral, os agricultores fazem uma amostragem de solo composta, nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm, para determinação de características químicas como condutividade elétrica, sódio trocável, capacidade de troca de cátions, pH, fósforo, matéria orgânica, alumínio, magnésio, cálcio, potássio, sódio, H+Al, Boro, ferro, molibdênio, cobre, manganês e zinco. A densidade do solo, propriedade física de relevância para avaliação da compactação do solo, deve ser incluída entre as variáveis a serem determinadas em laboratório. Esses dados têm sido pouco explorados por falta de uma rotina de coleta, planilhamento parametrizado, análises, avaliação, espacialização e utilização para atendimento aos condicionantes ambientais e manejo da salinidade e sodicidade dos solos. Para início da montagem do banco de dados deve ser realizada uma reunião técnica participativa entre os vários atores envolvidos no processo: Agricultores, ATER, órgão ambiental, órgãos de desenvolvimento regional, agentes financeiros, instituições de Ensino e Pesquisa da região. O objetivo da reunião é o planejamento com definição de responsabilidades, objetivos e metas, de forma a garantir o envolvimento e comprometimento de instituições locais, a obtenção de contribuições e alinhamentos necessários para execução conjunta do programa de monitoramento no território.

1.6.3 Análises dos dados e espacialização no território

A avaliação do banco de dados, por meio de análises dos padrões de normalidade e utilização de padrões de referência de qualidade do solo, subsidiará o tipo e o grau de intervenção do manejo. Os resultados devem ser espacializados

no território e na grade fundiária, por meio de análise espacial com a utilização de técnicas de geoprocessamento e geoestatística. O Banco de Dados deve ser inserido no Sistema de Informações Geográficas, realizando a conversão dos pontos amostrados em formato vetorial. Sugere-se a aplicação de técnicas computacionais para a espacialização das variáveis (CE e PST) com aplicação de procedimentos estatísticos com o interpolador geoestatístico krigagem. Os dados geralmente são interpolados através dos semivariogramas com base nos dados amostrados para cada profundidade, e estimados por toda a área de estudo. Além disso, para a produção de mapas com alto grau de precisão, estudos preliminares devem ser feitos para definição do número mínimo de amostras necessárias, bem como para melhor distribuição dos pontos de coleta dentro da área a ser monitorada, garantindo assim a representatividade estatística da amostragem na área de estudo. Os planos de monitoramento também devem ser conduzidos com repetibilidade ao longo do tempo para avaliar de forma mais adequada a variabilidade espaço-temporal das áreas em estudo.

1.6.4 Difusão dos resultados e das recomendações de manejo da salinidade aos agricultores e instituições envolvidas

Realizar uma reunião conjunta com os atores envolvidos, uma vez por ano, visando apresentação dos resultados das análises referente à salinidade e sodicidade dos solos, bem como das recomendações de intervenção e alterações no manejo do solo e da água e no sistema de drenagem. Nessa mesma oportunidade, os agricultores receberão treinamento sobre técnicas de controle da salinidade e sodicidade dos solos (Quadro 1) e técnicas de drenagem. Para divulgação entre os agricultores das técnicas aos agricultores sugerem-se realizações de convênios com as Universidades locais e órgãos ambientais para estabelecimento de uma rotina de estágios de extensão de alunos de graduação e

pós-graduação. Ademais, sugere-se que os resultados das análises e recomendações de manejo sejam enviados aos agricultores, quando possível, via celular. Também pode ser montada uma rede de pontos focais, com acesso à internet, com a responsabilidade de disponibilizar as informações relativas ao monitoramento.

Quadro 1 - Principais ações preventivas e corretivas para difusão aos agricultores para manejo da salinidade e sodicidade dos solos.

| Ações | Sódico | Salino | Sódico/ Salino |
|--------------|---|--|--|
| Preventivas | Capacitar o irrigante para o manejo correto da irrigação e da aplicação de fertilizantes; Monitorar a qualidade da água de irrigação; Manter drenos limpos e em funcionamento adequado; Realizar análises das propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos e manejo da matéria orgânica; Medir produtividade dos cultivos por setores. | | |
| Corretivas | Executar todas as ações preventivas; Aplicar corretivos, como calcário, gesso e enxofre elementar, de acordo com recomendação técnica para cada tipo de solo; Manejo de irrigação adequado; Utilizar variedades resistentes e tolerantes a sodicidade. | Executar todas as ações preventivas; Instalar ou reformar sistema de drenagem superficial e subterrâneo para drenar sais lixiviados e evitar a ressalinização por fluxo de água subterrânea ou lençol freático; Aplicar água em volume suficiente para dissolver e lixiviar os sais do solo; Utilizar variedades resistentes e tolerantes a salinidade. | Executar todas as ações preventivas; Executar as ações corretivas para solos sódicos e salinos. |

1.7 ESTUDO DE CASO: MONITORAMENTO E ESPACIALIZAÇÃO DA SALINIDADE E DA SODICIDADE DOS SOLOS NOS PROJETOS PÚBLICOS DE IRRIGAÇÃO NILO COELHO E MARIA TEREZA

Tendo em vista a importância social e econômica da atividade agrícola nas áreas dos projetos públicos de irrigação no semiárido brasileiro, são de fundamental importância para sustentabilidade, a avaliação e o monitoramento da qualidade dos solos por meio de indicadores químicos, físicos e biológicos relacionados ao processo de salinização ou sodicidade. Assim, no presente tópico será demonstrado como pode ser estruturada a atividade de monitoramento por meio do uso de técnicas de espacialização para geração de mapas de distribuição da CE e da PST nas áreas irrigadas, utilizando como exemplo dados coletados em dois perímetros irrigados. Aprofundando elementos de análise, a ferramenta pode ser muito útil para distinguir processos relacionados à salinização primária (de origem pedogenética) e secundária (de origem antrópica), avaliar o manejo da irrigação e funcionalidade da rede de drenagem e traçar estratégias de prevenção e/ou mitigação de curto, médio e longo prazo.

1.7.1 Informações gerais sobre os Projetos Públicos de Irrigação

Apresenta-se a seguir características dos projetos públicos de irrigação onde foram realizados estudos demonstrativos de análises que podem ser incorporados aos planos de monitoramento da salinidade e sodicidade dos solos, como proposto aqui.

1.7.1.1 Projeto Público de Irrigação Senador Nilo Coelho (SNC)

O projeto irrigado Senador Nilo Coelho localizado no Estado de Pernambuco, à margem esquerda do rio São Francisco, se estende desde a Barragem de Sobradinho, no município de Casa Nova - BA, até o município de Petrolina - PE, que possui cerca de 80 % da área no perímetro. Está localizado entre

as coordenadas geográficas de 09°20' e 09°18' de latitude sul e entre 40° 43' e 40° 25' de longitude oeste, com altitude de aproximadamente 420 m. A área do projeto é de 18.563 ha, sendo que os lotes familiares representam 67% da área (12.520 ha) e os lotes empresariais 33% da área com 6.043 ha. O projeto irrigado SNC está em funcionamento desde o ano de 1984 e seu acesso se dá pelas rodovias BR-407, BR-128 e BR-235 a partir de Petrolina, sendo as duas primeiras mais utilizadas. As distâncias são: Petrolina (PE): 10 km, Juazeiro (BA): 15 km, Recife (PE): 776 km, Salvador (BA): 610 km. O sistema de irrigação implantado é por aspersão e microaspersão tendo como fonte hídrica o rio São Francisco. Os principais cultivos agrícolas são uva, manga, acerola, coco, maracujá e banana. Podem ser encontrados, também, os cultivos de mandioca, milho e feijão. (CODEVASF, 2014).

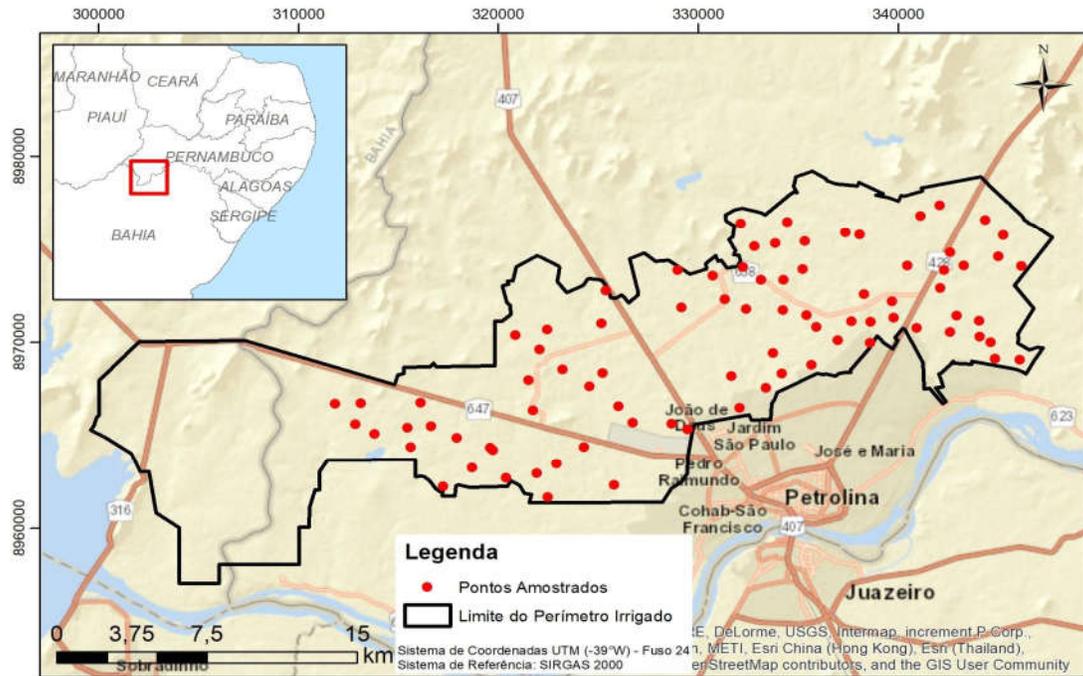
1.7.1.2 Perímetro Público de Irrigação Maria Tereza

O projeto irrigado Maria Tereza é uma extensão do Projeto Irrigado Senador Nilo Coelho e está localizado no estado de Pernambuco, à margem esquerda do rio São Francisco, município de Petrolina – PE, entre as coordenadas geográficas 09°07' e 09°22' latitude sul e entre 40°50' e 40°56' de longitude oeste, com altitude de 420 m. A extensão do Projeto Irrigado Maria Tereza é 5.446,83 ha, atendendo 48 grandes empresas, 20 pequenas e médias empresas e 550 pequenos produtores. Os lotes familiares ocupam 2.971,29 ha (54,6%) e os lotes empresariais 2.475,54 ha (45,4%). O acesso ao projeto irrigado Maria Teresa é realizado pelas rodovias BR-407 e BR 428, a partir de Petrolina. As distâncias ao projeto são: Petrolina (PE): 30 km, Juazeiro (BA): 45 km, Recife (PE): 776 km, Salvador (BA): 610 km. Os sistemas de irrigação implantados são por aspersão, microaspersão e gotejamento. A fonte hídrica para irrigação também é o Rio São Francisco e os cultivos agrícolas que predominam são a uva, a manga e a banana. (CODEVASF; 2014).

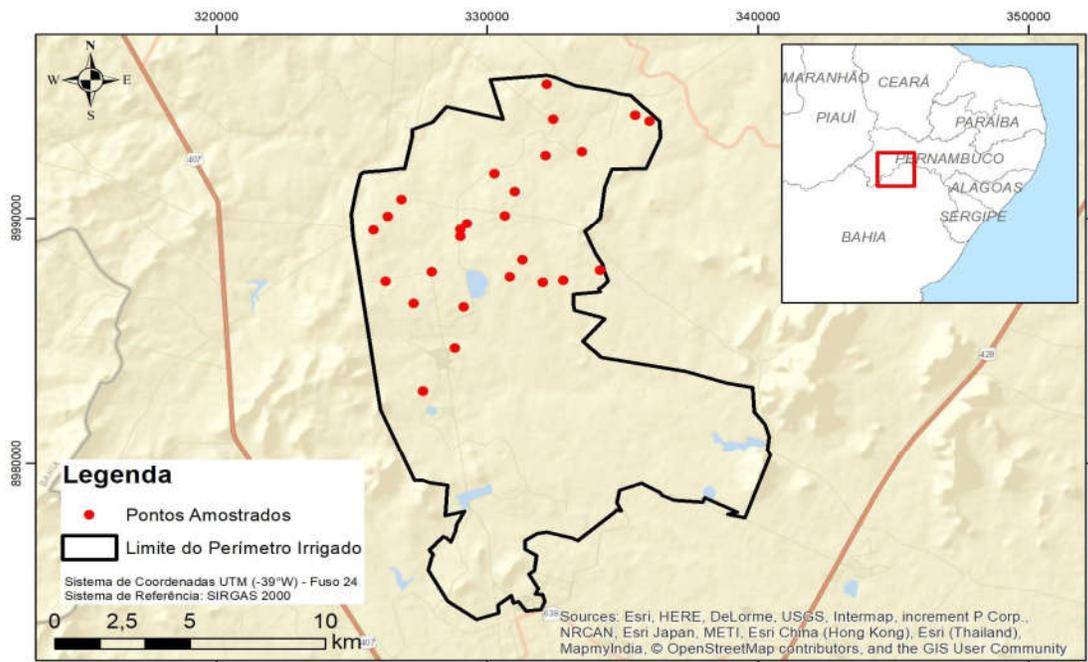
1.7.2 Metodologia

Para a elaboração demonstrativa das análises estatísticas e da espacialização da salinidade e da sodicidade dos solos em mapas, foi utilizada uma área de 13.793 ha (Figura 1). Utilizaram-se dados do banco de dados montado na campanha realizada em 2013 pela CODEVASF (2014), realizada em 111 lotes, 84 em Nilo Coelho e 27 em Maria Tereza, onde foram analisadas amostras de solos nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 cm, totalizando 2.220 amostras simples que compuseram 444 amostras compostas. Cada amostra composta foi resultante de cinco amostras simples, coletadas em diferentes pontos dos lotes nas quatro profundidades referidas e o ponto central de cada lote foi georreferenciado.

Como estratégia para elaboração da espacialização e para as análises estatísticas dos dados, se recorreu à expertise de técnicos que atuam no mesmo território onde estão inseridos os projetos públicos referidos e que fazem parte da Codevasf, da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) e da Embrapa Semiárido.



(a)



(b)

Figura 1 - Mapa de localização geográfica dos projetos públicos de irrigação Senador Nilo Coelho e Maria Tereza com os pontos de amostragem.

a) Senador Nilo Coelho; (B) Maria Tereza.

Fonte: Adaptado de CODEVASF, 2014.

Como forma de avaliar a qualidade química do solo e determinar quais características químicas poderiam estar relacionadas com a salinidade do solo, foram determinadas pH em H₂O e em CaCl₂; teores de Ca²⁺, de Mg²⁺, de K⁺, de Na⁺, acidez potencial (H + Al) e condutividade elétrica no extrato de saturação (CE_{es}). A partir desses dados foram calculadas a soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions (T) e as porcentagens de saturação por bases (V) e por sódio (PST).

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, análise de variância multivariada e à regressão linear múltipla, utilizando a CE como variável dependente e as características químicas do solo como variáveis independentes.

Para os resultados das variáveis CE e PST organizados em um banco de dados geográfico foram analisados sua variabilidade espacial por profundidade. Esta análise foi por meio da geoestatística utilizando-se de construção de variogramas com base na autocorrelação espacial destas variáveis entre os vizinhos. Após a verificação da correlação espacial, foi executada a interpolação pelo método krigagem. Por fim, foram gerados mapas representando a variabilidade espacial de cada variável por profundidade, e, para fins comparativos entre as profundidades de uma mesma variável, foi aplicada a mesma legenda de cores. As cores variam do verde menores valores encontrados nas amostras, e os vermelhos maiores valores. Todo o processo de análise, modelagem e construção dos mapas foi em um ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) pela plataforma ArcMap da Esri, módulos *Geostatistical Analysis e Spatial Analysis* e ferramentas de cartografia. (GREGO *et al.*, 2011; MACHADO *et al.*, 2004; SILVA, *et al.*, 2013).

1.7.3 Resultados

A seguir são apresentados, para os dois projetos públicos utilizados no estudo de caso, os resultados das análises de solo efetuadas nas amostras em diferentes profundidades estudadas de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 (cm): análise da

variação da salinidade e da sodicidade do solo com as características químicas do solo; análise dos parâmetros estatísticos descritivos para os valores de CE (dS/m) e PST (%); equações lineares múltiplas para CE (dS/m) em função de características químicas das amostras de solo e a espacialização em mapa da condutividade elétrica (dS/m) e da PST (%) do solo.

1.7.3.1 Análise da variação da salinidade e da sodicidade e relação com as características químicas do solo

Os resultados da análise estatística descritiva dos dados de CE e PST e para as características químicas nas amostras de solo coletadas em diferentes profundidades nos Projetos Públicos de Irrigação Nilo Coelho e Maria Tereza podem ser observados nas tabelas 1, 2, 3, 4 e 5 respectivamente.

Para o Projeto Público de Irrigação Senador Nilo Coelho (Tabela 1), em geral, as médias de PST e CE foram baixas, não configurando riscos elevados de sodicidade e salinidade. A PST aumentou com a profundidade, sendo que o valor mínimo encontrado em todas as amostras analisadas foi 0,28 % na camada de 0-20 cm e o valor máximo de 12,10 % na camada de 60-80 cm. No entanto, deve-se ressaltar que 95,23% do total das amostras dessa profundidade apresentaram PST < 5 %. As médias da PST, por profundidade, foram 1,11; 1,26; 1,34 e 1,27 % para as camadas de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm. O comportamento da CE, em profundidade, foi contrário ao da PST, com valor mínimo encontrado em todas amostrado foi de 0,04 dS/m⁻¹, nas maiores profundidades, e o valor máximo de 7,25 dS/m na camada de 0-20 cm, com 96,43% das amostras analisadas para essa profundidade apresentando CE < 2 dS/m. Isso mostra a participação de outros íons, como o K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, cloretos, nitratos, sulfatos etc, na salinidade do solo e a importância da inclusão de outras variáveis nos planos de monitoramento, determinando-as também em amostras de solução do solo e/ou extrato de saturação (íons solúveis).

As médias de CE por profundidade foram 0,41; 0,21; 0,23 e 0,21 dS/m para as camadas de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm respectivamente.

Tabela 1 - Parâmetros estatísticos descritivos para os valores de CE (dS/m) e PST (%) em amostras de solo coletadas em diferentes profundidades no Projeto Público de Irrigação Nilo Coelho, Petrolina-PE.

| Variáveis | n | Média | Mínimo | Máximo | Desvio padrão | CV (%) | IF 1 (%) | IF 2 (%) | IF 3 (%) |
|---------------------------|----|-------|--------|--------|---------------|--------|----------|----------|----------|
| 0-20 cm | | | | | | | | | |
| PST (%) ^{*1} | 84 | 1,11 | 0,28 | 8,47 | 1,25 | 165,71 | 96,43 | 3,57 | 0,00 |
| C.E. (dS/m) ^{*2} | 84 | 0,41 | 0,07 | 7,45 | 0,89 | 456,00 | 96,43 | 2,38 | 1,19 |
| 20-40 cm | | | | | | | | | |
| PST (%) | 84 | 1,26 | 0,39 | 7,25 | 1,19 | 121,46 | 96,43 | 3,57 | 0,00 |
| C.E. (dS/m) | 84 | 0,21 | 0,05 | 1,30 | 0,23 | 180,09 | 100,00 | 0,00 | 0,00 |
| 40-60 cm | | | | | | | | | |
| PST (%) | 84 | 1,39 | 0,42 | 12,16 | 1,62 | 177,55 | 97,62 | 2,38 | 0,00 |
| C.E. (dS/m) | 84 | 0,23 | 0,04 | 1,46 | 0,30 | 277,42 | 100,00 | 0,00 | 0,00 |
| 60-80 cm | | | | | | | | | |
| PST (%) | 84 | 1,53 | 0,41 | 12,10 | 1,82 | 193,70 | 95,23 | 3,57 | 1,19 |
| C.E. (dS/m) | 84 | 0,21 | 0,04 | 1,47 | 0,24 | 210,44 | 100,00 | 0,00 | 0,00 |

* 1 IF1 CE<2 dS/m ; IF2 2<CE<4 dS/m; IF3 CE>4 dS/m

* 2 PST: PST<5 %; 15>PST>5 %; PST> 15 %

A variação dos parâmetros estatísticos descritivos para as características químicas das amostras de solo coletadas em diferentes profundidades no Projeto Público de Irrigação Nilo Coelho, por meio da média, valores mínimos e máximos, desvio padrão e coeficiente de variação (CV), pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros estatísticos descritivos para as características químicas das amostras de solo coletadas em diferentes profundidades no Projeto Público de Irrigação Senador Nilo Coelho, Petrolina-PE

| | n | Média | Valor mínimo | Valor máximo | Desvio padrão | CV (%) |
|-------------------------|-----|-------|--------------|--------------|---------------|--------|
| pH (água) | 336 | 6,30 | 3,60 | 8,40 | 0,94 | 14,95 |
| pH (CaCl ₂) | 336 | 5,67 | 0,00 | 7,90 | 1,00 | 17,61 |
| K ⁺ | 336 | 0,34 | 0,05 | 2,14 | 0,30 | 87,09 |
| Ca ²⁺ | 336 | 1,89 | 0,20 | 7,50 | 1,11 | 58,49 |
| Mg ²⁺ | 336 | 0,86 | 0,10 | 5,90 | 0,72 | 83,50 |
| Na ⁺ | 336 | 0,06 | 0,02 | 0,64 | 0,08 | 146,38 |
| Al ³⁺ | 335 | 0,07 | 0,00 | 1,90 | 0,21 | 318,44 |
| H+Al | 336 | 1,09 | 0,00 | 3,60 | 0,74 | 67,67 |
| SB | 336 | 3,15 | 0,53 | 13,52 | 1,94 | 61,52 |
| t | 336 | 3,22 | 0,79 | 13,52 | 1,90 | 58,86 |
| T | 336 | 4,24 | 1,29 | 14,82 | 1,91 | 45,01 |
| CTCr | 336 | 53,56 | 13,09 | 377,14 | 50,52 | 94,33 |
| V | 336 | 72,61 | 16,03 | 100,00 | 17,76 | 24,46 |
| m | 336 | 3,34 | 0,00 | 65,16 | 10,14 | 303,92 |
| PST | 336 | 1,32 | 0,28 | 12,16 | 1,49 | 112,97 |
| M.O. | 336 | 0,93 | 0,10 | 4,50 | 0,79 | 84,77 |
| P | 336 | 62,60 | 0,50 | 937,20 | 123,17 | 196,74 |
| S | 336 | 9,91 | 0,90 | 167,40 | 16,25 | 164,02 |
| P-rem | 336 | 55,99 | 30,20 | 69,60 | 7,11 | 12,70 |
| C.E. | 336 | 0,27 | 0,04 | 7,45 | 0,50 | 189,09 |
| B | 336 | 0,41 | 0,10 | 3,60 | 0,52 | 127,14 |
| Cu | 336 | 1,84 | 0,20 | 11,30 | 1,62 | 87,90 |
| Fe | 336 | 61,92 | 7,60 | 595,40 | 75,74 | 122,32 |
| Mn | 336 | 28,04 | 1,10 | 179,00 | 28,28 | 100,84 |
| Zn | 336 | 6,13 | 0,10 | 112,20 | 16,67 | 271,77 |
| Argila | 336 | 11,90 | 0,00 | 35,00 | 7,04 | 59,19 |

Para o Projeto Público de Irrigação Maria Tereza (Tabela 3), os níveis de sodicidade foram semelhantes aos do Nilo Coelho, enquanto a salinidade foi menor.

O valor mínimo de todas as amostras PST foi 0,35 % na camada de 0-20 cm e o valor máximo 12,25 % na camada 20-40 cm. Entretanto, 96,27% do total das amostras analisadas para essas profundidades apresentaram PST < 5 %. As médias da PST, por profundidade, foram 1,26; 1,87; 1,34 e 1,27 % para as camadas de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm. O comportamento da CE foi semelhante ao da PST, reduzindo com a profundidade com médias de 0,23; 0,23; 0,19 e 0,17 dS/m para as camadas de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm, respectivamente. O valor mínimo encontrado nas análises foi de 0,03 dS/m, na profundidade de 40-60 cm e o valor máximo de 1,05 dS/m na camada de 20-40 cm, sendo que 100% das amostras coletadas neste distrito apresentaram CE < 2 dS/m.

Tabela 3 - Parâmetros estatísticos descritivos para os valores de CE (dS/m) e PST (%) em amostras de solo coletadas em diferentes profundidades no Projeto Público de Irrigação Maria Tereza, Petrolina - PE

| Variáveis | n | Média | Mínimo | Máximo | Desvio padrão | CV (%) | IF 1 (%) | IF 2 (%) | IF 3 (%) |
|---------------------------|----|-------|--------|--------|---------------|--------|----------|----------|----------|
| 0-20 cm | | | | | | | | | |
| PST (%) ^{*1} | 27 | 1,26 | 0,35 | 10,94 | 1,98 | 257,74 | 96,27 | 3,73 | 0,00 |
| C.E. (dS/m) ^{*2} | 27 | 0,23 | 0,06 | 0,76 | 0,18 | 98,95 | 100,00 | 0,00 | 0,00 |
| 20-40 cm | | | | | | | | | |
| PST (%) | 27 | 1,87 | 0,49 | 12,25 | 2,27 | 188,19 | 96,27 | 3,73 | 0,00 |
| C.E. (dS/m) | 27 | 0,23 | 0,04 | 1,05 | 0,24 | 218,50 | 100,00 | 0,00 | 0,00 |
| 40-60 cm | | | | | | | | | |
| PST (%) | 27 | 1,34 | 0,49 | 5,38 | 0,98 | 87,59 | 96,27 | 3,73 | 0,00 |
| C.E. (dS/m) | 27 | 0,19 | 0,03 | 0,74 | 0,16 | 117,84 | 100,00 | 0,00 | 0,00 |
| 60-80 cm | | | | | | | | | |
| PST (%) | 27 | 1,27 | 0,43 | 4,24 | 0,92 | 91,03 | 100,00 | 0,00 | 0,00 |
| C.E. (dS/m) | 27 | 0,17 | 0,04 | 0,80 | 0,17 | 137,25 | 100,00 | 0,00 | 0,00 |

IF: intervalo de frequência (%)

* 1 IF1 CE<2 dS/m; IF2 2<CE<4 dS/m; IF3 CE>4 dS/m

* 2 PST: PST<5 %; 15>PST>5 %; PST> 15 %

A variação dos parâmetros estatísticos descritivos para as características químicas das amostras de solo coletadas em diferentes profundidades no Projeto Público de Irrigação Maria Tereza, por meio da média, valores mínimos e máximos, desvio padrão e coeficiente de variação (CV), pode ser observada na Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros estatísticos descritivos para as características químicas das amostras de solo coletadas em diferentes profundidades no Projeto Público de Irrigação Maria Tereza, Petrolina-PE.

| Variáveis | n | Média | Valor mínimo | Valor máximo | Desvio padrão | CV |
|-------------------------|-----|-------|--------------|--------------|---------------|--------|
| pH (água) | 108 | 6,00 | 3,80 | 8,40 | 1,15 | 19,15 |
| pH (CaCl ₂) | 108 | 5,39 | 3,50 | 7,80 | 1,13 | 20,90 |
| K ⁺ | 108 | 0,43 | 0,07 | 2,31 | 0,46 | 107,32 |
| Ca ²⁺ | 108 | 1,95 | 0,30 | 9,70 | 1,30 | 66,55 |
| Mg ²⁺ | 108 | 0,87 | 0,20 | 4,70 | 0,72 | 83,35 |
| Na ⁺ | 108 | 0,07 | 0,02 | 0,64 | 0,10 | 145,21 |
| Al ³⁺ | 106 | 0,17 | 0,00 | 1,70 | 0,34 | 196,32 |
| H+Al | 108 | 1,24 | 0,00 | 3,60 | 0,79 | 63,87 |
| SB | 108 | 3,32 | 0,71 | 14,67 | 2,22 | 66,83 |
| t | 108 | 3,48 | 1,11 | 14,67 | 2,10 | 60,31 |
| T | 108 | 4,56 | 2,40 | 14,97 | 1,90 | 41,77 |
| CTCr | 107 | 47,39 | 11,53 | 207,88 | 37,96 | 80,12 |
| V | 108 | 68,84 | 24,95 | 100,00 | 20,85 | 30,29 |
| m | 108 | 7,67 | 0,00 | 58,34 | 14,65 | 190,92 |
| PST | 108 | 1,43 | 0,35 | 12,25 | 1,65 | 114,78 |
| M.O. | 108 | 1,02 | 0,20 | 7,00 | 1,01 | 98,90 |
| P | 108 | 57,45 | 0,60 | 914,60 | 172,00 | 299,39 |
| S | 108 | 11,08 | 1,20 | 53,50 | 11,80 | 106,51 |
| P-rem | 108 | 55,56 | 30,80 | 74,50 | 8,18 | 14,72 |
| C.E. | 108 | 0,21 | 0,03 | 1,05 | 0,19 | 92,02 |
| B | 108 | 0,46 | 0,10 | 3,10 | 0,47 | 101,00 |
| Cu | 108 | 0,93 | 0,20 | 3,90 | 0,55 | 59,88 |
| Fe | 108 | 81,75 | 14,40 | 345,00 | 86,11 | 105,33 |
| Mn | 108 | 23,42 | 0,90 | 120,50 | 26,39 | 112,71 |
| Zn | 108 | 4,08 | 0,20 | 81,90 | 10,66 | 261,30 |
| Argila | 108 | 13,20 | 0,00 | 30,00 | 6,27 | 47,48 |

As características químicas que mais contribuíram para o aumento da CE, independente da profundidade de coleta das amostras, no Projeto Público de Irrigação Nilo Coelho, foram os teores de Na, K e Mg trocáveis e de S disponível, exceto na camada mais superficial (0-20 cm) onde o Mg contribui reduzindo os valores de CE. Isso se deve, provavelmente, ao uso de fertilizantes químicos, principalmente os potássicos, tanto na forma de cloretos quanto de sulfatos, que além do potássio, contém sódio na sua composição. Além disso, há contribuição da água de irrigação, independente da qualidade, para o incremento de sais no solo. Souza (2016) avaliando o uso de água salina, fontes de potássio e biofertilizante na produção de maracujazeiro amarelo, observaram que, independente da CE da água utilizada (0,35 e 4 dS/m), a irrigação elevou o caráter salino do solo. No entanto, a salinidade do solo foi reduzida após o período chuvoso. Outra fonte de sais no solo é a dissolução de minerais primários presentes, que pode ser acelerada em sistemas irrigados de produção.

No distrito de irrigação Maria Tereza os teores de Na, K e Mg também foram as características químicas mais expressivas, aparecendo também a contribuição da CTC. Os teores de Ca e o S apresentaram contribuições menos significativas. Tabela 5.

Tabela 5 - Equações lineares múltiplas para CE (dS/m) em função de características químicas de amostras de solo coletadas em diferentes profundidades nos Projetos Públicos de Irrigação Nilo Coelho, Maria Tereza, Petrolina - PE.

| Distrito de irrigação | Prof. (cm) | Equação | R ² |
|-----------------------|------------|---|----------------|
| Nilo Coelho | 0-20 | CE= 0,012 + 0,034S + 1,204Na - 0,226Mg + 0,463K | 0,935* |
| | 20-40 | CE= -0,115 + 0,020S + 0,002V + 0,112K + 0,019Mg | 0,895* |
| | 40-60 | CE= -0,015 + 0,005S + 1,542Na + 0,351K + 0,361pH _{CaCl2} - 0,334pH _{H2O} + 0,016T | 0,806* |
| | 60-80 | CE= -0,006 + 0,007S + 0,208Mg + 0,315K + 0,750Na - 0,046T | 0,732* |
| Maria Tereza | 0-20 | CE= 0,257 + 0,840Na + 0,121K + 0,031Mg + 0,132pH _{CaCl2} - 0,148pH _{H2O} | 0,879* |
| | 20-40 | CE= -0,508 + 0,068T + 0,829Na + 0,011S - 0,019K - 0,055Mg + 0,089pH _{CaCl2} - 0,93Ca | 0,960* |
| | 40-60 | CE= 0,046 + 0,012T + 0,006S + 0,224K - 0,004V + 0,099Ca + 0,423Na | 0,817* |
| | 60-80 | CE= -0,610 + 0,125T + 0,008S - 0,010V + 0,160pH _{CaCl2} - 1,078Na | 0,665* |

* Equações de regressão significativas pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

1.7.3.2 Espacialização da condutividade elétrica (dS/m) e da percentagem de saturação de sódio nas áreas dos Projetos Públicos de Irrigação

Os mapas de distribuição espacial das variáveis CE e PST, nas profundidades de 0-20 cm, 20-40, 40-60 e 60-80 cm, nos solos dos Perímetros Irrigados Senador Nilo Coelho e Maria Tereza podem ser observados nas Figuras 2, 3, 4 e 5. As áreas em verde representam os menores valores encontrados na totalidade das amostras analisadas de CE (Figuras 2 e 4) e PST (Figuras 3 e 5) e em vermelho os maiores valores analisados.

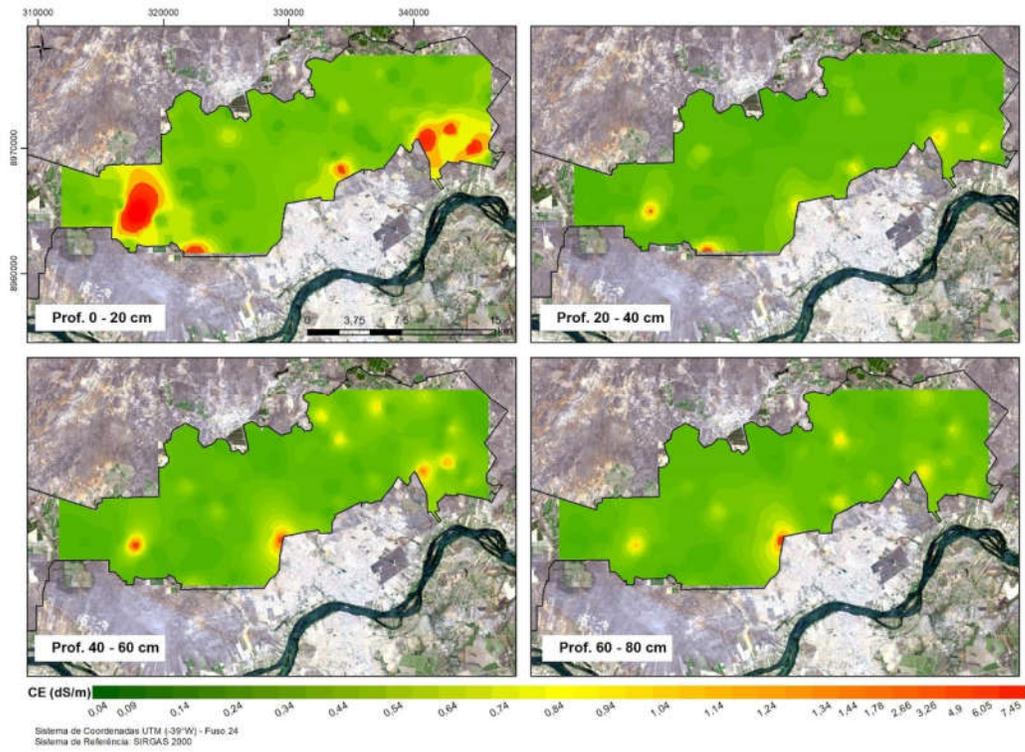


Figura 2 - Espacialização dos valores de Condutividade Elétrica (dS/m) em amostras de solos coletadas em diferentes profundidades (cm) no Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, Petrolina-PE.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir do banco de dados de CODEVASF (2014)

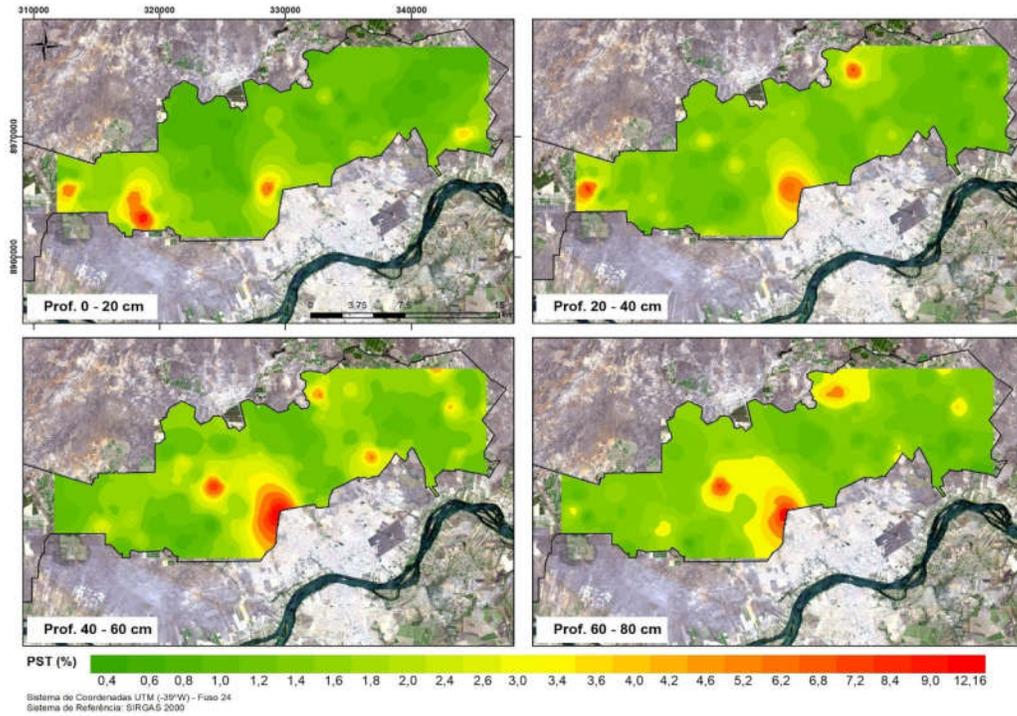


Figura 3 - Espacialização dos valores de PST (%) em amostras de solos coletadas em diferentes profundidades (cm) no Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho. Petrolina-PE.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir do banco de dados de CODEVASF (2014)

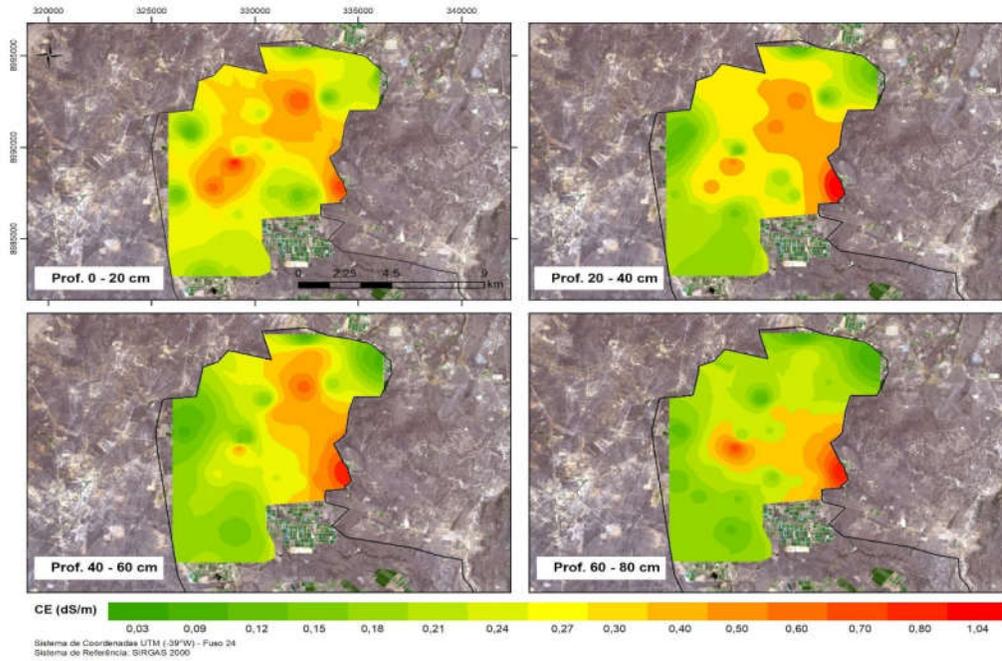


Figura 4 - Espacialização dos valores de Condutividade Elétrica (dS/m) em amostras de solos coletadas em diferentes profundidades (cm) no Perímetro Irrigado Maria Tereza, Petrolina-PE.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir do banco de dados de CODEVASF (2014)

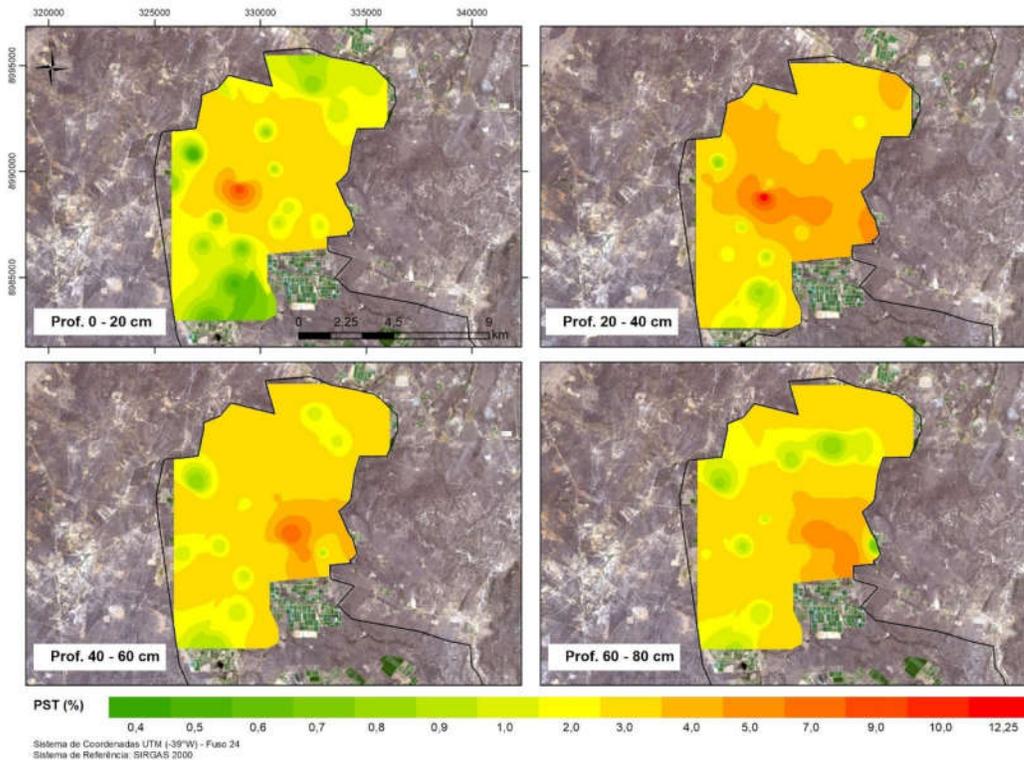


Figura 5 - Espacialização dos valores de PST (%) em amostras de solos coletadas em diferentes profundidades (cm) no Perímetro Irrigado Maria Tereza. Petrolina-PE

Fonte: Elaborada pelos autores a partir do banco de dados de CODEVASF (2014).

Os maiores valores encontrados nas amostras de CE no Distrito de Irrigação Senador Nilo Coelho foram observados na camada mais superficial e estão localizadas nas áreas de limite do perímetro. A distribuição espacial da PST apresenta as mesmas áreas de acúmulo de salinidade representadas pela CE. No entanto, o padrão de distribuição em profundidade é inverso, corroborando que apesar da maior contribuição do Na para os valores de CE estimados pelas equações lineares múltiplas ajustadas, outras variáveis estão envolvidas, como a composição química da solução do solo (cátions e ânions solúveis), a textura, condutividade hidráulica, CTC, teores de K, Ca e Mg trocáveis, presença de camadas de solo mais adensadas etc, para melhor entendimento dos processos envolvidos. Ressalta-se que a salinização secundária, em escala regional e local, bem como as interações

estabelecidas a partir da salinidade primária constituem um desafio de realização de mais pesquisas para fundamentar e contribuir com o manejo das áreas irrigadas no Semiárido brasileiro.

No Distrito de Irrigação Maria Tereza, a área que apresenta valores mais elevados de CE encontrados nas amostras é mais abrangente nas camadas mais superficiais (0-20 e 20-40 cm), reduzindo com a profundidade. No entanto, os valores máximos obtidos, de acordo com a escala localizada na parte inferior da figura é de 1,05 dS/m, não sendo considerado salino. A área de abrangência com valores mais altos de PST no distrito de Maria Tereza aumenta também com a profundidade. O valor máximo analisado no total das amostras de PST na escala de espacialização foi de 12,25%, apresentando maior abrangência para os valores entre 2 e 7 %, representada pela escala de cor amarela a vermelho claro, sendo, portanto, classificadas, no máximo, como solódicas.

As áreas em amarelo e vermelho, tanto nos mapas de variabilidade espacial da CE quanto da PST, em ambos os distritos de irrigação, são ambientes que devem ser monitorados para melhor entendimento das características ou fragilidades pedológicas e geoambientais, bem como das características de manejo do solo que podem estar envolvidas no processo. A interação de características pedológicas, geoambientais e de manejo faz com o potencial produtivo de solos salinizados seja reduzido por diferentes mecanismos, tanto direto quanto indiretos, podendo-se citar, por exemplo, as interações dos sais com o ciclo de nitrogênio, a estrutura das comunidades de microrganismos do solo, a ciclagem de nutrientes e a dinâmica de carbono no solo.

O uso desses mapas de distribuição, como exemplificado e demonstrado neste trabalho, pode ser uma ferramenta importante para auxiliar na tomada de decisão dos agricultores e da equipe técnica, principalmente quando se utiliza a superposição com mapas planialtimétricos, granulométricos e de classes de solos

para melhor entendimento dos padrões de distribuição, subsidiando as ações preventivas e/ou corretivas da salinidade e sodicidade, manejo da irrigação, drenagem e adubação. Dependendo do interesse da equipe técnica e das características das áreas a serem monitoradas, outras variáveis podem ser utilizadas em conjunto, facilitando o alcance dos objetivos pré-estabelecidos pelo estudo.

1.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio de abordagem integrada à análise sistêmica, o presente capítulo sumariza a gênese e o componente antrópico do processo de salinização e sodificação do solo em Projetos de Agricultura Irrigada no Semiárido brasileiro, propondo estratégias adaptativas e mitigatórias, incluindo o monitoramento geoespacializado de indicadores de qualidade do solo/indicadores de salinidade como ferramenta de análise e tomada de decisão.

O uso de mapas de distribuição espacial em projetos de irrigação pode ser uma ferramenta eficiente para monitoramento da variabilidade espaço-temporal da salinidade e da sodicidade do solo, principalmente quando associados com características geoambientais. Os resultados podem subsidiar agricultores na prevenção e tomada de decisões, a extensão rural na assessoria técnica aos agricultores avaliando e definindo com maior precisão áreas para possíveis correções e redefinição de manejos de solo e água além de atender a condicionantes ambientais.

O trabalho integrado em rede de técnicos e instituições de desenvolvimento regional, ensino, pesquisa e instituições representativas de agricultores, integrando técnicas, tecnologias, metodologias e expertises. Potencializam a importância do monitoramento e espacialização da salinidade e sodicidade dos solos nos territórios em projetos irrigados e diminui os custos da

avaliação dos monitoramentos para os agricultores irrigantes e instituições, além de fortalecer as instituições de ensino e pesquisas com utilização dos dados para publicações e qualificação de técnicos ao nível de mestrados e doutorados.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Fernando César Saraiva do. (ed.). **Sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação: enfoque na região semiárida**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos: Codevasf, 2011.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. California (USA): FAO Irrigation and Drainage Paper, 1989.

BALIEIRO, F.C; TAVARES, S. R. L. **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da Ciência do Solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. 228 p.

BASTOS, D. C. O. **Manejo de salinidade em irrigação localizada: análise da alternativa de lixiviação incompleta**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2004. 92 p.

BEN-HUR, M.; LI, F. H.; KEREN, R.; RAVINA, I.; SHALIT, G. Water and salt distribution in a field irrigated with marginal water under high water table conditions. **Soil Science American Journal**, Madison, v. 65, n. 1, p. 191-198, Jan. 2001.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 2 set. 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 09 jun. 2021.

BRASIL. Lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação; altera o art. 25 da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002; revoga as Leis nºs 6.662, de 25 de junho de 1979, 8.657, de 21 de maio de 1993, e os Decretos-Lei nºs 2.032, de 9 de junho de 1983, e 2.369, de 11 de novembro de 1987; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 14 jan. 2013. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12787.htm. Acesso em: 10 jun.2021.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília-DF: Presidência da República, [2016]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm. Acesso em: 5 abr. 2021.

CAUSAPÉ, J.; QUÍLEZ, D.; ARAGUÉS, R. Assessment of irrigation and environmental quality at the hydrological basin level II. Salt and nitrate loads in irrigation return flows. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 70, n. 3, p. 211-18, dez. 2004.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA - CODEVASF. **Monitoramento de Solos da 3ª Superintendência Regional em Petrolina-PE. Relatório de campanha Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho/Maria Tereza**, conforme contrato nº 0.058.00/2012, de 24/04/2013, entre CODEVASF e Reserva Engenharia Consultoria e Gestão Fundiária Ltda. 2014. 176 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, n. 249, 30 dez. 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em: 5 de abr. 2021.

CORDEIRO, G. G. **Levantamento das condições de salinidade e sodicidade do projeto de irrigação São Gonçalo (2ª Etapa)**. Petrolina-PE: EMBRAPA-CPATSA, 1988. 57 p. Documento 54.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018. 355 p.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Survey Division. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. **Soil survey manual**. Washington, DC, 1951. 503 p. (USDA. Agriculture handbook, 18).

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Agricultural Research Service. Soil and Water Conservation Research Branch. Salinity Laboratory Staff. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, DC, 1954. 160 p. (USDA. Agriculture handbook, 60).

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Staff. **Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys**. 2nd ed. Washington, DC, 1999. 869 p. (USDA. Agriculture handbook, 436).

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Survey Division. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. **Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys**. Washington, DC, 1975. 754 p. (USDA. Agriculture handbook, 436).

GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. 504 p.

GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; BATISTA, M. A. F. **Prevenção, manejo e recuperação dos solos salinos e sódicos**. Curso de Especialização em Irrigação e Drenagem. Mossoró: ESAM, 1991. 56 p. Apostila.

GREGO, C. R.; RABELLO, L. M.; BRANCALIÃO, S. R.; VIEIRA, S. R.; OLIVEIRA, A. I. **Geoestatística aplicada a condutividade elétrica do solo e altitude do solo cultivado com cana-de-açúcar**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 245-248.

IUSS WORKING GROUP WRB. World Reference Base for Soil Resources. **International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps**. Rome: FAO, 2015. 192 p.

LIMA, V. L. A. **Efeitos da qualidade da água de irrigação e da fração de lixiviação sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em condições de lisímetro de drenagem**. 1998. 87 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

LIMA JÚNIOR, J.; SILVA, A.L. Estudos do processo para indicar medidas de prevenção de solos salinos. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 11, 2010. 21 p.

LOPES, J. F. B; ANDRADE, E. M; CHAVES, L. C. G. Impacto da irrigação sobre os solos de perímetros irrigados na bacia do Acaraú. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 182010.

MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; VALENCIA, L. I. O.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L.; SILVA, C. A.; ANDRADE, A. G.; MADARI, B. E.; MEIRELLES, M. S. P. Mapeamento da condutividade elétrica do solo. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2004, Piracicaba. **Anais [...]**. Piracicaba: ESALQ, 2004.

MERICO, L. F. K. **Introdução à economia ecológica**. Blumenau: FURB, 1996. 160 p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **World population prospects: the 2008 revision population database**. New York, 2009.

PEREIRA, O. J.; MATIAS FILHO, J.; ANDRADE, E. M. Variação do teor de sais no solo irrigado por aspersão e ação da chuva na sua lixiviação. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 17, n. 1, p.61-65, jun. 1986.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos**. Madri: Ed. Agrícola Española, 1978. 520 p.

QUEIROZ, J. E.; GONÇALVES, A. C.; SOUTO, J.S.; FOLEGATTI, M.V. Avaliação e monitoramento da salinidade do solo. *In*: GHEY, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. (ed.). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB: SBEA, 1997. cap. 3, p. 69-111.

QUEIROZ, J. E.; GONÇALVES, A. C.; SOUTO, J. S.; FOLEGATTI, M. V. **Avaliação e monitoramento da salinidade do solo usando ferramentas de geoestatística**. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F de; FILHO, E. G. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. cap. 5, p. 51-63.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**. Viçosa: UFV, 1999. 359 p.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.** Washington, D.C.: U.S. Salinity Laboratory, 1954. 160 p. (USDA Agriculture Handbook, 60).

SANTOS, R. V. **Correção de um solo salino-sódico e absorção de nutrientes pelo feijoeiro Vigna (Vigna unguiculata L. Walp).** 1995. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

SILVA, J. S. S.; MONTENEGRO, A. A.; SILVA, E. F. F.; ANDRADE, W. L.; SILVA, J. R. L. Distribuição Espacial da Condutividade Elétrica e Matéria Orgânica em Neossolo Flúvico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife. v. 6, n. 4, p. 764-776, 2013.

SMEDEMA, L. K.; SHIATI, K. Irrigation and salinity: a perspective review of the salinity hazards of irrigation development in the arid zone. **Irrigation and Drainage Systems**, Amsterdam, v. 16, n. 2, p. 161-74, maio. 2002.

SOUZA, J. T. A. **Água salina, potássio e biofertilizante no solo, crescimento, composição mineral e produção do maracujazeiro amarelo.** 2016. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2016.

TAVARES, L. R. S. Recuperação de áreas degradadas e/ou contaminadas: um desafio para as ciências Agrárias. Simpósio de Ciências Agrárias da Amazônia, 2., 2015, Santarém. **Anais [...]**. Santarém: UFOPA, 2015.

ZHOU, C. GIS monitors out fragile Earth. **GIS World**, Fort Collins. v. 11, n. 10, 1998.

CAPÍTULO 2

DRENAGEM NOS PROJETOS PÚBLICOS DE IRRIGAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Hermínio H. Suguino, José C. Barros, José A. de Albuquerque, Raimundo N. T. Costa

2.1 INTRODUÇÃO

O principal propósito da drenagem é prover um ambiente favorável para o máximo crescimento das plantas e incremento da produção de maneira sustentável por um longo período de tempo. Uma das principais razões pela qual a má drenagem natural causa a diminuição da produção das culturas é o fato de restringir às plantas somente uma parte limitada de solo para crescer. Isto significa que o sistema radicular das plantas não pode suprir adequadamente a parte aérea das plantas com os nutrientes necessários. Com o inadequado sistema radicular, a planta pode também sofrer por falta d'água com o abaixamento do nível do lençol freático. Outro fator adicional é que em condições de má drenabilidade, ocorre a falta de certos nutrientes afetando o crescimento das plantas (LUTHIN, 1978).

A drenagem de terras agrícolas na região Nordeste do Brasil se constitui em uma parte fundamental dos projetos públicos de irrigação, pois coleta e dispõe os excessos d'água com velocidade controlada ajudando no combate à erosão dos solos, evita o indesejável encharcamento dos solos facilitando o seu manejo, previne o processo de salinização dos solos e protege a infraestrutura de uso comum como estradas, canais e estações de bombeamento.

Segundo Pontes (2013), para a geração de renda, aumento de produção e modernização da agricultura da região Nordeste, a irrigação tem sido incentivada por diversas políticas e instituições.

O Dnocs possui 37 projetos públicos de irrigação, distribuídos em sete Estados, com um total de 66.281 ha de área irrigável. Acrescente-se a este total, as segundas etapas de cinco projetos públicos de irrigação nos Estados do Ceará e do Piauí, cujas obras estão em fase de conclusão, num total de 25.844 ha.

Segundo dados do Boletim de Recursos Hídricos do Dnocs, o volume d'água acumulado em 2019 foi de 4,92 bilhões de m³ nos 319 açudes, correspondendo a 18,08% da capacidade total de acumulação, refletindo na redução de 70,5% de exploração das culturas. A manutenção e operação da infraestrutura de apoio à produção fica a cargo da Organização de Produtores através de contrato de cessão (DNOCS, 2019 apud DNOCS, 2021).

O ano de 2019 praticamente não houve recargas nos maiores açudes que abastecem os projetos públicos de irrigação. O Castanhão, maior açude do Nordeste (6.700 hm³), que fornece água para os projetos Jaguaribe-Apodi e Tabuleiros de Russas, seu volume em dezembro era de 2,80%. Os açudes Orós (1.940 hm³) e Banabuiú (1.601 hm³), que fornecem água para os projetos Icó-Lima Campos e Morada Nova, terminaram o ano com um volume de 5,41% e 6,19%, respectivamente. Nesse cenário de baixa queda pluviométrica os projetos de irrigação no Estado do Ceará tiveram uma redução na produção em torno de 70% (DNOCS, 2021).

No Estado de Pernambuco há mais de dez anos que os projetos de irrigação não têm produção agropecuária devido a problemas de recargas dos açudes. O projeto Cachoeira II, em Serra Talhada, teve o fornecimento de água para irrigação suspenso desde 1998 e a água acumulada no açude Cachoeira II (21,031 hm³) é insuficiente para o abastecimento da cidade. O açude Poço da Cruz (504,00

hm³), que abastece o projeto Moxotó e o município de Ibimirim, terminou o ano de 2019 com um volume de 7,69%. Os açudes Boa Vista (16,45 hm³), em Salgueiro, e o Custódia (21,62 hm³), em Custódia, o acúmulo foi de 4,01% e 6,01%, respectivamente (DNOCS, 2021).

Os projetos da Bahia (Brumado, Jacurici e Vaza-Barris) sofreram por falta de água durante todo ano, porém os reservatórios receberam uma boa recarga nos últimos meses do ano. Situação idêntica nos Estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba, com açude seco (Pau dos Ferros, RN) ou com percentual de acumulação muito baixo, Itans, RN, (0,03%) e Sumé, PB, (1,40%).

Os projetos nos Estados do Piauí e do Maranhão não têm problemas com recursos hídricos porque as fontes hídricas são permanentes, com rios (Gurguéia e Parnaíba) ou com grandes aquíferos (Gurguéia e Serra Grande). Nos projetos abastecidos por açudes (Caldeirão, PI, e Várzea do Flores, MA) não houve problema de recarga (DNOCS, 2021).

Em contrapartida, nos projetos com reserva acumulada de água no lençol freático, a exemplo do Baixo-Acaraú e Curu-Paraipaba, houve elevação do valor bruto da produção no primeiro e queda pouco significativa no segundo. Isso em decorrência da perfuração de poços rasos por iniciativa dos agricultores irrigantes.

O Projeto Baixo-Acaraú tem 453 agricultores irrigantes familiares e perfuraram em torno de 400 poços, com vazões em torno de 25 m³h⁻¹, enquanto o Curu-Paraipaba tem 805 agricultores irrigantes familiares e perfuraram 450, com vazões entre 15-20 m³h⁻¹. (DNOCS, 2019 apud DNOCS, 2021)

Entretanto, essa situação não se repete em todos os projetos, com água armazenada no subsolo em que os agricultores irrigantes têm opção em perfurar poços rasos, com salinidade tolerável pelas culturas. No Projeto Morada Nova tem-se observado um crescimento exponencial com a atividade de carcinicultura em

aproveitamento às áreas degradadas por sais e com fonte hídrica subterrânea oriunda de poços rasos.

Em 2019, a Codevasf possuía 57 projetos de irrigação sendo 35 em fase de operação e 22 em fase de estudo e/ou implantação. Dos 35 projetos em operação 25 foram implantados pela Codevasf (área irrigável de 119.829 ha) distribuídos entre cinco estados: Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Sergipe e Alagoas, e dez foram transferidos: nove do Sistema Itaparica dos estados de Pernambuco e Bahia implantados pela Chesf (área irrigável de 15.126 ha) e um do governo de Sergipe (área irrigável de 1.857 ha), totalizando uma área irrigável de 136.812 ha (OLIVEIRA, 2020).

O sistema de drenagem dos 25 projetos implantados pela Codevasf possui uma rede de 2.829 km de drenos superficiais e 4.950 ha com drenagem subterrânea; os projetos transferidos possuem uma rede de 474 km de drenos superficiais e 4.338 ha de drenagem subterrânea (informação não publicada)¹.

O vale do São Francisco é uma região com área total de aproximadamente 640 mil km², com vastas áreas de terras irrigáveis, que se estende do sul de Minas Gerais (nascente do Rio São Francisco), uma pequena porção do Estado de Goiás e Distrito Federal, passando pelos Estados da Bahia e de Pernambuco, até os Estados de Alagoas e Sergipe, onde encontra a costa litorânea brasileira, sendo que 54% das áreas do vale estão na região semiárida, do Nordeste do Brasil, conhecida como Polígono das Secas.

Os solos dos projetos públicos de irrigação implantados pela Codevasf, de modo geral, estão localizados em áreas com boas características de solos para irrigação, onde predominam os argissolos; neossolos litólicos; neossolos quartizárênicos e latossolos (<10%). Os critérios de classificação de terras adotados, para regiões áridas e semiáridas, foram o do Bureau of Reclamation (Burec) do

¹ Inventário de Projetos Codevasf, a ser publicado pela Codevasf em 2021.

departamento de agricultura dos Estados Unidos, que prestou assistência técnica à CVSF, Suvale e Codevasf.

Quanto às infraestruturas de drenagem desses projetos, os mesmos possuem boa macrodrenagem, previstas desde a sua concepção e implantação. As redes de drenagem, geralmente, são compostas de drenos coletores principais superficiais, a céu aberto, e drenos secundários, terciários..., a seção desses drenos predomina o tipo trapezoidal. A principal função desses drenos é o disciplinamento das águas de escoamento superficial (ocasionado por chuvas), proteção das infraestruturas de uso comum: canais, estradas, estações de bombeamento, e, também, permitir a instalação de drenagem interna (drenagem subterrânea) nas parcelas agrícolas.

A Codevasf, visando a capacitação de seu quadro técnico, oportunizou, na década de 1980, a especialização de seus técnicos, permitindo que muitos fossem para o exterior, para realizarem cursos de pós-graduação em nível de mestrado e de doutorado. Foi o que ocorreu com a equipe que atua na área de irrigação e drenagem. Quando estes técnicos concluíram os estudos e retornaram ao país, foram desenvolvidos diversos estudos de drenagem, que deram início aos trabalhos de reabilitação dos projetos de irrigação.

O capítulo abordará a importância e a necessidade de drenagem nos projetos públicos de irrigação do Nordeste, seguido de estudo de casos em projetos do Dnocs e da Codevasf.

2.2 NECESSIDADE DE DRENAGEM NOS PROJETOS PÚBLICOS DE IRRIGAÇÃO DO NORDESTE DO BRASIL

Segundo Goes (1978, apud VALDIVIESO, 1988), no Nordeste, 30% das áreas irrigadas, proximidades de rios, riachos intermitentes e principalmente em solos aluviais, possuem problemas de salinidade. A salinização se estabelece devido ao

baixo regime de chuvas e alta evaporação gerando um déficit hídrico, água de irrigação que contém uma pequena quantidade de sal e a drenagem deficiente do solo com a formação de lençol freático.

Observa-se uma grande variabilidade nos totais de chuva no Nordeste brasileiro, sendo superior a 1.000 mm no litoral leste e inferior a 500 mm no interior da região, com uma média de 800 mm ao ano. A irregularidade do regime pluviométrico associado à elevada disponibilidade de radiação solar contribui para o aumento da taxa de evaporação, que varia de 1.000 a 2.000 mm ano⁻¹ podendo chegar a 3.000 mm/ano em algumas regiões no interior do Nordeste (MOURA, 202-?).

As chuvas ocorrem concentradas em poucos meses do ano e comumente de maneira torrencial, impactando o problema da drenagem. Com a utilização da irrigação em solos de pouca profundidade, agravado pela topografia plana e chuvas torrenciais, tendem a formar um lençol freático que afeta a produção de culturas. Devido aos excessos de umidade provocado pelas chuvas, plantações de videira no médio São Francisco têm seu desenvolvimento praticamente paralisado afetando a produção em até 80%. Observou-se que em solos não irrigados e três meses após as chuvas nos projetos de irrigação Bebedouro em Petrolina, PE e Tatauí em Sobradinho, BA, a umidade do solo permanecia próximo da capacidade de campo. (VALDIVIESO, 1988).

A água do Rio São Francisco é considerada de boa qualidade para a irrigação e classificada como C₁S₁ (baixa condutividade elétrica e baixa sodicidade), possuindo uma condutividade elétrica de 0,08 dS/m⁻¹, ou seja, suas águas contém uma ínfima quantidade de 51,2 g de sal por m³ de água. Considerando a aplicação de uma lâmina de irrigação de 1.500 mm ha⁻¹ ano, são adicionados 765 kg de sal ha⁻¹ ano. Caso esta quantidade de sal não seja retirada na mesma proporção que a sua adição, ocorre a concentração do sal e o processo de salinização dos solos se

estabelece. As áreas irrigadas dos projetos públicos estão implantadas nos melhores solos da região, com topografia plana a relativamente plana, porém entremeados com manchas de solos de pouca profundidade e a drenagem profunda impedida, ou seja, sem a possibilidade de lixiviação natural dos sais do perfil do solo. Quando o nível do lençol freático atinge uma profundidade de cerca de 1,0 metro ou menos inicia-se um processo de evaporação da água do lençol devido à ascensão capilar, sendo que a água evapora deixando o sal na superfície. Nestas circunstâncias, o fluxo d'água ascendente é maior, estabelecendo-se o processo de salinização dos solos. Ao se implantar um sistema de drenagem subterrânea, procura-se corrigir a drenagem interna deficiente do solo e reverter este balanço d'água, ou seja, tornar predominante o fluxo descendente d'água. Nestas condições estabelece-se um equilíbrio no balanço de sais, lixiviando os excessos de sais do perfil do solo e promovendo a recuperação do solo.

Pode-se considerar que os solos são a parte mais importante de um projeto de irrigação, e o sistema de macrodrenagem, composto pelos rios, riachos, talvegues naturais, drenos principais, secundários e subsequentes formam um sistema capilar que capta os excessos d'água das chuvas torrenciais, desaguando-as para fora do projeto com velocidade controlada, evitando o encharcamento dos solos e ajudando no combate à erosão dos solos. Os drenos também protegem outras estruturas como as estradas, canais de irrigação e estação de bombeamento.

Comumente os projetos públicos de irrigação foram implantados com o sistema de macrodrenagem, ou foram implantados após o início da operação do projeto como nos projetos Pirapora (MG) e projetos do Sistema Itaparica em PE e BA.

Com exceção dos projetos transferidos, a manutenção do sistema de drenagem fica a cargo do Distrito de Irrigação, uma entidade civil, de direito privado, criado com a finalidade de administrar, operar e manter a infraestrutura

de irrigação de uso comum, com participação compulsória dos irrigantes. O Distrito custeia suas despesas através da cobrança da tarifa d'água, regida pelos Decretos nº 2.178/1997 (BRASIL, 1997) e nº 89.496/1984 (BRASIL, 1984), que regulamentam a Lei da Irrigação, que se compõe de duas parcelas: a tarifa K_1 referente à amortização dos investimentos efetuados na infraestrutura de irrigação de uso comum e a tarifa K_2 referente ao custeio das despesas de administração, operação e manutenção da infraestrutura do projeto (OLIVEIRA, 2020).

Os primeiros drenos subterrâneos foram implantados no Projeto Maniçoba em Juazeiro-BA e no Projeto Bebedouro em Petrolina-PE em 1985. No projeto Maniçoba foi implantada uma área piloto de 1,5 ha, constituído de solo arenoso com 90% de areia na camada de 0 – 30 cm, com drenos espaçados de 15 e 30 m de comprimento utilizando as equações de Hooghoudt e Glover-Dumm. Foi utilizado o tubo plástico liso de PVC com 5 cm diâmetro fendilhado, em uma valeta de 30 cm de largura envolvido em uma camada de seixo rolado a 1,60 m de profundidade.

A condutividade hidráulica determinada em teste de furo de trado em presença de lençol foi de $K = 2,3 \text{ m d}^{-1}$. A descarga máxima instantânea dos drenos foi de 8 a 10 mm/d, caindo a 4 mm/d ou menos no 3º dia após a recarga. Na área com espaçamento entre drenos $L = 30 \text{ m}$, o lençol freático se manteve entre 0,6 e 1,0 m abaixo da superfície e na área com $L = 15 \text{ m}$, entre 1,2 a 1,5 m. Em avaliação de desempenho efetuada, a fórmula de Hooghoudt sobrestima o espaçamento entre drenos em 30% e a de Glover e Dumm subestima em 15% (VALDIVIESO, 1986).

A área piloto de drenagem subterrânea do Projeto Bebedouro foi implantada em uma área de 1,64 ha cultivada com uva abandonada devido ao problema de salinização dos solos. A área possui solo classificado como 37 BB (PEREIRA; SOUZA, 1967 apud SUGUINO, 1986) ou equivalente aos latossolos (CHOUDHURY, 1981), representativa de aproximadamente 35% dos solos do projeto, profundo ($> 1,50 \text{ m}$), textura variando de areia franca a franco-argilo-

arenosa com 80% de areia fina de 0 -30 cm, estrutura granular, mudando para arenoso barrento a barro argila arenoso, plástico, estruturado em blocos subangulares aos 40 cm de profundidade, de coloração predominante amarelo-bruno, mosqueado desde 50 cm e cor cinza a partir de 1,30 m. Os tubos subterrâneos foram implantados com uma profundidade média de 1,53 m de profundidade e declividade média de 0,3% espaçados de 30 m entre linhas e 95 m de comprimento. Por não existir os tubos corrugados e perfurados existentes como hoje no mercado, foi adaptado tubos utilizados para esgoto, plástico liso de PVC com 5 cm diâmetro fendilhado com uma serra de 2 mm, obtendo-se 0,75% de área de entrada de fluxo, em uma valeta de 30 cm de largura envolvido em uma camada de seixo rolado com aproximadamente 1,0 cm de diâmetro na proporção de 0,04 m³/m. Após a ocorrência do período das chuvas e consequente lixiviação dos sais do perfil do solo, a videira se recuperou em menos de um ano, começou a soltar brotos novos e a produzir, causando enorme impacto no projeto (SUGUINO *et al.* 1986).

2.3 ESTUDO DE CASO: PROJETOS PÚBLICOS DE IRRIGAÇÃO – DNOCS

No Nordeste brasileiro, os solos aluviais situados à jusante dos açudes, tornaram-se naturalmente áreas irrigadas, isto devido a situação topográfica das mesmas em relação aos reservatórios, permitindo distribuição de água sem utilização de energia. Assim, é que o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (Dnocs) concebeu e iniciou a implantação de perímetros irrigados na região a partir da década de 1970, com irrigação por superfície e infraestrutura de uso comum da macrodrenagem. Destacam-se os perímetros irrigados Morada Nova e Curu Pentecoste (CE), São Gonçalo (PB), Moxotó (PE) e Vaza-Barris (BA), e estes cinco projetos, com área irrigável total superior a 22.000 ha, apresentam elevada

importância social e econômica para todos os produtores irrigantes e regiões adjacentes.

Um elevado percentual de solos destes perímetros irrigados apresenta drenagem natural limitada, permanecendo em grande parte inundados durante a estação chuvosa, constituindo as chamadas várzeas, as quais incorporadas à prática da irrigação por superfície, tiveram reduzido o seu problema de drenagem superficial em razão da sistematização dos terrenos. Porém, o problema de drenagem subterrânea foi se agravando, em decorrência da magnitude e frequência das lâminas d'água aplicadas.

A irrigação pública no semiárido brasileiro, sobretudo nos Perímetros Irrigados por superfície, que entraram em operação no início da década de 1970, não obstante a importância do ponto de vista econômico e social tem gerado como subproduto a degradação dos solos por sais, formando um considerável passivo ambiental (ALBUQUERQUE *et al.*, 2018). Neste tocante, de acordo com a FAO (2007), nas áreas irrigadas de regiões áridas e semiáridas, a drenagem subterrânea tem sido essencial para controlar a salinidade do solo e minimizar os riscos nas perdas de rendimentos das culturas.

Um sistema de drenagem subterrânea instalado em áreas irrigadas, além de prevenir e solucionar problemas relacionados com o lençol freático elevado constitui uma das principais infraestruturas no processo de dessalinização dos solos, propiciando, dessa maneira, condições favoráveis de umidade, aeração e balanço de sais às raízes das plantas cultivadas.

2.3.1 Estudos, pesquisas e investimentos em sistemas de drenagem

Estudos realizados pela Missão de Israel em meados da década de 1970, já mostravam percentuais significativos de áreas degradadas por sais em alguns

perímetros irrigados, tais como os de Morada Nova e Jaguaruana, ambos no Ceará, com 57,2 e 56,4% de suas superfícies agrícolas úteis, respectivamente. Os estudos indicavam ainda que, no perímetro Morada Nova, com 40% da área degradada, a instalação de um sistema de drenagem subterrânea com vistas ao processo de recuperação, seria inviável economicamente (BEZERRA, 2006). Percentuais significativos de áreas degradadas por níveis elevados de salinidade foram registrados nos Perímetros Irrigados de Sumé, PB, com 30,1%; Vaza Barris, BA com 29,4% e São Gonçalo, PB com 22,0% (BARRETO *et al.* 2004).

No projeto Curu-Recuperação, atual Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste, a Missão de Israel recomendou a aplicação de gesso, lavagens dos solos e implantação de um sistema de drenagem, com vistas à possibilidade da obtenção de melhores rendimentos. Quanto à drenagem, o documento afirma que havia áreas com pequenas limitações e facilmente corrigíveis, porém outras com níveis elevados de degradação, carecendo de investimentos em sistemas de drenagem (DNOCS, 1976).

Estudo conduzido por Albuquerque *et al.* (2018) permitiu verificar que a degradação dos solos no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste, CE, foi decorrente do tipo de solo, da qualidade da água de irrigação, sobretudo da drenagem deficiente do excesso da água de irrigação e a inadequada condução do sistema de irrigação por sulcos. Cabe destacar que, originalmente, esses solos apresentavam uma concentração elevada de sais, dada sua formação (Neossolos Flúvicos). A drenagem inadequada, no entanto, se configurou como a principal causadora do acúmulo de sais na superfície do solo e no lençol freático. No decorrer da pesquisa de campo identificaram-se áreas sem implantação de culturas e lotes sem a presença do irrigante, demonstrando, claramente, o abandono dessas áreas por parte dos agricultores irrigantes. Os solos dessas áreas vão de medianamente salino e ligeiramente sódico para fortemente salino e extremamente sódico, conforme

classificação de Pizarro (1978), caracterizando-se por apresentar uma forte degradação por sais. A área abandonada pelos agricultores irrigantes corresponde, atualmente, a 24% das áreas degradadas por sais, cuja recuperação é significativamente onerosa.

Além das Missões de Israel e Espanhola, o Dnocs procurou capacitar o seu quadro técnico em drenagem agrícola. Assim, é que em setembro de 1976, o Prof. Fernando Pizarro, lançou na sede do Dnocs, em Fortaleza, a segunda edição do livro “Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos”, e, logo em seguida, ministrou um curso de capacitação, realizado no período de 11 de outubro a 14 de novembro daquele ano. Cabe destacar as pesquisas desenvolvidas por este pesquisador espanhol no setor K do Perímetro Irrigado Morada Nova, Ceará na recuperação de solos degradados por sais.

Nas regiões semiáridas, embora a estratégia de drenagem requeira a instalação de drenos a maiores profundidades, na prática, nem sempre é possível em decorrência de limitações na cota de saída, como ocorre no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste-CE, onde dificilmente se consegue instalar drenos a uma profundidade superior a 1,0 m.

Costa (1988) instalou em área contígua ao Perímetro Curu-Pentecoste sistema de drenagem subterrânea constituído de manilhas de barro de 0,30 m de comprimento e 4” de diâmetro interno com objetivo da recuperação de um solo sódico. O sistema foi instalado a 0,70 m de profundidade e espaçamento de 17,5 m entre linhas de drenos (Figura 1), cuja área havia um outro sistema que fora instalado no início da década de 1980 a 1,20 m de profundidade e 35,0 m entre linhas de drenos, porém trabalhando em muitas ocasiões de forma afogada. Na área foram realizadas rotação de culturas, adubação verde, subsolagem, aplicação de gesso e cultivo de arroz. A intervenção permitiu uma melhoria nas condições de

transmissão de água no perfil do solo e alteração nos atributos químicos, inicialmente classificados de muito fortemente sódico para não sódico (PST < 10%).



Figura 1 – Drenagem subterrânea e coletora no Vale do Curu – CE

Fonte: COSTA,1988.

Sousa (2012) instalou sistema de drenagem subterrânea no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste em área cultivada com coqueiro aos dois anos de idade e baixo desenvolvimento vegetativo. O sistema de drenagem era composto por tubos drenoflex DN 65 mm, manta bidim OP-20 e uma caixa de brita nº 01, instalado a 1,0 m de profundidade. Além da subsolagem em toda a área, associaram-se tratamentos com gesso e/ou matéria orgânica, além de rotação de culturas. A utilização da subsolagem juntamente com a instalação do sistema de drenagem subterrâneo proporcionou um rebaixamento médio do lençol freático de 0,3 m e promoveu melhorias nas condições físicas do solo aumentando a condutividade hidráulica. A produção do coqueiro desde a primeira colheita realizada apresentou evolução crescente passando de 33,3 frutos por planta por ano em 2010/2011 para 152,4 frutos por planta por ano em 2011/2012.

A presença de impedimento físico muito forte a uma pequena profundidade, constitui em outro empecilho à instalação de drenos a uma

profundidade desejável, não obstante, mesmo com drenos instalados na interface com a camada de impedimento, ser possível minimizar problemas relacionados ao excesso de sais, conforme se verificou em sistema de drenagem subterrânea instalado num espaçamento de 18,0 m e a 0,8 m de profundidade em uma área de 4,0 ha com a cultura da videira em área contígua ao Perímetro Irrigado Jaguaruana - CE (SALES et al., 2004). A decisão do produtor em instalar o sistema de drenagem se deu em razão dos níveis de salinidade no solo em terem alcançado valores bem superiores à salinidade limiar da videira, evidenciando assim a necessidade de um sistema artificial de drenagem, como forma de promover um decréscimo nos níveis de salinidade, de vez que os mesmos já vinham comprometendo de forma bastante acentuada o rendimento da cultura.

A ausência na manutenção da macrodrenagem ou coletores principais tem sido a responsável pelo agravamento dos problemas de salinidade em diversas áreas irrigadas do nordeste brasileiro e, em especial, em Perímetros Irrigados por superfície, sobretudo após o início do programa transferência de gestão do governo federal, uma vez que os Distritos de Irrigação não vinham realizando a manutenção adequada dos coletores.

Em nível de projeto, recursos financeiros devem ser alocados para a manutenção da macrodrenagem, imprescindível para permitir um fluxo adequado nos coletores, o que acarreta um gradiente hidráulico em relação à área e, portanto, um fluxo subterrâneo no sentido dos coletores, propiciando um rebaixamento nos níveis do lençol freático. A manutenção adequada e periódica da macrodrenagem poderá dispensar, em algumas situações, a instalação de drenos subterrâneos no controle da salinização dos solos, conforme estudo desenvolvido por Araújo (2011) no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste.

2.3.2 Capacidade de investimento e alternativas ao desenvolvimento

Diversas pesquisas têm demonstrado a viabilidade técnica do processo de recuperação de solos afetados por sais com resultados promissores já nos primeiros anos, dentre elas podem se destacar os estudos desenvolvidos no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste por Costa (2005), Araújo et al. (2011) e Sousa (2012).

No entanto, o custo do processo de recuperação e o tempo necessário para a recuperação do capital alocado ou “payback”, variando entre cinco a nove anos, têm inibido o investimento por parte dos agricultores irrigantes. Há que se considerar ainda que a hipossuficiência financeira dos agricultores irrigantes destes perímetros irrigados mais antigos, não permite que possam assumir a responsabilidade pelo custo da reparação do passivo ambiental gerado pela degradação dos solos por sais (ALBUQUERQUE et al., 2018).

Diante deste cenário, a associação de produtores, com o apoio dos Distritos de Irrigação têm procurado alternativas que possam viabilizar o uso das áreas degradadas por sais, como exemplo o Perímetro Irrigado Morada Nova, que inicialmente, de perfil essencialmente agrícola, tem atualmente a sua base de sustentação na pecuária leiteira e no avanço da carcinicultura, em áreas abandonadas decorrentes da degradação por sais. De acordo com a Síntese Informativa dos Projetos Públicos de Irrigação (DNOCS, 2018), 90% da área total do Morada Nova é ocupada com espécies vegetais utilizadas como suporte forrageiro à bovinocultura leiteira (sorgo, capim paulistinha, capim elefante, capim buffel e pastagem nativa), as quais têm produzido, satisfatoriamente, com os níveis de salinidade do solo.

O longo período de escassez hídrica (2012 – 2017) e, como consequência as baixas recargas nos reservatórios que abastecem os perímetros irrigados do Dnocs, culminou com a suspensão do fornecimento de água de superfície para estas áreas, e assim nos projetos que dispunha de poços, os mesmos se tornaram naturalmente

na fonte de água alternativa. Com a ausência da principal fonte que elevava os níveis freáticos, seja pelo excesso de irrigação, mas sobretudo por infiltrações em canais não revestidos, associado ao uso de água subterrânea de forma intensiva, os níveis estáticos do lençol freático se tornaram mais profundos (MAGALHÃES, 2021) minimizando assim riscos potenciais de fluxos ascendentes à superfície, uma das principais fontes ao processo de salinização dos solos nestas áreas.

2.4 ESTUDO DE CASO: PROJETOS PÚBLICOS DE IRRIGAÇÃO DA CODEVASF EM PETROLINA-PE

Os projetos de irrigação do Vale estão distribuídos nas regiões fisiográficas que subdividem o Vale (alto, médio, submédio e baixo São Francisco), notadamente nas regiões do médio, submédio e baixo São Francisco, onde concentra o maior conjunto de projetos públicos de irrigação da região (no pólo Petrolina-PE/Juazeiro-BA), no total são oito projetos implantados, que abrange uma área de 40 mil ha (ANDRADE GUTIERREZ, 2018). A área de irrigação pública implantada no Vale ultrapassa os 100 mil ha, incluindo os projetos privados, o Vale possui atualmente mais de 600 mil ha de terras irrigadas. A maior parte dos projetos públicos de irrigação do Vale foram implantados na década de 1980. Os primeiros foram os projetos Mandacarú, em Juazeiro-BA e o projeto Bebedouro em Petrolina-PE, que foram implantados ainda sob gestão da Sudene, nos idos de 1968, e em seguida entregues à Suvale, para a operação e manutenção dos mesmos.

A Codevasf foi criada em 1974, para substituir a Suvale, com a missão de desenvolver o Vale. Foi nesse período que foram concebidos os projetos Maniçoba, Curaçá, Tourão, no município de Juazeiro- BA, e, em Petrolina-PE, os Projetos Nilo Coelho e Pontal (ainda em fase de implantação. A área Sul, já concluída, com 3.500 ha).

2.4.1 Instalação de drenos subterrâneos nos projetos de irrigação

Os projetos de irrigação Bebedouro e Maniçoba, foram os primeiros a receberem drenos subterrâneos. Os trabalhos tinham a finalidade de ajustes de parâmetros a serem adotados para a região, quais sejam, os testes de condutividade hidráulica e a recarga ou descarga normativa, espaçamento entre drenos, entre outros, que mais se ajustariam às características locais. E, também, a avaliação de materiais que estavam sendo testados para aplicação em drenagem subterrânea: tubos de PVC liso, que eram serrilhados. Ou então teria que se adquirir tubos de drenagem importados, o que inviabilizaria a implantação dos drenos, pelo alto custo. Não havia ainda os materiais disponíveis no mercado, atualmente, muitos deles foram desenvolvidos a partir do aumento da demanda para essa atividade. Isso fez com que as indústrias se interessassem por este mercado que estava só começando, e também testassem e desenvolvessem diversos tipos de materiais: tubos para drenagem e materiais para envelopamento dos tubos.

Esses materiais foram avaliados pela equipe da Codevasf, que especificou e solicitou a normatização dos mesmos junto a ABNT, uma vez que estavam surgindo muitos produtos de baixa qualidade, com materiais reciclados, produtos de pequenas fábricas, sem nenhuma garantia de qualidade.

Os materiais utilizados em drenagem (tubos e manta geotêxtil) existentes no mercado, atualmente, foram fruto de muito trabalho e dedicação de técnicos de drenagem, pioneiros, que atuaram nos projetos de irrigação, nos idos de 1980, quando os materiais disponíveis ainda eram improvisados e adaptados para aplicação em valas (com profundidade entre 1,0 a 1,30 m, e 0,40 m de largura), abertas manualmente, o seixo rolado (utilizado para envelopamento de tubos) era peneirado e classificado manualmente. O custo desses materiais era bastante elevado, devido a grande quantidade de mão de obra necessária para a execução

do serviço. Com o desenvolvimento dos materiais sintéticos (manta geotêxtil) este problema foi resolvido.

2.4.2 Drenagem nos projetos da Codevasf

A região do submédio São Francisco, com características climáticas de clima semiárido: precipitação média de 400 mm ano⁻¹, evaporação média de 2.080 mm ano⁻¹ e insolação de 3.000 h ano⁻¹, apresenta um déficit hídrico da ordem de 1.500 mm/ano. O Rio São Francisco se constitui na principal fonte hídrica que fornece uma água de excelente qualidade para a irrigação, classificada como C₁S₁ (baixa condutividade elétrica e sodicidade). Porém, como esta água possui uma pequena quantidade de sal dissolvida pode salinizar os solos quando aplicada em áreas não apropriadas para a irrigação, como solos rasos e áreas de baixadas com má drenabilidade.

As características edafoclimáticas da região, aliadas a tecnologia de irrigação e drenagem, são o diferencial para o desenvolvimento da atividade agricultura irrigada de culturas frutíferas de alto valor de mercado, produzindo durante todos os meses do ano. A região é responsável pelas exportações brasileiras de uva e manga, onde participa com mais de 85% dos volumes comercializados/exportados, com um volume exportado de mais de 700 mil ton de frutas, anualmente.

Os 25 projetos públicos de irrigação da Codevasf se distribuem por cinco estados, mas a recente ampliação da área de atuação da empresa para 15 estados, correspondendo a 36,6% do território nacional e população de 90 milhões de habitantes, é provável que novos projetos sejam criados ou incorporados, aumentando a demanda por trabalhos de drenagem. Os investimentos públicos na irrigação no Nordeste do Brasil se justificam ao observar que em 2020 os projetos

da Codevasf produziram 4,3 milhões de ton de produtos agrícolas equivalentes ao valor bruto de produção (VBP) de R\$ 3,4 bilhões, sustentando 250 mil empregos diretos e indiretos, responsáveis pelo recolhimento estimado de impostos de R\$ 515 milhões por ano.

Nos Projetos Nilo Coelho e Bebedouro, da área de atuação da 3ª Superintendência Regional em Petrolina-PE, foram produzidas 738.230 t, que resultaram em valor bruto de produção de R\$ 2,48 bilhões, com predomínio absoluto de frutas frescas.

Os projetos de irrigação em operação na Codevasf, no total de 25 empreendimentos, apresentam boas condições de drenabilidade, o que proporciona a estes projetos sustentabilidade, alta produtividade e baixo risco de apresentarem problemas relacionados à salinidade.

Os principais problemas de drenagem/salinidade, encontrados, atualmente, nos projetos de irrigação, surgem, geralmente, nas áreas expandidas pelos irrigantes, que incorporaram áreas adjacentes aos lotes e passam a irrigá-las, sem nenhuma avaliação técnica, e, em muitos casos, são áreas com solos não irrigáveis, pela pouca profundidade ou mesmo com teores de sais já elevados.

Após longos anos sob irrigação por inundação, desde a década de 1950, onde se iniciou a cultura de cebola, no Vale do São Francisco, hoje a área se encontra salinizada (Figura 2).



Figura 2 – Área salinizada em propriedade privada, às margens do Rio São Francisco, Ibó - Belém de São Francisco-PE.

Fonte: CODEVASF, 2005.

As infraestruturas de drenagem existentes nos projetos de irrigação fazem parte do escopo de trabalho dos Distritos de Irrigação, que são as organizações de produtores responsáveis pela Gestão, Administração, Operação e Manutenção desses projetos. Cabe aos distritos manter todas as infraestruturas de drenagem, prevendo recursos nos seus Planos Operativos Anuais, – POA's para a realização dos serviços de limpeza, desassoreamento e roço dos drenos coletores existentes, e recuperação de obras de arte/passagens bueiros, etc. Por questão de gestão orçamentária, e para não onerar bastante a tarifa de água paga pelos irrigantes, adotou-se a seguinte forma de manter este serviço: realizar anualmente a manutenção de 1/3 da rede drenagem.

A manutenção dos drenos subterrâneos é de responsabilidade dos agricultores irrigantes, sejam eles familiares ou empresários. Este serviço é realizado com a utilização de hidrojateadores, para desobstrução dos tubos de drenagem, e geralmente são acionados por tratores agrícolas.

As redes de drenagem são características específicas de cada projeto, dependem de uma série de aspectos a serem considerados na sua concepção,

desde os solos predominantes na área, topografia, localização das áreas irrigadas, presença de drenos naturais, como rios e riachos, etc. e funcionam como prevenção à salinização das áreas irrigadas.

Na 3ª Superintendência Regional em Petrolina-PE da Codevasf, os projetos encontram-se na seguinte situação:

2.4.2.1 Projeto Bebedouro

O Projeto Bebedouro possui 1.917,8 ha irrigáveis, parcelado em 108 lotes familiares, com área média de 8,0 ha e mais cinco lotes empresariais. Foi implantado em 1968 pela Sudene, quando entrou em operação, teve a sua concepção baseada na irrigação por superfície. Os solos, predominam os latossolos, muito profundos e férteis. A água é captada no Rio São Francisco, por uma estação de bombeamento principal e distribuídas às parcelas por meio de canais principais, secundários, terciários e quaternários, totalizando 31 km de extensão; e, internamente, nas parcelas agrícolas, por meio de canaletas revestidas em concreto, onde, com auxílio de sifões de mangueiras é aplicada nos sulcos de irrigação. Esse sistema ainda permanece em algumas parcelas agrícolas atualmente. Isso porque alguns usuários já converteram o sistema de irrigação parcelar para irrigação localizada, tipo microaspersão ou gotejamento.

A infraestrutura de drenagem existente nesse projeto é composta de cinco drenos coletores principais (DP's), profundos (> 1,5m), que recebem o excesso das águas por meio de drenos secundários, o sistema de drenagem serve também para a coleta do excesso da água de irrigação, considerando que o sistema concebido, à época, é de baixíssima eficiência, menos de 60%, e a irrigação é realizada por sulcos retos e abertos ao final.

O sistema de drenagem do projeto Bebedouro, totaliza 68,08 km de drenos coletores abertos, atendendo plenamente às necessidades do projeto. É tanto que, praticamente, não houve a necessidade de ampliação da rede de macrodrenagem implantada.

Atribui-se também a macrodrenagem existente no projeto, à preservação dos solos das áreas irrigadas, que ao longo desses 53 anos em operação não apresenta problemas de salinização significativos nos lotes oficiais. Além disso, no programa de drenagem executado no projeto, nos anos 1980, foram beneficiados diversos lotes com a implantação de drenos subterrâneos em cerca de 650 ha. Uma parte desse programa foi subsidiado pela Codevasf e outra parte pelos próprios irrigantes, por meio de financiamentos bancários, quando contraíram empréstimos junto ao BNB – Banco do Nordeste para implantação de parreirais.

2.4.2.2 Projeto Público de Irrigação Senador Nilo Coelho

O projeto irrigado Senador Nilo Coelho está entre os maiores projetos públicos de irrigação em funcionamento no Brasil, com área de 18.563 ha, sendo que os lotes familiares representam 67% com 12.520 ha e os lotes empresariais 33% com 6.043 ha (CODEVASF, 2014). O projeto Nilo Coelho foi estudado inicialmente, em 1969, pela Sudene/PNUD e em 1973 pela Codevasf. A construção ocorreu no período 1980 a 1984, ao custo de US\$ 200 milhões e entrou em operação em 1983, com o primeiro assentamento de irrigantes.

Ele faz parte do Grande Projeto Integrado do Submédio São Francisco, cuja área total abrange 120 mil hectares e envolve outros projetos como Tourão, Maniçoba, Curaçá, Salitre, Bebedouro e Mandacaru. Trata-se, aliás, do maior conjunto de perímetros irrigados numa única microrregião do Nordeste (ANDRADE GUTIERREZ, 2018).

O projeto irrigado Maria Teresa é uma extensão do projeto irrigado Senador Nilo Coelho. A área é de 5.446,83 ha atendendo 48 grandes empresas, 20 pequenas e médias empresas e 550 pequenos agricultores. Os lotes familiares de 6 ha ocupam 2.971,29 ha, sendo 54,6% da área e os lotes empresariais pequenos, com 7 a 20 ha médios de 20 a 50 ha e grandes acima de 50 ha ocupam 2.475,54 ha, 45,4% da área (CODEVASF, 2014)

A fonte hídrica é o Rio São Francisco, cuja captação principal está localizada no lago de Sobradinho, no município de Casa Nova - BA (onde estão 10% da área irrigável do Projeto). Cabe destacar que Sobradinho é o maior lago artificial da América do Sul, com capacidade de acumulação para 34 bilhões de m³.

A distribuição de água segue por um canal principal de 62,3 km e mais 90 km de canais secundários, que abastecem 39 estações de bombeamento de pressurização, que por sua vez fornecem água aos lotes agrícolas.

O sistema de drenagem foi constituído, inicialmente, de 170 km de canais naturais e 120 km de canais artificiais, não revestidos (nomenclatura utilizada à época para os drenos a serem escavados).

A ocupação do projeto, a partir dos anos 1990, com culturas de alto custo de implantação fez com que a rede de drenagem fosse ampliada e, atualmente, o projeto conta com um sistema de drenagem de mais de 1.000 km de drenos coletores principais e secundários, além disso, a Codevasf também iniciou os estudos para implantação de drenos subterrâneos em 215 ha, e estudou outros 400 ha. A partir dos anos 2000 os irrigantes passaram a executar/custear a implantação das áreas com drenagem subterrânea. Atualmente, o projeto possui uma área com a cultura da uva de 6.000 ha, ao custo de implantação/início de produção superior a R\$ 200.000,00 há⁻¹, o que exige a implantação do sistema de drenagem subterrânea, para evitar perdas durante o período chuvoso. O regime de chuvas na região é de chuvas de curta duração e de alta intensidade. Por isso, os produtores

que investem na cultura da uva nessa região têm muita precaução com a drenagem das áreas, a fim de evitar grandes prejuízos. Mesmo que a cultura esteja implantada sobre solos profundos e com boa drenabilidade, praticamente, é uma exigência dos produtores e dos agentes financeiros a instalação de drenos subterrâneos. De forma que são estimados em mais de 3.500 ha de áreas com drenagem subterrânea no projeto. É uma atividade que ocorre de forma constante, na medida em que avança a área da cultura da uva, principalmente.

2.4.2.3 Projeto Público de Irrigação Pontal

O projeto possui uma área total irrigável prevista de 7.800ha, sendo 3.500 ha, área sul, que está em fase de conclusão de obras, já foram licitados, em 2018, 299 lotes familiares e 37 lotes empresariais, restando ainda 17 lotes a serem licitados. A área norte está em fase de licitação de obras de engenharia.

O sistema de macrodrenagem do Projeto Pontal ainda está em fase de estudos e projetos, mas já estão sendo implantados os drenos coletores dos setores de lotes familiares, setores 15, no total de 3,0 km, com profundidade média de 1,5 m (Figura 3). O restante dos drenos a serem levantados será objeto de um contrato de topografia, que está na fase final de contratação, onde serão levantados cerca de 60 km de drenos coletores.



Figura 3 – Implantação de dreno coletor no Projeto Pontal Sul

Fonte: CODEVASF, 2021.

2.4.2.4 Projeto Público de Irrigação do Sistema Itaparica

O Sistema Itaparica consiste de um empreendimento de dez projetos implantados pela Chesf – Companhia Hidroelétrica do São Francisco, destinados para reassentamento às famílias que foram atingidas pelo lago de Itaparica, nos municípios de Petrolândia, Itacuruba, Floresta e Belém de São Francisco, no Estado de Pernambuco, e os municípios de Rodelas, Glória e Abaré no Estado da Bahia. Foram desalojadas cerca de 5.000 famílias.

Os projetos do reassentamento da Borda do Lago de Pernambuco, foram construídos nos municípios de Santa Maria da Boa Vista (Projeto Caraíbas/Fulgêncio), Orocó (Projeto Brígida), Petrolândia (Projetos Icó-mandantes, Apolônio Sales e Barreiras), Belém do São Francisco (Projeto Manga de baixo). Na

Bahia, foram construídos nos municípios de Curaçá (Projeto Pedra Branca), Glória (Projeto Glória), Rodelas (Projeto Rodelas).

De modo geral, os projetos do reassentamento de Itaparica apresentaram sérias limitações de solo, principalmente nos projetos especiais (Brígida e Fulgêncio). Esse problema foi identificado pela Codevasf, logo ao assumir a operação e manutenção dos projetos, por meio de um Convênio firmado com a Chesf.

Os estudos e projetos necessários ao aproveitamento dos lotes foram solicitados pela Chesf à Codevasf, a fim garantir que as famílias reassentadas permanecessem nos lotes entregues como forma de “doação”, para compensar a retirada da área de influência do reservatório de Itaparica. E também garantir a sustentabilidade desses lotes.

Inicialmente foram contratados os estudos de pedologia, para uma revisão das áreas que foram aproveitadas para irrigação, uma parte desses lotes foi descartada, e outra parte foi destinada a receber drenagem subterrânea.

Com os estudos e projetos de drenagem concluídos, a Codevasf licitou e contratou empresas de engenharia para a implantação das redes de drenagem. Vale ressaltar que os projetos de irrigação desse sistema não tinham ainda recebido obras de drenagem, o que resultou em um volume de recursos bastante expressivo, para que fossem atendidos todos os projetos.

De uma maneira geral, os projetos de irrigação e drenagem têm sido implantados sem que sejam realizados os estudos necessários da parte relativa à drenagem subterrânea dos solos, o que tem propiciado condições favoráveis ao encharcamento e salinização de grande parte das áreas irrigadas (BATISTA, 2002).

As infraestruturas de drenagem dos projetos do Sistema Itaparica foram totalmente custeadas pela Chesf, por ser a empresa responsável pela remoção e

reassentamento das famílias nos projetos de irrigação, também, implantados por ela.

Então, nos projetos localizados na borda do lago, estado de Pernambuco, no total de 06 (seis) projetos: Projetos Fulgêncio, Brígida, Manga de Baixo, Icó-Mandantes, Apolônio Sales e Barreiras Irrigados, no total de 9.741 ha, foram construídos 334 km de drenos coletores abertos e 3.276 ha receberam drenagem subterrânea. Já na borda do lago, estado da Bahia, foram implantados 03 (três) projetos: Projetos Glória, Pedra Branca, Rodelas com 4.081 ha, foram implantados 140 km de drenos coletores abertos e 1.062 ha receberam drenagem subterrânea. O Projeto Jusante encontra-se em implantação.

Os custos de implantação de drenagem são relativamente elevados, fato que deve ser levado em conta, no momento da classificação de terras para irrigação, a fim de evitar que sejam dispendidos, posteriormente, vultosos recursos (como ocorreu de fato no Sistema Itaparica), para evitar que o empreendimento de irrigação não tivesse sua sustentabilidade comprometida. Atualmente, os custos para implantação de macrodrenagem (drenos coletores abertos e suas obras especiais) são da ordem de R\$ 46.000,00 km⁻¹, enquanto que, para a implantação de drenos subterrâneos, os custos são da ordem de R\$ 14.000,00 há⁻¹.

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A conscientização da importância da drenagem agrícola entre os usuários, autoridades e instituições é um assunto que deve ser constantemente trabalhado, antes que seja lembrada somente depois de causar prejuízos. A maior ou menor conscientização reflete-se na manutenção periódica do sistema de drenagem nos perímetros públicos de irrigação, que fica a cargo dos Distritos de Irrigação ou da Organização dos Produtores.

Nos Projetos do Dnocs, a deterioração na infraestrutura de uso comum dos canais de irrigação decorrente do longo período sem uso, aliada à carência de recursos financeiros para manutenção, além da necessidade de conversão do método de irrigação por superfície para sistemas localizados, permite inferir uma tendência natural na redução dos níveis de salinidade nestas áreas e, portanto, na magnitude da intervenção com sistemas de drenagem subterrânea.

As infraestruturas de drenagem implantadas nos projetos públicos de irrigação do Vale, são, sem dúvida, a base de prevenção da salinidade desses projetos, podendo ser comprovada após os longos períodos em operação (com 30 anos ou mais sob irrigação) e não apresentam problemas de salinidade nos lotes oficiais.

A prevenção à salinidade nas áreas irrigadas no semiárido do Nordeste do Brasil, sejam elas públicas ou privadas, passa, necessariamente, por investimentos em infraestrutura de drenagem, manutenção adequada e periódica do sistema de drenagem e onde houver solos com drenabilidade restrita deverão ser instalados também drenos subterrâneos, a fim de permitir a lixiviação dos sais acumulados pela aplicação da água de irrigação e garantir a sustentabilidade desta atividade.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A. *et al.* Responsabilidade objetiva na geração de passivo ambiental pela irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 23, n. 2, p. 402 – 412, 2018.

ANDRADE G. **Projeto Massangano**. Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <https://www.andradegutierrez.com.br/Projetos.aspx#3428>. Acesso: 24 maio 2021.

ARAÚJO, A. P. B. *et al.* Análise econômica do processo de recuperação de um solo sódico no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 4, p. 377–382, 2011.

BARRETO, A. N.; SILVA, A. A. G.; BOLFE, E. L. **Irrigação e drenagem na empresa agrícola**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 418 p.

BATISTA, M. J.; NOVAES, F.; SANTOS, D. G.; SUGUINO, H. H. **Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização de solos**. Brasília: MMA; SRH: Codevasf, 2002. 216 p.

BEZERRA, E. **A salinização de solos aluviais em perímetros irrigados no Estado do Ceará**. Fortaleza: Dnocs, 2006. 136 p.

BRASIL. Decreto nº 89.496, de 29 de março de 1984. Regulamenta a Lei nº 6.662, de 25 de junho de 1979, que dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação, e dá outras providências. (Revogado pelo Decreto nº 10.086, de 2019). **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 30 mar. 1984. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89496.htm. Acesso em: 15 jun. 2021.

BRASIL. Decreto nº 2.178, de 17 de março de 1997. Altera o Decreto nº 89.496, de 29 de março de 1984, que regulamenta a Lei nº 6.662, de 25 de junho de 1979, que dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação. (Revogado pelo Decreto nº 10.086, de 2019). **Diário Oficial da União**, Brasília, 19 mar. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1997/D2178.htm. Acesso em: 15 jun. 2021.

CHOUDHURY, E. N.; MILLAR, A. A. **Características físico-hídricas de três latossolos irrigados do Projeto Bebedouro**. Petrolina: CPATSA, 1981. 14 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/192574/1/CHOUDHURY-E.-N.-1981.pdf>. Acesso: 16 maio 2021.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E PARNAÍBA - CODEVASF. **Acervo fotográfico**. 2005. Petrolina: Codevasf, 2005.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA - CODEVASF. **Monitoramento de solos da 3ª Superintendência Regional em Petrolina-PE**: Relatório de campanha Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho/Maria Tereza, conforme contrato nº 0.058.00/2012, de 24/04/2013, entre CODEVASF e Reserva Engenharia Consultoria e Gestão Fundiária Ltda. 2014. 176 p.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E PARNAÍBA - CODEVASF. **Acervo fotográfico**. 2021. Petrolina: Codevasf, 2021.

COSTA, R. N. T. **Avaliação de um sistema de drenagem e tratamentos mecânicos na recuperação de um solo sódico no Vale do Curu-CE**. 1988. 75 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1988.

COSTA, R. N. T. *et al.* Indicadores econômicos da recuperação de um solo sódico em condições de drenagem subterrânea no Vale do Curu, CE. **Irriga**, Botucatu, v. 10, p. 272-278, 2005. DOI: 10.15809/irriga.2005v10n3p272-278. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3202/1991>. Acesso em: 14 jun. 2021.

COSTA, R. N. T. **Acervo fotográfico**. Fortaleza: UFC, 1988.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS - DNOCS. **Projeto Curu-Recuperação**. Sistema General Sampaio. Missão de Israel. 2. DR/Ceará. Anexo I, R-798/76. Fortaleza: DNOCS, 1976.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS - DNOCS. **Serviço de monitoramento da produção**. Divisão de tecnologia e operações agrícolas. Fortaleza: DNOCS, 2018. 56 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS - DNOCS. **Síntese informativa dos projetos públicos de irrigação com suas respectivas fontes hídricas – ano agrícola 2019**. Fortaleza, CE: MDR/DNOCS, 2021. 66 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Guidelines and computer programs for the planning and design of land drainage systems**. Rome: FAO, 2007. 233 p. (Irrigation and Drainage Paper, 62).

LUTHIN, J. N. **Drainage engineering**. Huntington, USA: Krieger, 1978 281 p.

MAGALHÃES, J. W. O. **Recursos hídricos subterrâneos em aluvião no semiárido nordestino: estudo de caso no Perímetro Irrigado Morada Nova**. 2021. 46 p. (Monografia Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

MOURA, M. S. B. Precipitação e evaporação. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**, Brasília, [202-?]. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000g798rt3p02wx5ok0wtedt3nd3c63l.html. Acesso em: 11 maio 2021.

OLIVEIRA, C. H. A. **Luzes do farol de Cordouan para o rio São Francisco**. Aracaju: EDISE, 2020. 437 p.

PIZARRO, F. C. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos**. Fortaleza: MINTER; SUDENE; DNOCS, 1976; Madrid: Agrícola Española, 1978. 521 p.

PONTES, P. A.; ARAGÃO, K. Os perímetros irrigados do Ceará: os grandes projetos de irrigação têm impacto sobre a renda local? *In: Encontro da ANPAD*, 37., 2013, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: ANPAD, 2013, 13 p. Disponível em: http://www.anpad.org.br/admin/pdf/2013_EnANPAD_APB84.pdf. Acesso em: 15 mai. 2021.

SALES, J. L. *et al.* Análise de desempenho de um sistema de drenagem subterrânea na cultura da videira no município de Jaguaruana – CE. **Irriga**, Botucatu, v. 9, n. 1, p. 168-180, 2004.

SOUSA, C. H. C. **Uso integrado de práticas de manejo visando o aproveitamento e a recuperação de um solo salino-sódico, em Pentecoste, Ceará**. 2012. Tese de Doutorado (Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2012.

SUGUINO, H. H. *et al.* Parâmetros de drenagem subterrânea nos latossolos do perímetro irrigado de Bebedouro. *In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM*, 7., 1986, Brasília, DF. **Anais ABID**. [S. l.]: ABID, 1986. 1117 p.

VALDIVIESO SALAZAR, C. R. **Drenagem agrícola: relações na produção e procedimentos de diagnóstico**. Petrolina, PE: Ministério da Agricultura; EMBRAPA, 1988. 33 p. (Documentos, 53).

VALDIVIESO SALAZAR, C. R. *et al.* Drenagem Subterrânea no Perímetro Irrigado de Maniçoba: critérios de dimensionamento e avaliação de desempenho. *In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM*, 7., 1986, Brasília, DF. **Anais ABID**. [S. l.]: ABID, 1986. 1117 p.

CAPÍTULO 3

Recuperação de solos afetados por sais

Petterson C. C. Silva, Alide M. W. Cova, Mairton G. da Silva, Geovani S. de Lima, Claudivan F. de Lacerda, Hans R. Gheyi

3.1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da agricultura irrigada é essencial para alimentar a crescente população mundial. No entanto, esse desenvolvimento ao longo das últimas décadas tem resultado em salinização (acumulação de sais solúveis e/ou sódio trocável no solo) e/ou provocado elevação de lençol freático em áreas irrigadas afetando a produção agrícola e ameaçando a sustentabilidade da agricultura irrigada.

No mundo, estimam-se que mais de 800 milhões de hectares são solos salinos, salino-sódicos ou sódicos (FAO, 2021). Atualmente, cerca de 10% do total das terras aráveis e entre 25 e 30% das áreas irrigadas no mundo são afetadas por tais problemas. No Brasil, as áreas mais susceptíveis à salinização estão localizadas no Semiárido brasileiro, que possui uma área de 980.133.079 km², abrangendo oito estados da região Nordeste e também o Norte de Minas Gerais.

Estimam-se que entre 20 e 25% das áreas irrigadas no Semiárido brasileiro apresentam problemas de salinidade e/ou drenagem (MOTA *et al.*, 2012). Desta forma, a recuperação dos solos afetados por sais por meio de lavagem e/ou incorporação de condicionadores orgânicos ou corretivos químicos junto com preparo do solo, manejo adequado de água e cultivos são cada vez mais importantes para melhorar a produtividade das culturas nas áreas marginalmente

afetadas, e assim, prevenir que a extensão do problema seja ainda maior. Uma compreensão sólida das técnicas de recuperação de tais solos se torna, portanto, um componente cada vez mais importante do manejo de solo e água para garantir a sustentabilidade da agricultura irrigada a longo prazo.

3.2 IMPACTOS DA SALINIDADE NA AGRICULTURA

A salinidade do solo é um dos principais estresses abióticos que provoca prejuízos na produção agrícola, causando séria ameaça à segurança alimentar global, principalmente nas regiões áridas e semiáridas (Tab. 1). Nestas regiões, além da elevada taxa de evaporação, o manejo da irrigação e a drenagem inadequados contribuem para o acúmulo de sais solúveis no solo.

Em todo mundo, mais de 10 milhões de hectares de áreas irrigadas são abandonadas anualmente devido aos problemas como a salinização e sodificação dos solos (SZABOLCS, 1989).

Tabela 1 – Distribuição de algumas áreas afetadas por sais no mundo.

| Local | Solos salinos | Solos sódicos | Total |
|----------------------------|---------------|---------------|-------|
| | milhões ha | | |
| Ásia, Pacífico e Austrália | 195 | 249 | 3107 |
| América do Norte | 5 | 15 | 1924 |
| Oriente Médio | 92 | 14 | 1802 |
| América Latina | 51 | 61 | 2039 |
| Europa | 7 | 73 | 2011 |

Fonte: ARORA, 2017, p. 42.

As estimativas mostram que a degradação induzida pela salinidade em áreas irrigadas pode levar a um prejuízo anual e global de cerca de US\$ 27,3 bilhões.

Com base nessas estimativas, Qadir *et al.* (2014) recomendam investimentos na recuperação de terras afetadas pela salinidade e sugerem que os custos de recuperação devem ser incluídos em uma estratégia nacional mais ampla para a segurança alimentar e definidos nos planos nacionais.

A salinização do solo é um dos principais problemas sociais, ambientais e econômicos em áreas rurais das regiões áridas e semiáridas do Nordeste brasileiro. Nessas áreas, as condições edafoclimáticas e as ações antrópicas podem intensificar o processo de salinização desses solos, tornando-os impróprios ao desenvolvimento das plantas, a exemplo dos perímetros irrigados públicos de Morada Nova-CE, São Gonçalo-PB, entre outros. Além disso, nesses perímetros é comum a presença de elevados níveis de sódio trocável, causando a dispersão das argilas. Essas partículas coloidais podem ser facilmente carregadas pela água da chuva e/ou da irrigação, transportando metais pesados, agrotóxicos e outros compostos orgânicos antropogênicos (MINHAS *et al.*, 2020). Com isso, podendo afetar a qualidade das águas dos reservatórios, açudes e rios, as quais são utilizadas para irrigação.

No perímetro irrigado do São Gonçalo no distrito de município de Sousa – PB, por exemplo, ao longo dos anos a gestão inadequada dos recursos naturais ocasionou vários impactos ambientais, sociais e econômicos, dentre estes, destacam-se o desmatamento desenfreado, o uso excessivo de fertilizantes químicos e agrotóxicos, queimadas frequentes e o uso inadequado da água na irrigação, intensificando assim, o processo de salinização do solo e a perda de produtividade das culturas (QUEIROZ *et al.*, 2020). Neste perímetro foi observado uma redução das áreas cultivadas de 1.694,33 ha entre os anos de 2012 e 2016 (ARAÚJO *et al.*, 2018).

Os problemas relatados no perímetro de São Gonçalo-PB são comuns em várias áreas irrigadas do Nordeste brasileiro, principalmente por redução da produção agrícola decorrente a salinização e/ou sodificação do solo. Dessa forma,

são necessárias ações para melhorar o manejo dos recursos naturais, principalmente a água e o solo. Assim, estratégias são necessárias para o gerenciamento dessas áreas, como por exemplo, diagnosticar o problema e/ou possíveis fatores que possam causar o acúmulo de sais no solo para auxiliar na tomada de decisão.

3.3 DIAGNÓSTICO PARA AVALIAÇÃO DA SALINIDADE DO SOLO

O diagnóstico dos solos afetados por sais pode ser por observações visuais, sensoriamento remoto e análises laboratoriais. Destes, o último método que se baseia em análises físicas e químicas do solo é o mais preciso no diagnóstico, sendo de caráter conclusivo.

As análises visuais em áreas com acúmulo de sais consistem nas observações do solo (crostas de sais na sua superfície; manchas desnudas; solos desagregados, compactados e de baixa permeabilidade) e nas plantas (pouco desenvolvidas, crescimento desuniforme; necrose nas folhas e coloração verde azulada) são algumas características descritas. No entanto, essas características não quantificam o grau do problema e nem determinam as possíveis medidas de recuperação adequadas para o uso do solo.

A técnica do sensoriamento remoto tem sido utilizada no diagnóstico de áreas afetadas por sais em algumas áreas da região Nordeste do Brasil (ROCHA NETO *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2018; JUSTO *et al.*, 2021). Para Oliveira *et al.* (2018), o uso dessa técnica é uma alternativa tecnológica de baixo custo, boa frequência temporal e possui a capacidade de mapear áreas em processo de desertificação causado pela salinização do solo.

No perímetro do Baixo-Açu, no Rio Grande do Norte foi possível a classificação do solo em quatro níveis de salinidade (0-1, 1-5, 5-10 e > 10 dS m⁻¹) de acordo com a condutividade elétrica com base no índice espectral 'Salinity Index 1'

aplicando apenas no solo exposto, já que a vegetação superficial não foi considerada na classificação (JUSTO *et al.*, 2021). Segundo esses autores as áreas mais afetadas pela salinidade apresentavam relevo côncavo e com deficiência natural de drenagem. No perímetro de São Gonçalo-PB as ferramentas do sensoriamento remoto e do processamento digital de imagem foram capazes de identificar as áreas com possíveis problemas de acúmulo de sais (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Assim, a técnica do sensoriamento remoto em conjunto com a pedologia, geoestatística e geoprocessamento pode auxiliar na identificação, no planejamento, mapeamento e monitoramento de áreas com problemas de salinidade (COROLINO *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2018; JUSTO *et al.*, 2021). Assim, vem sendo possível a estimativa da salinidade do solo de forma mais rápida em relação aos métodos convencionais para monitorar e mapear a salinidade do solo (ALLBED; KUMAR, 2013).

As análises físicas e químicas do solo são as mais utilizadas no diagnóstico de solos agrícolas com potencial de acúmulo de sais solúveis, no monitoramento de solos salinos e na recuperação dos mesmos. No entanto, para as análises de laboratório são necessárias coletas de amostras de solo, o que torna o diagnóstico oneroso.

As análises físicas do solo para diagnosticar e remediar os problemas de salinidade no solo são comuns realizar: densidade das partículas e do solo, textura de solo, estabilidade de agregados, condutividade hidráulica, porosidade e permeabilidade. Para as análises químicas são analisadas pH da pasta saturada (pHps), a condutividade elétrica (CEes) e relação de adsorção de sódio (RASEs) no extrato de saturação do solo, percentagem de sódio trocável (PST), carbonatos alcalinos terrosos e gesso. Porém, para a classificação de solos quanto à salinidade são usados dados de pHps, CEes e PST do solo, conforme a classificação de Richards (1954). Para o diagnóstico do problema de salinidade Santos *et al.* (2019) avaliaram

as características físicas e químicas do solo quanto aos teores de cátions totais (solúveis + troveis) no solo e cátions solúveis no extrato de saturação. Assim, com base nos resultados das análises do solo, condições climáticas e de relevo, disponibilidade de recursos e condições financeiras são definidas as técnicas de manejo para a recuperação dos solos com problemas de salinidade.

Entre as variáveis químicas a RASes do solo tem sido uma variável importante, já que na falta de dados da análise do complexo sortivo é possível estimar a PST utilizada na classificação do solo quanto à salinidade, conforme Equação 1 e 2 apresentadas por Richards (1954).

A RAS é um índice que representa a concentração relativa de sódio (Na^+) em relação às concentrações de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) na solução ou no extrato de saturação e calculada a partir da seguinte equação:

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\left[\frac{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})}{2} \right]^{0,5}} \quad \text{Equação 1}$$

Em que,

RAS – relação de adsorção de sódio (mmol L^{-1})^{0,5};

Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} – concentrações de sódio, cálcio e magnésio no extrato de saturação do solo ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$).

A estimativa da PST a partir da RASes só é possível devido ao equilíbrio entre formas solúveis e trocáveis de determinados cátions (Na^+ , Ca^{2+} , e Mg^{2+}), deve haver uma relação de proporcionalidade entre a RASes e a PST, pois ambas tratam de uma mesma espécie de cátions (RIBEIRO *et al.*, 2016).

$$\text{PST}(\%) = \frac{100 \times (-0,0126 + 0,01475 \times \text{RAS}_{es})}{1 + (-0,0126 + 0,01475 \times \text{RAS}_{es})} \quad \text{Equação 2}$$

Em que,

RASes – relação de adsorção de sódio do extrato de saturação do solo (mmol L^{-1})^{0,5};

PST – Porcentagem de sódio trocável (%).

A classificação mais utilizada no Brasil é com base na proposta do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (RICHARDS, 1954), que classifica os solos em três categorias: salina, sódica, salina – sódica (Tab. 2). A classificação utiliza dados dos resultados das análises de pH_{ps}, CEes e PST.

Tabela 2 – Classificação dos solos afetados por sais

| Classificação | CE _{es} (dS m ⁻¹ à 25°C) | PST* (%) | pH _{ps} |
|-----------------------------|--|----------|------------------|
| Solos sem problemas de sais | < 4 | < 15 | < 8,5 |
| Solos salinos | > 4 | < 15 | < 8,5 |
| Solos salino-sódicos | > 4 | > 15 | ≤ 8,5 |
| Solos sódicos | < 4 | > 15 | ≥ 8,5 |
| Solos sódicos degradados** | < 4 | > 15 | 5,5 ≤ 8,5 |

Fonte: RICHARDS, 1954, p. 4-6.

* Alternativamente, pode ser utilizado o valor de RAS do extrato de saturação do solo igual a 13, conforme KADDAH; RHOADES, 1976;

** Inicialmente sugerido por DE'SIGMOND, 1924.

A seguir são apresentadas as características dos solos salino, salino-sódicos e sódicos conforme Ferreira *et al.* (2016) e Ribeiro *et al.* (2016).

Solos salinos: CEes > 4 dS m⁻¹, PST < 15% e 7 < pH_{ps} < 8,5 – os solos apresentam na seca altos níveis de salinidade com formação de uma crosta esbranquiçada na sua superfície. Esses solos são flocoados com permeabilidade igual ou maior que aos solos não salinos.

Solos salino-sódicos: CEes > 4 dS m⁻¹ a 25°C, PST > 15% e pH_{ps} < 8,5 – esses solos apresentam concentrações de sais solúveis neutralizantes e quantidade de

sódio que pode interferir no desenvolvimento das plantas e os colóides dos solos permanecem ainda floculados.

Solos sódicos: CEes $< 4 \text{ dS m}^{-1}$ a 25°C , PST $> 15\%$ e pHps $> 8,5$ – os solo salino-sódico podem evoluir para um solo sódico a depender das condições de manejo do solo. Esses solos podem ter dispersão das argilas e matéria orgânica com formação de horizonte BTn, com alto teor de sódio, estrutura colunar ou prismática e condições físicas altamente desfavoráveis à infiltração da água e penetração das raízes.

Solos sódicos degradados: CEes $< 4 \text{ dS m}^{-1}$ a 25°C , PST $> 15\%$ e pHps $< 8,5$ – O pHps desses solos são baixos que variam de 5,5 a 6,0 devido a intensa lixiviação. Esses solos podem formar um solo ácido, não salino e não sódico com a degradação contínua desses solos por substituição do Na^+ pelo H^+ . O uso de calcário pode ser recomendado quando o pH é inferior a 5,5.

Segundo Castro e Santos (2020), é extremamente importante avaliar o nível de salinização e os principais fatores que podem contribuir para a salinização do solo, principalmente em solos susceptíveis a desertificação, sendo essencial para o planejamento, monitoramento e políticas públicas voltadas a recuperação dessas áreas. Portanto, em regiões áridas e semiáridas, se faz necessário o uso de técnicas para reduzir ou prevenir os impactos ambientais, sociais e econômicos que possam ser atribuídos a salinização do solo. E assim, garantir que a produção agrícola não seja uma atividade de risco nessas regiões.

3.4 MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO DE SOLOS AFETADOS POR SAIS

Os métodos de recuperação de solos afetados pela salinidade têm por objetivo reduzir a presença de sais no solo que interfere no desenvolvimento e produção das plantas. Para tanto, a escolha do método não é uma tarefa fácil,

normalmente leva tempo para resolver o problema e aumentam os custos de produção. Porém, é extremamente necessária a recuperação de solos com elevados níveis de salinidade para minimizar os impactos ambientais e socioeconômicos.

O método adotado na recuperação de solos afetados por sais de uma determinada região deve ser com base em diversos fatores. Entre eles, precisa-se compreender a importância da realização de um diagnóstico dos atributos químicos e físicos do solo. Uma vez que, existe uma relação integrada entre, por exemplo, a análise textural e a densidade do solo (atributos físicos) (Tab. 3) e a concentração de sais solúveis (atributos químicos) com a capacidade de infiltração de água no solo (drenagem), que pode ser influenciada pela vegetação. Entre os quais, a capacidade de drenagem do solo é fundamental para garantir uma boa eficiência do método de recuperação empregado.

Tabela 3 – Velocidade de infiltração básica (VIB) e demais propriedades de duas classes de solos¹

| Profundidade | VIB | Ks | Ds | Macro | Micro | Argila | Silte | Areia |
|----------------------------|---------------------------|-------|------------------------|--------------|-------|----------------------------------|-------|-------|
| | --(mm h ⁻¹)-- | | (kg cm ⁻³) | ----(%)----- | | ----- (g kg ⁻¹)----- | | |
| Podzólico Vermelho-Amarelo | | | | | | | | |
| 0-20 | 12,1 | 41,30 | 1,40 | 7,18 | 39,32 | 422 | 155 | 423 |
| 60-80 | - | 15,16 | 1,35 | 5,18 | 43,86 | 524 | 112 | 364 |
| Latossolo Roxo | | | | | | | | |
| 0-20 | 56,6 | 21,18 | 1,19 | 2,82 | 41,42 | 653 | 152 | 195 |
| 60-80 | - | 81,88 | 0,97 | 2,85 | 34,23 | 725 | 136 | 139 |

Fonte: SALES *et al.*, 1999, p. 2093.

Ks: condutividade hidráulica do solo saturado; Ds: densidade do solo; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade.

A drenagem deve ser vista como uma parte integrada durante a recuperação ou processo de recuperação, nos diferentes métodos de recuperação. Porém, durante a instalação do sistema de drenagem é necessário o levantamento topográfico do local para a elaboração de estudos de entrada e saída da água drenada. Além disso, a qualidade da água aplicada durante o processo de lavagem dos sais influencia diretamente na eficiência desse processo (AYERS; WESTCOT, 1999; MEDEIROS *et al.*, 2012).

Assim, os processos de irrigação, lixiviação e drenagem são os principais meios pelos quais ocorre a redistribuição de sais no solo. Tendo em vista, que a água é o principal agente de solubilização destes sais, contribuindo para o arraste dos sais para camadas mais profundas durante o processo de lavagem do solo e reduzindo a salinidade nas camadas agricultáveis. Assim, proporcionando condições para uma produção economicamente viável.

Na literatura são relatados alguns métodos de recuperação de solos, entre eles estão abordados: lavagem do solo, uso de corretivos e melhoradores químicos (inorgânicos e orgânicos) e condicionadores orgânicos. Como também os métodos auxiliares: nivelamento, subsolagem, aração profunda, escarificação profunda, técnicas termoelétricas e biodrenagem e fitorremediação. No entanto, geralmente, utiliza-se uma combinação dessas técnicas para aumentar a eficiência na recuperação dos solos afetados por sais.

3.4.1 Lavagem do solo

A lavagem de recuperação do solo é considerada como o método mais eficiente para reduzir os níveis de sais na região da rizosfera para níveis toleráveis pelas culturas (MACÊDO *et al.*, 2007). Este método é geralmente recomendado para solos salinos, onde a diminuição dos sais acumulado pode ser realizada pela aplicação da lâmina de lixiviação. O método, basicamente consiste em aplicar uma

quantidade de água excedente à capacidade de retenção do solo que permitirá o transporte de sais para camadas mais profundas. Considerando que o nível de precipitação do local é insuficiente para promover a lavagem dos sais (característica típica de regiões áridas e semiáridas) a lâmina de lixiviação pode ser estimada no modelo de balanço de sais ou outros modelos empíricos e aplicada via irrigação, mas as estimativas nem sempre são precisas. Portanto, recomenda-se realizar um pré-teste numa pequena área representativa para estimar a lâmina de água necessária para obter um determinado nível de CEes após recuperação.

Quando o processo de salinização é progressivo e ocorre em consequência da utilização de águas de qualidade inferior, a aplicação de uma lâmina excedente de irrigação promove a lixiviação dos sais garantindo um equilíbrio favorável dos sais na zona radicular (MEDEIROS *et al.*, 2012).

Como comentado anteriormente, o estudo da área para o estabelecimento de um eficiente sistema de drenagem deve ser obrigatório durante o processo de lavagem do solo, pois caso contrário, a lavagem do solo pode agravar mais ainda o processo de salinização com a formação de um lençol freático próximo a superfície ou até o aumento de sais no solo.

A lavagem do solo pode ser realizada com o uso de diferentes técnicas: lavagem por inundação contínua, lavagem por inundação intermitente ou lavagem superficial. A lavagem por inundação contínua consiste na aplicação de uma lâmina de água por um determinado tempo, lixiviando os sais para camadas mais profundas e impedindo a ascensão capilar de água e sais provenientes de lençóis freáticos rasos (Figura 1). Entretanto, exige o nivelamento do terreno a ser recuperado, uma lâmina de água relativamente grande e um tempo relativamente longo para a recuperação do solo, o que pode acarretar alguns casos no desperdício de água. Neste caso, uma lâmina de água igual a profundidade de solo a ser recuperada, promove uma redução aproximadamente de 70 a 80% nos teores de

sais solúveis (CAVALCANTE *et al.*, 2016). Nos casos, solos altamente salinos o processo de recuperação deve ser executado em etapas e se possível junto com cultivo de arroz, para não se aplicar as lâminas exageradas, em virtude de disponibilidade limitada de água e características hídricas do solo.



Figura 1 – Lavagem do solo

Fonte: GOMES *et al.*, 2000, p. 357.

A lavagem por inundação intermitente diferente da contínua é feita pela aplicação de uma lâmina de água em intervalos de tempo curtos (semanais, quinzenais ou mensais). Por este motivo, esta técnica é considerada mais eficiente quando comparada a contínua. Na Tab. 4 pode-se observar que a lavagem contínua ou por inundação intermitente com água de abastecimento reduz significativamente a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo e no final do processo, proporcionando um grau de lixiviação de sais melhor que a lavagem por inundação contínua (SILVA *et al.*, 2019). Além disso, a lavagem por inundação intermitente não necessita obrigatoriamente nivelamento do solo, tornando-se esta técnica mais barata. Porém, esta técnica não é recomendada para aplicação quando existe um lençol freático com água salina próximo à superfície (dentro da faixa de ascensão capilar). Também apresenta limitações por não ser capaz de lixiviar os sais para camadas profundas (além de 1,0 m) devido ao pouco

volume de água aplicado. Neste caso, uma lâmina de água, equivalente a profundidade de solo a ser recuperado, chegando a promover uma diminuição correspondente a 80-90% de sais solúveis inicialmente presentes no solo (CAVALCANTE *et al.*, 2016).

Tabela 4 – Valores médios de condutividade elétrica no extrato de saturação do solo após recuperação aplicando água de abastecimento em solos com diferentes salinidades

| Sistemas | Níveis de salinidade no extrato de saturação (dS m ⁻¹)* | | | | |
|--------------|---|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| Contínuo | 0,876 ^c | 1,181 ^c | 1,641 ^b | 1,836 ^b | 2,867 ^a |
| Intermitente | 0,562 ^c | 0,646 ^c | 0,712 ^{bc} | 0,986 ^{ba} | 1,438 ^a |

* Níveis de condutividades elétrica do solo antes da recuperação; valores seguidos pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Fonte: SILVA *et al.*, 2019, p. 120.

O método de lavagem superficial consiste em aplicação de lâmina com grande vazão. Geralmente é utilizado para remoção de sais presentes na superfície do solo através do arraste dos sais com a lâmina de água para regiões mais baixas em função da declividade local em direção ao dreno, não necessitando assim de nivelamento do solo. Como esta técnica não tem como objetivo realizar a lavagem das camadas inferiores, de preferência deve ser aplicada para solos de baixa condutividade hidráulica, pois em solos com alta permeabilidade, o arraste de sais pela superfície não ocorre de forma eficiente.

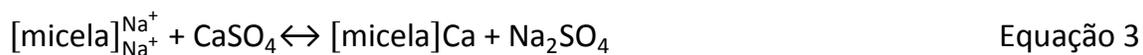
3.4.2 Uso de condicionadores e melhoradores químicos: inorgânicos e orgânicos

O uso de corretivos e melhoradores são geralmente indicados para recuperação de solos salino-sódicos, sódicos e sódicos degradados. Isso se dá principalmente pelo fato destes solos apresentarem grande concentração de sódio

(solos salino-sódicos e sódicos) ou o predomínio de H⁺ e Na⁺ (solos sódicos degradados) no complexo de troca no horizonte superficial e/ou subsuperficial.

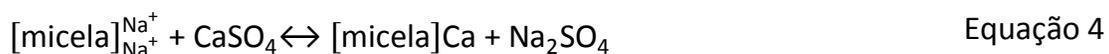
Durante o processo de solonização (dispersão das argilas pelo acúmulo de íon sódio), o acúmulo de íons Na⁺ na superfície das argilas (≥ 50%) denomina-se sodificação e contribui para a formação dos solos salino-sódicos. A evolução deste processo, resulta na precipitação dos íons Ca²⁺ e Mg²⁺ em forma de carbonato, bicarbonato, sulfato de cálcio e o predomínio de Na⁺ no complexo de troca, dando origem aos solos sódicos. Por fim, o processo de solodização ocorre a partir da remoção do sódio trocável da superfície da micela sendo este, substituído por H⁺. Quando este processo ocorre apenas no horizonte A, o solo ainda mantém o seu caráter sódico. Porém, caso esta remoção ocorra também no horizonte B, este solo passa a mudar sua classificação dando origem a solos nem salinos e nem sódicos, e sim com o caráter ácido (RIBEIRO *et al.*, 2016).

O uso de corretivos no método de recuperação de solos, baseia-se no princípio que o aumento da concentração de Ca²⁺ (oriundo do uso de corretivos como o gesso) por ter maior força de adsorção com as micelas, deslocando o Na⁺ do complexo de troca para a solução do solo, facilitando a remoção do excesso de Na⁺ através da lavagem do solo (Equação 3). O processo de adsorção de íons ao complexo de troca segue alguns critérios baseados na diferenciação das valências, raios iônicos e raios hidratados dos íons. Assim, a ordem de preferência das reações de troca de cátions em solos do semiárido é: Al³⁺ > Ca²⁺ > Mg²⁺ > NH₄⁺ > H⁺ > K⁺ > Na⁺ > Li⁺ (FERREIRA *et al.*, 2016).



O gesso, o cloreto de cálcio e o calcário são os principais corretivos utilizados na recuperação dos solos afetados por sais. Entretanto, a escolha do uso de cada

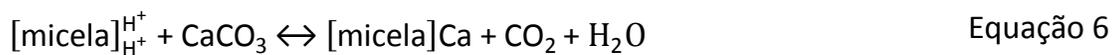
um deles é baseada nas características de solo. O gesso e o cloreto de cálcio são considerados solúveis em água (2,16 e 427 g L⁻¹, respectivamente) e são recomendados para a maioria dos casos. O uso de gesso dissolvido na água de irrigação pode chegar próximo a 100% da eficiência de lixiviação quando se utiliza lâmina de 2,5 e 3,0 do volume de poros (BARROS *et al.*, 2005) (Tab. 5). Já o calcário, é um corretivo químico de baixa solubilidade (0,01 g L⁻¹), e geralmente é recomendado para solos com pHs inferior a 7,0 e na ausência de carbonatos alcalinos, como os solos sódicos degradados. As reações de cada tipo de corretivo estão descritas abaixo nas Equações 4 a 6:



Gesso



Cloreto de cálcio



Calcário

Tabela 5 – Valores da condutividade elétrica (CE) e da eficiência das lâminas de lixiviação utilizando água contendo gesso

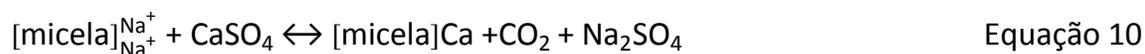
| Lâmina de lixiviação | Solo* | | Solo** | |
|--|--------------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| | CE (dS m ⁻¹) | Eficiência de lixiviação (%) | CE (dS m ⁻¹) | Eficiência de lixiviação (%) |
| Antes da aplicação das lâminas de lixiviação | 21,16 | - | 25,58 | - |
| 0,5 volume de poros | 14,93 | 29,43 | 15,77 | 38,33 |
| 1,0 volume de poros | 7,67 | 63,76 | 9,69 | 62,11 |
| 1,5 volume de poros | 5,18 | 75,53 | 6,19 | 75,79 |
| 2,0 volume de poros | 4,07 | 80,65 | 4,44 | 82,63 |
| 2,5 volume de poros | 3,36 | 84,13 | 3,95 | 84,54 |
| 3,0 volume de poros | 1,77 | 91,61 | 1,42 | 94,46 |

Fonte: BARROS *et al.*, 2005, p. 312.

* – Neossolo Flúvico salino; ** – salino-sódico.

O enxofre e o ácido sulfúrico também são corretivos muito utilizados, porém o uso dos mesmos é indicado para solos sódicos que contêm carbonatos alcalinos terrosos, podendo ser recomendado até na ausência de carbonatos no solo. O enxofre, durante sua aplicação passa por um processo de oxidação resultante da atividade de bactérias do gênero *Thiobacillus* (Equações 7 a 11). Após o processo de oxidação ocorre a formação de óxido sulfúrico que ao ser hidrolisado resulta na formação de ácido sulfúrico. Durante o processo de recuperação do solo, a

formação de ácido sulfúrico pelo uso do enxofre ou até o próprio ácido sulfúrico pode acidificar o solo. Sendo assim, este tipo de corretivo não é indicado para solos ácidos (degradados).



3.4.2.1 Quantidade de corretivos

A estimativa da quantidade de corretivos a ser utilizado durante a correção, depende da percentagem inicial de sódio trocável (PST_i), da capacidade de troca de cátions (CTC), da densidade do solo (Ds), da percentagem final de sódio trocável desejada (PST_f), do peso equivalente do corretivo escolhido e da profundidade do solo a ser recuperada (h).

A dose teórica de corretivo necessária para recuperação é dada pela seguinte relação:

$$Dt = [(PST_i - PST_f) \times CTC \times PE \times h \times Ds] / 100 \quad \text{Equação 12}$$

Em que,

Dt – Dose teórica de corretivo, kg ha⁻¹;

(PST_i-PST_f) – Diferença entre a porcentagem de sódio inicial e final (desejada), %;

PE – Peso equivalente do elemento ou composto usado como corretivo (Tab. 6);

h – Profundidade do solo a ser recuperado, cm;

Ds – Densidade do solo, kg cm⁻³.

A equação para se calcular a dose teórica de corretivo foi deduzida considerando-se o aproveitamento total do cálcio adicionado e o corretivo com 100% de pureza; logo, a dose prática do corretivo pode ser estimada mediante a Equação 13:

$$D_p = D_t \times C \quad \text{Equação 13}$$

Em que,

D_p – Dose prática, kg ha^{-1} ;

C – Coeficiente de correção (Tab. 6), adimensional;

A dose prática de corretivo pode ser determinada em laboratório, agitando-se um peso conhecido de solo com solução saturada do gesso de concentração conhecida e se comparando o teor remanescente de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ no extrato, determinado pelo método de titulação.

Na prática, a quantidade de corretivo é determinada pela experiência local e por condições financeiras, sobretudo quando o gesso é o corretivo usado e as aplicações de corretivos são frequentemente efetuadas num determinado número de anos. A prática mais comum para se recuperar um solo sódico com gesso é se aplicar no máximo 10 t ha^{-1} no primeiro ano e se usar 150 cm de água para lixiviar. Nos segundo e terceiro anos subsequentes fazem-se aplicações adicionais de 4 t ha^{-1} , com algumas lixiviações até que a profundidade do solo desejada esteja eventualmente recuperada (RHOADES; LOVEDAY, 1990).

Um aspecto importante que deve ser considerado durante o planejamento para recuperação de áreas afetadas por sais, é a escolha de uma espécie tolerante à salinidade/sodicidade, para então ser cultivada. Neste caso, o arroz é a espécie mais recomendada durante a recuperação desses solos, em razão da grande tolerância à sodicidade e a possibilidade de ser cultivada em condições de inundação.

Tabela 6 – Peso equivalente (PE) e coeficiente de correção (C) de diferentes corretivos utilizados na recuperação dos solos afetados por sódio.

| Corretivo | Fórmula química | (PE) | C |
|------------------------|---|------|------|
| Gesso | CaSO ₄ .2H ₂ O | 86 | 1,25 |
| Cloreto de cálcio | CaCl ₂ .2H ₂ O | 73 | 1,10 |
| Enxofre | S | 16 | 1,25 |
| Polissulfito de cálcio | CaS ₅ | 100 | 1,25 |
| Ácido sulfúrico | H ₂ SO ₄ | 49 | 1,10 |
| Sulfato de ferro | FeSO ₄ .7H ₂ O | 139 | 1,10 |
| Sulfato de alumínio | Al ₂ (SO ₄) ₃ .18H ₂ O | 111 | 1,10 |
| Calcário | CaCO ₃ | 50 | 1,25 |

Fonte: CAVALCANTI *et al.*, 2016, p. 468.

3.4.2.2 Condicionadores orgânicos

A aplicação de matéria orgânica no solo é uma prática bastante utilizada, uma vez que, a matéria orgânica atua positivamente em diversas propriedades (químicas e físicas) do solo. A matéria orgânica melhora a formação e estabilização de agregados, retenção de água no solo, disponibilidade de nutrientes e na manutenção da atividade biológica do solo. A matéria orgânica utilizada para recuperação de solos afetados por sais é proveniente de diversas origens como resíduos industriais (vinhaça, carvão vegetal, etc.), resíduos agrícolas (restos culturais, esterco, vermicomposto, etc.), rejeitos sanitários (resíduos sólidos de tratamento de efluentes domésticos – lodo de esgoto), águas residuais, entre outros (Figura 2). Na Figura 2 observa-se que a salinidade do solo utilizando diferentes compostos orgânicos e dosagem em solo salino após um mês (Figura 2a) e 4 meses (Figura 2b) de incubação, no geral, diminuíram a salinidade com o período de incubação e variando conforme a dosagem utilizada. Após a aplicação, o composto orgânico é degradado pelos microrganismos do solo em algumas semanas ou meses e essa mineralização emite principalmente CO₂, que por sua vez,

pode reduzir consideravelmente o pH do solo (CHÁVEZ-GARCÍA; SIEBE, 2019). Esses processos aumentam a solubilidade do carbonato de cálcio e mobilizam o cálcio, substituindo assim o sódio trocável do complexo de troca do solo e reduzindo a sodicidade do solo.

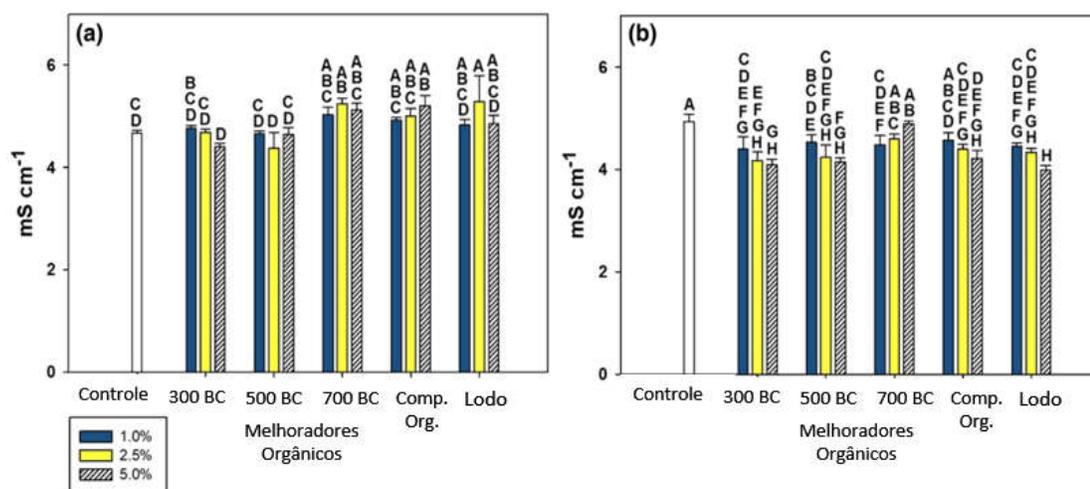


Figura 2 – Mudanças da condutividade elétrica – CE (mS cm^{-1}) de um solo ácido afetado por sal 1 mês (a) e 4 meses (b) após incubação com adição de melhoradores orgânicos em diferentes relações. Tratamentos: Biochar (BC) produzido a partir de *Gliricidia sepium* a 300, 500 e 700°C, composto de lixo verde e lodo de esgoto municipal (* equivalente a dS m^{-1})

Fonte: GUNARATHNE *et al.*, 2020, p. 113.

Um estudo comparativo do efeito da aplicação de diferentes corretivos químicos (gesso - 16 t ha^{-1} , ácido sulfúrico - $1,2 \text{ t ha}^{-1}$) e orgânico (esterco de curral - 30 t ha^{-1}) em solo salino-sódico no perímetro de Sumé – PB (CEs entre $3,9$ e 11 dS m^{-1} , PST entre $26,6$ e $39,9\%$), realizado por Gheyi *et al.* (1995), revelou que a curto prazo (após a lavagem e o cultivo de arroz) os corretivos químicos foram mais eficientes quanto à redução da CEs e PST do solo, sobretudo na profundidade de $0 - 0,30 \text{ m}$ e sem efeito significativo nos rendimentos médios ($5,8 \text{ t ha}^{-1}$) de quatro cultivares de arroz (*Oryza sativa*). No entanto, a longo prazo, após 8 cortes de capim (*Pennisetum purpurem*) todos os tratamentos, inclusive o controle, apresentaram

os valores semelhantes de CEes e PST do solo, até a profundidade de 0 – 0,60 m. Vale ressaltar que não houve efeito dos tratamentos na produtividade do capim após 5 cortes (em média 30 t ha⁻¹).

Um estudo de campo em condições semiáridas (perímetro de São Gonçalo – PB), com um solo de carácter salino-sódico, Gomes *et al.* (2000) constataram que, durante a recuperação do solo com uso de corretivos (gesso) e melhoradores orgânicos após a lavagem durante 45 dias e seguido do cultivo de arroz irrigado (inundado), houve redução significativa da CEes nas camadas de 0 – 20, 20 – 40 e 40 – 60 cm quando comparado com a testemunha, conforme observado na Figura 3.

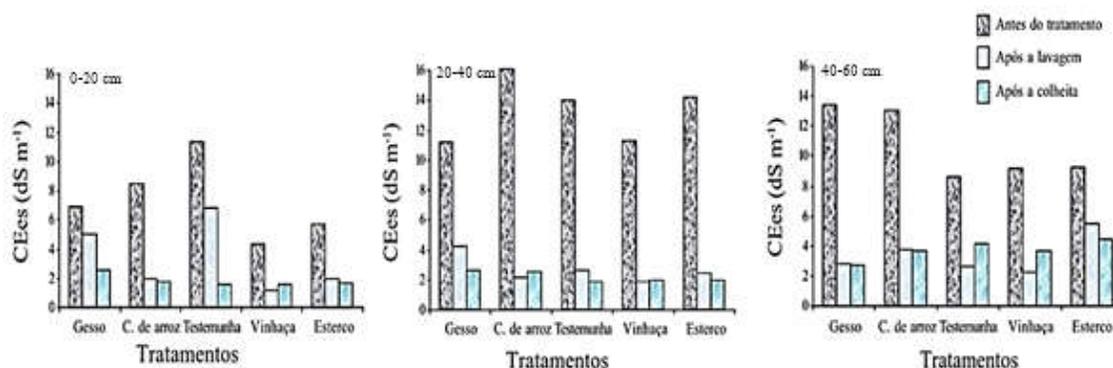


Figura 3 – Variação temporal da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) do perfil do solo sob diferentes tratamentos de recuperação de solo e cultivo de arroz

Fonte: GOMES *et al.*, 2000, p. 358.

3.4.2.3 Métodos auxiliares

Existem alguns métodos considerados auxiliares para recuperação do solo, mas para isso o diagnóstico específico do local vai indicar quais métodos são mais adequados para cada situação. Os métodos físicos mais comumente usados de recuperação de solo estão descritos abaixo:

Nivelamento – O nivelamento das áreas afetadas pela salinidade antes da implementação de um programa de recuperação é essencial. Isso permitirá uma distribuição uniforme da água, aumentando a eficiência de lixiviação dos sais diminuindo formação de poças d'água oriundas do processo de aração do solo (SHAHID *et al.*, 2018).

Subsolagem, aração profunda e escarificação profunda – Os solos afetados pela sodicidade geralmente apresentam uma camada densa nos horizontes subsuperficiais. Esta camada é formada pelas partículas de argila dispersas movem-se para o horizonte subsuperficial do solo, onde se alojam nas superfícies dos poros condutores do solo, bloqueando os poros e reduzindo o movimento posterior da água. A subsolagem, a aração profunda e a escarificação profunda atuam diretamente no rompimento destas camadas densas, aumentando a permeabilidade do solo (SHAHID *et al.*, 2018).

Biodrenagem e fitorremediação – Nas áreas afetados por salinidade com lençol freático alto, a biodrenagem atua contribuindo diretamente para a absorção da água no solo, pelas plantas com elevada demanda evapotranspiratória (*Eucalyptus grandis*, *Tamarix troupii*, *Tortilis acácia* e *Acacia nilótica*), podendo reduzir assim, o nível dos lençóis freáticos proporcionando o aumento da permeabilidade do solo. Além disso, o uso das plantas reduz a intensidade da evaporação pela superfície do solo pelo sombreamento, diminuindo assim, o acúmulo de sais na superfície do solo (MEDEIROS *et al.*, 2016). A fitorremediação é definida pelo uso conjunto de plantas, microorganismos e outros melhoradores com o objetivo de remover, imobilizar ou tornar os contaminantes inofensivos. Um dos principais processos que ocorrem na fitorremediação é a fitoextração, sendo esta, a mais utilizada para a recuperação de solos afetados por sais. Neste processo, são utilizadas plantas com alta capacidade

de extrair principalmente os íons Na^+ e Cl^- da parte aérea (*Atriplex nummularia* L., *Cynodon dactylon* L., *Suaeda marítima* e a *Sesuvium portulacastrum*) (FREIRE *et al.*, 2016).

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se dizer que o processo de salinização do solo é um problema cultural/social dos agricultores. Isso porque, eles acreditam que a qualquer momento podem abandonar suas áreas (as quais já não são mais produtivas) e irem na busca de novas áreas. Nesse caso, é mais barato para o produtor fazer a aquisição de uma nova área do que tentar recuperar uma área salinizada para torná-la novamente produtiva.

De fato, a recuperação de solos salinizados é um processo oneroso sobretudo se necessita de implantação de projeto de drenagem, e nem sempre alcança resultados satisfatórios a curto prazo. Pois diferentes fatores influenciam nesse processo, que passa principalmente pelo método de recuperação empregado. Nesse sentido, os produtores devem ser preparados para manejar corretamente a irrigação e o solo. Dessa maneira, com a prevenção, é que os recursos naturais serão preservados para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

ALLBED, A.; KUMAR, L. Soil salinity mapping and monitoring in arid and semi-arid regions using remote sensing technology: A review. **Advances in Remote Sensing**, Wuhan, v. 2, n. 4, p. 373-385, Dec. 2013. Disponível em: https://www.scirp.org/pdf/ARS_2013122611191714.pdf. Acesso em: 27 maio 2021.

ARAÚJO, D. C. de; VIEIRA, A. S.; QUEIROGA, F. de A.; FIGUEIREDO, F. N. L.; SILVA, I. B. da; SARMENTO, R. C. S. S. Proposta de um modelo de gestão para o uso eficiente da água no perímetro irrigado de São Gonçalo no Sertão paraibano.

Revista Brasileira de Gestão Ambiental, Pombal, v. 12, n. 1, p. 43-57, jan./dez. 2018. Disponível em:
<https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RBGA/article/view/5616/4922>.
 Acesso em: 29 maio 2021.

ARORA S. Diagnostic properties and constraints of salt-affected soils. *In*: ARORA, S.; SINGH, A.; SINGH, Y. (ed.). **Bioremediation of salt affected soils: an Indian perspective**. New York: Springer, 2017. p. 41-52. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-319-48257-6_2.

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

BARROS, M. de F. C.; SANTOS, P. M. dos; SILVA, A. J. da. Recuperação de solos afetados por sais usando água de qualidade inferior. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 9, p. 310-313, abr. 2005. Suplemento. Disponível em:
http://www.agriambi.com.br/revista/suplemento/index_arquivos/PDF/310.pdf?script=sci_pdf%C0%03d=S1415. Acesso em: 28 maio 2021.

CASTRO, F. C.; SANTOS, A. M. dos. Salinity of the soil and the risk of desertification in the semiarid region. **Mercator**, Fortaleza, v. 19, e19002, jan. 2020. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/mercator/a/rpNjRffgtMLP3LYtLn7kNbh/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 27 maio 2021.

CAVALCANTE, L. F. C.; SANTOS, R. V. dos; HERNANDEZ, F. F. F.; GHEYI, H. R.; DIAS, T. J.; NUNES, J. C.; LIMA, G. S. de. Recuperação de solos afetados por sais. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de; GOMES FILHO, E. (ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 17-34. Disponível em: <https://ppgea.ufc.br/wp-content/uploads/2018/04/manejo-da-salinidade-na-agricultura.pdf>. Acesso em: 28 maio 2021.

CHÁVEZ-GARCÍA, E.; SIEBE, C. Rehabilitation of a highly saline-sodic soil using a rubble barrier and organic amendments. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 189, p. 176-188, Jun. 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.01.003>.

COROLINO, J. de A.; GUERRA, H. O. C.; ARAÚJO, W. P.; SOUSA, J. Y. B. de; ALMEIDA, E. S. A. B. de; BARRETO, H. T. S. Geoestatística aplicada ao estudo da

salinidade do solo, Sumé – Paraíba. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos, v. 13, n. 2, p. 72-81, ago. 2017. Disponível em: <http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/669/pdf>. Acesso em: 27 maio 2021.

DE'SIGMOND, A. A. J. The alkali soils in Hungary and their reclamation. **Soil Science**, Philadelphia v. 18, n. 5, p. 379-381, 1 abr. 1924.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Standard operating procedure for saturated soil paste extract**. Rome, 2021. Disponível em: <http://www.fao.org/3/cb3355en/cb3355en.pdf>. Acesso em: 19 jun. de 2021.

FERREIRA, P. A.; SILVA, J. B. L. da; RUIZ, H. A. Aspectos físicos e químicos de solos em regiões áridas e semiáridas. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de; GOMES FILHO, E. (ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 17-34. Disponível em: <https://ppgea.ufc.br/wp-content/uploads/2018/04/manejo-da-salinidade-na-agricultura.pdf>. Acesso em: 27 maio 2021.

FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J.; SOUZA, E. R. Fitorremediação de solos afetados por sais. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de; GOMES FILHO, E. (ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. v. 2, p. 17-34. Disponível em: <https://ppgea.ufc.br/wp-content/uploads/2018/04/manejo-da-salinidade-na-agricultura.pdf>. Acesso em: 28 maio 2021.

GHEYI, H. R.; AZEVEDO, N. C.; BATISTA, M. A. F.; SANTOS, J. G. R. Comparação dos métodos na recuperação de solo salino-sódico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, n. 2, p. 173-178, 1995.

GOMES, E. M.; GHEYI, H. R.; SILVA, E. F. de F. Melhorias nas propriedades químicas de um solo salino-sódico e rendimento de arroz, sob diferentes tratamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 355-361, dez. 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/Yh9txF5WRGpWw8m44tnTyKD/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 28 maio 2021.

GUNARATHNE, V.; SENADEERA, A.; GUNARATHNE, U.; BISWAS, J. K.; ALMAROAI, Y. A.; VITHANAGE, M. Potential of biochar and organic amendments for reclamation

of coastal acidic-salt affected soil. **Biochar**, Cham, v. 2, p. 107-120, 13 Feb. 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s42773-020-00036-4.pdf>. Acesso em: 28 maio 2021.

JUSTO, J. F. A.; BARRETO, A. C.; SILVA, J. F. da; FERREIRA NETO, M.; SÁ, F. V. da S.; OLIVEIRA, R. P. de. Identification and diagnosis of salt-affected soils in the Baixo-Açu irrigated perimeter, RN, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n. 7, p. 480-484, July, 2021. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n7p480-484>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/VGSnjcSBNBRxfGvdBg7yxqD/?lang=en&format=pdf>. Acesso em: 19 maio 2021.

KADDAH, M. T.; RHOADES, J. D. Salt and water balance in Imperial Valley, California. **Soil Science Society of American Journal**, California, v. 40, n. 1, p. 93-100, 1 Jan. 1976. DOI <https://doi.org/10.2136/sssaj1976.03615995004000010026x>.

MACÊDO, L. de S.; SOUSA, M. R. de; MORRILL, W. B. B. Drenagem para controle da salinidade. **Tecnologia & Ciências Agropecuária**, João Pessoa, v. 1, n. 2, p. 69-71, dez. 2007. Disponível em: https://zeoserver.pb.gov.br/gestaounificada/gu/emepa/publicacoes/revista-tca-emepa/edicoes/volume-01-2007/volume-1-numero-2-dezembro-2007/tca10_drenagem.pdf/view. Acesso em: 28 maio 2021.

MEDEIROS, J. F. de.; GHEYI, H. R.; NASCIMENTO I. B. do. Salinidade de solo e da água e seus efeitos na produção agrícola. *In*: GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. da S.; MEDEIROS, S. de S.; GALVÃO, C. de O. (ed.). **Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações**. Campina Grande: INSA, 2012. p. 190-218. Disponível em: <http://livroaberto.ibict.br/handle/1/932>. Acesso em: 28 maio 2021.

MEDEIROS, S. S.; SANTOS JUNIOR, J. A; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R. Biodrenagem. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de; GOMES FILHO, E. (ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 17-34. Disponível em: <https://ppgea.ufc.br/wp-content/uploads/2018/04/manejo-da-salinidade-na-agricultura.pdf>. Acesso em: 28 maio 2021.

MINHAS, P. S.; RAMOS, T. B.; BEN-GAL, A.; PEREIRA, L. S. Coping with salinity in irrigated agriculture: crop evapotranspiration and water management issues.

Agricultural Water Management, Amsterdam, v. 227, 105832, 20 Jan. 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105832>.

MOTA, L. H. da S. de O.; GOMES, A. da S.; VALLADARES, G. S.; MAGALHÃES, R. M. F.; LEITE, H. M. F.; SILVA, T. A. da. Risco de salinização das terras do baixo Acaraú (CE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 1203-1209, ago. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/QpCCPkmqhzGNTxwQNDhjjLC/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 maio 2021.

OLIVEIRA, W. S. N. de; LIMA, A. S.; RIBEIRO, R. B. dos S. Identificação de possíveis áreas salinizadas no perímetro irrigado de São Gonçalo utilizando o sensoriamento remoto. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aracaju, v. 9, n. 4, p. 362-378, abr./maio, 2018. Disponível em: <http://www.sustenerere.co/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2018.004.0029/1394>. Acesso em: 27 maio 2021.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos**. Madri: Editorial Agrícola, 1954. 160 p.

QADIR, M.; QUILLEROU, E.; NANGIA, V.; MURTAZA, G.; SINGH, M.; THOMAS, R. J.; DRECHSEL P.; NOBLE, A. D. Economics of salt-induced land degradation and restoration. **Natural Resources Forum**, Hoboken, v. 38, n. 4, p. 288-295, Nov. 2014. DOI <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12054>.

QUEIROZ, J. G.; ALVES, L. da S. F.; SILVA, J. B. Processos de degradação socioambiental: os impactos das atividades produtivas desenvolvidas no perímetro irrigado de São Gonçalo - Paraíba/Brasil. **Novos Cadernos NAEA**, Belém, v. 23, n. 3, p. 121-143, set./dez. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/7737/6745>. Acesso em: 15 maio 2021.

RHOADES, J. D.; LOVEDAY, J. G. Salinity in irrigated agriculture. *In*: STEWART, D. R.; NIELSEN, D. R. (ed.) **Irrigation of agricultural crops**. Madison: SSSA, 1990. p. 1089-1142.

RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, M.; JACOMINE, K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de; GOMES FILHO, E. (ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 9-15. Disponível em: <https://ppgea.ufc.br/wp->

[content/uploads/2018/04/manejo-da-salinidade-na-agricultura.pdf](#). Acesso em: 27 maio 2021.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.**

Washington: US Department of Agriculture, 1954. 160 p. (Agricultural Handbook, 60). Disponível em:

https://www.ars.usda.gov/ARSEUserFiles/20360500/hb60_pdf/hb60complete.pdf.

Acesso em: 27 maio 2021.

ROCHA NETO, O. C. da; TEIXEIRA, A. dos S.; LEÃO, R. A. de O.; MOREIRA, L. C. J.; GALVÃO, L. S. Hyperspectral remote sensing for detecting soil salinization using ProSpecTIR-VS aerial imagery and sensor simulation. **Remote Sensing**, Basel, v. 9, n. 1, 42, 6 Jan. 2017. DOI <https://doi.org/10.3390/rs9010042>. Disponível: <https://www.mdpi.com/2072-4292/9/1/42/pdf>. Acesso em: 27 maio 2021.

SALES, L. E. O.; FERREIRA M. M.; OLIVEIRA, M. S. de; CURI, N. Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 11, p. 2091-2095, nov. 1999. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/pab/a/KQQCcWbfKGgzgYGvYNRsr7B/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 27 maio 2021.

SANTOS, P. D. dos; CAVALCANTE, L. F.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S. de; GOMES, E. M. BEZERRA, F. T. C. Saline-sodic soil treated with gypsum, organic sources and leaching for successive cultivation of sunflower and rice. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v. 23, n. 12, p. 891-898, Dec. 2019. DOI <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n12p891-898>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/KBbXCXgJzXbW3HBybKzwR4C/?lang=en&format=pdf>. Acesso em: 29 maio 2021.

SHAHID, S. A.; ZAMAN, M.; HENG, L. Salinity and sodicity adaptation and mitigation options. In: ZAMAN, M.; SHAHID, S. A.; HENG, L. (ed.). **Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques**. Nova York: Springer, 2018. p. 55-89. Disponível em: <https://rd.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-96190-3.pdf>. Acesso em: 28 maio 2021.

SILVA, J. L. de A.; DUARTE S. N.; SILVA, D. D. da.; MIRANDA, N. de O. Reclamation of salinized soils due to excess of fertilizers: evaluation of leaching systems and equations. **Revista DYNA**, Medellín, v. 86, n. 210, p. 115-124, jul./set. 2019.

Disponível em: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v86n210/0012-7353-dyna-86-210-115.pdf>. Acesso em: 28 maio 2021.

SZABOLCS, I. Amelioration of soils in salt affected areas. **Soil Technology**, Amsterdam, v. 2, n. 4, p. 331-344, dec. 1989. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0933363089900019>. Acesso em: 27 maio 2021.

CAPÍTULO 4

Fontes de águas salobras no semiárido brasileiro: ocorrência e caracterização química

José A. Santos Júnior, Claudivan F. de Lacerda, Hans R. Gheyi

4.1 INTRODUÇÃO

As questões relacionadas ao uso da água vêm suscitando discussões nos diferentes setores da sociedade, sobretudo nos últimos anos, em que a pauta do debate público não tem se resumido à quantidade de água disponível para os diferentes fins, mas tem se fundamentado, também, em aspectos qualitativos e na sua associação com os usos compatíveis.

Essa necessidade de racionalização é ainda mais evidente no contexto do semiárido brasileiro, visto que as condições naturais por si só já alteram a qualidade das águas, principalmente em termos de salinidade (PALÁCIO *et al.*, 2011; HOLANDA *et al.*, 2016). Particularmente para as condições do semiárido brasileiro fica evidente que a prática da agricultura irrigada é limitada não apenas pela disponibilidade de água doce e de solos profundos, mas também pela salinidade de parte das fontes hídricas.

A agricultura irrigada é o setor da economia com maior demanda de água doce no mundo. Diante disso, o desafio tem sido desenvolver estratégias que proporcionem o aumento da eficiência de uso da água na produção de alimentos, envolvendo neste processo o uso de águas com “qualidade alternativa”, a exemplo

das águas residuárias e salobras, associado a adoção de práticas de manejo que garantam a sustentabilidade socioeconômica e ambiental.

Diante deste cenário, a utilização destas águas tem sido praticada em muitas regiões do mundo (BELTRÁN, 1999; OSTER; GRATTAN, 2002; MEDEIROS *et al.*, 2012), sobretudo, nas regiões áridas e semiáridas, cuja limitação quantitativa e, por vezes, qualitativa, faz do uso racional, um aspecto fundamental para sustentabilidade da agricultura irrigada.

As águas salobras ou salinas continentais podem ser obtidas nos lençóis subterrâneos e nas fontes superficiais, além das próprias águas residuárias. Essas águas, principalmente àquelas provenientes de poços, são utilizadas para os mais diversos fins, inclusive, são a base de políticas públicas que visam disponibilizar água potável para o consumo humano a comunidades difusas, mediante processos de dessalinização. O rejeito do processo de dessalinização, em certo limite, também pode ser considerado uma fonte de águas salobras.

Essas fontes de águas salobras podem também apoiar sistemas produtivos de diferentes escalas de tamanho, dependendo obviamente do fator disponibilidade e da concentração. No semiárido brasileiro, por exemplo, constata-se um elevado número de poços tubulares (SILVA, *et al.* 2007; CARDOSO *et al.*, 2008), cujas águas são amplamente utilizadas na irrigação, a exemplo do que ocorre na Chapada do Apodi (RN/CE), mas também, atendem processos produtivos pequenos e, por vezes, associadas a águas de pequenos e médios reservatórios, se constitui na principal fonte hídrica da comunidade (CARDOSO *et al.*, 2008).

Quanto ao aproveitamento agrícola das águas salobras, nos diferentes níveis e escalas em que possa ser utilizada, o êxito nos resultados está diretamente associado a seleção precisa de culturas tolerantes à salinidade, a escolha do meio de cultivo, ao desenvolvimento de estratégias adequadas de manejo da água, a

escolha do sistema de irrigação mais apropriado e ao uso de sistemas eficientes de drenagem agrícola (LACERDA *et al.*, 2021).

Nesse capítulo busca-se mostrar a ocorrência e caracterização química de águas salobras e salinas das fontes superficiais e subterrâneas do semiárido brasileiro, bem como se discute a composição e as causas do processo de acúmulo de sais nas fontes hídricas.

4.2 ENQUADRAMENTO DAS ÁGUAS NO BRASIL

No Brasil, em 8 de janeiro de 1997, foi criada a Lei nº 9.433, a Lei das Águas, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) (BRASIL, 1997). As instruções quanto ao enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, são explicitadas no Artigo 9º, que detalha seus objetivos nos seus incisos: “I - assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas; II - diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes”. Não obstante, no Artigo 10º tem-se que as classes de corpos de água serão estabelecidas pela legislação ambiental.

Neste sentido, a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento está disposta na Resolução 357 de 17 de março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, órgão vinculado ao Ministério do Meio Ambiente – MMA e, neste caso, dentre outras instruções colocadas por esta Resolução, tem-se:

- Art. 2º Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:
- I - águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰ (0,5 g L⁻¹);
 - II - águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰ (0,5 a 30 g L⁻¹);
 - III - águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰ (30 g L⁻¹);

Art.3º As águas doces, salobras e salinas do Território Nacional são classificadas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes de qualidade.

Parágrafo único. As águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigente, desde que este não prejudique a qualidade da água, atendidos outros requisitos pertinentes. (CONAMA, 2005).

4.3 CONTEXTO GEOLÓGICO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Dentre os diferentes fatores que influenciam a composição química das águas, pontuam-se questões peculiares do semiárido brasileiro como a disposição espaço-temporal e quantitativa da precipitação, a dinâmica dos processos de evapotranspiração e evaporação e, também, a estrutura geológica em que essas águas são conduzidas ou armazenadas. Desse modo, as características químicas das águas subterrâneas da região semiárida estão intrinsecamente relacionadas à formação geológica da região (OLIVEIRA; CAMPOS; MEDEIROS, 2010).

O contexto geológico do semiárido brasileiro é composto, principalmente, por rochas cristalinas, calcárias, arenitos e aluviões (Figura 1).

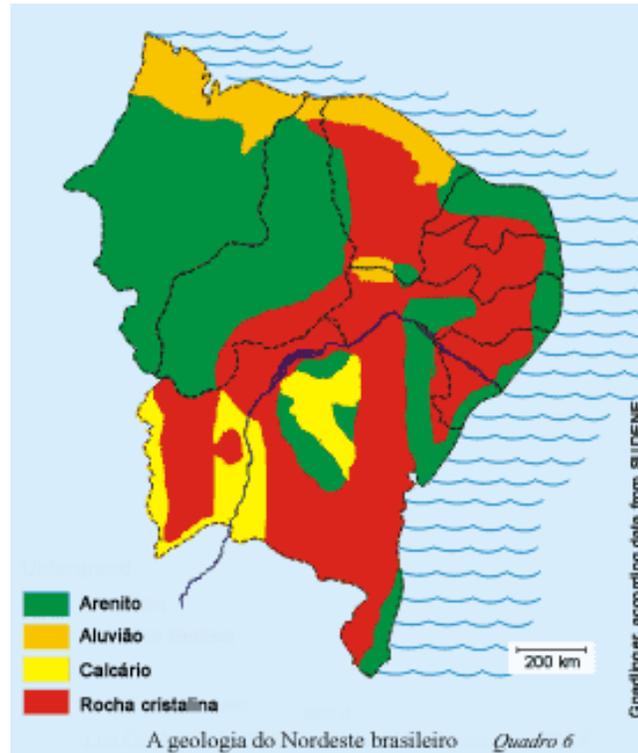


Figura 1 - A geologia do Nordeste brasileiro

Fonte: SCHISTEK, [2006-?].

O *arenito* e o *aluvião* representam uma estrutura sedimentar e se constituem em grandes reservatórios de água que, geralmente, possuem menor concentração de sais. No recorte semiárido, destaca-se o Arenito Açú, na Chapada do Apodi, no Ceará e Rio Grande do Norte.

O *embasamento calcário* é um eficiente acumulador de água, sobretudo, quando se compara ao cristalino. Destarte, Leprun (1983) destaca que águas oriundas de regiões sedimentares, de baixa salinidade, são principalmente bicarbonatadas, sulfatadas ou mistas, a exemplo das águas do aquífero Calcário Jandaíba que chegam a apresentar concentração de sais na ordem de 2000 mg L^{-1} (MEDEIROS, 1992; OLIVEIRA; MAIA, 1998).

As *rochas cristalinas* constituem cerca de 70% do embasamento geológico do semiárido brasileiro e, como a rocha que dá origem aos solos que a compõe está localizada, geralmente, próxima a superfície, na sua maioria, os solos são rasos e de

limitada capacidade de armazenamento de água (SUASSUNA, 2019). Por outro lado, as águas subterrâneas do embasamento cristalino, em geral, são cloretadas sódicas e apresentam, em grande parte, elevados teores de sólidos dissolvidos totais, em média, 2.000 mg L⁻¹ em 75% dos casos (FEITOSA; DINIZ, 2011).

4.4 CONCENTRAÇÃO E PREVALÊNCIA IÔNICA

A hidrogeologia do semiárido brasileiro impõe às águas, durante as etapas do ciclo hidrológico, uma série de processos físico-químicos que determinam a sua composição química (SILVA JÚNIOR; GHEYI; MEDEIROS, 1999). Durante estas diferentes etapas, processos de troca iônica conferem as águas, níveis correspondentes de concentração e influenciam a sua prevalência iônica (OLIVEIRA; MAIA, 1998; SILVA JÚNIOR; GHEYI; MEDEIROS, 1999). Neste sentido, os principais cátions verificados nas águas subterrâneas, principalmente àquelas provenientes do embasamento cristalino, são Na⁺, Ca⁺², Mg⁺² e o K⁺ e os ânions Cl⁻, CO₃⁻², HCO₃⁻, e SO₄⁻² (HOLANDA *et al.*, 2016).

Diversos estudos realizados em nível de Nordeste Brasileiro nas décadas de 1980 e 1990 (LEPRUN, 1983; LARAQUE, 1989; LEITE, 1991; MEDEIROS, 1992) sugerem que existe correlações altamente significativas entre diversas características químicas das águas, especialmente entre a concentração e a presença de certos íons. No entanto, as equações empíricas devem ser obtidas para cada tipo de fonte, resguardando assim, as diferenças entre elas.

Nas águas provenientes do cristalino e do sedimento calcário, verifica-se que a soma de cátions, os teores de Na⁺ e Cl⁻ tendem a aumentar com o incremento da condutividade elétrica da água; por outro lado, a soma Ca⁺² + Mg⁺² em águas provenientes do cristalino aumenta exponencialmente com o incremento da condutividade elétrica (CE), enquanto nas águas do sedimento calcário aumenta de forma linear (Tabela 1).

Tabela 1 - Correlações entre características químicas das águas provenientes do embasamento cristalino e do sedimento calcário.

| Relação | Origem | | | |
|------------|----------------------------------|----------------|------------------------|----------------|
| | Embasamento cristalino | | Sedimento calcário | |
| | Equação | R ² | Equação | R ² |
| RES x CE | RES = -13,6 + 643.CE | 0,980 | - | - |
| SCAT x CE | SCAT = -0,10 + 10,5.CE | 0,987 | SCAT = 4,46 + 7,34.CE | 0,867 |
| Ca+Mg x CE | Ca+Mg = 4,43.CE ^{0,906} | 0,903 | Ca+Mg = 4,56 + 4,75.CE | 0,773 |
| Na x CE | Na = 0,60 + 6,41.CE | 0,930 | Na = -0,20 + 2,60.CE | 0,813 |
| Cl x CE | Cl = -2,38 + 8,97.CE | 0,962 | Cl = -6,07 + 8,76.CE | 0,945 |

CE: condutividade elétrica da água; RES: residuo após evaporação; SCAT: soma de cátions.

Fonte: MEDEIROS, 1992, p. 80.

De acordo com SILVA, H. K. P.; SILVA, V. N. L.; SILVA, M. M. da (1999), quando em situações de baixas concentrações salinas ($CE < 750 \mu S \text{ cm}^{-1}$) os teores percentuais dos íons de Ca^{+2} encontram-se nos seus níveis mais elevados nas águas oriundas de diversos lugares do cristalino nordestino, próximo aos teores do Na^{+} ; no entanto, à medida em que as concentrações salinas das águas se elevam ($CE > 750 \mu S \text{ cm}^{-1}$) os níveis percentuais do Na^{+} tendem a crescer, enquanto os íons de Ca^{+2} decrescem, tornando as águas cada vez mais sódicas e menos cálcicas.

Por outro lado, dentre os outros fatores que afetam a concentração e a prevalência iônica da água, menciona-se o local de ocorrência, dinâmica hidrogeológica e, também, o período de coleta da amostra - chuvoso ou seco, como exemplificado em estudos realizados na Microrregião Catolé de Rocha no estado da Paraíba (COSTA; GHEYI, 1984). Os resultados desse estudo evidenciaram que no período seco e chuvoso, de modo geral, o Na^{+} predomina sobre o Ca^{+2} e Mg^{+2} . No período chuvoso, no entanto, os autores mencionam que houve predominância do Ca^{+2} e Mg^{+2} sobre o Na^{+} , principalmente quando as concentrações de HCO_3^- eram maiores que as de Cl⁻, fato ocorrido apenas em águas com salinidade baixa ($CE < 750 \mu S \text{ cm}^{-1}$).

4.5 OCORRÊNCIA E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE ÁGUAS SALOBRAS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Dado a limitada disponibilidade hídrica, o uso de águas salobras tem sido considerado como uma das alternativas para consolidação e o avanço de diferentes processos agropecuários em regiões áridas e semiáridas em todo o mundo. Neste cenário, práticas de gestão e manejo são fundamentais para se obter indicadores aceitáveis de sustentabilidade social, econômica e ambiental os quais se baseiam, dentre outras informações, em dados relacionados a ocorrência e a caracterização química das águas. Essas informações também podem ser utilizadas para subsidiar políticas públicas e influenciar os processos econômicos das diferentes regiões, potencializando ainda mais o aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis.

4.5.1 Águas superficiais

A estrutura geológica predominante em cerca de 70% do semiárido brasileiro, o embasamento cristalino, limita os processos relacionados à infiltração da água no solo e, por outro lado, favorece o escoamento superficial. Esse cenário culminou, sobretudo no “nordeste seco” em um quantitativo de cerca de 70.000 represas de pequeno, médio e grande porte, que totalizam um potencial de acúmulo na ordem de 37 bilhões de m³, destacando-se entre as regiões semiáridas do mundo (SUASSUNA, 2007).

Dentre os grandes sistemas de reservatórios do recorte semiárido brasileiro (Figura 2), foram catalogados pela Agência Nacional de Água - ANA (ANA, 2017) um total de 204 reservatórios, com capacidade total de armazenamento de 31.215 hm³ (equivalente a mais de 80% da capacidade de armazenamento existente no Semiárido) os quais são constituídos por grandes reservatórios, em que se verificam, em geral, águas com qualidade compatível com a irrigação, além de pequena variação na composição ao longo do ano (Tabela 2).

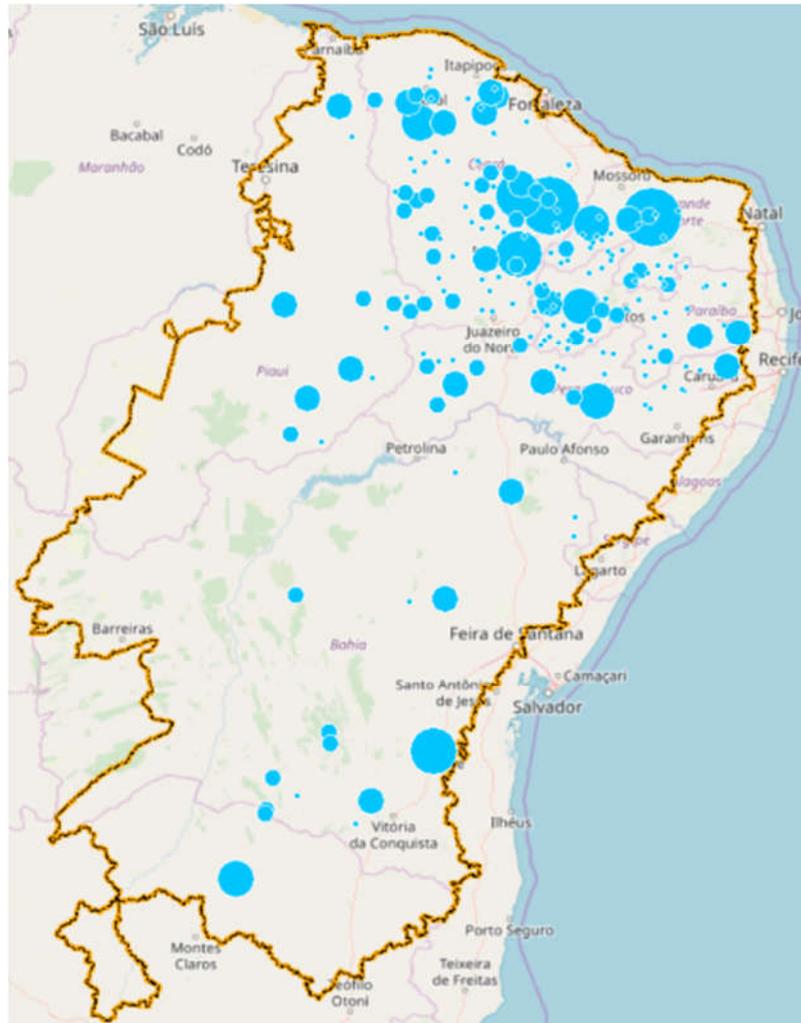


Figura 2 - Grandes, médios e pequenos reservatórios que representam 80% da capacidade de armazenamento do semiárido brasileiro, 2017.

Fonte: Adaptado de ANA, 2017, mapa digital.

Tabela 2 - Composição química das águas de grandes açudes situados dentro do recorte semiárido brasileiro

| Parâmetros | CE | pH | Cátions | | | | Ânions | | |
|----------------------|--------------------|------|-----------------------------------|------------------|------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| | | | Na ⁺ | Ca ⁺² | Mg ⁺² | K ⁺ | CO ₃ ⁻² | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ |
| Açude | dS m ⁻¹ | | mmol _c L ⁻¹ | | | | | | |
| Lago Sobradinho - BA | 0,16 | 8,6 | 0,84 | - | - | 0,80 | - | - | 3,50 |
| Armando Ribeiro - RN | 0,30 | 7,9 | 1,22 | 0,88 | 0,82 | 0,14 | 0,0 | 1,55 | 1,63 |
| Epitácio Pessoa - PB | 1,21 | - | 6,59 | 2,33 | 2,68 | - | - | 2,17 | 8,89 |
| Açudes Orós - CE | 0,40 | 7,9 | 1,86 | 0,56 | 1,16 | 0,43 | 0,0 | 2,8 | 0,77 |
| Buri-Frei Paulo - SE | 0,62 | 7,7 | 3,71 | 1,74 | 1,35 | 0,37 | - | - | 2,82 |
| Pau Ferro - PE | 0,79 | 7,47 | 3,67 | 1,52 | 1,90 | 0,54 | 0,0 | 1,3 | 0,08 |

Fonte: Elaborada com dados de MORAIS *et al.*, 1998; SILVA JÚNIOR *et al.*, 1999; LOBATO *et al.*, 2008; BARRETO; GARCIA, 2010; VIEIRA *et al.*, 2011; MEDEIROS *et al.*, 2012; SILVA NETA *et al.*, 2013; LIMA, 2020.

No recorte semiárido brasileiro, existem diversas fontes de água que são utilizadas na cadeia produtiva de diferentes atividades econômicas, dentre estas a agricultura. Neste sentido, barreiros, pequenos, médios e grandes açudes, constituem-se em importante e numerosa fonte hídrica superficial, sobretudo para propriedades e comunidades rurais alocadas de forma difusa no semiárido brasileiro, a exemplo do recorte semiárido do estado da Paraíba (Figura 3).

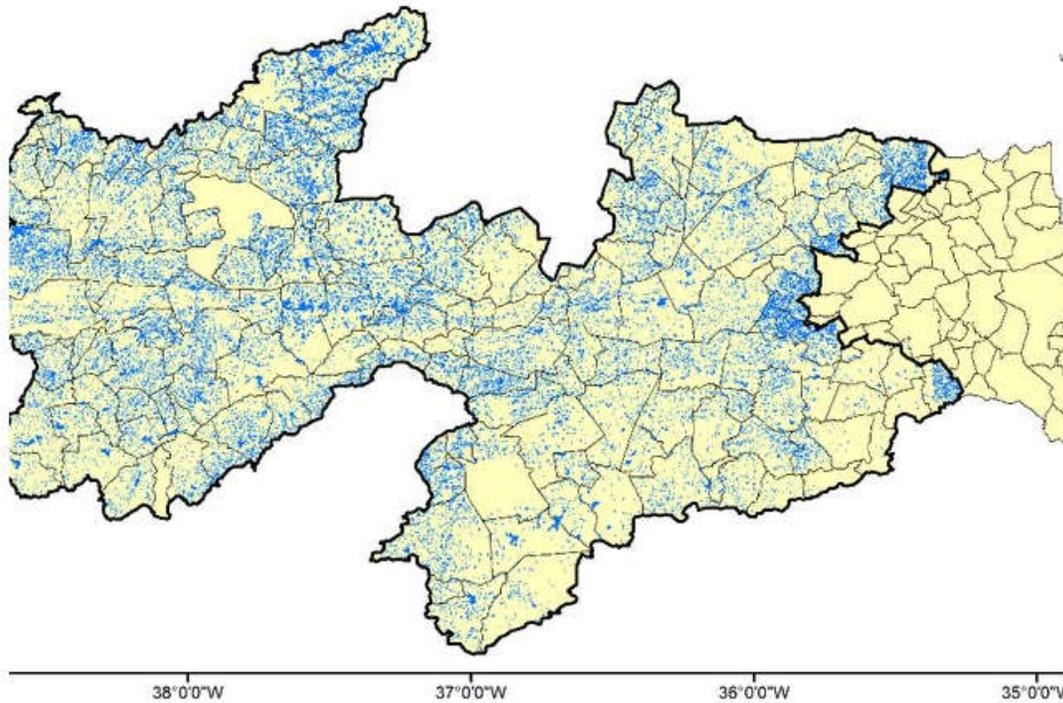


Figura 3 - Distribuição espacial dos açudes existentes na porção semiárida do estado da Paraíba, com base nos dados de 2014

Fonte: DANTAS, 2018, p. 77.

Nesta região, os períodos de estiagem prolongada, que são caracterizados por elevadas temperaturas e índices acentuados de evapotranspiração que, quando associados à maior demanda hídrica, influenciam a concentração, ou seja, há variação na composição das águas dos pequenos e médios açudes, da estação chuvosa para a seca, havendo aumento nas concentrações, em valores percentuais de Na^+ e Cl^- , enquanto o Ca^{+2} , K^+ , SO_4^{-2} e, principalmente, o HCO_3^- , diminuem relativamente na estação seca (LEPRUN, 1983). Na Tabela 3 estão apresentados os resultados de análises das águas de açudes de pequeno e médio porte.

Tabela 3 - Média das observações da composição química das águas de açudes de pequeno e médio porte localizados em municípios situados no semiárido brasileiro.

| Parâmetros | CE | pH | Cátions | | | | Ânions | | | |
|-----------------|--------------------|------|-----------------------------------|------------------|------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| | | | Na ⁺ | Ca ⁺² | Mg ⁺² | K ⁺ | CO ₃ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ |
| Município | dS m ⁻¹ | | mmol _c L ⁻¹ | | | | | | | |
| Canudos – BA | 0,18 | 7,60 | 0,31 | 1,30 | 0,70 | 0,28 | 0,00 | 2,07 | 0,15 | 0,03 |
| Ouricuri-PE | 0,14 | 7,50 | 0,27 | 0,84 | 0,64 | 0,37 | 0,00 | 1,68 | 0,27 | 0,02 |
| Congo-PB | 0,54 | 8,22 | 2,57 | 1,25 | 1,51 | 0,25 | 0,23 | 1,93 | 2,88 | 0,09 |
| Quixeré-CE | 1,75 | 6,70 | 4,50 | 8,90 | 4,30 | - | - | 5,20 | 10,6 | - |
| Simão Dias - SE | 2,40 | 7,90 | 10,34 | 7,10 | 7,80 | 0,22 | 0,76 | 0,32 | 19,04 | 2,92 |
| Caicó - RN | 1,44 | 8,3 | 9,01 | 0,39 | 1,14 | 0,58 | 0,30 | 2,35 | 3,40 | 0,01 |

Fonte: Elaborada com dados de PEREIRA *et al.*, 1992; SILVA JÚNIOR *et al.*, 1999; BRITO *et al.*, 2005; MENDES; CHAVES; CHAVES, 2008; FERNANDES *et al.*, 2009; MONTEIRO *et al.*, 2021.

Fica evidente, portanto, que o aumento da concentração salina das águas proporciona cada vez mais os teores de cloreto de sódio, em detrimento dos teores de bicarbonatos de cálcio e magnésio que tendem a precipitar em virtude da baixa solubilidade. Quanto aos fatores que afetam a concentração e a prevalência iônica, Leprun (1983) comenta que os níveis de salinidade e de Cl⁻ e Na⁺, de águas superficiais (riachos e açudes) variaram em função dos solos de suas bacias hidrográficas.

No Estado do Ceará, estudos conduzidos por Palácio *et al.* (2011) considerando as águas de quarenta e oito açudes, também verificaram a predominância de águas com baixa concentração de sais. A análise de agrupamento hierárquico formou quatro grupos distintos, sendo que nos grupos 1 e 2, que incluem cerca de 94% dos açudes estudados, verificou-se águas de baixa salinidade, definidas, principalmente, pelas condições naturais de solo e clima da região. Os valores médios da salinidade das águas dos grupos 1 e 2, foram 0,43 e 0,34 dS m⁻¹, respectivamente. Por outro lado, os grupos 3 e 4, que englobam apenas três açudes, as águas apresentam maior salinidade (valores médios de 1,04 e 2,15 dS m⁻¹,

respectivamente), sendo o acúmulo de sais associado às causas naturais e antrópicas.

4.5.2 Águas subterrâneas

Em estudo realizado por Feitosa (2008), considerando-se 18.600 valores de condutividade elétrica de águas de poços localizados no cristalino dos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, verifica-se a existência de zonas com predominância de água salgada e zonas com predominância de água doce e, entre estas regiões, uma faixa de transição com predominância de águas salobras (Figura 4).

Para fins de padronização, vale destacar que o intervalo de concentração de sais proposto por Feitosa (2008) para classificar as águas em doce, salobra e salgada difere do enquadramento verificado na Resolução 357/2005 do CONAMA (CONAMA, 2005). De acordo com esta resolução, as águas doces teriam uma CE de até $0,78 \text{ dS m}^{-1}$, as águas salobras $0,78 \leq \text{CE} \leq 37,5 \text{ dS m}^{-1}$ e as águas salinas uma CE superior a $37,5 \text{ dS m}^{-1}$.

Neste caso, as águas com CE inferior a $0,78 \text{ dS m}^{-1}$ dentro do intervalo de até $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ colocado por Feitosa (2008) como limite para água doce, seriam, também, pela Resolução 357/2005 do CONAMA, enquadradas como água doce, porém, todas as demais águas com CE superior a $0,78 \text{ dS m}^{-1}$ mencionadas por Feitosa (2008) com intervalo entre $1,0$ e $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ (salobra) e acima de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ (salgada) seriam, até o limite de $37,5 \text{ dS m}^{-1}$, enquadradas como águas salobras pela Resolução 357/2005 do CONAMA (CONAMA, 2005).

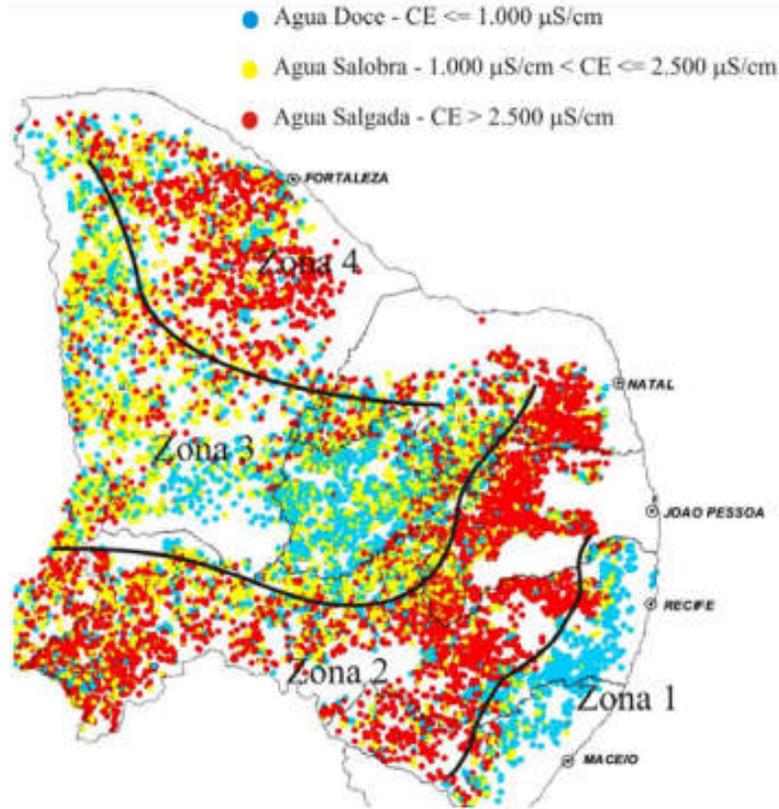


Figura 4 - Qualidade da água subterrânea no domínio das rochas cristalinas dos estados do CE, RN, PB e PE. Valores de condutividade elétrica medida *in loco* em poços tubulares

Fonte: FEITOSA, 2008. Adaptado de FEITOSA; DINIZ, 2011, p. 3.

Em função da concentração de sais nas águas, o autor estratifica a área (Figura 4) em quatro grandes zonas, a saber: Zona 1 – Predominância de água doce (Litoral Sudeste), Zona 2 – Predominância de água salgada (Faixa Nordeste-Sudoeste), Zona 3 – Predominância de água doce-salobra (Centro-Oeste) e Zona 4 – Predominância de água salgada (Norte-Noroeste). Não obstante, verifica-se na Figura 4 que nas áreas sob embasamento cristalino, dentro do recorte semiárido dos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, a presença de águas salobras e salgadas nos poços é ainda mais perceptível e pode ser verificada pela caracterização das águas de poços situados no recorte semiárido dos estados supramencionados.

No Estado do Ceará, em poços localizados no município de Tabuleiro do Norte (Tabela 4), verifica-se oscilação nos valores de CE, com máximo de 2,08 e mínimo de 0,25 dS m⁻¹. A faixa de variação do pH foi de 6,2 a 7,6. Em alguns casos, como nos poços “São Bento”, “Olho d’Água” e “Alto do Mendes” o teor de Ca⁺² foi superior ao de Na⁺, assim como nos poços “Olho d’Água” e “Alto do Mendes” o teor de HCO₃⁻ superou o de Cl⁻. O maior valor de RAS, no entanto, foi estimado para o poço “Várzea Grande” e, nos demais poços, os valores foram inferiores a 4,47 (mmol L⁻¹)^{0,5}.

Tabela 4 - Características químicas da água de poços situados no Calcário Jandaíra e Arenito Açu, Chapada do Apodi, Estado do Ceará.

| P | Cátions | | | | | | Ânions | | | | RAS (mmol L ⁻¹) ^{0,5} |
|---|--------------------------|-----|-----------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|
| | CE dS m ⁻¹ | pH | Na ⁺ | Ca ⁺² | Mg ⁺² | K ⁺ | Cl ⁻ | CO ₃ ⁻² | HCO ₃ ⁻ | SO ₄ ⁻² | |
| 1 | 0,25 | 6,6 | 21,8 | 45,6 | 24,1 | 16,3 | 95,3 | - | 77,9 | 5,2 | 0,65 |
| 2 | 1,02 | 7,1 | 53,4 | 90,4 | 41,8 | 24,8 | 148,4 | - | 455,6 | 27,8 | 1,16 |
| 3 | 0,70 | 7,6 | 55,1 | 69,4 | 42,2 | 14,8 | 112,7 | - | 299,8 | 18,0 | 4,47 |
| 4 | 1,16 | 6,2 | 60,6 | 32,4 | 34,0 | 34,3 | 214,2 | - | 57,0 | 54,6 | 3,93 |
| 5 | 2,08 | 7,3 | 159,1 | 100,8 | 177,9 | 13,2 | 744,6 | - | 254,8 | 31,1 | 21,80 |

P – Poço; 1 – São Bento; 2 – Olho d’Água da Bica; 3 – Alto do Mendes; 4 – Lagoa do Meio; 5 – Várzea Grande. Todos situados no município de Tabuleiro do Norte-CE, poços localizados no Calcário Jandaíra e Arenito Açu, Chapada do Apodi.

Fonte: Elaborada com dados de SANTIAGO *et al.*, 2008, p. 7; MEDEIROS *et al.*, 2003, p. 471.

No Estado do Rio Grande do Norte, nos poços amostrados nos municípios de Mossoró e Baraúnas, verificou-se uma CE média de 1,97, com pico de 2,98 dS m⁻¹; por outro lado, notou-se que em todas as amostras, o valor do pH foi inferior a 7,0. Nos poços com CE mais baixas - poço 1 (média dos poços Juremal, Sumidouro, Velame, Mata Burro e Baraúna) e o poço 2 (poço “Boa Água”), verificou-se que o teor de HCO₃⁻ superou o de Cl⁻, assim como notou-se que o teor de Ca⁺² foi superior ao de Na⁺ em todos os poços amostrados (Tabela 5).

Tabela 5 - Características químicas da água de poços situados no Calcário Jandaíra e Arenito Açú, Chapada do Apodi, Estado do Rio Grande do Norte.

| P | CE | pH | Cátions | | | | Ânions | | | | RAS |
|--------------------|------|--------------------|-----------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|
| | | | Na ⁺ | Ca ⁺² | Mg ⁺² | K ⁺ | Cl ⁻ | CO ₃ ⁻² | HCO ₃ ⁻ | SO ₄ ⁻² | |
| dS m ⁻¹ | | mg L ⁻¹ | | | | | | | | | (mmol L ⁻¹) ^{0,5} |
| 1 | 1,17 | 6,56 | 2,8 | 7,7 | 2,5 | - | 4,4 | - | 7,1 | - | 0,03 |
| 2 | 1,57 | 6,71 | 4,1 | 8,7 | 3,9 | - | 6,9 | - | 9,7 | - | 0,11 |
| 3 | 2,16 | 6,92 | 4,9 | 11,3 | 3,5 | - | 13,3 | - | 6,7 | - | 0,14 |
| 4 | 1,77 | 6,69 | 4,5 | 9,4 | 1,6 | - | 9,0 | - | 7,8 | - | 0,11 |
| 5 | 2,98 | 6,97 | 7,5 | 14,2 | 6,6 | - | 22,8 | - | 5,0 | - | 0,26 |

Fonte: MEDEIROS *et al.*, 2003, p. 471.

P – Poço; 1 – Juremal, Sumidouro, Velame, Mata Burro e Baraúna; 2 – Boa Água; 3 – Pau-Branco, Ibisa (Maisa) e União (Maisa); 4 – Mata Fresca; 5 – Paulicélia e Apodi. Todos os poços estão situados nos municípios de Mossoró e Baraúnas-RN, no Calcário Jandaíra e Arenito Açú, Chapada do Apodi.

A composição química das águas dos poços amostrados no CE e no RN (Tabela 5) é influenciada, dentre outros processos, pela hidrogeologia da Chapada do Apodi, região onde estão situados. A Chapada do Apodi é uma formação montanhosa localizada na divisa dos estados do Ceará e do Rio Grande do Norte (Figura 5). Nesta região, durante o processo de infiltração das águas, ricas em dióxido de carbono dissolvido, as rochas calcárias que compõem o Jandaíra ficam expostas a processos de hidrólise que determinam o tipo de fluxo subterrâneo, diferente do que ocorre em áreas sedimentares e em áreas de cristalino (SANTIAGO *et al.*, 2008).



Figura 5 - Localização da Chapada do Apodi, entre os estados do Ceará e do Rio Grande do Norte

Fonte: <https://www.visitfortaleza.com/ceara/map-ceara-fortaleza.html>. Mapa digital.

O processo de dissolução de carbonatos, dentre outros, impõe às águas armazenadas em formações calcárias características físico-químicas definidas e, neste sentido, são águas em que se verifica elevada dureza e saturação de calcita; assim como Medeiros (1992) e Oliveira & Maia (1998), entre outros autores, comentam que as águas do aquífero calcário apresentam concentrações de sais relativamente elevadas, podendo ser superior a 2000 mg L^{-1} .

Embora a maior parte do município de Pombal-PB e do semiárido brasileiro esteja sob embasamento cristalino (SUASSUNA, 2007), verifica-se que os valores de CE para os poços amostrados foram inferiores a $0,85 \text{ dS m}^{-1}$ e os valores de pH superiores a 7,4, com pico de 7,9. Nas águas do poço 4, inclusive, o teor de Ca^{+2} foi superior ao de Na^{+} assim como o teor de $\text{HCO}_3^{-} + \text{CO}_3^{-2}$ superou o de Cl^{-} no poço 1,

2, 4 e 5 (Tabela 6). Do ponto de vista hidrogeológico, no entanto, no município de Pombal-PB existem trechos sedimentares, ou seja, sedimentos do Grupo Barreiras e aluviões. Nestes pontos, verifica-se “faixas de potabilidade”, cuja principal característica é o baixo teor dos resíduos secos – sólidos solúveis dissolvidos (média de 300 mg L⁻¹).

Tabela 6 - Caracterização química da água de poços situados nos municípios de Pombal-PB

| P | Cátions | | | | | | Ânions | | | |
|---|--------------------|-----|-----------------|------------------|------------------|----------------|--------------------|---|-------------------------------|--|
| | CE | pH | Na ⁺ | Ca ⁺² | Mg ⁺² | K ⁺ | Cl ⁻ | HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ⁻² | SO ₄ ⁻² | RAS |
| | dS m ⁻¹ | | | | | | mg L ⁻¹ | | | (mmol L ⁻¹) ^{0,5} |
| 1 | 0,70 | 7,4 | 78,7 | 29,4 | 18,5 | 26,9 | 39 | 371,0 | 10,1 | 4,20 |
| 2 | 0,35 | 7,9 | 32,2 | 22,8 | 22,4 | 2,7 | 43 | 158,8 | 15,8 | 1,72 |
| 3 | 0,73 | 7,6 | 241,5 | 19,4 | 11,9 | 21,8 | 315 | 154,0 | 74,4 | 10,40 |
| 4 | 0,85 | 7,5 | 133,4 | 146,8 | 51,8 | 14,0 | 224,0 | 472 | 10,1 | 14,00 |
| 5 | 0,35 | 7,4 | 38,6 | 33,6 | 8,3 | 35,1 | 18 | 234,0 | 0,0 | 1,87 |

Fonte: AGOSTINHO *et al.*, 2008, p. 12.

P – Poço; Todos os poços amostrados estão situados no município de Pombal-PB.

As áreas de ocorrência do embasamento cristalino no estado da Paraíba, situa-se na parte central e oeste, mais seca, região em que cerca de 48% dos poços perfurados na porção cristalina semiárida do estado (região central e centro-ocidental) proporciona águas com resíduos secos acima de 2.000 mg L⁻¹. Em estudos conduzidos por Lima *et al.* (2007), baseados na análise dos resultados de 1.826 análises físico-químicas completas, os autores observaram que ocorre uma grande incidência de águas cloretadas-sódicas e cloretadas-mistas em toda a porção central, centro ocidental do estado - regiões de Sousa, Pombal e Brejo das Freiras.

As características que o embasamento cristalino proporciona às águas subterrâneas podem ser observadas nas amostras coletadas em poços perfurados no município de Ibimirim-PE. Neste sentido, verificou-se pico de 13,84 dS m⁻¹ na CE

e valores de pH entre 6,72 e 7,67, por outro lado, o teor de Na⁺ destacou-se entre os cátions assim como os valores de Cl⁻ se destacaram entre os ânions (Tabela 7).

Tabela 7 - Caracterização química da água de poços situados no município de Ibimirim-PE, sob predominância do embasamento cristalino

| P | Cátions | | | | | | Ânions | | | | |
|---|--------------------------|------|-----------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|
| | CE dS m ⁻¹ | pH | Na ⁺ | Ca ⁺² | Mg ⁺² | K ⁺ | Cl ⁻ | CO ₃ ⁻² | HCO ₃ ⁻ | SO ₄ ⁻² | RAS (mmol L ⁻¹) ^{0,5} |
| 1 | 1,67 | 7,23 | 176,86 | 90,09 | 71,66 | 2,73 | 349,7 | 52,85 | 361,24 | 133,4 | 17,60 |
| 2 | 3,30 | 6,72 | 295,27 | 207,48 | 147,8 | 37,0 | 1105 | 36,79 | 500,94 | 65,00 | 43,24 |
| 3 | 4,71 | 7,08 | 476,24 | 436,80 | 185,8 | 18,0 | 1927 | 118,8 | 689,70 | 47,40 | 89,45 |
| 4 | 5,88 | 7,39 | 665,44 | 300,30 | 202,9 | 10,5 | 2230 | 0,00 | 419,82 | 0,00 | 115,59 |
| 5 | 13,84 | 7,67 | 1283,89 | 60,06 | 1146 | 10,5 | 4893 | 82,07 | 755,04 | 137,6 | 391,75 |

Fonte: SOARES, 2018, p. 51.

P – Poço; 1 – Boi; 2 – Pousada; 3 – Agrovila; 4 – Fazenda Bruaquinha; 5 – Sítio Angicos. Todos situados no município de Ibimirim-PE.

A bacia sedimentar do Jatobá abrange aproximadamente 75% da área total do município de Ibimirim-PE (Figura 6), os 25% restantes localizam-se no domínio dos terrenos cristalinos, situados a norte da sede municipal, limitados pela falha de Ibimirim (ROCHA; LEITE, 2000). De modo geral, as águas do sistema de aquíferos do tipo intergranular apresentam qualidade físico-química compatível com os padrões de potabilidade; por outro lado, nas águas provenientes do aquífero fissural, verifica-se elevados níveis de concentração de sais (TEMÓTEO, 2000) a exemplo do verificado na Tabela 7.

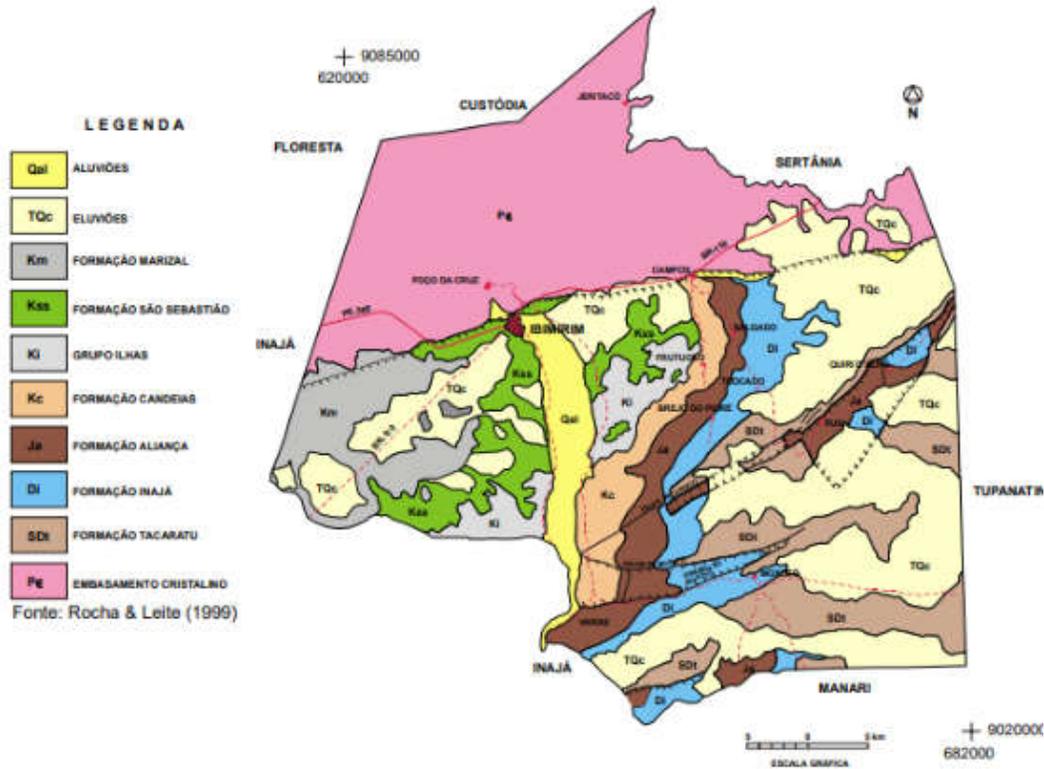


Figura 6 - Geologia do município de Ibimirim-PE (B)

Fonte: TEMÓTEO, 2000, p. 11. Adaptado de ROCHA; LEITE, 2000.

Em análise geral, segundo estatística obtida no Programa de Cadastramento de Poços do Serviço Geológico do Brasil, o percentual de água doce (dentro dos limites de potabilidade) na região do polígono das secas seria de apenas 20 a 30%, o que reduziria significativamente a produção de água (FEITOSA; DINIZ, 2011). Quanto ao aspecto qualitativo, Leprun (1983) destaca que águas oriundas de regiões sedimentares, de baixa salinidade, são principalmente bicarbonatadas, sulfatadas ou mistas, enquanto nas fissuras das rochas precambrianas do embasamento cristalino, com tendência a águas mais salinas, há predominância unicamente de águas cloretadas de sódio ou magnésio.

4.5.3 Rejeito de dessalinizadores

Conforme levantamento da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, existe um volume de 19,5 bilhões de m³ de água por ano a ser explorado do subsolo do semiárido brasileiro, sem esgotamento dos mananciais, quarenta vezes mais do que é explorado atualmente (SOARES *et al.*, 2006).

Apesar de serem reservas estratégicas, inclusive para o abastecimento de comunidades difusas pelo semiárido brasileiro, a limitação em questão está associada a amplitude do embasamento cristalino que abrange cerca de 70% do semiárido brasileiro e a salinização das águas subterrâneas pelo contato com este tipo de rocha, tornando-as incompatíveis com o consumo humano (CARVALHO, 2000). Neste sentido, processos de dessalinização têm sido estimulados em diversos cenários do semiárido brasileiro, a exemplo do que ocorre em diversos municípios do Estado de Pernambuco (Figura 7).



Figura 7 - Localização dos municípios com dessalinizadores no Estado de Pernambuco.

Fonte: Adaptado de SILVA; SILVA; SILVA, 2015, p. 5.

Estima-se que estejam em funcionamento no semiárido brasileiro cerca de 3.000 equipamentos de dessalinização e a quantidade de rejeito produzida seja da

ordem de 40 a 70% do total de água salobra a ser dessalinizada (SOARES *et al.*, 2006). Essa eficiência e a concentração de sais do rejeito dependerá de fatores relacionados ao equipamento e a qualidade da água a ser dessalinizada. Em estudos realizados por Bezerra *et al.* (2019), os autores verificaram, por exemplo, os rejeitos com CE de 33,6; 15,94 e 11,08 dS m⁻¹ em Campina Grande, Boa Vista e Monteiro, respectivamente, todos municípios do Estado da Paraíba.

Expôr o rejeito a evaporação solar se adequa bem a pequenos módulos de dessalinização, enquanto que a logística de depositar o rejeito nos oceanos é limitada pela localização dos poços. A injeção do rejeito em poços profundos, embora prevista na Resolução CONAMA n° 396/2008 (CONAMA, 2008), é uma prática sugerida para grandes projetos de dessalinização, a exemplo do que ocorre na Flórida-USA e em diversos países do mundo para plantas e/ou instalações de grande porte (acima de 1000 m³ h⁻¹),

No semiárido brasileiro, no entanto, tem-se adotado pequenos módulos de dessalinizadores baseados na tecnologia “osmose reversa” e grande parte dos sistemas de dessalinização tem aproveitado o rejeito no cultivo de tilápia e na irrigação de plantas forrageiras (DIAS *et al.*, 2021), assim como pesquisas realizadas na última década (SANTOS *et al.*, 2010; MORAES *et al.*, 2014) sugerem bons resultados no cultivo de hortaliças em sistemas hidropônicos. Pesquisa desenvolvida por Neves *et al.* (2017) no município de Pentecoste, Ceará, demonstrou que os rejeitos de dessalinizadores são empregados para irrigação de plantas em quintais, para o consumo animal ou são despejados no meio ambiente.

4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As águas superficiais contidas em grandes reservatórios, em geral, possuem baixa concentração de sais e sua composição química pouco varia ao longo do ano. Por outro lado, a qualidade das águas superficiais dispostas em reservatórios de

pequeno e médio porte é influenciada pela sazonalidade climática havendo aumento na concentração total de sais, face à redução do volume associada às altas taxas de evaporação, na estação seca.

Dentre outros aspectos, a questão hidrogeológica muito influencia a concentração e prevalência iônica das águas subterrâneas, com destaque para as maiores vazões e baixa concentração verificada nas águas provenientes das bacias sedimentares e baixas vazões e elevadas concentrações encontradas nas águas obtidas em poços locados no embasamento cristalino, que ocupa a maior área percentual do semiárido brasileiro.

O elevado número de fontes de águas salobras no semiárido brasileiro, especialmente de águas subterrâneas, indica a possibilidade de seu emprego em diversas ações produtivas, com potencial para geração de alimentos, empregos e renda na zona rural. Estudos demonstram, por exemplo, a viabilidade técnica para cultivos em campo, incluindo forrageiras e produção de grãos, desde que sejam adotadas estratégias de manejo do sistema solo-água-planta de modo a evitar a degradação ambiental. Além disso, existem diversas outras atividades que exigem menos água, incluindo a hidroponia e a criação de peixes, as quais são promissoras para as comunidades rurais que dispõem dessas fontes de águas ricas em sais. Para todos os casos, o tipo e o tamanho do empreendimento dependerão, em grande parte, do nível de salinidade e do volume de água disponível.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Reservatórios do Semiárido Brasileiro:** Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação: relatório síntese. Brasília, DF: ANA, 2017. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/cc25b76-f711-41ea-a79e-c8d30c287e53>. Acesso em: 05 jul. 2021

AGOSTINHO, L. L.; CAVALCANTI, B.; NASCIMENTO, L. Qualidade das águas subterrâneas da Bacia do Piancó para uso municipal e de irrigação. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, 2008. Suplemento. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23817>. Acesso em: 05 jul. 2021

ANDRADE, S. O. A.; FRANCELINO, A. V. M.; CRISPIM, D. L.; SOUSA, E. P.; LIMA, A. G. Percepção ambiental do corpo docente e discente da modalidade EJA de uma escola estadual no município de Pombal-PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 11, n. 1. p. 1-9, 2016. DOI: 11.01.10.18378/rvads.v11i1.3974. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/3974?source=revista/index.php/RVADS/article/view/3974>. Acesso em: 05 jul. 2021

BARRETO, P. R.; GARCIA, C. A. B. Caracterização da qualidade da água do açude Buri–Frei Paulo/SE. **Scientia Plena**, Aracaju, v. 6, n. 9, p. 1-21, 2010. Disponível em: <https://www.scientiaplenua.org.br/sp/article/view/79/50>. Acesso em: 07 jul. 2021

BELTRÁN, J. M. Irrigation with saline water: benefits and environmental impact. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 40, p. 183-194, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(98\)00120-6](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(98)00120-6). Acesso em: 07 jul. 2021

BEZERRA, V. R.; LIMA, C. A. P. D.; MELO, V. S.; ALBUQUERQUE, M. V. C.; MONTERO, L. R. R. Reutilização de rejeito de dessalinizadores na Paraíba. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 5, n. 1, p. 105-116, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n1.105-116>. Acesso em: 07 jul. 2021

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Lei nº 9.433: Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 1997. 72 p.

BRITO, L. T. L.; ANJOS, J. B.; PORTO, E. R.; CAVALCANTI, N. B.; GNADLINGER, J.; XENOFONTE, G. H. S. Avaliação da qualidade das águas de açudes nos municípios de Petrolina e Ouricuri, PE e Canudos e Uauá, BA: estudo de caso. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 5., 2005, Teresina, PI. **Anais [...]**. Teresina: ABCMAC; Governo do Estado do Piauí; Embrapa Semi-Árido; IRPAA; ASA, 2005.

CARDOSO, F. B. F.; OLIVEIRA, F. R.; NASCIMENTO, F. S.; VARELLA NETO, P. L.; PEDRO MAURY FLORES, P. M. Poços tubulares construídos no Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, 2008. Suplemento. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23806/15871>. Acesso em: 07 jul. 2021

CARVALHO, P. Água potável via energia solar. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 158, p. 72-74, 2000.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução CONAM nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 mar. 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, n. 66, 07 abr. 2008.

COSTA, R. G.; GHEYI, H. R. Variação da qualidade da água de irrigação da Microregião de Catolé do Rocha - PB. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, p. 1021-1025, 1984.

DANTAS, J. **Gestão da água, gestão da seca: a centralidade do açude no gerenciamento dos recursos hídricos do semiárido**. 2018. 135 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, João Pessoa, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-13-Distribuicao-espacial-dos-acudes-existent-na-porca-semiaridado-estado-da_fig2_329192093. Acesso em: 6 jul. 2021.

DIAS, N. S.; SOUZA, A. C. M.; FERNANDES, C. S.; SARMENTO, J. D. A.; SILVA JÚNIOR, C. C. Uso de rejeito salino para a produção de tilápias e forrageiras. **Revista Científica de Produção Animal**, Areia, v. 23, n. 1, p. 47-51, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/2176-4158/rcpa.v23n1p47-51>. Acesso em: 07 jul. 2021

FEITOSA, F. A. C. **Compartimentação qualitativa das águas subterrâneas das rochas cristalinas do Nordeste oriental**. Recife: Departamento de Engenharia Agrícola, UFPE. Proposta de Tese de Doutorado, 2008.

FEITOSA, F. A. C.; DINIZ, J. A. O. Água subterrânea no cristalino da região semiárida brasileira. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, 2011. Suplemento. Trabalho apresentado no 2º Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo. São Paulo, 2011. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28026/18153>. Acesso em: 08 jul. 2021

FERNANDES, J. G.; FREIRE, M. B. G. S; CUNHA, J. C.; GALVÍNCIO, J. D.; CORREIA, M. M.; SANTOS, P. R. Qualidade físico-química das águas utilizadas no Perímetro Irrigado Cachoeira II, Serra Talhada, Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, p. 27-34, 2009. DOI: 10.5039/agraria.v4i1a5. Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/ojs2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=10.5039%2Frbca.2009.213>. Acesso em: 08 jul. 2021.

HOLANDA, J. S. de; AMORIM, J. R. A. de; FERREIRA NETO, M.; HOLANDA, A. C. de; SÁ, F. V. da S. Qualidade da água para irrigação. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (ed.) **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade – INCTsal, 2016. p. 35-50.

LACERDA, C. F.; GHEYI, H. R; MEDEIROS, J. F.; COSTA, R. N. T.; SOUSA, G. G.; LIMA, G. S. Strategies for the use of brackish water for crop production in northeastern Brazil. *In*: TALEISNIK, E.; LAVADO, R. S. (org.). **Saline and alkaline soils in Latin America: natural resources, management and productive alternatives**. Cham: Springer, 2021 p. 71-99.

LARAQUE, A. **Estudo e previsão da qualidade de água de açudes do Nordeste semi-árido brasileiro**. Recife: SUDENE, 1989. 95 p. (SUDENE. Série Hidrológica, 26).

LEITE, I. M. **Caracterização da qualidade da água superficial na Bacia Capilê-AL para fins de Irrigação**. 1991. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1991.

LEPRUN, J. G. **Primeira avaliação das águas superficiais do Nordeste. Relatório de fim de convênio de manejo e conservação do solo do Nordeste**. Recife: SUDENE, 1983. p. 91-141. Convênio SUDENE/ORSTOM.

LIMA, E. A.; NASCIMENTO, D. A.; BRANDÃO, L. C. R.; GUILERA, S. C.; ALVES, W. S. Mapa de hidroquímica dos mananciais subterrâneos do Estado da Paraíba. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, 2007. Suplemento. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22160>. Acesso em: 08 jul. 2021.

LIMA, R.B. **Qualidade da água para consumo humano e irrigação no município de Orós-CE**. 2020. 58 f. Monografia (Graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Agronomia, Mossoró, 2020.

LOBATO, F. A. O.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; CRISOSTOMO, L. A. Sazonalidade na qualidade da água de irrigação do Distrito Irrigado Baixo Acaraú, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 167-172, 2008. Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/download/42/317>. Acesso em: 07 jul. 2021.

MEDEIROS, J. F. de. **Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo “GAT” nos Estados do RN, PB e CE**. 1992. 196 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1992.

MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R.; NASCIMENTO, I. B. Salinidade de solo e da água e seus efeitos na produção agrícola. *In*: GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; MEDEIROS, S. S.; GALVÃO, C. O. (org.) **Recursos hídricos em regiões semiáridas**. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, 2012. p. 189-222.

MEDEIROS, J. F.; LISBOA, R. A.; OLIVEIRA, M.; SILVA JÚNIOR, M. J.; ALVES, L. P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 469-472, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/Dnb8VYVLbhxCPvJ4ZTM5c4M/?format=pdf>. Acesso em: 08 jul. 2021.

MENDES, J. S.; CHAVES, L. H. G; CHAVES, I. B. Qualidade de águas para fins de irrigação da região do Congo, PB. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 2, p. 131-138, 2008.

MONTEIRO, A. S. C.; SILVA, E. L.; SILVA, R. R. M.; ALVES, J. P. H. Mecanismos que controlam as características das águas dos reservatórios do estado de Sergipe, Nordeste do Brasil. **Scientia Plena**, Aracaju, v. 17, n. 1, p. 1-16, 2021. DOI: 10.14808/sci.plena.2021.011701. Acesso em: 07 jul. 2021.

MORAES, D. P.; FERNANDES, A. L. M.; DIAS, N. S.; COSME, C. R.; SOUZA NETO, O. N. Rejeito salino e solução nutritiva em alface cultivada em sistema hidropônico. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 26, n. 3, p. 353-360, 2014.

MORAIS, E. R. C.; MAIA, C. E.; OLIVEIRA, M. de. Qualidade da água para irrigação em amostras analíticas do banco de dados do Departamento de Solos e Geologia da Escola Superior de Agricultura de Mossoró, RN. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 11, p. 75-83, 1998. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/2510>. Acesso em: 07 jul. 2021.

NEVES, A. L. R.; PEREIRA, M. A.; LACERDA, C. F.; GHEYI, H. R. Aspectos socioambientais e qualidade da água de dessalinizadores nas comunidades rurais de Pentecoste-CE. **Revista Ambiente e Água**, Tabauté, v. 12, p. 124-135, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/dWDsZRCXtKq3WXWDPDP84RF/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 07 jul. 2021.

OLIVEIRA, C. N.; CAMPOS, V. P.; MEDEIROS, Y. D. P. Avaliação e identificação de parâmetros importantes para a qualidade de corpos d'água no semiárido baiano. Estudo de caso: Bacia hidrográfica do Rio Salitre. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 5, p. 1059-1066, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000500010>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/q8fQVNC6cCPQDGWhhHPj9Rg/?lang=pt>. Acesso em: 07 jul. 2021.

OLIVEIRA, M.; MAIA, C. E. Qualidade físico-química da água para irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 17- 21, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v02n01p17-21>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/r3xqFxcZtb3mGmjKWJPCMTd/?lang=pt>. Acesso em: 05 jul. 2021.

OSTER, J.; GRATTAN, S. Drainage water reuse. **Irrigation and Drainage Systems**, Cham, n. 16, p. 297–310, 2002. DOI: <https://doi.org.ez11.periodicos.capes.gov.br/10.1023/A:1024859729505>. Acesso em: 05 jul. 2021.

PALÁCIO, H. A. Q.; ARAÚJO NETO, J. R.; MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE, E. M., SANTOS, J. C. N.; CHAVES, L. C. G. Similaridade e fatores determinantes na salinidade das águas superficiais do Ceará, por técnicas multivariadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 4, p. 395–402, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/BwRpzWwDCVnHKWJ6dpT6sLm/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 07 jul. 2021.

PEREIRA, F. A. M.; HOLANDA, J. S.; MEDEIROS, J. O. F.; BRITO, R. A. L. Qualidade de água para irrigação no Seridó-RN. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9., 1992. **Anais [...]**. Brasília: ABID, 1992.

ROCHA, D. E. G. A.; LEITE, J. F. **Estudo hidrogeológico da Bacia do Jatobá-PE: geologia**. Recife: CPRM, 2000. 20 p. (Série Hidrogeologia. Estudos e Projetos, 2). Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/2435/Estudo_hidrogeo_Jatoba_Geo.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 05 jul. 2021.

SANTIAGO, M. M. F.; SILVA, C. M. S. V.; FERREIRA, R. M. S.; MENDES FILHO, J.; TEIXEIRA, Z. A.; FRISCHKORN, H. A qualidade das águas subterrâneas usadas na irrigação da Chapada do Apodi. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, Suplemento, 2008. Suplemento. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23302/15395>. Acesso em: 08 jul. 2021.

SANTOS, R. S. S.; DIAS, N. S.; SOUSA NETO, O. N.; GURGEL, M. T. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra no cultivo da alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema hidropônico NFT. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000400026>. Acesso em: 08 jul. 2021

SCHISTEK, H. **A água no semiárido brasileiro**. Juazeiro: IRPAA, [2006-?]. Disponível em: <https://irpaa.org/ebookbr/page6.htm>. Acesso em: 05 jul. 2021.

SILVA, F. J. A.; ARAÚJO, A. L.; SOUZA, R. O. Águas subterrâneas no Ceará: poços instalados e salinidade. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 28, n. 2, p. 136-159, 2007.

SILVA, H. K. P.; SILVA, V. N. L.; SILVA, M. M. da. Projeto de recuperação e manutenção de dessalinizadores de água subterrânea no semiárido do estado de Pernambuco. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, 2015. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28274>. Acesso em: 05 jul. 2021.

SILVA JÚNIOR, L. G. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 11-17, 1999. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br/revista/v3n1/011.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2021.

SILVA NETA, C. R.; SILVA, A. P.; MENEZES, F. J. S.; MENDES, A. M. S.; SILVA, P. T. S. Avaliação da qualidade da água para fins de irrigação na região de Entorno do Lago de Sobradinho. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, 27., 2013, Goiânia. **Saneamento, ambiente e sociedade: entre a gestão, a política e a tecnologia**. Rio de Janeiro: ABES, 2013. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/90620/1/Paula-Tereza-1.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2021.

SOARES, H. R. **Cultivo de couve-flor em sistema hidropônico NFT utilizando águas salobras**. 2018. 117 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

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**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 730–737, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/LWX7MTdbcWPVxSChpjGrZdd/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 05 jul. 2021.

SOUZA, M. C. S.; ARAÚJO SEGUNDO NET, F. V.; RUFFO, C. L. M.; LIMA, R. C.; VIANNA, P. C. G. Análise espacial das tecnologias sociais hídricas no semiárido da Paraíba. *In*: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 2., 2015, Campina Grande. **Anais eletrônicos [...]**. Campina Grande: Realize Editora, 2015. Disponível em:

<https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/17189>. Acesso em: 18 jul.2021.

SUASSUNA, J. Convivência com o Semi-Árido. **FUNDAJ**, Recife, 2007. Disponível em: <https://www.fundaj.gov.br/index.php/artigos-joao-suassuna/10231-convivencia-com-o-semiarido-artigo-de-joao-suassuna>. Acesso em: 18 jul. 2021.

SUASSUNA, J. A salinidade das águas do nordeste Semiárido. **FUNDAJ**, Recife, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v3n1p11-17>. Disponível em: <https://www.fundaj.gov.br/index.php/artigos-joao-suassuna/9241-a-salinidade-de-aguas-do-nordeste-semi-arido>. Acesso em: 07 jul. 2021.

TEMÓTEO, J. W. C. **Base municipal de informações das águas subterrâneas – município de Ibimirim-PE**. Recife: CPRM, 2000. 18 p. (Série Hidrogeologia. Informações básicas, 20). Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/16663/1/relatorio01c.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2021.

VIEIRA, P. F.; PEREIRA, L. A.; BRITO, L. T. de L.; MELO, R. F. **Qualidade da água de dois açudes públicos do Município de Petrolina, PE**. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA SEMIÁRIDO, 6., 2011, Petrolina. Anais [...]. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. p. 49-55. (Embrapa Semiárido. Documentos, 238).

VISIT FORTALEZA. **Mapa do Ceará**. Natal, c2012. Disponível em: <https://www.visitfortaleza.com/ceara/map-ceara-fortaleza.html>. Acesso em: 18 jul. 2021.

CAPÍTULO 5

Cultivo de cana-de-açúcar em áreas salinizadas: seleção de cultivares tolerantes e manejo de irrigação

Welson L. Simões, A. Ramos de Oliveira, Alessandra M. Salviano, Miguel J. M. Guimarães, Jucicléia S. da Silva, Carlos R. S. de Oliveira

5.1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma das mais importantes culturas do cenário agrícola mundial, sendo amplamente cultivada em regiões semitropicais e tropicais. No Brasil, a espécie foi introduzida ainda no período colonial e tornou-se uma *commodity* que movimenta uma cadeia de elevado impacto econômico, social e ambiental. Atualmente, o país é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e, também, o maior produtor de açúcar e etanol (anidro e hidratado). Outrossim, os subprodutos e resíduos da atividade sucroalcooleira têm conquistado espaço e se destacam na cadeia produtiva, como é o caso do bagaço (resíduo obtido após a moagem dos colmos) e da palhada de cana-de-açúcar que podem ser utilizados na cogeração de energia (bioenergia), no processamento de ração para animais, ou serem utilizados como fonte de nutrientes na forma de fertilizantes (INÁCIO *et al.*, 2017; MANOCHIO *et al.*, 2017; OLIVEIRA; SIMÕES, 2020; SICA *et al.*, 2020).

De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, a produção nacional de cana-de-açúcar na safra 2020/2021 é de, aproximadamente, 655 milhões de toneladas de colmos em área cultivada de 8,6

milhões de hectares, com produtividade média de 76 Mg ha⁻¹ (CONAB, 2021). Entretanto, diferenças na quantificação da produção de colmos são observadas nas regiões brasileiras, sendo a região Sudeste responsável por 65% da produção total.

Neste contexto, o cultivo de cana-de-açúcar no Semiárido brasileiro, mais especificamente no Vale do Submédio do São Francisco, merece destaque, pois tornou-se referência internacional no cultivo de cana-de-açúcar irrigada, apresentando produtividades superiores à média nacional (OLIVEIRA *et al.*, 2014; SIMÕES *et al.*, 2015; SIMÕES *et al.*, 2018). As condições edafoclimáticas favoráveis ao crescimento e desenvolvimento da cultura sob condições irrigadas no Vale do Submédio do São Francisco constituem-se no principal diferencial do cultivo da cana-de-açúcar nesta região, que faz uso de irrigação e fertirrigação plena durante todo o ciclo produtivo. Todavia, a prática da irrigação em regiões semiáridas tem intensificado os processos de salinização do solo que já ocorrem naturalmente devido suas condições edafoclimáticas, destacando-se a baixa e irregular precipitação, a ocorrência de solos rasos, de baixa drenagem natural e ou solos ricos em minerais primários, pelo manejo inadequado da irrigação ou pelo uso de água de baixa qualidade (VASCONCELOS, 2014; CASTRO; SANTOS, 2020). Assim, considerando-se a extensão de solos salinos nas regiões semiáridas, principalmente em ambientes irrigados, faz-se necessário o desenvolvimento de tecnologias que permitam o uso desses solos ou de águas de baixa qualidade em sistemas de produção sustentáveis.

Alternativas para minimizar o problema causado pela salinização de áreas cultivadas com cana-de-açúcar na região semiárida constituem-se em objeto de trabalho de pesquisadores e estudiosos. Dentre elas, destacam-se a seleção e uso de cultivares de cana-de-açúcar mais tolerantes ao estresse salino e o manejo da irrigação com o uso de frações de lixiviação, as quais consistem na aplicação de

lâminas de água na irrigação superiores à demandada pela cultura, no intuito de retirar os sais do perfil do solo onde fica distribuído o sistema radicular da planta.

Assim, neste capítulo serão abordados a salinização dos solos da região semiárida; os efeitos do excesso de sais no crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar; e as alternativas para garantir a sustentabilidade da atividade canavieira em condições de estresse salino, por meio do uso de cultivares tolerantes ao estresse hídrico e um manejo eficiente da irrigação.

5.2 RISCOS DE SALINIZAÇÃO DOS SOLOS

Uma das principais características do Semiárido Tropical brasileiro, no que diz respeito à sua cobertura pedológica, de acordo com Cunha *et al.* (2008) e Cunha *et al.* (2010), é a heterogeneidade das condições de ambientes e de paisagens. Segundo os mesmos pesquisadores, a interação entre os diversos materiais de origem, relevo e regime hídrico resulta na presença de diferentes classes de solos, destacando-se grandes extensões de solos jovens, e também alguns ambientes com solos mais evoluídos e profundos. Considerando-se esta complexidade de paisagens, deve-se entender que o solo, a vegetação e o clima coexistem num equilíbrio dinâmico, que pode ser alterado pela mudança do uso da terra (CUNHA *et al.*, 2008; CUNHA *et al.*, 2010).

Na região de Petrolina-Juazeiro, região do Vale do Submédio São Francisco, considerada pólo de desenvolvimento agrícola da região Nordeste do Brasil, os grandes projetos de irrigação estão implantados, principalmente, nas áreas de baixos platôs e em áreas com terrenos arenosos devido à proximidade com o rio e pela topografia plana que domina nestas áreas, favorecendo o manejo das culturas e da água (OLIVEIRA NETO *et al.*, 2013).

No entanto, as condições geoambientais de algumas áreas irrigadas apresentam fragilidade intrínseca, devido às características dos solos e da

paisagem, podendo intensificar problemas ambientais como a salinização quando submetidos a manejos intensivos. Entre as características que imprimem fragilidade aos agroecossistemas, segundo Oliveira Neto *et al.* (2015), estão as áreas de ocorrência de solos rasos, como os Neossolos Litólicos e os Planossolos com caráter nátrico ou solódico, os Vertissolos, os Cambissolos e os Luvisolos.

A baixa profundidade efetiva desses solos, associados ao uso de irrigação, pode proporcionar uma elevação mais rápida do lençol freático, e, conseqüentemente, uma ascensão de sais por capilaridade, incrementando a salinidade em camadas mais superficiais do solo, próximas ao sistema radicular das plantas. Além disso, alguns deles já têm problemas de salinização natural, pois ocorrem em condições imperfeitas de drenagem, como os Planossolos, alguns Vertissolos e alguns Cambissolos Flúvicos e/ou com caráter vértico.

A riqueza em minerais primários presente na matriz de alguns desses solos também pode ser um fator de aceleração da salinização, pela intensificação dos processos de intemperismo. Corrêa *et al.* (2003) e Mota e Oliveira (1999) destacam que, em ambiente semiárido, a presença de minerais primários do solo ricos em cálcio e sódio, associados à restrição de drenagem são os fatores condicionantes dos percentuais elevados de sódio em solos como os Vertissolos, Luvisolos, Planossolos e Neossolos flúvicos. Além desses, tem-se também os solos profundos, mas de textura essencialmente arenosa, como os Neossolos Quartzarênicos e Regolíticos; os Argissolos e os Latossolos, estes últimos, em geral, com textura franco arenosa na superfície e de coloração amarelo ou vermelho-amarelo, como os Argissolos arênicos e espessarênicos e os Latossolos psamíticos (OLIVEIRA NETO *et al.*, 2015). Esses solos, na sua grande maioria, apresentam características que lhes conferem elevada suscetibilidade à degradação física, química e/ou biológica e requerem estratégias especiais de manejo e conservação para o uso sustentável, principalmente em agroecossistemas irrigados, onde a mecanização e a aplicação

de elevadas lâminas de irrigação e altas taxas de insumos podem superar a capacidade de adsorção do solo e, assim, promover perdas por lixiviação, aumentando os custos de produção e os riscos de contaminação de águas subsuperficiais e até a salinização dos mesmos (OLIVEIRA NETO *et al.*, 2015).

Assim, fatores como ausência ou deficiência de drenagem, elevação do lençol freático e manejo inadequado do solo e da água, podem acarretar em acúmulo de sais no solo (RIBEIRO *et al.*, 2016). Essa condição é caracterizada por duas propriedades únicas: baixos potenciais osmóticos e elevadas concentrações de Na e outros íons específicos (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , etc.), que podem ser tóxicos às plantas (TOPPA; BRAMBILLA, 2011). O processo de salinização se dá, em áreas agrícolas irrigadas, principalmente, pelo uso de água de má qualidade, deficiência de drenagem e do uso excessivo de água de irrigação e de fertilizantes, sendo que a salinidade e a sodicidade do solo são os principais fatores limitantes da produtividade das culturas (PEDROTTI *et al.*, 2015; WANG *et al.*, 2008).

O excesso de sais solúveis provoca a redução do potencial osmótico do solo, reduzindo a absorção de água pelas plantas e, conseqüentemente, prejudicando o seu desenvolvimento. Deve-se destacar também que, quando a salinidade está associada ao excesso de sódio trocável no complexo de troca do solo, o mesmo pode comprometer a sua qualidade física, refletindo diretamente no grau de estabilização de seus agregados devido à dispersão das argilas.

5.3 EFEITO DA SALINIDADE NO DESENVOLVIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR E SELEÇÃO DE CULTIVARES TOLERANTES AO ESTRESSE SALINO

Os efeitos dos sais sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas é variável em função da espécie, da quantidade e do tipo de sal presente no solo ou na água de irrigação, do estágio de desenvolvimento fenológico, do estado

nutricional da planta, da tolerância ao estresse salino expressada por cultivares, da taxa de evapotranspiração e, principalmente, do manejo da irrigação no que tange à disponibilidade e qualidade da água aplicada (BRINDHA *et al.*, 2021; DIAS *et al.*, 2016). Assim, o efeito da salinização sobre as plantas é considerado um fenômeno extremamente complexo, envolvendo alterações morfológicas (BRAZ *et al.*, 2019; TARGINO *et al.*, 2017), fisiológicas (LIRA *et al.*, 2018) e bioquímicas (SIMÕES *et al.*, 2019).

A cana-de-açúcar é uma cultura relativamente tolerante a estresses abióticos, pois sendo uma planta do tipo C4, apresenta elevada capacidade compensatória no processo fotossintético, desde que as condições de temperatura e umidade estejam ótimas, o que possibilita maior crescimento e maior eficiência no uso de água (SRIVASTAVA; KUMAR, 2020). No entanto, os efeitos da salinidade podem afetar significativamente a produtividade da cultura, por isso, a compreensão dos processos fisiológicos envolvidos é fundamental para entender como as práticas agrícolas e como o ambiente nos quais as plantas são cultivadas afetam seu crescimento e desenvolvimento.

O primeiro e principal efeito dos sais nas plantas está relacionado ao potencial osmótico (ψ_o), que corresponde à presença de sais dissolvidos na solução do solo. As concentrações elevadas de sais no solo aumentam o efeito osmótico da solução aquosa, dificultando a absorção de água pelas raízes, causando deficiência hídrica nas plantas, desbalanceamento osmótico, fechamento estomático, toxidez iônica e danos ao citoplasma, afetando o crescimento e desenvolvimento das plantas (DIAS *et al.*, 2016; SINGH; SENGAR, 2020a; WATANABE *et al.*, 2020). É importante destacar que quanto mais salino for o solo ou a água de irrigação, menor é o potencial osmótico e, portanto, mais difícil será o processo de absorção de água. Nestas condições, mesmo que o solo esteja em sua capacidade de campo, com elevada umidade, a planta dificilmente conseguirá absorver a água. Além disso,

ainda sob salinidade excessiva, a planta aumenta o consumo de energia na tentativa de absorver água do solo e realizar os ajustes bioquímicos necessários para sobreviver em condição de estresse (RHOADES *et al.*, 2000).

Em estudos realizados com a cultura da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de salinidade, Lira *et al.* (2018) observaram que o aumento da salinidade da água de irrigação inibiu a condutância estomática, a transpiração e a fotossíntese das plantas, com redução linear na taxa e no potencial hídrico. Bernstein *et al.* (1993) citam a redução no crescimento foliar e, conseqüentemente, na área foliar disponível para a fotossíntese como uma das primeiras respostas das plantas submetidas ao estresse salino, que pode ocorrer, possivelmente, devido à inibição da expansão e à divisão das células nas regiões meristemáticas. Trabalhos demonstram que dependendo do grau de salinidade da solução do solo, a planta poderá sofrer com a plasmólise, onde ao invés de absorver, o vegetal perde água para o meio, que está mais concentrado em sais, provocando modificações no balanço nutricional, redução generalizada do crescimento, redução da área foliar, aumento da espessura das folhas, que tendem a apresentar coloração verde mais escura, sendo capaz de resultar em clorose e necrose, redução da produção e, às vezes, morte da planta (DIAS *et al.* 2016; JINDAL *et al.*, 1976; NEGRÃO *et al.*, 2017; CAVALCANTE *et al.*, 2010).

Segundo Ayers e Westcot (1999), a cana-de-açúcar é considerada moderadamente sensível à salinidade, cuja salinidade limiar é $1,7 \text{ dS m}^{-1}$ (MAAS; HOFFMAM, 1977). No entanto, segundo Plaut *et al.* (2000) e Meinzer *et al.* (1994), algumas cultivares podem tolerar até 8 dS m^{-1} . Rozeff (1995) encontrou redução no crescimento de cultivares de cana-de-açúcar com o aumento da salinidade e relatou que as plantas podem sobreviver até $10 - 15 \text{ dS m}^{-1}$ e que este fato depende da cultivar. Entretanto, considerando-se que esta resposta pode variar significativamente entre os materiais cultivados, uma das alternativas para a

sustentabilidade da atividade sucroenergética na região Semiárida pode ser a identificação de materiais mais tolerantes à salinidade, que possam ser cultivados em ambientes salinos, que se ajustem osmoticamente à salinidade e que alcancem rendimentos que justifiquem seus custos, estando esta condição associada ao adequado manejo do solo e da irrigação (DAKER, 1988). Vários outros trabalhos reportam a existência de diferenças na tolerância à salinidade entre as cultivares de cana-de-açúcar (SIMÕES *et al.*, 2018; SIMÕES *et al.*, 2021b; SINGH; SENGAR, 2020a; VASANTHA *et al.*, 2017).

A identificação de materiais tolerantes em programas de melhoramento genético da cultura da cana-de-açúcar é precedida pela caracterização de acessos do gênero *Saccharum* e por outros gêneros filogeneticamente próximos ao *Saccharum*, capazes de fornecer genes de elevado interesse para cruzamentos interespecíficos, como é o caso dos gêneros *Erianthus*, *Miscanthus*, *Sclerostachya* e do *Narenga* que juntos formam o denominado complexo *Saccharum* (ROACH; DANIELS, 1987; TODD *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2017; SIMÕES *et al.*, 2021b). Assim, o conhecimento de características biométricas e fisiológicas de acessos do complexo *Saccharum* em condições salinas é de fundamental importância para recomendação de materiais para uso em programas de melhoramento da espécie com vistas à obtenção de cultivares com tolerância à salinidade.

Em pesquisa realizada por Simões *et al.* (2021b), em acessos do complexo *Saccharum* submetidas a estresse salino, foi constatado que acessos de *Erianthus arundinaceus* apresentam maior taxa fotossintética, taxa de transpiração, altura de plantas e comprimento das folhas, indicando maior adaptabilidade ao estresse salino. Estudo de Augustine *et al.* (2015) demonstrou que o *E. arundinaceus* apresenta proteínas de choque térmico, conhecidas como HSPs, sendo que a expressão da proteína HSP70 tem papel relevante na tolerância ao estresse em plantas, tanto hídrico quanto salino.

Simões *et al.* (2019), estudando cultivares de cana-de-açúcar submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica, observaram que a cultivar RB867515 mantém a mesma taxa fotossintética com o aumento da salinidade, apesar de apresentar redução na condutância estomática, demonstrando relativa tolerância à salinidade. Lira *et al.* (2018) em estudo com a cultivar RB867515, concluíram que o incremento na salinidade da água de irrigação também inibiu a condutância estomática, porém, para o nível de salinidade utilizado, prejudicou a capacidade fotossintética das plantas. Segundo Inman-Bamber *et al.* (2005), a redução da condutância estomática é uma estratégia da cana-de-açúcar para evitar a desidratação das folhas. Tal fato foi observado por Simões *et al.* (2021b) em plantas de *S. officinarum* submetidas a níveis de salinidade, as quais reduziram sua condutância estomática, com consequente redução na absorção de água, o que sinaliza uma habilidade para minimizar a perda de água pela transpiração.

Outro fator que pode sinalizar a tolerância da cana-de-açúcar à salinidade está relacionada aos maiores teores de clorofila em plantas submetidas ao estresse salino, pois teores elevados favorecem a troca gasosa e contribuem para a adaptação das plantas às condições ambientais adversas (SIMÕES *et al.*, 2019), além de possibilitarem maior número de folhas, maior diâmetro de colmo e biomassa de cultivares tolerantes (SIMÕES *et al.*, 2016). No trabalho de Simões *et al.* (2019), as cultivares de cana-de-açúcar apresentaram diferenças no índice de clorofila, no entanto, o índice aumentou linearmente com o aumento da condutividade elétrica (Figura 1)

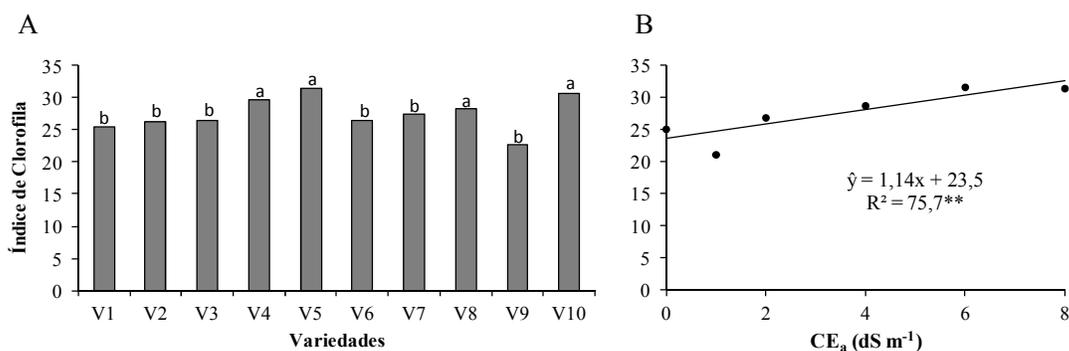


Figura 1 – Diferenças no índice de clorofila de cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao estresse salino.

Fonte: SIMÕES *et al.*, 2019

Em cultivo de cana-de-açúcar sob condições salinas, além do estresse osmótico e da toxicidade iônica dos sais que reduzem a absorção de água, há também a redução da absorção de elementos essenciais à nutrição da planta. O efeito da salinidade no potencial osmótico de plantas e sua influência sobre a absorção de nutrientes foi estudado por Vasantha *et al.* (2017) que constataram redução superior a 50% no teor de fósforo durante as fases de crescimento vegetativo da cultura; os teores de ferro e zinco também sofreram redução em decorrência da presença de sais no solo que interferiram no transporte ou absorção inadequada desses elementos, entretanto, o teor de sódio aumentou em plantas submetidas ao estresse salino.

A salinidade também afeta a dinâmica de produção de aminoácidos. A prolina, por exemplo, tem sido observada após a ocorrência de vários estresses, como a salinidade (SIRIPORNADULSIL *et al.*, 2002). De maneira geral, o conjunto dos aminoácidos livres totais e dos açúcares solúveis representam quantitativamente os solutos orgânicos mais importantes no ajustamento osmótico, além de conferir proteção às estruturas celulares (SILVEIRA *et al.*, 2016).

Estudo de Singh e Sengar (2020b) sob os efeitos da salinidade em cultivares de cana-de-açúcar, demonstrou que alguns materiais desenvolveram tolerância

moderada aos sais ao acumularem K^+ , prolina e açúcar, realizando um ajuste osmótico das células da folha, o que reduz o potencial osmótico e hídrico de uma planta tolerante em comparação com uma planta sensível (SINGH; SENGAR, 2020b). Segundo Ghoulam *et al.* (2002), a determinação da tolerância da cultura à salinidade pode ser realizada por meio do ajustamento osmótico, que é definido como a diminuição do potencial osmótico em resposta ao déficit hídrico ou à salinidade, devido à acumulação de açúcares, aminoácidos e íons orgânicos no vacúolo.

5.4 MANEJO DA IRRIGAÇÃO COM FRAÇÕES DE LIXIVIAÇÃO PARA SOLO SALINIZADO

A mitigação dos efeitos danosos da salinidade do solo nas áreas de cultivo pode ser realizada por meio da aplicação de uma quantidade de água de irrigação diferenciada. Esta técnica, caracterizada como fração de lixiviação, consiste em aplicar na irrigação uma lâmina de água além da necessitada pela cultura para que parte dos sais, proveniente da salinidade excessiva do solo ou da água utilizada na irrigação, se concentre abaixo da zona radicular (MANZOOR *et al.*, 2019; NING *et al.*, 2020), mantendo assim a salinidade do solo explorado pela cultura num nível que permita bons rendimentos e produção.

Avanços na tecnologia de irrigação, tais como sistemas de irrigação localizada (microaspersão e gotejamento), fornecem oportunidade para irrigar com valores baixos da fração de lixiviação (LETEY *et al.*, 2011) e com maior frequência de aplicação, tornando assim o método de irrigação seguro e sustentável. No geral, torna-se necessária a manutenção de um equilíbrio adequado entre o sal acumulado na zona radicular e o sal lixiviado para as águas subterrâneas, no sentido de reduzir o transporte de componentes químicos que degradem a qualidade das

águas subterrâneas, bem como promover um uso eficiente deste limitado recurso natural (CORWIN *et al.*, 2007).

Para se estimar a necessidade de lixiviação (NL), necessita-se conhecer tanto a salinidade da água de irrigação como a salinidade tolerada pela cultura e solo (RICHARDS, 1954; BARROS *et al.*, 2005). Tal necessidade é variável em virtude de o aumento da salinidade do solo reduzir a transpiração da planta e causar elevação do nível de água no perfil do solo, tendo como consequência, o aumento da condutividade hidráulica e da lixiviação (BRESLER, 1987). Segundo Duarte *et al.* (2015), a necessidade de lixiviação pode-se ser obtida conforme a Equação 1:

$$NL = \frac{CEi}{CEd} = \frac{d}{i}$$

Onde:

- NL – necessidade de lixiviação;
- CEi – condutividade elétrica da água de irrigação;
- CEd – condutividade elétrica da água de drenagem;
- hd – lâmina de água de drenagem; e
- hi – lâmina de água de irrigação.

Rhoades (1974) afirma que a Equação 1 pode ser utilizada para calcular a NL em cultivos com irrigação convencional. Já em sistemas com alta frequência de irrigação, Rhoades e Merrill (1976), sugerem outra equação, a qual leva em consideração a condutividade elétrica média do extrato do solo que a cultura tende a rendimento zero, conforme a Equação 2:

$$NL = \frac{CEa}{2CE \max}$$

Onde:

- NL – necessidade de lixiviação;
- CEa – condutividade elétrica da água de irrigação em $dS\ m^{-1}$;
- CE max – condutividade elétrica média do extrato do solo que a cultura tende a rendimento zero, em $dS\ m^{-1}$.

Outra forma, muito utilizada, de se calcular a lâmina de lixiviação, consiste na simples adição de uma porcentagem de lâmina de água sobre a lâmina de irrigação exigida pela cultura. Neste método, assume-se que as irrigações irão manter a umidade do solo na capacidade de campo, e que toda água adicionada a mais que a necessitada pela cultura irá percolar, levando consigo parte dos sais presentes no solo. Desta forma, a fração de lixiviação consiste na lâmina de água que atravessa e percola a zona radicular da cultura, sendo calculada pela Equação 3:

$$FL = \frac{Lx}{Ln}$$

Onde:

FL – fração de lixiviação

Lx - lâmina de lixiviação ou lâmina que percola abaixo da zona radicular

Ln - lâmina de irrigação necessária para satisfazer a demanda hídrica da cultura mais a lixiviação.

Tal metodologia já foi utilizada experimentalmente por vários autores no cultivo de diversas culturas, com a obtenção de resultados satisfatórios. Guimarães *et al.* (2016) ao utilizarem frações de lixiviação de até 15% no cultivo de sorgo forrageiro irrigado com água salina (cerca de 5 dS m⁻¹), verificaram aumento de até 25% na produtividade de biomassa seca das plantas. Simões *et al.* (2016) constataram que o uso de frações de lixiviação de até 15% no cultivo da beterraba proporciona melhor distribuição de sais no perfil do solo e, conseqüentemente, maior produtividade das plantas submetidas a esta forma de cultivo.

Em se tratando do cultivo de cana-de-açúcar irrigada, em solo salinizado no Semiárido brasileiro, Simões *et al.* (2021a) avaliaram a influência do uso de frações de lixiviação nas características produtivas de cultivares desta cultura e concluíram que as cultivares SP943206 e VAT90212 demonstram maior produtividade

utilizando-se a fração de lixiviação de 9,1 % nos dois ciclos de cultivo, chegando a 151,88 Mg ha⁻¹. Os autores demonstraram ainda que os maiores valores de eficiência do uso da água foram observados para a cultivar VAT90212 nos dois ciclos, também sob fração de lixiviação de 9,1 %, correspondente a lâmina de 110 % da ETc (Tabela 1). Os autores destacam que a redução da produtividade para maior lâmina aplicada (120 % da ETc) pode estar associada ao excesso de umidade no solo ou à lixiviação de nutrientes, demonstrando assim a importância de se conhecer o manejo correto da lâmina de irrigação a ser aplicada nesta forma de cultivo visando a sustentabilidade do sistema de produção. Deve-se destacar que o uso de cultivares de culturas com elevada eficiência do uso da água (EUA), conduz para uma agricultura mais sustentável Tayade *et al.* (2020).

Tabela 1 - Médias de produtividade e eficiência do uso da água (EUA) de duas cultivares de cana-de-açúcar em função do ciclo de cultivo e lâminas de irrigação, cultivadas em um solo salinizado na região do Submédio São Francisco.

| Lâmina (% ETc)* | Produtividade (Mg ha ⁻¹) | | EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹) | |
|--------------------|--------------------------------------|----------|---|----------|
| | Cana Planta | | | |
| | SP943206 | VAT90212 | SP943206 | VAT90212 |
| 100 | 120,75 | 90,86 | 73,53 | 55,33 |
| 110 | 141,75 | 151,88 | 78,47 | 84,07 |
| 120 | 112,00 | 99,25 | 56,84 | 50,36 |
| Cana Soca | | | | |
| 100 | 104,00 | 118,12 | 58,35 | 66,27 |
| 110 | 116,13 | 137,25 | 59,23 | 70,00 |
| 120 | 97,50 | 128,00 | 45,58 | 59,84 |

Fonte: Adaptado de SIMÕES *et al.*, 2021a.

*ETc - refere-se à evapotranspiração da cultura.

Segundo Simões *et al.* (2021a), o manejo da irrigação sem o uso da fração de lixiviação, para o cultivo da cana-de-açúcar em solo salinizado, proporciona menor número de folhas por planta e índice de área foliar, os quais são

consequências do estresse provocado pela salinidade. Lira (2016), ao estudar o efeito de frações de lixiviação no cultivo da cana-de-açúcar, também observou comportamento prejudicial da salinidade no índice de área foliar ao se aplicar apenas 100% da evapotranspiração da cultura (ETc) na irrigação.

No cultivo da cana-de-açúcar em um solo salinizado no Semiárido brasileiro, o uso da fração de lixiviação com água de boa qualidade proporciona a redução da CE e da porcentagem de sódio trocável (PST) no perfil do solo, onde há maior distribuição do sistema radicular (Figura 3), o que pode aumentar a disponibilidade do volume de solo para exploração das raízes das plantas, diminuindo assim o estresse provocado pelo acúmulo de sais.

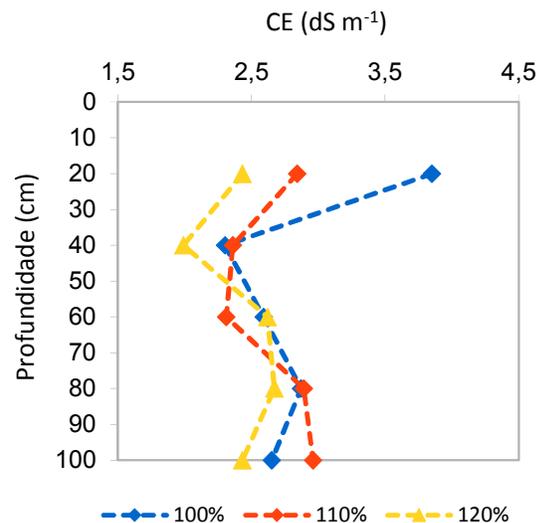


Figura 3 - Imagem dos sais no solo e comportamento da porcentagem de sódio trocável (PST) no perfil do solo após dois ciclos de cultivo com cana-de-açúcar, cultivar VAT9021, cultivada em Cambissolo salino utilizando diferentes lâminas de irrigação (100; 110 e 120% da evapotranspiração da cultura), Juazeiro-BA.

Outros trabalhos registram que o aumento da fração de lixiviação reduz a CE e o acúmulo de sódio trocável na camada superficial, além de promover melhor

distribuição de sais no perfil do solo, como observado no cultivo de amendoim (SANTOS *et al.*, 2012) e beterraba (SIMÕES *et al.*, 2016), comprovando que a lixiviação, resultante da passagem de água através do perfil, é uma prática eficaz para reduzir o excesso de sais solúveis na zona radicular das culturas.

Neste contexto, quanto ao manejo da irrigação, o uso da fração de lixiviação deve ser suficientemente adequado para prevenir acumulação de sais na zona radicular, mas sem excessos para que não haja elevação do lençol freático. Ou seja, a lâmina infiltrada de água deve ser suficiente para satisfazer as necessidades da cultura e proporcionar a lixiviação adequada, sem escoamento superficial nem percolação profunda excessiva.

Com relação a outras formas de manejo da irrigação para ambientes salinos, a escolha do momento certo para realização da irrigação pode evitar potenciais mátricos baixos da água do solo e como consequência concentrações relativamente mais elevadas dos sais próximos ao sistema radicular, o que tende a dificultar o desenvolvimento da cultura. Assim, deve-se destacar que irrigações mais frequentes, como geralmente utilizado nas irrigações localizadas, tendem a manter o movimento dos sais para fora da zona radicular.

Seguindo uma recomendação de Hoffman *et al.* (1992), o intervalo de irrigação deve ser diminuído quando se utiliza água salina na irrigação. Quando o solo perde água, ele seca pela ação da evapotranspiração, com isto, há uma diminuição do bulbo molhado formado devido à distribuição de água no solo. Assim, considerando-se que os sais se concentram na extremidade do bulbo molhado, a diminuição do mesmo, permite a reentrada dos sais na zona radicular, ficando em contato direto com as raízes e assim potencializando os efeitos deletérios da salinidade nas plantas.

Quanto às práticas do manejo, como os sistemas de irrigação localizada proporcionam concentrações elevadas de sais na superfície do solo e contorno do

bulbo, chuvas inesperadas podem mover os sais para dentro da zona radicular. Por isso, segundo Pizarro (1990), as irrigações devem ser manejadas durante ou após as chuvas para lixiviar os sais antes que crie situações de danos às culturas.

Considerando-se a forma de cultivo de cana-de-açúcar na região do Submédio São Francisco, com uma linha de irrigação por gotejamento subsuperficial, para duas fileiras de plantio de cana-de-açúcar, a escolha do espaçamento entre gotejadores torna-se uma etapa fundamental para o adequado manejo do cultivo em área salinizada. Para o plantio, Oliveira *et al.* (2013) recomendam o uso de espaçamentos de 0,50 m entre gotejadores para solos de textura média a argilosa e espaçamentos menores para solos de textura mais arenosa, no intuito de manter uma faixa molhada para abrigar o sistema radicular efetivo das plantas. A manutenção da faixa molhada torna-se fundamental uma vez que o sistema radicular é constante na faixa de plantio e a falha da faixa molhada faz com que os sais façam contato direto com as raízes, potencializando os efeitos danosos do mesmo para cultura.

5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do cultivo irrigado de cana-de-açúcar no Semiárido brasileiro merecer destaque, por apresentar produtividades superiores à média nacional, a prática inadequada da irrigação nesta região tem conduzido à salinização do solo, devido à baixa e irregular precipitação, associado a solos rasos e de baixa drenagem natural, ao excesso da água de irrigação aplicada, ou devido ao uso de água de irrigação de baixa qualidade. Dentre as práticas de manejo que podem ser utilizadas para mitigação dos efeitos danosos da salinidade do solo nas áreas de cultivo, recomenda-se a seleção de cultivares de cana-de-açúcar mais tolerantes ao estresse salino e o manejo da irrigação com o uso de frações de lixiviação, para que o excesso de sais seja transportado para abaixo da zona radicular da cultura,

mantendo assim a salinidade do solo explorado pela cultura num nível que permita bons rendimentos e produção. Recomenda-se ainda irrigações mais frequentes para ambientes salinos, como realizado em irrigações localizadas, o que tende a manter o movimento dos sais para fora da zona radicular. A redução do espaçamento entre gotejadores pode ser aconselhada, no intuito da formação e manutenção de uma faixa molhada durante o ciclo de cultivo, para que os sais não façam contato direto com as raízes, o que pode potencializar os efeitos danosos da salinidade para cultura.

REFERÊNCIAS

- AUGUSTINE, S. M.; NARAYAN, J. A.; SYAMALADEVI, D. P.; APPUNU, C.; CHAKRAVARTHI, M.; RAVICHANDRAN, V.; SUBRAMONIAN, N. *Erianthus arundinaceus* HSP70 (EaHSP70) overexpression increases drought and salinity tolerance in sugarcane (*Saccharum* spp. hybrid). **Plant Science**, Amsterdã, v. 232, p. 23-34, 2015.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de H. R. Gheyi, J. F. de Medeiros e F. A. V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p.
- BARROS, M. F. C.; FONTES, M. P. F.; ALVAREZ, V. V. H.; RUIZ, H. A. Aplicação de gesso e calcário na recuperação de solos salino-sódicos do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, n. 3, p. 320-326, 2005.
- BERNSTEIN, N.; SILK, W. K.; LÄUCHLI, A. Growth and development of sorghum leaves under conditions of Na/Cl stress. **Planta**, Nova York, v. 191, p. 433 – 439, 1993.
- BRAZ, R. S.; LACERDA, C. F.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; FERREIRA, J.F.S.; OLIVEIRA, A. C.; RIBEIRO, A. A. Growth and physiology of maize under water salinity and nitrogen fertilization in two soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, p. 907-913, 2019.

BRESLER, E. Application of conceptual model to irrigation water requirement and salt tolerance of crops. **Journal of the American Society for Soil Science**, [S. l.], v. 51, p. 788-793, 1987.

BRINDHA, C.; VASANTHA, S.; RAJA, A. K.; TAYADE, A. S. Characterization of the salt overly sensitive pathway genes in sugarcane under salinity stress. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 171, n. 4, p. 677-687, 2021.

CASTRO, F. C.; SANTOS, A. M. Salinity of the soil and the risk of desertification in the semiarid region. **Mercator**, Fortaleza, v. 19, p. 1-12, 2020.

CAVALCANTE, L. F.; CORDEIRO, J. C.; NASCIMENTO, J. A. M. do; CAVALCANTE, I. H. L.; DIAS, T. J. Fontes e níveis da salinidade da água na formação de mudas de mamoeiro cv. Sunrise solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 31, p. 1281-1290, 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB – **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar**, Brasília, DF, v. 8, n. 1, mai. 2021. Safra 2021/2022, Primeiro levantamento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acesso em: 07 jun. 2021.

CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; RUIZ, H. A.; MENDONÇA, Eduardo Sá. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das Várzeas de Sousa (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 311-324, 2003.

CORWIN, D. L.; RHOADES, J. D.; SIMUNEK, J. Leaching requirement for soil salinity control: steady-state versus transient models. **Agricultural Water Management**, [S. l.], v. 90, p. 165-180, 2007.

CUNHA, T. J. F.; PETRERE, V. G.; SILVA, D. J.; MENDES, A. M. S.; MELO, R. F. de; OLIVEIRA NETO, M. B. de; SILVA, M. S. L. da; ALVAREZ, I. A. Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (ed.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. cap. 2, p. 50-87.

CUNHA, T. J. F.; SILVA, F. H. B. B. da; SILVA, M. S. L. da; GIONGO, V.; SA, I. B.; OLIVEIRA NETO, M. B. de; CAVALCANTI, A. C. **Solos do Submédio do Vale do São Francisco: potencialidades e limitações para uso agrícola**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2008. 60 p. (Embrapa Semi-Árido. Documentos, 211).

DAKER, A. **A água na agricultura**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1988. 453 p. v. 3.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; SOUSA NETO, O. N. S.; QUEIROZ, Í. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. DA S.; LACERDA, C. F. DE; GOMES FILHO, E. (ed.) **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. cap. 11, p. 151-162.

DUARTE, S. N.; SILVA, Ê. F. de F.; MIRANDA, J. H. de.; MEDEIROS, J.F. de; COSTA, R. N. T.; GHEYI, H, R. **Fundamentos de drenagem agrícola**. Fortaleza, CE: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2015. 356 p.

GHOULAM, C.; FOURSRY, A.; FARES, K. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and praline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 47, p. 39–50, 2002.

GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; TABOSA, J. N.; SANTOS, J. E. D.; WILLADINO, L. Cultivation of forage sorghum varieties irrigated with saline effluent from fish-farming under semiarid conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 5, p. 461-465, 2016.

HOFFMAN, G. J.; RHOADES, J. D.; LETEY, J.; SHENG, F. Salinity management. *In*: HOFFMAN, G. J.; HOWELL, T. A.; SOLOMON, K. H. (ed.) **Management of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE; PAMELA De-Vore-Hansen, 1992. (ASAE Monograph, 9).

INÁCIO, J. G.; FERREIRA, M. D. A.; SILVA, R. C.; SILVA, J. D. L.; OLIVEIRA, J. C. V. D.; SANTOS, D. C. D.; CAMPOS, J. M. D. S. Sugarcane bagasse as exclusive roughage for dairy heifers. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 46, n. 1, p. 80-84, 2017.

INMAN-BAMBER, N. G.; BONNETT, G. D.; SMITH, D. M.; THORBURN, P. J. Sugarcane physiology: integrating from cell to crop to advance sugarcane production. **Field Crops Research**, Amsterdã, v. 92, p. 115-117, 2005.

JINDAL, P. C.; SINGH, J. P.; GUPTA, O. P. Studies on salt tolerance in mango-injurious effects of salt on young mango seedlings. **Prog. Hort.**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 65-71, 1976.

LETEY, J.; HOFFMAN, G. J.; HOPMANS, J. W.; GRATTAN, S. R.; SUAREZ, D.; CORWIN, D. L.; OSTER, J. D.; WU, L. Amrhein. Evaluation of soil salinity leaching requirement guidelines. **Agricultural Water Management**, Amsterdã, v. 98, p. 502-506, 2011.

LIRA, R. M. **Salinidade da água de irrigação e frações de lixiviação no cultivo da cana-de-açúcar**. 2016. 101 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2016.

LIRA, R. M.; SILVA, E. F.F.; BARROS, M. S.; GORDIN, L. C.; WILLADINO, L. G.; BARBOSA, R. F. Water potential and gas exchanges in sugarcane irrigated with saline waters. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, p. 679-682, 2018.

MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance: current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division of ASCE**, Nova York, v. 103, p. 115-134, 1977.

MANOCHIO, C.; ANDRADE, B. R.; RODRIGUEZ, R. P.; MORAES, B. S. Ethanol from biomass: a comparative overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 80, p. 743-755, 2017.

MANZOOR, M. Z.; SARWAR, G.; AFTAB, M.; TAHIR, M. A.; SABAH, N.; ZAFAR, A. Role of leaching fraction to mitigate adverse effects of saline water on soil properties. **Journal of Agricultural Research**, [S. l.], v. 57, n. 4, p. 275-280, 2019.

MEINZER, F. C.; PLAUT, Z.; SALIENDRA, N.C. Carbon isotope discrimination, gas exchange and growth of sugarcane cultivars under salinity. **Plant Physiology**, [S. l.], n. 104, p. 521-526, 1994.

MOTA, F. O. B.; OLIVEIRA, J. B. Mineralogia de solos com excesso de sódio no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 799-806, 1999.

NEGRÃO, S.; SCHMÖCKEL, M. S.; TESTER, M. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. **Annals of Botany**, Londres, v. 119, n. 1, p. 1-11, 2017.

NING, S.; ZHOU, B.; WANG, Q.; TAO, W. Evaluation of irrigation water salinity and leaching fraction on the water productivity for crops. **Internacional Journal of Agricultural and Biological Engineering**, [S. l.], v. 13, n. 1, p. 170-177, 2020.

OLIVEIRA, A. R.; BRAGA, M. B.; SANTOS, B. L. S. Produção de biomassa de cana-de-açúcar no Vale do São Francisco. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 29, n. 1, p. 27-38, 2014.

OLIVEIRA, A. R.; SIMÕES, W. L. Manejo e produção de palhada da cana-de-açúcar em um sistema irrigado por gotejamento subsuperficial para geração de bioetanol. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 35, n. 4, p. 516-530, 2020.

OLIVEIRA, A. R.; SIMÕES, W. L.; CALGARO, M. **Espaçamento e profundidade do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial em cultivo de cana-de-açúcar**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2013. (Instrução Técnica, 114).

OLIVEIRA, L. A. R.; MACHADO, C. A.; CARDOSO, M. N.; OLIVEIRA, A. C. A.; AMARAL, A. L.; MUNIZ, A. V. C. S.; LEDO, A. S. Genetic diversity of *Saccharum* complex using ISSR markers. **Genetics and Molecular Research**, Riberão Preto, v. 16, p. 1-10, 2017.

OLIVEIRA NETO, M. B. de; CUNHA, T. J. F.; NASCIMENTO, A. F. do; AMARAL, A. J. do; ALVES, E. da S.; MARQUES, F. A. Relação solo-geologia da área de estudo do projeto Fragissolos em Petrolina/PE. *In*: REUNIÃO NORDESTINA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1., 2013, Areia. Soluções de desafios para o uso sustentável dos solos da região Nordeste. **Anais [...]**. Areia: PPGCS; UFPB-CCA; SBCS, 2013. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA NETO, M. B. de; NASCIMENTO, A. F. do; MARQUES, F. A.; AMARAL, A. J. do; HERNANI, L. C.; CUNHA, T. J. F. Contribuição ao estudo de solos frágeis na Região Semiárida: Petrolina, PE. *In*: CASTRO, S. S. de; HERNANI, L. C. (ed.). **Solos frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. cap. 5, p. 111-133.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [S. l.], v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

PIZARRO, F. C. **Riego localizado de alta frecuencia: goteo, microaspersión, exudación**. 2. ed. Madrid: Mundi Prensa, 1990. 471 p.

PLAUT, Z.; MEINZER, F. C.; FEDERMAN, E. Leaf development, transpiration and ion uptake and distribution in sugarcane cultivars grown under salinity. **Plant Soil**, [s. l.], v. 218, p. 59-69, 2000.

RHOADES, J. D. Drainage for salinity control. *In*: VAN SCHILFGAARDE, J. (ed.). **Drainage for agriculture**. Madison: [s.n.]1974. p. 433-461. (Agronomy, 17).

RHOADES, J. D., MERRIL, S. Assessing the suitability of water for irrigation: theoretical and empirical approaches. *In*: **Prognosis of salinity**. Rome: FAO, 1976. p. 69-110. (FAO. Soil Bulletin, 31)

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **O uso de águas salinas para produção agrícola**. Tradução: GHEYI; H. R.; SOUZA, J. R.; QUEIROZ, J.E. Campina Grande: UFPB, 2000. 117 p. (Estudos da FAO: Irrigação e drenagem, 48).

RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. DA S.; LACERDA, C. F. DE; GOMES FILHO, E. (ed.) **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. cap.2, p. 9-16

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: USDA, 1954. 60 p. (Handbook, 60).

ROACH, B. T.; DANIELS, J. A review of the origin and improvement of sugarcane. *In*: COPERSUCAR. **Copersucar International Sugarcane Breeding Workshop**. São Paulo: Copersucar, 1987. p. 1-30.

ROZEFF, N. Sugarcane and salinity: a review paper. **Sugar Cane**, [s. l.], v. 5, p. 8–19, 1995.

SANTOS, D. B.; AFONSO, F. P.; GONÇALVES, O. F.; OLIVEIRA, B. R.; CARLOS, C. A.; OLIVA, C. M. A. Produção e parâmetros fisiológicos do amendoim em função do estresse salino. **Idesia**, Casilla, v. 30, n. 2, p. 69-74. 2012.

SICA, P.; CARVALHO, R.; DAS, K. C.; BAPTISTA, A. S. Biogas and biofertilizer from vinasse: making sugarcane ethanol even more sustainable. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, [s. l.], v. 22, n. 5, p. 1427-1433, 2020.

SILVEIRA, J. A.; SILVA, S. L.; SILVA, E. N.; VIÉGAS, R. A. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. DA S.; LACERDA, C. F. DE; GOMES FILHO, E. (ed.) **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. cap. 13, p.181-196.

SIMÕES, W. L.; CALGARO, M.; GUIMARÃES, M. J.; OLIVEIRA, A. R. DE; PINHEIRO, M. P. M. A. Sugarcane crops with controlled water deficit in the Sub-Middle São Francisco Valley, Brazil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, p. 963-971, 2018.

SIMÕES, W. L.; COELHO, D. S.; MESQUITA, A. C.; CALGARO, M.; SILVA, J. S. Physiological and biochemical responses of sugarcane varieties to salt stress. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, p. 1069-1076, 2019.

SIMÕES, W. L.; OLIVEIRA, A. R.; SALVIANO, A. M.; SILVA, J. S.; CALGARO, M.; GUIMARÃES, M. J. Efficient irrigation management in sugarcane cultivation in saline soil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 25, n. 9, p. 626-632, 2021a.

SIMÕES, W. L.; OLIVEIRA, A. R.; SILVA, J. S.; TORRES JUNIOR, V. G.; SILVA, W. O.; MORAIS, L. K. Characterization and gas exchange in accessions of *Saccharum* complex under salinity in the Sub-middle São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 25, p. 163-167, 2021b.

SIMÕES, W. L.; YURI, J. E.; GUIMARÃES, M. J.; SANTOS, J. E. D.; ARAÚJO, E. F. Beet cultivation with saline effluent from fish farming. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 1, p. 62-66, 2016.

SINGH, R.; SENGAR, R. S. Effect of salinity stress on morphological and yield attributes of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) genotypes. **International Journal of Chemical Studies**, Chhattisgarh, v. 8, n. 5, p. 2312-2316, 2020a.

SINGH, R.; SENGAR, R. S. Impact on proline content of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) under salinity stress. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, [s. l.], v. 9, n. 10, p. 3599-3605, 2020b.

SIRIPORNADULSIL, S.; TRAINA, S.; VERMA, D.P.S.; SAYRE, R.T. Molecular mechanisms of proline-mediated tolerance to toxic heavy metals in transgenic microalgae. **Plant Cell**, Oxford, v. 14, p. 1-11, 2002.

SRIVASTAVA, S.; KUMAR, P. Abiotic stress responses and tolerance mechanisms for sustaining crop productivity in sugarcane. **Agronomic Crops.**, Singapore, p. 29-47, 2020.

TARGINO, H. C. O.; SILVA, J. A. B.; SILVA, E. P.; AMORIM, M. N.; SEABRA, T. X. Soil salinization and its effects on morpho-physiological characteristics of sugarcane varieties. **Revista Geama**, Recife, v. 3, n. 4, p. 184-190, 2017.

TAYADE, A. S.; VASANTHA, S.; KUMAR, A. R.; ANUSHA, S.; KUMAR, R.; HEMAPRABHA, G. Irrigation water use efficiency and water productivity of commercial sugarcane hybrids under water-limited conditions. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 63, n. 1, p. 125-132, 2020. Doi:10.13031/trans.13548.

TODD, J.; WANG, J.; GLAZ, B.; SOOD, S.; AYALA-SILVA, T.; NAYAK, S. N.; GLYNN, N. C.; GUTIERREZ, O. A.; KUHN, D. N.; TAHIR, M. Phenotypic characterization of the Miami World Collection of sugarcane (*Saccharum* spp.) and related grasses for selecting a representative core. **Genetic Resources and Crop Evolution**, [s. l.], v. 61, p. 1581-1596, 2014.

TOPPA, E. V. B.; BRAMBILLA, W. P. O melhoramento de plantas e a salinidade dos solos. **Revista Verde**, Pombal, v. 6, n. 1, p. 21-25. 2011.

VASANTHA, S.; GOMATHI, R.; BRINDHA, C. Growth and nutrient composition of sugarcane genotypes subjected to salinity and drought stresses. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 48, n. 9, p. 989-998, 2017.

VASCONCELOS, M. C. C. A. Salinização do solo em áreas irrigadas: Aspectos físicos e químicos. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande, v. 10, p. 20-25, 2014.

WANG, Y. G.; XIAO, D. N.; LI, Y.; LI, X. Y. Soil salinity evolution and its relationship with dynamics of groundwater in the oasis of inland river basins: case study from the Fubei region of Xinjiang province, China. **Environmental Monitoring and Assessment**, [s. l.], v. 140, n. 1-3, p. 291-302, 2008.

WATANABE, K.; TAKARAGAWA, H.; UENO, M.; KAWAMITSU, Y. Changes in agronomic and physiological traits of sugarcane grown with saline irrigation water. **Agronomy**, [s. l.], v. 10, n. 5, p. 722, 2020.

CAPÍTULO 6

Agricultura bioassalina e uso de águas salobras na produção de forragem

Gherman G. L. de Araujo, Thieres G. F. Silva, Fleming S. Campos

6.1 INTRODUÇÃO

As zonas áridas e semiáridas ou sub úmidas são caracterizadas por chuvas baixas e irregulares de até 800 milímetros por ano, secas periódicas e diferentes associações de cobertura vegetal e solos. A precipitação interanual varia de 50-100% nas zonas áridas do mundo, com médias de até 350 mm. Nas zonas semiáridas, a precipitação interanual varia de 20-50% com médias de até 700 mm. No caso dos sistemas de subsistência, em geral, a pecuária é possível em áreas áridas e a agricultura de sequeiro normalmente não é possível. Já nas áreas semiáridas as safras agrícolas irregulares, entretanto, a pecuária é satisfatória (GOODIN; NORTHINGTON, 1985).

Quanto a produção animal, em particular, as distribuições de ruminantes em todo o mundo, se refletem de acordo com as condições eco climáticas, particularmente, na forma expressa pela disponibilidade de pastagem e de recursos hídricos. Os pequenos ruminantes (ovinos e caprinos) são mantidos ao longo de todos os agro-ecossistemas, incluindo as regiões pastoris de terras extremamente secas da África e Ásia. Ovinos e caprinos são muitas vezes mantidos juntos no mesmo rebanho. Os bovinos também são comuns em regiões semiáridas e zonas sub úmidas secas da África e da Ásia, sendo a Índia detentora do maior rebanho de

bovinos e búfalos e, globalmente, junto a países da América Latina, vem se transformando em grandes exportadores de gado. No semiárido brasileiro a pecuária de terras secas desponta como uma atividade extremamente relevante e a menos vulnerável às diversas condições edafoclimáticas.

Nessas regiões os pecuaristas dos sistemas de produção de caprinos, ovinos e bovinos, apresentam como um de seus maiores desafios a produção de forragem. Os fatores agrometeorológicos da região, naturalmente já apresentam uma adversidade que deve ser encarada com muito conhecimento, planejamento e organização, sempre atrelados aos ciclos hidrológicos característicos as áreas de produção. De fato, a irregularidade de precipitação inerente a região é o ponto de maior preocupação para os cultivos, que devem ter espécies com características biológicas que se adequem as flutuações pluviométricas, suas baixas disponibilidades e as diversas características de solos, que sempre serão pontos de inflexão para os cultivos.

Nesta perspectiva, o produtor deve selecionar espécies forrageiras que apresentem alta eficiência hídrica, ou seja, aquelas plantas que conseguem a máxima produtividade com o mínimo de chuva disponível. Estas espécies são fisiologicamente adaptadas as condições de estresse hídrico e podem na maioria das vezes obterem sucesso em seus cultivos, com crescimento e produtividades bem expressivas para os ambientes semiáridos.

Todavia, é comum que esse sucesso, nem sempre seja alcançado apenas com as precipitações e tipos de solos, logo se houver a possibilidade de algum aporte hídrico, seja de água doce ou salobra, essa não poderá deixar de ser adotada desde que sua disponibilidade e custo sejam compatíveis com os bons resultados.

Quanto a disponibilidade, ressalta-se que nessas regiões semiáridas, nos períodos prolongados de secas, as recargas dos corpos superficiais de água doce se tornam muito pouco prováveis, restando na maioria das vezes certas reservas de

águas dos aquíferos subterrâneos, que por sua vez apresentam em quase sua totalidade, nas regiões dos cristalinos, águas com certas condutividades elétricas, que são chamadas de águas salobras, que podem se tornar excelentes alternativas de aporte hídricos para algumas espécies, em condições críticas e extremas de falta de água.

O uso dessas águas salobras para produção de forragem na região semiárida, não é algo novo, todavia, as suas formas de utilizações são desprovidas de critérios técnicos o que pode levar os solos, à uma rápida salinização e saturação, destruindo todo seu potencial produtivo.

Entretanto, em muitas regiões do mundo, essas águas quando bem administradas, concomitantemente, com solos adequados e espécies forrageiras adaptadas, alcançam índices de produtividades bastante expressivos para essas condições, tipo de cultivo ou agricultura que é denominada “Agricultura Bioossalina”.

6.2 AGRICULTURA BIOSSALINA

A Agricultura Bioossalina é uma prática de cultivos em condições “salinas”, ainda muito pouco conhecida e trabalhada no Brasil. A possibilidade de uso desse tipo de agricultura pode abranger desde as regiões costeiras do sul do país até amplas áreas do semiárido brasileiro. Na literatura internacional existem algumas definições para esse tipo de agricultura.

Segundo MASTERS *et al.* (2007) a agricultura biosalina é um termo amplo usado para descrever a agricultura sob uma gama de níveis de salinidade, com o uso de águas subterrâneas, solos, ou uma combinação de ambos. Esse mesmos autores citam, (GHASSEMI; JAKEMAN; NIX, 1995) que apresentam três abordagens sobre tipos de agricultura bioossalina: 1) aquela que faz o uso de águas subterrâneas salinas com não salinas, com solos permeáveis, como ocorre em partes do

Mediterrâneo Oriental, 2) a que usa águas subterrâneas altamente salinas com solos salinos e/ou sódicos, como na Ásia Central e Austrália e 3) que utilizam as águas salinas para irrigação, como ocorre no rio Colorado Watershed, EUA, ou utilizam as águas salinas de drenagem, como fontes para irrigação, a exemplo do Vale de San Joaquin, no lado oeste de Califórnia.

Para Ayyam *et al.* (2019) agricultura bioassalina, apresenta-se com uma prática de cultivo baseada em uso de plantas, solos e águas afetadas pelo sal, em diferentes faixas de salinidades. De acordo com esses autores o potencial de uso dessa agricultura se deve ao fato que está ocorrendo um rápido crescimento da população humana e da demanda por alimentos, assim a mais alternativas agrícolas precisam ser exploradas para que a segurança alimentar seja garantida. Ao mesmo tempo, ressaltam que as terras aráveis e os recursos hídricos para irrigação de boa qualidade estão se esgotando mais rapidamente, principalmente nas regiões áridas, semiáridas e tropicais. Ao longo dos anos, a salinização do solo e da água tem aumentado continuamente devido a várias causas, e o aumento da produção alimentar dependerá também destes recursos. Segundo os autores as estratégias gerais de bases agrícolas bioassalinas, são soluções para dar usar aos solos e águas afetados por sal, que passa principalmente pela seleção de plantas halófitas (tolerantes a sais) e a produção de novos materiais genéticos capazes de crescer em ambientes salinos. Na visão deles, a agricultura bioassalina não só ajuda a conter a deterioração das terras marginais, mas também tem usos comerciais diretos, como alimentos, forragens para os animais, usos medicinais, madeireiros, biocombustíveis e bioenergia.

De fato, muitas definições, conceitos e concepções podem ser dado à agricultura bioassalina, que abrangem uma ampla possibilidade de usos, o que a transforma numa alternativa robusta de produção nos mais distintos ambientes que envolvam uma grande faixa de salinidade. Essa agricultura, de maneira geral,

se adequa perfeitamente as pequenas áreas de produção, como as da agricultura familiar do semiárido brasileiro, aonde existem mais de 200 mil poços subterrâneos perfurados e com a presença massiva de águas salobras.

6.3 AS ÁGUAS SALOBRAS DOS POÇOS SUBTERRÂNEOS NO SEMIÁRIDO

No Nordeste semiárido do Brasil, carente de águas superficiais, verifica-se que a utilização dos recursos hídricos subterrâneos vem sendo feita normalmente sem o desenvolvimento de estudos hidrológicos e hidrogeológicos específicos ou mesmo básicos, o que impossibilita a elaboração de programas gerenciais de natureza conservativa. Nessa região, embora os poços produtores de água subterrânea sejam perfurados desde o início do século passado, é por demais conhecido que apenas a partir de 1960, com a criação da SUDENE, a hidrogeologia no Brasil começou a ser tratada como ciência. Na época, a SUDENE, atuando dentro de sua missão, promoveu um reconhecimento hidrogeológico pioneiro da sua região de atuação, materializado no *Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste*, cujas informações ainda são referências até hoje. Esses estudos, que abriram as portas para uma visualização da potencialidade hidrogeológica da região, foram paralisados no início da década de 70 em função da desmobilização da SUDENE como órgão executor (FEITOSA *et al.*, 2004).

Mesmo assim, ressaltam Feitosa *et al.* (2004), a utilização dos recursos hídricos subterrâneos aumentou vertiginosamente, principalmente nos locais de maior potencialidade e em função da necessidade de uma fonte de água para a região, imposta pelas suas condições climáticas. O reflexo disso é a contribuição da água subterrânea em parcelas significativas, tanto para o abastecimento público como para usos diversos, inclusive irrigação. Contudo, esse aumento do uso, em grande parte, não foi conduzido através de planejamentos calcados no

conhecimento, sendo o resultado de consecutivos programas emergenciais de combate aos efeitos da seca e de esforços isolados de companhias de saneamento e da iniciativa privada. Tratando-se de uma região semiárida, a água subterrânea torna-se um recurso estratégico para o desenvolvimento.

A pequena disponibilidade de água superficial aliada à baixa e irregular pluviosidade explica a grande dependência dos habitantes e dos rebanhos da região semiárida em relação à água subterrânea, mesmo sendo essa, na maior parte, uma alternativa pouco explorada em função da sua salinidade em função das rochas cristalinas. Todavia, há de se considerar que apesar da baixa vazão e dos níveis de sal o relevante número de poços perfurados, atualmente, estimados em mais 200 mil, podem no seu conjunto, ser uma alternativa a ser somada a outras já existentes na mitigação dos efeitos das alterações climáticas.

Em boa parte da região Nordeste, observa-se uma diferença marcante entre as salinidades das águas procedentes dos aquíferos sedimentares e a dos aquíferos cristalinos. Os sedimentares, por apresentarem melhor poro-permeabilidade, oferecem melhores condições de infiltração e circulação de suas águas subterrâneas, o que influencia de modo decisivo na salinidade. Por outro lado, as rochas cristalinas por possuírem reduzida capacidade de armazenar e circular suas águas subterrâneas apresenta uma concentração muitas vezes excessiva de sais, especialmente onde são mais deficientes as condições de recarga a partir das precipitações pluviométricas (LIMA *et al.*, 2015).

De maneira geral, as águas subterrâneas dos terrenos cristalinos, com teores de sais que ultrapassam os 4.000 mg/l, apresentam como principal característica uma grande predominância do íon cloreto, com aptidão para irrigação variando entre as classes C5-S2 a C6-S4. Com relação aos aquíferos sedimentares, as águas bicarbonatadas (44%) apresentam discreto predomínio sobre as

cloretadas (34%) e cerca de 69% destas ocupam a faixa de boa potabilidade, com aptidão para irrigação girando em torno de C1-S1 a C3-S1 (LIMA *et al.*, 2015).

As águas subterrâneas, independentemente de suas características qualitativas são alternativas de uso para irrigação e produção em várias regiões do mundo. Em algumas dessas regiões a dependência desse tipo de água é extremamente elevada e, seu potencial de uso passa pela vazão dos poços subterrâneos e pela composição química. No semiárido brasileiro o uso dessas águas pelos produtores é muito comum, todavia, ainda falta um melhor direcionamento e mais estudos sobre esses usos (Figura 01).



Figura 1 - Águas salobra de poços subterrâneos e alguns usos em áreas de produtores no sertão pernambucano

6.4 ESTRATÉGIAS DE USO DA ÁGUA SALOBRAS PARA FINS FORRAGEIRO

Segundo Araújo *et al.* (2010), a região semiárida está caminhando no sentido de ampliação de suas áreas áridas, reduzindo a capacidade de suporte dos pastos e a produção de forragens como um todo e, desse modo será estratégico

para pecuária utilizar culturas com maiores eficiência de uso da água, otimizar a produtividade das forrageiras em decorrência de práticas de manejo da água, do solo, aumentar as estratégias de captação de água de chuva e ampliar estrategicamente o uso de águas subterrâneas.

O fato é que esta situação tende a se agravar com as mudanças climáticas, que estão atingindo a pecuária das regiões semiáridas e, conseqüentemente, suas produções estão sendo afetadas significativamente, por problemas de bem-estar para o animal, baixa oferta hídrica, queda na produção e disponibilidade de forragens, tudo isso, causado por alterações da temperatura, radiação solar, evapotranspiração, pluviosidade e umidade do solo. A busca por soluções é urgentíssima e uma das alternativas que desponta com grande potencial de para produção de forragem é o uso de águas consideradas marginais ou de qualidades inferiores que podem ser utilizadas para irrigar algumas espécies tolerantes a sais, principalmente, às águas salobras, que são encontradas em abundância nos mais de 200 mil poços perfurados no semiárido brasileiro.

A utilização de água salobra para irrigação tem sido utilizada com sucesso em muitos países que tem deficiência hídrica. É uma pratica relativamente antiga com uso de planta halófitas (plantas que toleram e realizam seu ciclo de vida em ambiente com elevada concentração salina) e de plantas miohalófitas (toleram a quantidade de sais até um limite, a partir do qual decresce sua produção com o aumento da salinidade no solo). O uso destas plantas irrigadas com águas salinas ou salobras provenientes de poços subterrâneos podem ser uma das alternativas para o aumento da oferta de alimentos e aporte de nutrientes para os ruminantes da região semiárida, sendo uma das opções mitigadoras aos efeitos das mudanças climáticas.

Além das águas salobras subterrâneas, existem alternativas de águas salobras/salinas que podem ser usadas para fins produtivos, como as provenientes

das drenagens das áreas de irrigação. Grattan *et al.* (2004), realizou estudos sobre o reaproveitamento de águas salinas de drenagem, considerando essas como uma opção de manejo que tem sido sugerida para o San Joaquin Valley (SJV) da Califórnia-EUA, a fim de reduzir a área afetada por lençóis freáticos rasos e a volume de efluente de drenagem que requer descarte. As forragens tolerantes ao sal podem desempenhar um papel importante nesta estratégia, ao mesmo tempo que produz uma fonte de alimento para ovinos e bovinos. Logo, a seleção de culturas para serem cultivadas em sistemas com a reutilização dessas águas, dependerão do potencial de produção delas sob condições salino-sódicas.

Independentemente do tipo de água salobra disponível (subterrânea, drenagem, corpos superficiais etc.) para diferentes usos é importante destacar que critérios técnicos rigorosos devem ser adotados para sua utilização, sem jamais esquecer o tipo de solo adequado.

As estratégias de usos podem ser várias, todavia, elas devem estar conectadas as tolerâncias à salinidade da espécie cultivada e de suas eficiências hídricas. Quando se utilizam águas de poços subterrâneos é necessário que se conheçam a vazão do poço e a composição química de sua água, principalmente, condutividade elétrica e sodicidade. A partir dessas premissas, da escolha das espécies forrageira e do tipo de solo, um planejamento deve ser elaborado, para que a exploração desse cultivo bioassalino seja feito respeitando, principalmente, o ciclo hidrológico, a sazonalidade e a periodicidade de aporte hídrico, que dever ser o mínimo necessário para não saturar o solo e o máximo necessário para garantir a umidade do solo que possibilite a planta, toda eficiência necessária para absorção de nutrientes do solo.

É fato que não existe uma única estratégia de uso dessas águas com diferentes condutividades. Até porque, os sistemas bioassalinos em suas simplicidades de cultivos, apresentam um conjunto de componentes que precisam

ser avaliados no tempo e no espaço, dentro de um objeto de sustentabilidade, aonde a máxima produtividade biológica a ser atingida tem que estar em sintonia com o equilíbrio dos elementos básicos que possibilitem uma longevidade de produção, maximizando a biomassa forrageira, com base nos princípios bio-salinos. Dito isso, é preciso ficar entendido, que nunca se deve criar uma expectativa de alcances de produção, semelhantes as características de cultivos convencionais onde a água, solo e planta estão em perfeitas condições.

6.5 AS CARACTERÍSTICAS BIOSALINAS DAS ESPÉCIES FORRAGEIRAS

A evolução de muitas culturas agrícolas à tolerância ao sal é interessante por várias razões. Em primeiro lugar, uma vez que as plantas tolerantes ao sal (halófitas) empregam vários mecanismos diferentes para lidar com o sal, a evolução da tolerância ao sal representa um caso de estudo fascinante na evolução de uma característica complexa. Em segundo lugar, a diversidade de mecanismos empregados pelas halófitas, com base em processos comuns a todas as plantas, esclarece como a fisiologia de uma planta pode se adaptar para lidar com condições extremas. Terceiro, à medida que a quantidade de terras afetadas pelo sal aumenta em todo o mundo, a compreensão das origens da diversidade de halófitas deve fornecer uma base para o uso de novas espécies em biorremediação e conservação (FLOWERS *et al.*, 2010).

Existe uma variedade de plantas que são capazes de crescer em condições de solo salino e água. Muitas dessas plantas representam recurso forrageiro para alimentar o gado. Nos níveis mais baixos de salinidade (<15 dS m⁻¹), tanto as leguminosas quanto as gramíneas com tolerância moderada ao sal são capazes de fornecendo de 5 a 10 t de matéria seca (MS) por ano, particularmente quando a disponibilidade de água é alta. Em altas concentrações de sal (> 25 dS m⁻¹), os níveis

de produção caem e as opções de planta diminuem significativamente. No entanto, mesmo nessas altas salinidades, há uma variedade de gramíneas e arbustos halófitos que podem produzir entre 0,5 e 5 t de MS por ano (MASTERS *et al.*, 2007).

Pesquisas têm sido realizadas e recentes avanços estão sendo alcançados na seleção de espécies com alta produção de biomassa, elevado níveis de proteína e boa capacidade de sobreviver a uma ampla gama de condições ambientais incluindo salinidade. Entre as espécies selecionadas com potencial forrageiro e tolerantes ao sal, pelo Centro Internacional de Agricultura Biosalina (ICBA) pode-se destacar: (i) Leguminosas: *Acacia ampliceps*; *Acacia cyanophylla*, *Sesbania sesban* e *Cajanus cajan*, e (ii) Gramíneas: *Cenchrus ciliaris*; *Panicum maximum*; *P. maximum var. trichoglume*; *Pennisetum americanum*; *Sorghum bicolor* e *Sorghum sudanense* (ICBA, 2006).

O teor de proteína bruta e fibra digestível dessas plantas são variáveis, mas provavelmente não são influenciadas diretamente pelo nível de salinidade. Porém, é importante ressaltar que a composição mineral das plantas pode ser significativamente alterada pela concentração e tipo de sais no solo e na água. Para plantas com tolerância moderada ao sal, pode ocorrer acúmulo de enxofre e selênio. Para as plantas halofíticas, particularmente os arbustos de chenopodeaceas, o sódio, potássio, cloreto, cálcio e o magnésio podem se acumular acima dos níveis máximos toleráveis pelos ruminantes, (MASTERS *et al.*, 2007).

As altas concentrações de cloreto de sódio em particular, causará diminuição do consumo de ração e, em algumas condições, comprometerá a saúde animal. Também não é incomum descobrir que as plantas crescendo em ambientes salinos acumulam uma variedade de compostos secundários. Estes podem ter efeitos benéficos no gado pastando (por exemplo, vitamina E e betaína) ou pode ser tóxico (por exemplo, oxalato, cumarina e nitrato). É importante ressaltar que essas plantas podem ser gerenciadas de modo a fornecer uma contribuição

significativa para um sistema de alimentação para ruminantes. As perspectivas para o futuro são boas, pois até o momento, pouco esforço tem sido feito para melhorar o valor alimentar de plantas tolerantes ao sal por meio da reprodução ou seleção, ou para selecionar animais que são mais capazes de tolerar a alta ingestão de sal, (MASTERS *et al.*, 2007).

De uma maneira geral a existência de plantas com caráter halófito, ou seja, plantas que suportam ou necessitam de sais (cloreto de sódio, carbonato de cálcio, sulfato de magnésio ou sulfato de sódio) para o seu desenvolvimento normal, despertam o interesse de agricultores e melhoristas que visam a obtenção de plantas com resistência ou tolerância à salinidade e à seca (halofitismo e xerofitismo).

Entretanto há poucos exemplos bem-sucedidos de transferência de características relacionadas com halofitismo e/ou xerofitismo para genótipos intolerantes e comercialmente cultivados. Desta forma, cresceu a importância da seleção de plantas halófitas e xerófitas como opção para o manejo adequado ou para a recuperação de áreas salinizadas em região áridas. Apesar do grande potencial para introdução no Semiárido Brasileiro, são raros os estudos visando uma efetiva introdução destas espécies para fins forrageiros e aporte de nutrientes para os animais.

6.6 PRODUÇÃO BIOSALINA DE ERVA SAL (*Atriplex nummularia*)

A *Atriplex numulária*, muito conhecida como erva-sal, uma forrageira arbustiva, de porte médio e perene, mas que tem vários outros fins como madeireiro, hortaliça, ornamental (Figura 02). O nome de erva-sal é devido à particularidade de que ela é capaz de absorver sal através de seu sistema fisiológico. Esta planta requer sódio como elemento essencial em sua nutrição e por meio de

seu sistema radicular desenvolvido e outros mecanismos que regulam o armazenamento e a utilização das reservas nutritivas, tanto para sobrevivência como para produção, consegue atingir as camadas mais profundas do solo (PORTO; ARAÚJO, 1999).

Essa planta é uma das forrageiras halófitas mais cultivadas no mundo. Ela é considerada cosmopolita estando presente em várias regiões do planeta, sendo uma planta de fácil cultivo, boas produtividades e muito pouco susceptível às pragas e doenças, de uma maneira em geral.



Figura 2 - Erva-sal (*Atriplex nummularia* Lind.) em sistemas integrados do uso de rejeito de dessalinizadores, na Embrapa Semiárido, Área de Prospecção e Pesquisa em Agricultura Biossalina, Petrolina – PE

Fonte: PORTO; ARAÚJO, 1999.

Com o objetivo de avaliar a influência no rendimento da erva-sal (*Atriplex nummularia*) num espaçamento entre covas de 4,0 x 4,0 m e em algumas características do solo, quando irrigada em sulcos com efluentes da criação de tilápia (*Oreochromis sp.*) em rejeito da dessalinização de água salobra no semiárido brasileiro Porto *et al.* (2006), irrigaram a erva-sal durante um ano com quatro volumes de efluentes, em Petrolina, PE, cuja salinidade média foi, de 8,29 dS m⁻¹. O

delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro tratamentos e três repetições. Os tratamentos T1, T2, T3 e T4 correspondem, respectivamente, aos volumes de efluentes aplicados semanalmente, de 75, 150, 225 e 300 L planta⁻¹.

Porto *et al.* (2006) observaram que a salinidade média do solo na profundidade 0 – 90 cm foi de 0,40 dS m⁻¹, antes de serem iniciadas as irrigações. Após a colheita, respectivamente para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, as salinidades médias dos perfis de solo na mesma profundidade (0 – 90 cm) foram de 8,02, 6,09, 4,97 e 4,60 dS m⁻¹ e os rendimentos de matéria seca da erva-sal, de 9,75, 12,26, 14,49 e 13,81 t ha⁻¹, observados na Tabela 01. O maior rendimento de matéria seca por litro de efluente aplicado foi para o tratamento T1, com 4,84 g L⁻¹ que apresentou, também, a melhor relação entrada/saída de sal, removendo 13,84% do total de sal incorporado ao solo.

Tabela 1 - Estimativas dos rendimentos totais e de partes da planta expressas em matéria seca (kg ha⁻¹), de acordo com os tratamentos

| Tratamento | Parte colhida | | | | | |
|------------|---------------|-------|--------------|------------|-------|------------------|
| | Total | Lenha | Caule Grosso | Caule Fino | Folha | Total Forrageiro |
| T1 | 9.758 | 2.253 | 1.985 | 1.898 | 3.622 | 5.519,8 |
| T2 | 12.269 | 2.555 | 2.561 | 2.511 | 4.641 | 7.152,7 |
| T3 | 14497 | 3.081 | 3.087 | 3.071 | 5.257 | 8.328,8 |
| T4 | 13.819 | 2894 | 3.045 | 2.821 | 5.070 | 7.891,4 |

Fonte: Adaptado de PORTO *et al.*, 2006.

A produtividade da erva-sal em diferentes sistemas de produção, expressa em tonelada por hectare de matéria seca comestível (MSC) foi observado por Ben Salem *et al.* (2010) e os dados podem ser observados na Tabela 02. Segundo os autores a MSC é composta por folhas e ramos macios e, galhos com diâmetros

inferiores a 6 mm, podendo ela ter uma variação de 27 a 50% do total da MS. A erva-sal é uma planta de via fotossintética C4 e o crescimento de sua biomassa tende a ser maior durante os meses mais quentes, se outros recursos não são limitantes.

Tabela 2 - Produtividade da erva-sal em diferentes sistemas de produção

| Sistema de Produção | Plantas ha ⁻¹ | MSC* (t ha ⁻¹) | País |
|--|--------------------------|----------------------------|-----------|
| Lençol freático (1m) ligeiramente salino | 4665 | 3,30 | Argentina |
| Chuva (350 mm), lençol freático altamente salino | 650 | 0,70 | Austrália |
| Chuva 362 mm | 670 | 0,50 | Austrália |
| Chuva 80 mm e irrigação 18,2 mm | 400 | 2,52 | Iraque |
| Chuva 227 mm | 625 | 0,90 | Israel |
| Chuva 227 mm | 10.000 | 3,20 | Israel |
| Chuva 390 mm | 2.500 | 3,50 | Tunísia |
| Irrigado | 17.000 | 12,30 | EUA |

Fonte: Adaptado de BEN SALEM *et al.*, 2010.

* MSC = matéria seca comestível.

Silva *et al.* (2009), avaliaram a produção de erva-sal cultivada em diferentes espaçamentos e irrigada com rejeito de dessalinizadores no semiárido. O delineamento experimental utilizado foi bloco ao acaso, onde foram avaliados quatro espaçamentos (1x1; 2x2; 3x3 e 4x4 m) e três repetições. As plantas foram irrigadas unicamente com água resultante do processo de dessalinização e do meio de cultivo para tilápia rosa (*Oriochromis sp.*) de água salobra, aplicando uma proporção de 100 L por sulco de 4,00 m no T1; 200 L por sulco de 8,00 m no T2; 300 L por sulco de 12,00 m no T3 e 400 L por sulco de 16,00 m no T4, equivalente ao produto de 50% da ETP média semanal da região (49 mm), pela faixa de umedecimento de 1,0 m de largura ao longo de cada sulco ($V = 0,50 \times 49,0 \times 1,00 \times 1,00 \text{ m} \approx 25,00 \text{ L m}^{-1}$). O corte da erva-sal foi realizado aos seis meses de idade,

sendo o material colhido, pesado e separado em seus componentes (folhas e caules) ainda no campo, retirando-se amostras para estimar as produções da erva-sal por hectare e por planta, para as análises bromatológicas e para quantificar as diferentes variáveis respostas.

Foram comparados (Tabela 03) as produções de matéria seca (PMS) da parte aérea (PMS-PA), caules finos (PMS-CF), caules grossos (PMS-CG), total de caule (PMS-TC), folhas (PMS-F) por planta e por hectare, além da área foliar (AF), dos teores de matéria seca (%-MS) das frações da folha (Flh), caules finos (CF) e caules grossos (CG) e da relação da folha:caule. O espaçamento 1x1 m, apresentou maior rendimento por hectare ($P < 0,05$) de PMS-PA, PMS-CF, PMS-CG, PMS-TC e PMS-F, enquanto as produções por planta foram maiores ($P < 0,05$) nos espaçamentos 3x3 e 4x4 m para as mesmas variáveis citadas, não diferindo para a relação folha:caule e percentagem da matéria seca da Flh, CF e CG. O corte aos seis meses de idade indica que o espaçamento de 1x1 m, pode ser a melhor recomendação de cultivo em função da maior produção de acúmulos na maioria das frações da planta da erva-sal, (SILVA *et al.*, 2009).

Ben Salem *et al.* (2010) reportou teores de nutrientes da erva-sal de diferentes estudos mostrando que, em geral, se percebe elevados teores de minerais (cinzas) variando de 16,54 a 35,40% e proteína bruta de 8,85 a 20,00%, porém baixa disponibilidade de energia, que variou de 2,57 a 7,90 MJ por quilograma de matéria seca. Este grande campo de variação está relacionado provavelmente às idades das plantas, às diferentes condições edafoclimáticas e em função das estações do ano. Já os teores de fibra em detergente neutro da erva-sal ficou dentro da faixa aceitável para as espécies arbustivas forrageiras (34,80 a 68,19%).

Tabela 3 - Produção de matéria seca (PMS), parte aérea (PA), caules finos (CF), caules grossos (CG) e Folhas (F) por planta e por hectare, área foliar (AF), percentagem de matéria seca (%MS) da F, CF e CG e a relação folha: caule (RF:C) da erva-sal cultivada em diferentes espaçamentos e irrigada com rejeito de dessalinizados na região semiárida

| Variáveis respostas | Espaçamento entre Plantas (m) | | | | Média | CV (%) |
|---------------------------|-------------------------------|----------|----------|----------|---------|-----------|
| | 1x1 | 2x2 | 3x3 | 4x4 | | |
| Quantificadas por planta | | | | | | |
| PMS-PA (kg) | 1,08 c | 1,96 b | 3,40 a | 3,68 a | --- | 10,32 |
| PMS-CF (kg) | 0,27 b | 0,39 b | 0,66 a | 0,71 a | --- | 14,46 |
| PMS-CG (kg) | 0,23 c | 0,44 bc | 0,59 ab | 0,88 a | --- | 21,35 |
| PMS-TC (kg) | 0,50 b | 0,84 b | 1,25 a | 1,59 a | --- | 12,02 |
| PMS-F (kg) | 0,58 c | 1,12 b | 2,15 a | 2,09 a | --- | 12,69 |
| AF (cm ²) | 63.804 c | 114.503b | 203.392a | 238.733a | --- | 11,40 |
| % MSF | 28,51 a | 29,00 a | 27,02 a | 26,50 a | 27,76 | 3,81 |
| % MSCF | 62,31 a | 59,61 a | 56,29 a | 52,85 a | 57,76 | 6,54 |
| % MSCG | 67,61 a | 65,40 a | 62,14 a | 62,32 a | 64,37 | 4,70 |
| Quantificadas por hectare | | | | | | |
| PMS-PA (kg) | 10.814a | 4.887 b | 3.775 bc | 2.298 c | --- | 13,12 |
| PMS-CF (kg) | 2.694 a | 977 b | 730 b | 441 b | --- | 27,32 |
| PMS-CG (kg) | 2.292 a | 1.110 b | 653 b | 549 b | --- | 17,54 |
| PMS-TC (kg) | 4.986 a | 2.088 b | 1.384 b | 991 b | --- | 21,52 |
| PMS-F (kg) | 5.827 a | 2.799 b | 2.391 b | 1.306 b | 5.95736 | 22,64 |
| RF:C | 1,23 a | 1,34 a | 1,79 a | 1,33 a | 1,42 | 16,00 |

Fonte: SILVA *et al.*, 2009.

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

6.7 PRODUÇÃO BIOSALINA DE PALMA FORRAGEIRA

A palma forrageira é uma espécie amplamente cultivada na região semiárida brasileira, com estimativas de cultivos acima de 600 mil hectares (Figura 3). Essa forrageira tem seu cultivo em áreas de sequeiro como a principal forma de produção, sendo bastante tolerante as condições de baixa oferta hídrica do semiárido. O uso da irrigação convencional, com águas de qualidade superior (doce) já é uma realidade para o cultivo da palma, mas a falta de fontes hídricas de corpos

superficiais limita muito a possibilidade de ampliação dessa técnica, que sem dúvidas apresenta potenciais bastante interessante, desde que os custos e benéficos sejam considerados.

Em um tempo recente, estudos têm sido feito no intuito de avaliar o potencial de produção de palma forrageira quando submetida a oferta hídrica de águas salobras de poços subterrâneos. Essas pesquisas têm sido mais direcionadas para as regiões de baixas altitudes, as chamadas “Depressões Sertanejas” onde as possibilidades de cultivos da palma forrageira nem sempre obtêm sucessos. Os resultados já obtidos têm demonstrado que o uso estratégico e sazonal de águas salobras pode garantir o sucesso do cultivo bem como produções bem acima dos alcançados em condições de sequeiro, sendo esses resultados mais expressivos quando as precipitações são bem abaixo das médias anuais.



Figura 3 - Produção bioassalada de palma forrageira, experimentos realizados na Embrapa Semiárido, Área de Prospecção e Pesquisa em Agricultura Bioassalada, Petrolina – PE

Silva (2017) conduziu um experimento com o objetivo de avaliar o impacto do estresse salino e a frequência de irrigação sobre a fisiologia do crescimento em dois gêneros de palma forrageira cultivadas em região de semiárido, localizada na Chapada do Apodi, em Limoeiro do Norte, CE. Foram utilizados dois gêneros de

palma, a *Opuntia* variedade Orelha-de-elefante Mexicana e a *Nopalea* variedade IPA Sertânia. Utilizou-se cinco níveis de salinidade (S), em que a S1 foi o controle (água do canal de irrigação, com condutividade elétrica (C.E.) média em torno de $0,58 \text{ dS m}^{-1}$) e mais quatro níveis de salinidade (S2, S3, S4 e S5, respectivamente, com condutividade média em torno de 1,67, 2,69, 3,77 e $4,78 \text{ dS m}^{-1}$) e ainda três frequências de irrigação: frequência 1 = uma irrigação por semana de 500 mL planta⁻¹; frequência 2 = duas irrigações por semana de 500 mL planta⁻¹; e frequência 3 = três irrigações por semana de 500 mL por planta em dias alternados. Ao final, pode-se concluir que é viável utilizar água salinizada com C.E. de até $4,78 \text{ dS m}^{-1}$ e com irrigação uma vez por semana na produção de palma forrageiras dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, e ainda, que o cultivo de palma com água salinizada até $4,78 \text{ dS m}^{-1}$ para manutenção da cultura no período seco é uma opção viável, onde este recurso pode garantir a sobrevivência do cultivo no período escassez hídrica nas condições do semiárido brasileiro.

Ao avaliar o efeito de diferentes intensidades de corte (preservando o cladódio mãe (PCM), os cladódios primários (PCP) e os secundários (PCS) e dois anos de colheita, sobre características morfológicas e produções de matéria verde (PMV) e seca (PMS) da palma forrageira cv. Gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill) em um solo classificado como Cambissolo Háplico, densidade de 50.000 plantas ha⁻¹ e a água de irrigação C4S1 (CE $5,25 \text{ dS.m}^{-1}$) aplicada durante os dois anos de experimento com 5 L por m linear (2,5 mm) a cada sete dias, totalizando 10 mm por mês, com a aplicação independente do índice de precipitação, em sistema de irrigação de gotejamento em fileiras únicas. Lima *et al.* (2015) observaram que o tratamento PCS resultou na maior PMS ($P < 0,05$) com produtividade média de $27,2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, quando comparada à PCP ($18,6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) ou PCM ($11,8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Sem dúvidas as produtividades alcançadas demonstraram que a palma pode responder

muito bem as águas com certas condutividades elétricas, comuns dos poços subterrâneos do semiárido.

Nunes (2018) avaliou o potencial de produção da palma forrageira (cv. Orelha de Elefante Mexicana), em um fatorial 4 x 4 em sistemas bioassalinos de produção. O delineamento adotado foi em blocos ao acaso, arranjo fatorial 4 x 4 e quatro repetições. As parcelas foram compostas por três lâminas de água (LA) (360, 520 e 700 mm), com condutividade média de 3,8 dS m⁻¹, mais a condição de sequeiro (130 mm) e, as subparcelas por quatro níveis de matéria orgânica (MO) (0, 15, 30 e 45 t ha⁻¹) mais o controle sem adição de matéria orgânica. A aplicação de LA na palma incrementou linearmente o crescimento, as produtividades, alterando de maneira aceitável, a composição bromatológica, enquanto o incremento de MO entre as doses de 30 t ha⁻¹ a 45 t ha⁻¹ aumentou linearmente o desempenho agrônômico da cultura.

Tabela 4 - Efeitos de lâminas de água (130, 360, 520 e 700 mm) e da matéria orgânica (0, 15, 30 e 45 t ha⁻¹) sobre a produtividade da matéria verde (PMV), produtividade da matéria seca (PMS) expressas em tonelada por hectare da palma forrageira aos 15 meses de idade em sistema de agricultura bioassalina.

| Lâminas de irrigação | | | | | | | |
|----------------------|---------------------------------|------|------|-------|-------|---|-------|
| Item | Un | 130 | 360 | 520 | 700 | M | P |
| PMV | t ha ⁻¹ | 43,3 | 94,5 | 91,8 | 98,6 | Q | 0,001 |
| PMS | t ha ⁻¹ | 2,8 | 6,3 | 6,8 | 6,3 | Q | 0,001 |
| PA | m ³ ha ⁻¹ | 40,5 | 88,2 | 85,0 | 79,3 | L | 0,001 |
| Matéria Orgânica | | | | | | | |
| Item | Un | 00 | 15 | 30 | 45 | M | P |
| PMV | t ha ⁻¹ | 23,4 | 68,1 | 105,8 | 130,8 | Q | 0,001 |
| PMS | t ha ⁻¹ | 1,7 | 4,6 | 7,0 | 8,9 | Q | 0,001 |
| PA | m ³ ha ⁻¹ | 21,8 | 63,5 | 98,7 | 121,9 | L | 0,001 |

Fonte: Adaptado de NUNES, 2018.

A combinação do uso de lâmina de água salobras com cargas de matéria orgânica promoveu incremento na produtividade da matéria verde e da matéria seca da palma forrageira aos 15 meses de corte (Figura 4). Percebe-se que o aporte adicional de 230 mm de água salobra associadas às diferentes cargas de matéria orgânica (esterco) foi suficiente para alcançar níveis de produtividades maiores ou iguais as demais lâminas aplicadas, demonstrando a tolerância da palma as quantidades de sais carregadas via água, bem como sua eficiência hídrica. A conclusão foi que, o uso de água salina com condutividade média de 3,8 dS m⁻¹ associados a doses crescentes de matéria orgânica em cultivos de palma forrageira podem aumentar significativamente a produção, Nunes (2018).

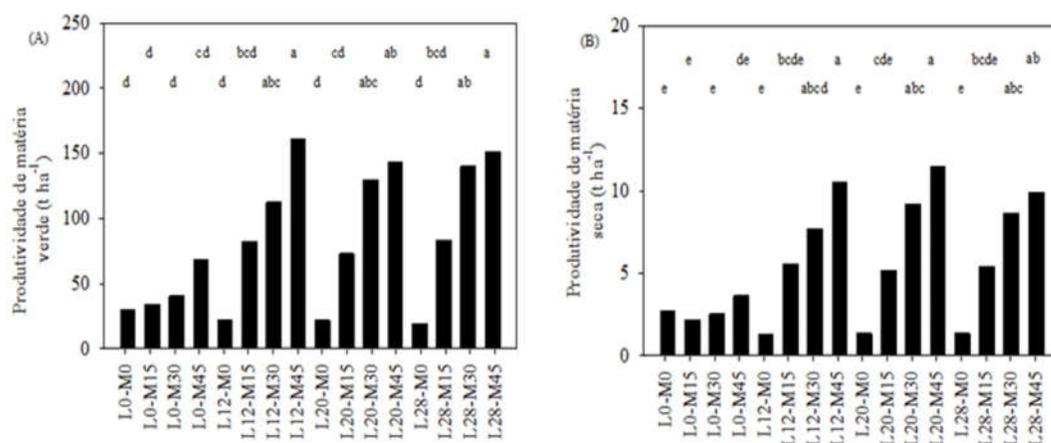


Figura 4 - Interação entre as lâminas de água (LO 130 mm (precipitado), L12 360 mm, L20 520 mm e L28 700 mm) e doses de matéria orgânica (M - 0, 15, 30 e 45 t ha⁻¹) sobre a produtividade de matéria verde e de matéria seca da palma forrageira aos 15 meses de idade sob sistema de agricultura bioessalina

Fonte: Adaptado de NUNES, 2018.

Quanto aos custos da irrigação uma boa referência para analisar a viabilidade da mesma é a Dantas *et al.* (2017) que a partir da análise dos dados de produção de um hectare no município de Apodi, Rio Grande do Norte, chegaram a alguns resultados, onde foram analisados o investimento, custos de manutenção,

rentabilidade e estimativa de crescimento ao longo de oito anos, por meio de fluxo de caixa, considerando taxa mínima de atratividade de 8%, foram obtidos o Valor Presente Líquido [VPL], taxa interna de retorno [TIR] e o payback, assim como o cálculo do ponto de nivelamento. O cultivo foi considerado economicamente viável, com a constatação de VPL igual a R\$ 105.892,49 e TIR de 88%. O lucro líquido anual do projeto alcançou R\$ 22.552,20, o que acumulado durante oito anos pode atingir R\$ 158.319,80. Com base no payback o investidor teria retorno do investimento inicial em um ano e nove meses. A produtividade mínima para que a atividade desse lucro foi de 70.103 kg ha⁻¹ ano⁻¹.

6.8 PRODUÇÃO BIOSALINA DE GLIRICÍDIA

A gliricídia, *Gliricidia sepium* (Jacq.), é uma espécie da família *Fabaceae*, que apresenta perenidade e reprodução assexuada por estaquia e sexuada, por meio de sementes, tem porte arbóreo, variando entre 12 e 15 m de altura, com diâmetros de até 30 cm e crescimento cespitoso, formando em média de 4 a 5 fustes (Figura 5). Possui casca fina, lisa e esbranquiçada, com copa ampla, todavia, o desenvolvimento da árvore é bastante variável, dependendo das condições de manejo da planta (NATIONAL ACADEMY SCIENCES, 1980). No Brasil a gliricídia foi inicialmente cultivada no sudoeste da Bahia, posteriormente foi introduzida em outras localidades do Nordeste brasileiro, sendo de fácil propagação estando presente em quase todas as regiões do país (DRUMOND; CARVALHO FILHO, 1999).

Tem um potencial forrageiro bastante interessante, podendo ser utilizada na forma de pastejo direto, bem como na forma de feno ou silagem, sendo um volumoso rico em proteína para dietas de caprinos, ovinos e bovinos. Na literatura, ainda são raros os resultados de trabalhos sobre seu cultivo com o uso de águas salobras ou salinas.



Figura 5 - Produção bioessalina de *Gliricidia sepium*, experimentos realizados na Embrapa Semiárido, Área de Prospecção e Pesquisa em Agricultura Bioessalina, Petrolina – PE

No noroeste da Venezuela, Clavero e Razz (2002) estudaram o efeito da salinidade no crescimento de plantas de *Gliricidia sepium* cultivadas em vasos. Os tratamentos foram quatro concentrações de salinidade ajustadas à condutividade elétrica (0, 3, 6 e 9 dS m⁻¹). O delineamento do experimento foi um arranjo inteiramente casualizado com seis repetições. Foram avaliados a altura das plantas, a produção de matéria seca, o número de nódulos e a atividade fotossintética. Os resultados mostraram uma diminuição significativa em todos os indicadores avaliados com o aumento dos níveis de salinidade, principalmente com níveis superiores a 3 dS m⁻¹, Tabela 5.

Tabela 5 – Efeito da salinidade sobre o crescimento da *gliricídia sepium*.

| Salinidade da água (dS m ⁻¹) | Altura da planta (cm) | Produtividade da matéria Seca (g planta ⁻¹) | Nódulos (nº) | Fotossíntese (umoles CO ₂ /m ² /seg) |
|--|-----------------------|---|--------------|--|
| 0 | 127a | 145,1a | 46a | 21,4a |
| 3 | 115b | 124,7b | 39b | 18,2b |
| 6 | 107c | 82,8c | 28c | 17,1bc |
| 9 | 106c | 80,4c | 26c | 14,9c |

Fonte: Adaptado de CLAVERO, RAZZ, 2002.

Valores com letras iguais dentro de mesma coluna não diferem entre si (Ducan, P<0,05)

Rahman *et al.* (2019) constataram que a glirícidia suporta elevados níveis de salinidade, ao avaliarem a produção inicial em casa de vegetação, as plantas foram cultivadas em solo franco arenoso associado a esterco bovino e submetida a irrigação com água de diferentes níveis de salinidade, sendo o controle, 20, 40, 60 dS m⁻¹, após noventa dias de o plantio, obtiveram a produtividade de 12,75, 8,83, 7,00 e 6,67 gramas por planta de MS, respectivamente.

Rodrigues (2017) avaliou o crescimento, a produtividade e a qualidade da *Gliricídia sepium* sob diferentes lâminas de irrigação, doses de matéria orgânica e momentos de corte em um sistema de agricultura bioessalina. O trabalho foi conduzido na Embrapa Semiárido, em Petrolina, PE, sendo adotado um delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com arranjo fatorial 4 x 4 x 4, resultantes da combinação entre quatro regimes hídricos (três irrigações com base na fração evapotranspiração de referência – (ET_o) 17% ET_o; 26% ET_o e 32% ET_o e outro sob condições de sequeiro, quatro doses de matéria orgânica (0, 15; 30; 45 t ha⁻¹) e quatro intervalos de corte (3, 6, 9 e 12 meses). Houve interação entre os intervalos de cortes associados às lâminas de água salobra, com o aumento da produção de matéria seca da folha (MSF) e da matéria seca total (MST), respectivamente, 1.621, kg ha⁻¹ e 4.895 kg ha⁻¹ (Figura 6). Conclui-se que a lâmina de água de 615 mm associada ao momento de corte de 9 meses proporcionou melhores incrementos de massa de forragem da *Gliricídia sepium*.

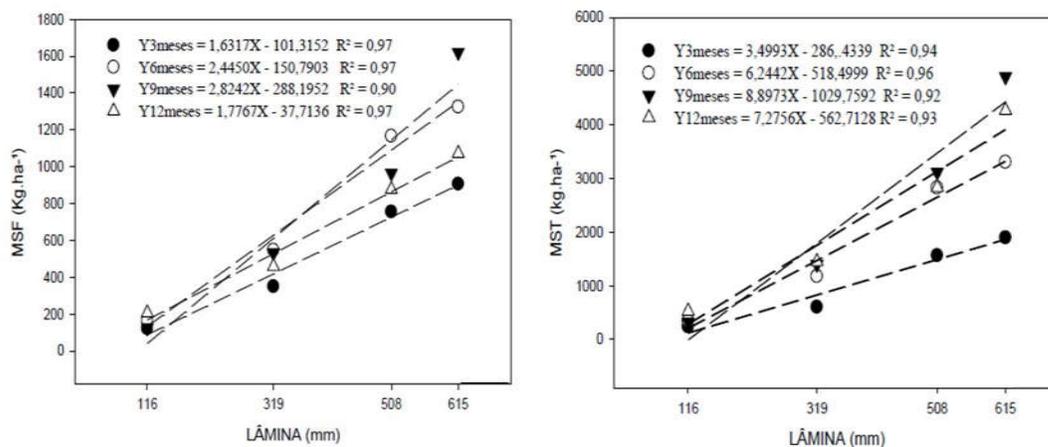


Figura 6 - Produção média de matéria seca da folha (MSF) e da matéria seca total (MST) em função das lâminas de água salobra aplicada e diferentes intervalos de cortes da *Gliricídia sepium*

Fonte: RODRIGUES, 2017.

6.9 PRODUÇÃO BIOSALINA DE SORGO

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é uma gramínea da família Poaceae, é uma planta de ciclo curto, aproximadamente quatro meses, possui metabolismo fotossintético C4, o que a torna tolerante a elevados níveis de radiação solar, apresentando altas taxas fotossintéticas mesmo em condições adversas em que haja baixa disponibilidade de CO₂ devido ao seu mecanismo de fechamento dos estômatos, evitando assim grandes perdas de água (LANDAU, SANS, 2010). Dentre as características favoráveis para produção de sorgo, se faz necessário dias e noites com temperaturas média acima de 25°C e precipitações acumuladas de 400 a 600 mm, podendo atingir sua maturidade variando entre 90 e 140 dias (SILVA, 2003).

O sorgo forrageiro tem sido apontado como uma cultura de alto potencial de uso em áreas salinizadas do Semiárido devido ao seu alto valor energético na alimentação animal, além de sua adaptação a ambientes secos, salinos e quentes, os quais são limitantes para o cultivo de outras espécies forrageiras (GOIS *et al.*, 2019). Além disso, o sorgo se adapta bem a diferentes tipos de solo e toxicidades,

e esses fatores juntos o tornam uma cultura ideal para o cultivo em ambientes abioticamente estressantes. (SAADAT; HOMAEE, 2015).

Acredita-se que a tolerância do sorgo a salinidade do solo e da água seja de até 6,8 e 4,5 dS m⁻¹ de condutividade elétrica, respectivamente. Acima desses limites, uma redução de rendimento de 16% é esperada para cada aumento de unidade de salinidade do solo (KENNETH; NEELTJE, 2002; CALONE *et al.*, 2020).

De acordo com Trindade *et al.* (2006) os genótipos de sorgo que são mais tolerantes a ambientes salinos podem se manifestar por mecanismos que causam restrição a passagem dos íons Na⁺ e Cl⁻, ou seja, possivelmente, maiores quantidades de íons que são acumuladas nas folhas de sorgo forrageiro representam genótipos mais sensíveis a salinidade em relação aos mais resistentes.

Shakeri *et al.* (2017) ao avaliar respostas produtivas de 36 cultivares de sorgo granífero irrigados com água salina, verificaram reduções de até 66% na produção de biomassa quando submetidos a uma condutividade de até 12 dS m⁻¹. De acordo com Sun *et al.* (2014) em estudos sobre tolerância a salinidade de dez variedades de *Sorghum bicolor* L. a salinidade, observaram diferenças no rendimento de cultivares de sorgo quando submetidas a irrigação com água salina com condutividade elétrica de 10 dS m.

Pesquisas realizadas por Lira *et al.* (2020) na produção de sorgo cv. Ponta negra sob diferentes lâminas de irrigação com água salobra de 25% (87,7 mm), 50% (160,9 mm), 75% (234 mm) e 100% ETo (307,2 mm) no primeiro ciclo produtivo (46 dias) associado a 138,4 mm de precipitação e no segundo ciclo (63 dias) com irrigação de 25% (87,7 mm), 50% (160,9 mm), 75% (234 mm) e 100% ETo (307,2 mm) e 2 mm de chuva durante o período experimental associado a níveis de matéria orgânica (0, 15, 30 e 45 t ha⁻¹) realizado na Embrapa Semiárido, município de Petrolina-PE, constatou-se valores médios da produção de massa verde (PMV) e

seca (PMS) de 35,22 t ha⁻¹ e 10,55 t ha⁻¹ respectivamente, para o primeiro ciclo e PMV de 14,43 t ha⁻¹ e PMS de 5,30 t ha⁻¹ no segundo ciclo produtivo (Tabela 6).

Tabela 6 - Produção de massa verde (PMV; t ha⁻¹) e matéria seca (PMS; t ha⁻¹) e eficiência do uso de água (EUA; kg ha⁻¹ mm⁻¹) de sorgo cv. Ponta Negra irrigado com diferentes lâminas de irrigação e níveis de matéria orgânica

| Corte | ETo | Irrigação (mm) | Precipitação (mm) | PMV (t ha ⁻¹) | PMS (t ha ⁻¹) | EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹) |
|-------|------|----------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|---|
| 1 | 25% | 74,1 | 138,4 | 30,64 | 9,72 | 45,75 |
| 1 | 50% | 130,8 | 138,4 | 35,71 | 10,52 | 39,08 |
| 1 | 75% | 187,5 | 138,4 | 39,59 | 11,85 | 36,38 |
| 1 | 100% | 244,1 | 138,4 | 34,95 | 10,12 | 26,47 |
| 2 | 25% | 87,7 | 2 | 13,75 | 4,74 | 52,91 |
| 2 | 50% | 160,9 | 2 | 14,50 | 5,40 | 33,16 |
| 2 | 75% | 234,0 | 2 | 15,57 | 5,78 | 24,48 |
| 2 | 100% | 307,2 | 2 | 13,89 | 5,30 | 17,16 |

Fonte: Adaptado de LIRA, 2019.

De acordo com o mesmo autor, a eficiência de uso da água (EUA) no segundo corte aos 76 dias após de rebrota sob níveis de irrigação com água salobra, observou-se efeito isolado das lâminas com comportamento linear decrescente com maior eficiência (52,91 kg ha⁻¹ mm⁻¹) na menor lâmina de água salobra (25% ETo; 87,7mm) e menor eficiência (17,17 kg ha⁻¹ mm⁻¹) para a maior proporção de água salobra na irrigação (100% ETo; 307,2mm) na produção de sorgo.

Os resultados observados nessa pesquisa foram inferiores aos obtidos por Perazzo *et al.* (2013), ao estudarem a eficiência de uso de água da chuva para cultura do sorgo com precipitação de 113mm, cujos valores médios observados variaram de 15,36 kg e 126,25 kg ha⁻¹ mm⁻¹, respectivamente. No entanto, Guimarães *et al.* (2019) observaram que as reduções da eficiência do uso de água no segundo corte da cultura do sorgo indicam a necessidade de maior consumo de água pelas plantas para a produção de biomassa à medida em que os níveis de

salinidade aumentavam e inferem que a redução da produção foi mais afetada do que o consumo de água, haja visto que a planta consumiu mais e reduzindo a sua produtividade.



Figura 7 - Produção bioassalina de sorgo, experimentos realizados na Embrapa Semiárido, Área de Prospecção e Pesquisa em Agricultura Bioassalina, Petrolina – PE

Pesquisa realizada por Cunha (2019) na Embrapa Semiárido avaliando a composição nutricional de sorgo cv. Ponta Negra irrigado com níveis de água salobra observou efeito das lâminas de irrigação para percentual da matéria seca (MS) do sorgo, onde maiores resultados ($382,7 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$) foram obtidos nas plantas que foram irrigadas a maior lâmina de irrigação (100% Eto; 307, 2mm) e menores valores ($341,7 \text{ g Kg}^{-1} \text{ MS}$) foram observados para o sorgo irrigados com menores proporções de água salobra (25%; 87,7 mm). Os valores encontrados são semelhantes aos observados por Guimarães *et al.* (2019) que ao avaliar genótipos de sorgo forrageiro irrigado sob diferentes frações de lixiviação, observaram efeito linear positivo para o teor de matéria seca, com médias variando entre 41,44 a 44,62%. No entanto, os resultados obtidos por Gois *et al.* (2019) avaliando diferentes frações de lixiviação com água salina observaram um decréscimo nos teores de matéria seca em relação a cultura não irrigada, o que poderia estar relacionada ao efeito tóxico de íons como Na^+ e Cl^- na lixiviação líquida de carbono e, portanto, na

produção de fotoassimilato (ACOSTA-MOTOS *et al.*, 2017).

6.10 PRODUÇÃO BIOSALINA DE MILHETO

O milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), pertence à família Poaceae, subfamília Panicoideae e ao gênero *Pennisetum* (BRUKEN, 1977). Com origem nas savanas africanas é capaz de produzir sob condições climáticas desfavoráveis e em solos com baixa fertilidade (CATELAN, 2010). É uma espécie de origem tropical com metabolismo C4, tolerante a déficit hídrico moderado e altas temperaturas, sendo necessários, em média, 350 mm de água por ciclo (ULLAH, *et al.*, 2017; ALMEIDA *et al.*, 2021).

A temperatura média ideal observada para o seu desenvolvimento seria em torno de 28 a 38°C. O sistema radicular de genótipos de milheto tem um comprimento médio de 3,60 metros de profundidade ao solo o que constitui na tolerância e persistência a climas áridos e semiáridos e por transformar água em matéria seca, sendo necessários 300 a 400 g de água para originar 1 g de matéria seca (PERRET; SCATENA, 1985).

Sua rusticidade e versatilidade do milheto possibilita grande diversidade de uso, como produção destinada a palhada para o sistema de plantio direto, produção de forragem para pastejo, silagem, produção de grãos, recuperação de pastagens e de solos degradados tanto pela produção de palhada como planta descompactadora de solo. Diante disso, sua adaptação a solos de baixa fertilidade e excelente capacidade de produção de fitomassa e valor nutricional, torna-se uma alternativa para regiões de clima semiárido, onde existem grandes incertezas climáticas (NICOLAU SOBRINHO *et al.*, 2009; GHATAK *et al.*, 2016).

A tolerância da cultura à salinidade também é deve ser levado em consideração devido à extensão e ao aumento constante das áreas afetadas pelo

sal em regiões áridas e semiáridas. O milho (*Pennisetum glaucum*), comumente considerado bastante tolerante à salinidade, pode ser uma opção de cultivo alternativa para as áreas afetadas pelo sal. (KRISHNAMURTHY *et al.*, 2007)

Estudo realizado por Lira *et al.* (2020) sobre as características produtivas do milho irrigado com água salobra e níveis de matéria orgânica na Embrapa Semiárido no município de Petrolina – PE (Figura 2) avaliou-se quatro lâminas de irrigação (25%, 50%, 75% e 100% da evapotranspiração) equivalente a 49,67; 81,85; 114,02; 146,20 mm no primeiro ciclo (63 dias) e 40,29; 80,59; 120,89 e 161,18 mm no segundo (46 dias) com precipitação média de 138,4 e 1,3 mm, respectivamente, e quatro níveis de matéria orgânica (0, 15, 30 e 45 t ha⁻¹). Não foi observado diferença no primeiro ciclo produtivo de massa verde e fresca sob as diferentes lâminas de irrigação com valores médios observados de 25,04 e 6,66 t ha⁻¹ respectivamente. No entanto, houve uma maior produtividade no segundo ciclo de produção à medida que se elevava as lâminas de irrigação.

Tabela 7 - Produção de massa verde (PMV; t ha⁻¹) e matéria seca (PMS; t ha⁻¹) eficiência do uso de água (EUA; kg ha⁻¹ mm⁻¹) de genótipo de milho ADR300 irrigado com diferentes lâminas de irrigação e níveis de matéria orgânica.

| Corte | Eto | Irrigação (mm) | Precipitação (mm) | PMV (t ha ⁻¹) | PMS (t ha ⁻¹) | EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹) |
|-------|------|----------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|---|
| 1 | 25% | 49,7 | 138,4 | 22,13 | 6,05 | 32,18 |
| 1 | 50% | 81,8 | 138,4 | 26,37 | 7,37 | 33,46 |
| 1 | 75% | 114,0 | 138,4 | 23,46 | 6,09 | 24,13 |
| 1 | 100% | 146,0 | 138,4 | 28,22 | 7,13 | 25,05 |
| 2 | 25% | 40,30 | 1,3 | 7,14 | 1,97 | 47,47 |
| 2 | 50% | 80,60 | 1,3 | 11,24 | 3,00 | 36,64 |
| 2 | 75% | 120,9 | 1,3 | 14,40 | 3,85 | 31,54 |
| 2 | 100% | 161,2 | 1,3 | 17,98 | 4,81 | 29,59 |

Fonte: Adaptado de LIRA *et al.*, 2020.

De acordo com Lira *et al.* (2020) as lâminas de irrigação com água salobra afetaram os EUA na produção de milho no segundo ciclo de produção (46 dias) proporcionando maior eficiência ($47,47 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) quando irrigado com a menor lâmina de água salobra (25%; 40,3 mm) e menor eficiência ($29,59 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) quando a maior lâmina de irrigação era aplicada (100%; 161, 2 mm). Diante disso, vale ressaltar que apesar dos valores de produtividade serem superiores nas maiores lâminas de água salobra, o menor aporte hídrico em ambas as condições de precipitação, propõe plantas mais eficientes no uso de água advindo de poços subterrâneos com certos teores de sais.



Figura 8 - Produção bioessalina de milho, experimentos realizados na Embrapa Semiárido, Área de Prospecção e Pesquisa em Agricultura Bioessalina, Petrolina – PE

De acordo com Silva *et al.* (2003), o sorgo possui teores médios de fibra em detergente neutro de 62,65% e fibra em detergente ácido de 31,38%. Pesquisas realizadas por Gontijo *et al.* (2008) avaliando seis híbridos de sorgo em duas épocas de plantio e três cortes sucessivos, obtiveram valores médios de 16,3% para PB, 54,8% para FDN e 31,0% para FDA, além de ser uma de mineral rica em nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e fósforo.

Valores semelhantes foram observados por Lira *et al.* (2020) em pesquisa avaliando a composição químico-bromatológica em milho ADR 300 irrigados com água salobra observou uma redução nos valores de proteína e extrato etéreo a medida que se aumentava a quantidade de água salobra com variação de 16,59 a 13,88% e 2,34 e 1,97 % respectivamente. Valores médios de matéria seca encontrados por Cunha (2019) e Lira *et al.* (2020) variam de 31,31 a 38,27 submetidos a diferentes lâminas de irrigação com água salobra variando 49,7 mm a 161,2 mm e precipitações de 1,3 a 138,4mm.

6.11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de forragem tendo como base os princípios da “Agricultura Bioassalina” apresenta um elevado potencial para a pecuária de terras secas da região semiárida brasileira. O seu sucesso sempre dependerá dos critérios técnicos utilizados pelos produtores, visto que, é de fundamental importância o conhecimento da composição química das águas salobras dos poços subterrâneos, das características físicas e químicas dos solos, bem como do grau de tolerância aos sais pelas espécies forrageiras cultivadas.

Não existe um modelo único de sistema bioassalino de produção de forragem. Várias são as possíveis combinações entre tipos de águas, de solos e de plantas. Todavia, é preciso entender que critérios de sustentabilidade devem ser considerados para que os cultivos possam ter o máximo de longevidade possível, em uma determinada área de produção. O monitoramento das condições dos componentes dos sistemas, quanto aos graus de saturação de sal deve ser sempre realizado.

Para as condições do semiárido nordestino, a premissa de uso estratégico e sazonal da agricultura bioassalina, deve ser utilizada com o máximo rigor. Sempre

deve ser levado em consideração que as águas salobras dos poços subterrâneos carregam sais para os solos e assim sendo, ela deve ser utilizada na menor quantidade possível e com critério técnico (de acordo com sua condutividade e sodicidade), respeitando a lógica de máxima eficiência de uso de água pela espécie forrageira e sua tolerância aos sais.

Por fim, não há como desconsiderar o potencial latente das águas salobras dos mais de duzentos mil poços perfurados e existentes no semiárido. Se apenas um hectare fosse cultivado com essas águas, seriam 200 mil hectares de produção de forragem, que serviriam para aumentar a capacidade de suporte das unidades pecuárias, diminuindo a vulnerabilidade dos sistemas e aumentando a eficiência de produção deles.

REFERÊNCIAS

ACOSTA-MOTOS, J. R.; ORTUÑO, M. F.; BERNAL-VICENTE, A.; DIAZ-VIVANCOS, P.; SANCHEZ-BLANCO, M. J.; HERNANDEZ, J. A. Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. **Agronomy**, [S. l.], v.7, p. 1–38, 2017.

ALMEIDA, M. C. R. de; LEITE, M. L. de M. V.; SOUZA, L. S. B. de; SIMÕES, V. J. L. P.; PESSOA, L. G. M.; LUCENA, L.; CRUZ, M. G. da; SÁ JÚNIOR, E. H. de; Agronomic characteristics of the Pennisetum glaucum submitted to water and saline stresses. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, [S. l.], v. 43, p. 2-11, 2021. DOI: 10.4025/actascianimsci.v43i1.50468

ARAÚJO, G. G. L.; VOLTOLINI, T. V.; CHIZZOTTI, M. L.; TURCO, S. H. N.; CARVALHO, F. F. R. Water and small ruminant production. **Revista Brasileira de Zootecnia = Brazilian Journal of Animal Science**, Viçosa, v. 39, p. 326-336, 2010.

AYYAM, V.; PALANIVEL, S.; CHANDRAKASAN, S. Biosaline Agriculture. **Coastal Ecosystems of the Tropics - Adaptive Management**, Singapore, 12 oct. 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-8926-9_21.

BEN SALEM, H.; NORMAN, H. C.; NEFZAQUI, A.; MAYBERRY, D. E.; PEARCED, K. L.; REVELL, D. K. Potential use of oldman saltbush (*Atriplex nummularia* Lindl.) in

sheep and goat feeding. *Small Ruminant Research*, [s. l.], v. 91, n. 1, p. 13-28, 2010.

BRUKEN, J. N. A systematic study of *Pennisetum* Sect. *Pennisetum* (Graminea). **American Journal of Botany**, [S. l.], v. 64, n. 2, p. 161-176, 1977.

CALONE, R.; SANOUBAR, R.; LAMBERTINI, C.; SPERANZA, M.; ANTISARI, L. V.; VIANELLO, G.; BARBANTI, L. Salt Tolerance and Na Allocation in *Sorghum bicolor* under Variable Soil and Water Salinity. **Plants**, [S. l.], v. 9, n. 5, p. 561, 2020.

CATELAN, F. (2010). Avaliação de grãos de milho (*Pennisetum glaucum*) na alimentação de coelhos em crescimento. 2010. 52f (Doctoral dissertation, Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual de Maringá, PR.

CLAVERO, T.; RAZZ, R. Salinity effect on growth of *Gliricidia sepium*. **Revista Científica de Veterinária**, [S. l.], v. 12, p. 517-518, 2002. Suplemento 2.

CUNHA, D. S. Características nutricionais de espécies forrageiras adaptadas ao Semiárido, cultivadas com água salobra e matéria orgânica. 80 f. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, PE.

DANTAS, S. F. de A.; LIMA, G. F. da C.; MOTA, E. P. da. Viabilidade econômica da produção de palma forrageira irrigada e adensada no semiárido Potiguar. **Revista Ipecege**, Piracicaba, v. 3, n. 1, p. 59–74, 2017. DOI: <https://doi.org/10.22167/r.ipecege.2017.1.59>.

DRUMOND, M. A.; CARVALHO FILHO, O. M. de. Introdução e avaliação de *Gliricidia sepium* na região semiárida do Nordeste Brasileiro. In: QUEIRÓZ, M.A. de; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro**. Petrolina-PE: Embrapa Semiárido; Brasília-DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, nov. 1999. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/153831/recursos-geneticos-e-melhoramento-de-plantas-para-o-nordeste-brasileiro>. Acesso em: 22 jun. 2021.

FEITOSA, F. A. C.; VIDAL, C. Estudos hidrogeológicos de bacias sedimentares da região semiárida do nordeste brasileiro. Proposta de trabalho. Fortaleza: CPRM, 2004.

FLOWERS, T. J; GALAL, H. K; BROMHAM, L. Evolution of halophytes: multiple origins of salt tolerance in land plants. **Functional Plant Biology**, Clayton, v. 37, p. 604–612, 2010.

GHASSEMI, F.; JAKEMAN, A. J.; NIX, H. A. **Salinisation of Land and Water Resources**. Wallingford: CAB International, 1995.

GHATAK, A.; CHATURVEDI, P.; NAGLER, M.; ROUSTAN, V.; LYON, D.; BACHMANN, G.; POSTL, W.; SCHRÖFL, A.; DESAI, N.; VARSHNEY, R. K.; WECKWERTH, W. Comprehensive tissue-specific proteome analysis of drought stress responses in *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. (Pearl millet). **Journal of Proteomics**, Bethesda, v. 143, p. 122-135, 2016.

GOIS, G. C.; MATIAS, A. G. S.; ARAÚJO, G. G. L.; CAMPOS, F. S.; SIMOES, W. L.; LISTA, F. N. ; GUIMARÃES, M. J. M.; SILVA, T. S.; MAGALHÃES, A. L. R.; SILVA, J. K. B. Nutritional and fermentative profile of forage sorghum irrigated with saline water. **Biological Rhythm Research**, [S. l.], v. 50, n. 1, p.1–12, 2019.

GONTIJO, M.H.R.; BORGES, A.L.C.C.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUES, J.A.S.; GOMES, S.P.; BORGES, I.; RODRIGUEZ, N.M.; CAMPOS, M.M.; PANCOTI, C.G. Qualidade nutricional de seis híbridos de sorgo com capim-sudão submetidos a épocas de plantio e cortes distintas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.7, n.1, p.45-56, 2008.

GOODIN, J. R.; NORTHINGTON, D. K. Plant resources of arid and semiarid lands: a global perspective. Orlando: Academic Press, 1985.

GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M.; POSS, J. A.; ROBINSON, P. H.; SUAREZ, D. L.; BENES, S. E. Evaluation of salt-tolerant forages for sequential water reuse systems: I. Biomass production. *Agric. Water Manage*, [S. l.], v. 70, p. 109–120, 2004.

GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; OLIVEIRA, A. R.; ARAUJO, G. G. L.; SILVA, Ê. F. de F.; WILLADINO, L. G. Biometrics and grain yield of sorghum varieties irrigated with salt water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 4, p. 285-290, 2019.

INTERNATIONAL CENTER FOR BIOSALINE AGRICULTURE- ICBA. Biosalinity news. Newsletter of the International Center of Biosaline Agriculture, Dubai, v. 9, n. 2, Jul., 2006.

KHAIRWAL, I. S.; RAI, K. N; DIWAKAR,B.; SHARMA, Y. K.; RAJPUROHIT, B. S.; BINDU, N.; RANJANA,B.. Growth and Development of Pearl Millet Plant. **International**

Crops Research Institute for the Semi-arid Tropics, Andhra Pradesh, India. p. 104, 2007.

KENNETH, K. T.; NEELTJE, C. K. **Agricultural Drainage Water Management in Arid and Semi-Arid Areas**. Rome: FAO, 2002. Irrigation and Drainage, Paper 61.

KRISHNAMURTHY L.; SERRAJ, R.; RAI K. N.; HASH JÚNIOR C. T.; DAKHEEL A. Identification of pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] lines tolerant to soil salinity. **Euphytica**, [S. l.], v. 158, p. 179-188, nov. 2007.

LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A. Clima. *In*: LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A. **Cultivo de sorgo**. 6. ed. Brasília: Embrapa Milho e Sorgo, 2010.

LIMA, G. F. C.; REGO, M. M. T.; AGUIAR, E. M.; SILVA, J. G. M.; DANTAS, F. D. G.; GUEDES, F. X.; LOBO, R. N. B. Effect of different cutting intensities on morphological characteristics and productivity of irrigated *Napolea* forage cactos. **ISHS Acta Horticulturae**, [S. l.], v. 1067, p. 243-258, 2015.

LIRA, J. B. Potencial forrageiro do milheto e sorgo irrigados com água salina e níveis de matéria orgânica. 70 f. 2019. Dissertação (Mestrado em Produção Agrícola). Universidade Federal de Pernambuco, Garanhuns, PE.

LIRA, J. B. de; ANDRADE, A. P. de; MAGALHÃES, A. L. R.; CAMPOS, F. S.; ARAÚJO, G. G. L. de; DEON, D. S.; GOIS, G. C., REGINATO Neto, A. R.; CUNHA, D. S.; TABOSA, J. N.; SILVA, T. G. F.; NAGAHAMA, H. de J. Production of Pearl Millet Irrigated with Different Levels of Brackish Water and Organic Matter. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v. 51, n. 5, p. 1 - 9, 2020.

MASTERS, D. G.; BENES, S. E.; NORMAN, H. C. Biosaline agriculture for forage and livestock production. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 119, p. 234-248, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2006.08.003>.

NATIONAL ACADEMY SCIENCES (Washington). **Firewood crops: shrub and tree species for energy production**. Washington, 1980. 237 p.

NICOLAU SOBRINHO, W. *et al.* Acúmulo de nutrientes nas plantas de milheto em função da adubação orgânica e mineral. **Caatinga** (Mossoró, Brasil), v. 22, n. 3, p.107- 110, julho/setembro 2009.

NUNES, T. C. M. D. **Sistemas biossalinos de produção de palma forrageira recebendo crescentes lâminas de água e doses de matéria orgânica**. 2018. 44 f. Dissertação (Pós-graduação em Forragicultura e pastagens) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, 2018.

PERAZZO, A. F.; SANTOS, E. M.; PINHO, R. M. A.; CAMPOS, F. S.; FARIAS RAMOS, J. P.; AQUINO, M. M.; SILVA, T. C.; BEZERRA, H. F. C. Características agronômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 10, p. 1771-1776, 2013.

PERRET, V.; SCATENA, C. M. **Milheto**: um cereal alternativo para os pequenos produtores do sertão da Bahia. Salvador: EMATER-BA-CPATSA, 1985. 103 p. (Série pesquisa e desenvolvimento, 9).

PORTO, E. R.; ARAÚJO, G. G. L. de. **Erva Sal** (*Atriplex nummularia*). Petrolina: Embrapa-CPATSA, 1999. (. Instruções Técnicas, 22).

PORTO, E. R. *et al.* Rendimento da *Atriplex nummularia* irrigada com efluentes da criação de tilápia em rejeito da dessalinização de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 97-103, 2006.

RAHMAN, M. A.; DAS, A. K.; SAHA, S. R.; UDDIN, M. M.; RAHMAN, M. M. Morpho-physiological response of *Gliricidia sepium* to seawater-induced salt stress. **The Agriculturists**, Bangladesh, v. 17, n. 1-2, p. 66-75, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3329/agric.v17i1-2.44697>.

RAMOS, J. P. F.; SANTOS, E. M.; SOUSA, W. H. Estratégias de produção, conservação e utilização de forragens para alimentação de caprinos e ovinos no semiárido. *In*: CAMPOS, F. S.; SANTOS, E. M.; SOUSA, W. H.; MEDERIOS, L. T. V.; OLIVEIRA, F. G.; RAMOS, J. P. F. **Estratégias de utilização do milho para alimentação de caprinos e ovinos no Semiárido**. João Pessoa: EMEPA-PB, 2018. p. 79-93. Disponível em: <http://empaer.pb.gov.br/pdf/livro-estrategias-de-producao-de-forragens>. Acesso em: 23 jun. 2021.

RODRIGUES, C. T. A. **Avaliação de plantas de gliricídia submetida a diferentes lâminas de irrigação, doses de matéria orgânica e momentos de corte em sistema bioassalino**. Dissertação (Pós-Graduação em Recursos Naturais do Semiárido) – Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Petrolina-PE, 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181998/1/Dissertacao.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2021.

SAADAT, S.; HOMAEE, M. Modeling sorghum response to irrigation water salinity at early growth stage. **Agric. Water Manag.**, [S. l.], v. 152, p. 119–124, 2015.

SHAKERI, E.; EMAM, Y.; TABATABAEI, S. A.; SEPASKHAH, A. R. Evaluation of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.) lines/cultivars under salinity stress using tolerance

índices. **International Journal of Plant Production**, Chhattisgarh, v. 11, p. 101-116, 2017.

SILVA, J. S. **Caracteres fisiológicos e bioquímicos de dois genótipos de sorgo forrageiro submetidos à salinidade**. 2003. 109 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2003.

SILVA, J. R. R.; MISTURA, C.; ARAUJO, G. G. L. de; PORTO, E. R.; VOLTOLINI, T. V.; OLIVEIRA, P. T. L. de; SANTOS, O. O. dos. Produção de erva-sal cultivada em diferentes espaçamentos e irrigada com rejeito de dessalinizadores no semi-árido. *In*: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 46., 2009, Maringá. **Inovação científica e tecnológica em zootecnia: anais dos resumos**. Maringá: SBZ: UEM, 2009. 1 CD-ROM.

SILVA, R. H. D. **Crescimento de palma forrageira irrigada com água salina**. 2017. 56 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2017.

SUN, Y. *et al.* Variability in Salt Tolerance of Sorghum bicolor L. **Agricultural Science**, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 9-21, 2014.

TRINDADE, A. R. *et al.* Influência do acúmulo e distribuição de íons sobre a aclimação de plantas de sorgo e feijão-de-corda, ao estresse salino. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 804-810, 2006.

ULLAH, A.; AHMAD, A.; KHALIQ, T.; & AKHTAR, J. Recognizing production options for pearl millet in Pakistan under changing climate scenarios. **Journal of Integrative Agriculture**, 16(4), 762-773, 2017.

CAPÍTULO 7

Estresse salino em plantas e formas de mitigação

Claudivan F. de Lacerda, Eduardo S. Cavalcante, Antônia L. R. Neves, Alberto S. de Melo, Carlos H. C. de Sousa, Wiliana J. F. de Medeiros

7.1 INTRODUÇÃO

A salinidade é um problema que impacta a produção vegetal em todo o mundo, podendo estar presente no solo ou na água de irrigação. Os solos afetados por sais (salinos, sódicos e salino-sódicos) ocupam cerca de 1,0 bilhão de hectares em áreas costeiras e continentais de todo o mundo, principalmente em regiões áridas e semiáridas (WICKE *et al.*, 2011; SHARMA; SINGH, 2015; BELTRÁN, 2016; TALEISNIK; LAVADO, 2021). No Brasil, os problemas de solos afetados por sais se concentram na zona semiárida da Região Nordeste (RIBEIRO *et al.*, 2016).

A salinidade também está presente nas fontes hídricas das regiões semiáridas, impactando de forma direta a agricultura irrigada. De fato, cerca de 99% da água da terra apresenta elevada salinidade e se encontra nos mares e oceanos. A água doce disponível no mundo é rara, sendo parte das águas continentais de origem subterrânea, com proporções diminutas em lagos, rios e sistemas biológicos (FAO, 2020). Em regiões semiáridas, como ocorre em parte do Nordeste brasileiro, é comum a ocorrência de águas salobras, principalmente as fontes de origem subterrânea (MEDEIROS, 1992). A falta de água doce associada ao fenômeno recorrente das secas leva os agricultores a produzirem com águas salobras, as quais apresentam restrições, especialmente se mal manejadas.

A avaliação dos impactos ambientais da agricultura irrigada é essencial para promover o entendimento dos processos de degradação dos recursos naturais e orientar a adequação de alternativas tecnológicas ao processo produtivo, bem como delinear medidas corretivas e de manejo que permitam auferir os máximos benefícios sociais com o mínimo de prejuízos ambientais. Nesse contexto, a compreensão de como os fatores de estresse atuam nos sistemas agrícolas é de fundamental importância, particularmente os de característica multifacetada, como é o estresse provocado pelo excesso de sais.

Neste capítulo busca-se apresentar a complexidade do estresse salino em condições de campo e discute-se as estratégias para redução dos impactos sobre a produção vegetal, ou seja:

- a) Reduzir a intensidade do estresse, mediante diversas técnicas de manejo da cultura, do solo e da água;
- b) Mitigar os efeitos do estresse, mediante melhoramento genético e, ou técnicas que visam a aclimação das plantas à salinidade.

7.2 A COMPLEXIDADE DO ESTRESSE SALINO

Muito tem se discutido dos efeitos dos sais no solo e nas plantas, das técnicas de recuperação de solos afetados por sais e das culturas mais tolerantes à salinidade. Entretanto, é necessário melhor entendimento do estresse salino, notadamente sob condições de campo. Essa compreensão não é uma tarefa fácil e exige muita atenção, visto que o mesmo pode variar no espaço e no tempo, bem como em sua qualidade, intensidade e duração. Além disso, os problemas de salinidade não são uniformes e podem ser contínuos ou intermitentes, induzidos ou naturais, isolados ou combinados (MEDEIROS *et al.*, 2018).

As plantas submetidas ao estresse salino podem responder de diferentes formas a depender da intensidade do estresse. Por exemplo, as plantas cultivadas

quando submetidas ao estresse salino contínuo têm grande dificuldade de se recuperar, pois estão submetidas constantemente à salinidade. Já no estresse salino intermitente, as plantas são submetidas à salinidade por períodos, havendo sempre um espaço sem exposição ao estresse ou exposição em baixa intensidade (SANTOS *et al.*, 2020). Nesse sentido, em sistemas de cultivos agrícolas sob estresse salino contínuo há necessidade de um manejo mais eficiente em comparação àqueles sob estresse salino intermitente.

O estresse salino pode ocorrer pela salinização natural ou pode ser ocasionado por atividades antrópicas, sendo esta última denominada de salinização secundária. De forma geral, a salinização natural pode ocorrer pelas seguintes causas: invasão de água mar que deposita seus sais no terreno atingido, inclusive pela ação de tsunamis (LEE *et al.*, 2008); acumulação de sais provenientes de áreas circunvizinhas, por escoamento superficial e drenagem lateral; e ascensão dos sais por capilaridade. Já a salinização secundária pode ocorrer em consequência das seguintes causas: deposição dos sais pela água de irrigação contendo sais em solução; elevação dos sais à superfície por ascensão do lençol freático, em virtude do manejo inadequado da água e do solo; drenagem deficiente ou inexistente; e o uso excessivo de fertilizantes minerais (RIBEIRO *et al.*, 2016).

Quando visto de forma isolada, podemos definir ou separar o estresse salino em dois principais componentes: osmótico e iônico. No osmótico, há redução no fluxo em massa no xilema, o qual ocasiona redução na absorção de água pela planta. Já o iônico pode resultar em toxicidade ou desordens nutricionais, com isso acarreta excesso ou deficiência de determinado nutriente. Dessa forma, o excesso de sais nas plantas promove alterações em seus processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição de nutrientes, provocando desordens fisiológicas que comprometem o desenvolvimento das culturas (MUNNS; TESTER, 2008; DIAS *et al.*, 2016; TAIZ *et al.*, 2017).

O estresse salino isolado, conforme descrito acima, pode ser observado em cultivos hidropônicos com águas salobras (ALVES *et al.*, 2011) ou quando se tem uma planta irrigada com águas salobras em solo não salino (CAVALCANTE *et al.*, 2021). A realidade se torna bem diferente na ocorrência do estresse combinado com outro fator do solo, especialmente o déficit ou o excesso hídrico. Por exemplo, o cultivo da halófito *Atriplex nummularia* irrigada com rejeito de dessalinização resulta em altas produtividade de biomassa (PORTO *et al.*, 2006). Nesse caso, trata-se de uma halófito submetida apenas ao estresse pelo excesso de sais. Por outro lado, o mesmo vegetal cultivado em solo salino sob condições de sequeiro no semiárido é impactada por dois fatores de estresse (estresse salino e déficit hídrico), os quais resultam em menor crescimento e produção de biomassa (RIBEIRO *et al.*, 2016). Obviamente, o estresse salino se torna bem mais intenso à medida que a umidade do solo decresce.

O excesso de sódio também é um problema preocupante em diversas partes do mundo. A sodicidade, termo associado ao excesso de sódio trocável, impacta a estrutura e diminui a permeabilidade do solo, com efeitos indiretos sobre as plantas (RENGASAMY, 2016), sendo muitas vezes mais prejudiciais que os efeitos diretos da salinidade. O excesso de sódio na solução do solo também pode inibir a absorção de nutrientes pelos vegetais, como potássio e cálcio, além de ocasionar desequilíbrio no sistema de oxirredução e com isso causar sérios danos fisiológicos nas plantas.

Os efeitos da sodicidade na estrutura do solo reduz a permeabilidade do solo, o que acarreta numa situação de estresse combinado, ou seja, salinidade e excesso hídrico, comumente observada em áreas de aluvião nos perímetros irrigados. Essa combinação de fatores resulta em respostas diferentes para espécies sensíveis e tolerantes ao excesso de sais, conforme ilustrado na Figura 1 para a cultura do arroz, considerada sensível à salinidade (AYERS; WESTCOT, 1999) e para o coqueiro,

considerado tolerante à salinidade (FERREIRA NETO *et al.*, 2002; SANTOS *et al.*, 2020). O arroz (*Oryza sativa* L.) a despeito de ser considerado sensível à salinidade se mostra tolerante aos efeitos indiretos da sodicidade, pois tem mecanismos para captar o oxigênio em solos inundados ou encharcados, o que permite a utilização dessa espécie inclusive durante os processos de recuperação de solos afetados por sais (GHEYI *et al.*, 1995; GOMES *et al.*, 2000; COSTA *et al.*, 2005). Por outro lado, o coqueiro se mostra sensível ao encharcamento e pode ser cultivado em solos afetados por sais, desde que seja instalado um sistema de drenagem para remover o excesso de água (SOUSA *et al.*, 2011; MEDEIROS *et al.*, 2018).

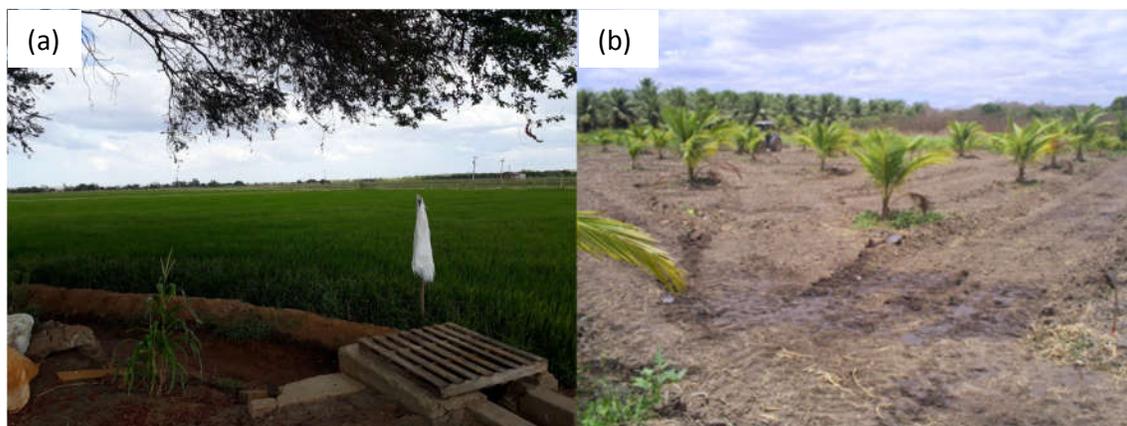


Figura 1 – Cultivo de arroz e de coqueiro em solo salino sódico

(a) Arroz cultivado em solo salino sódico sob inundação no Perímetro Irrigado de Morada Nova, Ceará.

(b) Coqueiro cultivado em solo salino sódico com problemas de drenagem

Fonte: (a) SOUSA *et al.*, 2011; (b) Arquivo pessoal de Raimundo Nonato Távora Costa.

7.3 ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DA INTENSIDADE DO ESTRESSE

A agricultura bioassalina emerge como uma alternativa para o uso de água salobras na produ o vegetal (DANTAS *et al.*, 2019), quando associada ao emprego de boas estratégias de manejo (LACERDA *et al.*, 2021). Para tanto, faz-se necessário o conhecimento da espécie ou cultivar, da tolerância em cada est dio fenológico,

da composição salina do meio, da intensidade e da duração do estresse, das condições edafoclimáticas e do manejo da irrigação, pois o grau de severidade da salinidade que afeta o crescimento e o desenvolvimento das plantas é dependente, principalmente, desses fatores. A seguir serão discutidas algumas destas estratégias.

7.3.1 Uso de plantas tolerantes

O uso de plantas tolerantes é uma das mais importantes linhas para a agricultura bioassalina. Nesse contexto, temos espécies halófitas com potencial agrícola (COSTA; BONILLA, 2016; FERNANDES *et al.*, 2016) e glicófitas tolerantes e moderadamente tolerantes (LACERDA *et al.*, 2016c). As halófitas são espécies nativas de ambientes salinos, enquanto as glicófitas compreendem a maioria das espécies cultivadas, as quais sofrem redução no crescimento e produtividade mesmo sob níveis baixos de sais na solução do solo (GREENWAY; MUNNS, 1980).

Para Ayers e Westcot (1999), os valores de salinidade limiar (do solo e da água) e as taxas de decréscimo no rendimento das culturas tornam possível classificar as diferentes espécies cultivadas conforme o seu grau de tolerância à salinidade. Essa classificação tem sido obtida a partir de dados de produtividade (grãos, madeira, biomassa, etc.), embora dados de crescimento também possam ser empregados. Destacam-se entre as tolerantes e moderadamente tolerantes: algodão, sorgo, soja e trigo. Para outras espécies, notadamente as ornamentais, a classificação pode levar em consideração os aspectos visuais, inclusive a presença de injúrias foliares, os quais são relevantes no processo de comercialização (MIYAMOTO *et al.*, 2004).

Por outro lado, as halófitas apresentam a habilidade de extrair sais do solo devido às suas altas taxas de absorção e acumulação nos tecidos, sobretudo na

parte aérea. Ponto-chave é a fitorremediação como estratégia eficiente de recuperação de solos salinos e sódicos, tanto pela remoção de quantidades consideráveis de sais do solo, quanto pela melhoria de sua estruturação, com isso tendendo incrementar a atividade biológica em áreas anteriormente sem cobertura vegetal (FREIRE *et al.*, 2016). Um exemplo a ser citado pode ser a pesquisa de Souza *et al.* (2012), os quais registraram o uso da *Atriplex nummularia* como potencial para restauração de solos afetados por sais, destacando-se a alta produtividade de matéria seca por essa halófita.

Outra planta halófita que merece destaque é a *Sarcocornia ambigua* (Michx.) M.A. Alonso & M.B. Crespo, sendo uma oleaginosa com grande potencial gourmet e fitoterápico, a qual pode ser explorada em sistemas agrícolas com água salgada e efluentes salinos. Além disso, essa espécie apresenta em seus caules e sementes alta qualidade nutricional, destacando-se os minerais, K, Mg, Ca e Zn; além de compostos fenólicos com propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias. Devido às suas possibilidades, a *Sarcocornia ambigua* pode ser utilizada na alimentação humana e animal, sendo o biosal produzido de sua massa seca rico em minerais e com teor de sódio, de apenas 30%, é uma excelente opção para a indústria farmacêutica e de alimentos; além da possibilidade na produção de biocombustível (COSTA; BONILLA, 2016).

7.3.2 Cultivo de plantas ornamentais

No Brasil, o cultivo de plantas ornamentais é uma importante atividade econômica devido à diversidade climática e pontos estratégicos ao seu escoamento para vendas. A floricultura brasileira tem mostrado um desenvolvimento progressivo, devido ao aumento do consumo interno propiciado pelo crescimento

do mercado e à conquista das exportações, o que tem contribuído para manter a mão de obra local ocupada nas áreas rurais (NEVES; PINTO, 2015).

No contexto, o desenvolvimento da agricultura no semiárido brasileiro depende, sobretudo, da exploração correta e do uso eficiente dos recursos naturais (NEVES *et al.*, 2018). Sendo assim, esses pesquisadores estudaram os efeitos do uso de águas salinas, em solo adubado com biofertilizante bovino, sobre as respostas morfofisiológicas e na qualidade (análise sensorial) de plantas de Boa Noite (*Catharanthus roseus*). Por meio de análises quantitativas (crescimento e fisiológicas) e qualitativas (análise sensorial), registraram-se que essa espécie de cor branca pode ser produzida com água salina de 2,5 dS m⁻¹, pois os julgadores na análise sensorial deram maior destaque às plantas deste sistema de cultivo. Destacaram que a frequência de aplicação do biofertilizante não atenuou os efeitos da salinidade e concluíram que a aplicação de biofertilizante bovino líquido pode ser de uma única vez, diminuindo custos de produção.

Estudo mais amplo com quatro espécies ornamentais também confirmou a importância dos aspectos qualitativos (visuais) das plantas na análise da tolerância à salinidade, pois a beleza na aquisição de uma planta ornamental nem sempre está associada ao seu tamanho (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Nesse contexto, esses pesquisadores avaliaram a tolerância à salinidade de quatro espécies (Boa Noite - *Catharanthus roseus*, Alamanda amarela - *Allamanda cathartica*, Mini Lacre - *Ixora coccinea* e Pingo de Ouro - *Duranta erecta*) com base em três metodologias diferentes, das quais duas basearam-se apenas em dados quantitativos de crescimento e uma nova que considerou dados de crescimento e análises visuais. Assim, pelo índice global (quantitativo e qualitativo), as espécies pesquisadas foram classificadas como: *I. coccinea* (Moderadamente tolerante, que pode ser produzida sob irrigação com água salina até CEa = 6,0 dS m⁻¹); *C. roseus* e *D. erecta* (Moderadamente sensível, que pode ser produzido sob irrigação com água salina

até $CEa = 3,0 \text{ dS m}^{-1}$) e *A. cathartica* (sensível, que pode ser produzida sob irrigação com água salina inferior a $CEa = 2,0 \text{ dS m}^{-1}$). A Figura 2 ilustra o desenvolvimento da espécie *I. coccinea* sob níveis baixos e elevados de salinidade.



Figura 2 - Fotos das espécies *Ixora coccinea* sob baixos e elevados níveis de salinidade. Observa-se a ausência de injúrias foliares, mesmo sob elevados níveis de sais, bem como a presença de flores até $10,0 \text{ dS m}^{-1}$.

Estudos sobre os mecanismos de tolerância aos sais de plantas ornamentais em condições tropicais são escassos, considerando que a salinidade afeta o crescimento e a qualidade das plantas ornamentais (LACERDA *et al.*, 2020). Nesse contexto, avaliaram-se aspectos morfofisiológicas de folhas de quatro espécies ornamentais tropicais, a fim de identificar os mecanismos envolvidos na tolerância à salinidade e seus potenciais de irrigação com água salobra foram investigadas por Lacerda *et al.* (2020). Na pesquisa foram estudados dez níveis de condutividade elétrica da água de irrigação ($0,5$; $1,0$; $2,0$; $3,0$; $4,0$; $5,0$; $6,0$; $8,0$; $10,0$ e $12,0 \text{ dS m}^{-1}$) e quatro espécies tropicais ornamentais (*Catharanthus roseus*, *Allamanda cathartica*, *Ixora coccinea* e *Duranta erecta*). Os pesquisadores concluíram que as respostas fisiológicas e morfofisiológicas das folhas indicam que a espécie *I. coccinea* possui alta capacidade de crescimento sob irrigação com água salina. A sua maior tolerância à salinidade está relacionada à menor concentração de sódio

nas folhas. Por outro lado, a sensibilidade de *D. erecta* foi associada à alta concentração de sódio e de prolina nas folhas. Embora a alta concentração foliar de prolina tenha se mostrado como um indicador relacionado à sensibilidade de *D. erecta* em condição de estresse salino, esse achado não deve ser generalizado a todas as espécies ornamentais estudadas na pesquisa.

7.3.3 Uso cíclico de água salina e mistura de águas de diferentes qualidades

O uso cíclico, também conhecido como modo de aplicação rotacional de água na irrigação, facilita a efetiva utilização conjunta das águas doce e salina na agricultura sustentável. Uma grande vantagem da estratégia do uso cíclico é que as condições de estado estacionário de salinidade no perfil do solo não são alcançadas. Isso se deve ao fato de que a qualidade da água de irrigação muda ao longo do tempo. Outra vantagem desta estratégia é que não exige investimentos em estruturas para a mistura de águas de diferentes qualidades (NEVES *et al.*, 2015). A Figura 3 ilustra a visão do cultivo do feijão-de-corda sob diferentes estratégias de manejo, incluindo o uso cíclico e uso alternado.



Figura 3 - Cultivo do feijão-de-corda sob diferentes estratégias de manejo, incluindo o uso cíclico e uso alternado.

Fonte: NEVES, 2011, arquivo pessoal

Caso a água de boa qualidade esteja disponível, irrigam-se as culturas nos estádios iniciais (germinação e estabelecimento da plântula) com esta água, por serem as fases mais sensíveis à salinidade; e usa-se a água salobra nas irrigações posteriores, quando as plantas se tornam mais tolerantes à salinidade.

O estresse pode se manifestar em vários graus de severidade, com duração variável, de modo contínuo ou alternado. Em relação às plantas, a intensidade do estresse vai depender do órgão ou do tecido alvo, do estágio de desenvolvimento da planta e do genótipo em questão. As respostas de muitas espécies vegetais em relação à salinidade podem variar de acordo com o seu estágio de desenvolvimento (MAAS; HOFFMAN, 1977). Uma estratégia muito promissora é a mistura de águas com diferentes salinidades, essa alternativa pode reduzir a concentração de sais e aumentar o volume de água disponível para irrigação (LACERDA *et al.*, 2016a).

Outra alternativa viável é o aumento da densidade de plantio (GOMES *et al.*, 2011), haja vista, que em plantios mais adensados as plantas podem apresentar

maiores taxas de fotossíntese líquida em relação às irrigadas com águas de baixa salinidade. Isso se dá devido ao tamanho reduzido de suas folhas proporcionar maior exposição e interceptação de radiação em comparação às plantas não estressadas (LACERDA *et al.*, 2011). Esses pesquisadores constataram maior eficiência do uso da terra em plantio de feijão-caupi com maior densidade de plantas em ambiente sob estresse salino, obtendo-se maiores produtividades em relação à menor densidade de plantas.

7.3.4 Aproveitamento de águas salobras em cultivos hidropônicos

O cultivo hidropônico consiste na técnica de cultivo sem solo, na qual as plantas são cultivadas em solução nutritiva. A solução nutritiva é preparada com água e fertilizantes, devendo ter pH e concentração de nutrientes adequados para cada cultura. Dentre as vantagens da hidroponia citam as maiores eficiências na utilização de água e fertilizantes e o menor impacto ambiental (SANTOS JÚNIOR *et al.*, 2011).

Estudos têm sido desenvolvidos no sentido de avaliar o potencial do aproveitamento de águas salobras de poços profundos e de rejeito de dessalinizadores em cultivos hidropônicos, visando a rentabilidade das culturas (SANTOS JÚNIOR *et al.*, 2011; DIAS *et al.*, 2019; SOARES *et al.*, 2019; AMORIM *et al.*, 2021). Nesse sentido, com uso de águas salinas em hidroponia é possível cultivar vegetais de interesses com maior economia de água e eficiência de insumos, menor risco ambiental e menor depleção do rendimento comercial (MACIEL *et al.*, 2012). Além das hortaliças, principal produto hidropônico do Brasil, culturas de aptidão ornamental são particularmente interessantes, devido à sua alta rentabilidade e com isso criar novas alternativas viáveis ao empreendimento hidropônico por meio do uso de águas salobras como insumo agrícola.

7.4 MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DO ESTRESSE SALINO

Foi discutido anteriormente que há diferentes maneiras de reduzir a intensidade do estresse salino, fazendo com que as plantas sejam menos expostas à salinidade. Seguindo esta linha de raciocínio, surgem os seguintes questionamentos: é possível reduzir os efeitos da salinidade nas plantas expostas a diferentes níveis de estresse? Existe alguma alternativa para que haja uma redução efetiva do estresse salino nas plantas?

O grande desafio dos pesquisadores está em entender como aliviar os efeitos do estresse salino nas plantas, ou como fazer para a planta tolerar esse já existente, de maneira em que a agricultura possa replicar tal alternativa, com minimização das perdas de produtividade e sem que haja danos ao meio ambiente.

Atualmente, grande parte das pesquisas são direcionadas ao melhoramento genético, buscando desenvolver cultivares mais tolerantes ao estresse salino (ASHRAF; AKRAM, 2009; JAMIL *et al.*, 2011; SOARES FILHO *et al.*, 2016). Outro caminho buscado pelos pesquisadores é a aplicação de produtos no solo e ou nas plantas no intuito de aliviar os efeitos deletérios do estresse.

Vários estudiosos mencionaram que é importante entender os efeitos da salinidade sobre o vegetal e os mecanismos de ajustamento realizados pelas plantas para atenuar esse estresse abiótico. Como já explanado, há três efeitos da salinidade sob a planta: efeito osmótico, toxicidade e distúrbios nutricionais (MUNNS; TESTER, 2008; DIAS *et al.*, 2016; TAIZ *et al.*, 2017). No efeito osmótico, há uma redução na absorção de água pelos vegetais. Um caminho para reduzir tal efeito é selecionar produtos que consigam atuar no mecanismo de ajustamento osmótico; e algumas tentativas têm sido feitas com aplicação de glicina-betaína e prolina, por exemplo (EL MOUKHTARI *et al.*, 2020; CISSE *et al.*, 2021)

Outro efeito da salinidade é a toxicidade que os sais promovem às plantas, principalmente pelos elevados teores de sais de sódio e cloro no solo e na água de

irrigação. Uma forma de atenuar esses efeitos é buscar uma alternativa que possa agir diretamente no mecanismo de controle na absorção dos elementos, no sequestro vacuolar ou até mesmo na indução do sistema de proteção antioxidativo (DIAS *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2018). O intuito a partir desta alternativa é fazer com que o produtor consiga aplicar um determinado produto no solo e/ou na planta e que esse produto possa reduzir a absorção do sódio e cloreto, por exemplo, reduzindo a concentração desses elementos na planta.

O excesso de sais na zona radicular também pode promover desequilíbrio nutricional nas plantas pelas alterações em seus processos fisiológicos. Uma alternativa para reduzir o efeito do excesso de sais é atuar diretamente nos sistemas de absorção e transportes de nutrientes, fazendo com que os nutrientes sejam disponibilizados em quantidades corretas às plantas (MUNNS; TESTER, 2008; DIAS *et al.*, 2016; TAIZ *et al.*, 2017).

Muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas com a aplicação de diferentes produtos no intuito de reduzir os efeitos do estresse salino. Os produtos são aplicados no solo e/ou na planta e agem diretamente nos mecanismos de absorção, transporte, assimilação e/ou distribuição de nutrientes, a fim de aliviar o estresse salino no qual a planta está sofrendo. Como exemplo, pode ser citado a aplicação de adubos químicos, biofertilizantes, micorrizas/fungos endofíticos, biochar, silício, caulim, extratos de algas, peróxido de hidrogênio, dentre outros produtos (GONDIM *et al.*, 2013; LÚCIO *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2013; AKHTAR *et al.*, 2015; ALMUTAIRI, 2016; BOARI *et al.*, 2016; NEUMANN *et al.*, 2017; SA *et al.*, 2019).

Os adubos químicos utilizados na agricultura são fontes de nutrientes (macro e micronutrientes) e eles desempenham o papel de suprir os nutrientes do solo que estão em déficit. Além de suprir os nutrientes do solo, alguns adubos químicos reduzem a absorção de sódio e cloro e podem produzir osmorreguladores, como é o caso do nitrogênio que participa na produção de diferentes aminoácidos,

como a prolina. Há registros alertando que se deve tomar cuidado com a quantidade aplicada de fertilizantes, pois, a depender da dose, os mesmos podem contribuir para elevar o estresse salino ou aumento das perdas por lixiviação e consequente contaminação ambiental (LACERDA *et al.*, 2016b; LACERDA *et al.*, 2018; SA *et al.*, 2019; RIBEIRO *et al.*, 2020).

Os biofertilizantes são fontes de nutrientes e substâncias orgânicas às plantas, e extensamente utilizados por agricultores, principalmente na agricultura familiar sustentável. Alguns estudos mostram que a utilização de biofertilizantes podem amenizar os efeitos da salinidade nos vegetais (SILVA *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2013; SOUSA *et al.*, 2016).

Na mitigação do estresse abiótico o uso de microorganismos tem sido intensificado, a exemplo da aplicação de fungos micorrízicos arbusculares e endofíticos em ambiente de cultivo, visando auxiliar na absorção de nutrientes pelas plantas e favorecer o crescimento das mesmas em ambientes salinos (DODD; PÉREZ-ALFOCEA, 2012; LÚCIO *et al.*, 2013; FARIAS *et al.*, 2020).

Outra alternativa é a aplicação do biochar (resíduos agrícolas carbonizados), o qual também pode aliviar os efeitos do estresse salino. Esse produto pode promover melhorias nas condições de fertilidade do solo, na retenção de nutrientes e de água no solo. A utilização desse biocarvão pode amenizar em curto prazo os efeitos negativos do estresse de sais sobre as culturas, visto que tende a complexar o sódio, tornando-o menos disponível na solução do solo (THOMAS *et al.*, 2013; AKHTAR *et al.*, 2015).

Muitos estudos mostram que a aplicação de silício tem melhorado a germinação, crescimento e produtividade de diferentes culturas, atuando em mecanismos fotossintéticos e bioquímicos, atenuando os efeitos dos sais na planta (MIRANDA *et al.*, 2010; PARVEEN; ASHRAF, 2011; LI *et al.*, 2015; ALMUTAIRI, 2016). Além do silício, a aplicação de caulim também vem sendo explorada na redução do

estresse salino, agindo como antitranspirante e atuando na redução do estresse térmico (BOARI *et al.*, 2016; LEITE *et al.*, 2016).

Quanto ao uso de extratos de algas marinhas na agricultura, as pesquisas estão relacionadas à presença de agentes antioxidantes em sua composição, produção de hormônios vegetais e maior disponibilidade de nutrientes minerais, melhorando o crescimento e desenvolvimento de plantas submetidas ao estresse salino (CARVALHO; CASTRO, 2014; KUMAR, 2014; NEUMANN *et al.*, 2017).

Comumente testado de forma exógena nos últimos anos, o peróxido de hidrogênio é outra substância que pode ser utilizada na atenuação do estresse salino. No tratamento de sementes, o peróxido de hidrogênio atua promovendo a sinalização e tolerância cruzada, quando as plantas são expostas ao estresse. O seu efeito promove melhoria nas atividades de enzimas antioxidantes, reduzindo danos na membrana celular causado pelo sódio (GONDIM *et al.*, 2011; GONDIM *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2016).

7.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações apresentadas nesse capítulo mostram que a salinidade é um fator de estresse multifacetado, o qual promove acúmulo de íons potencialmente tóxicos e pode impactar a absorção de água e de nutrientes, limitando o desenvolvimento vegetal. Esses impactos são variáveis, considerando-se o tempo, a intensidade, o sistema de cultivo, a tolerância da cultura e a existência simultânea de outros fatores de estresse, notadamente o déficit ou excesso de água. Também fica evidente que o sucesso da agricultura bioassalina depende de um conjunto de técnicas que permitam a redução da intensidade do estresse e, ou dos seus efeitos sobre as plantas cultivadas. A utilização de estratégias combinadas, incluindo plantas tolerantes e técnicas de manejo, parecem eficazes nesse contexto. Por

outro lado, a aplicação de agentes atenuantes do estresse salino é uma estratégia promissora, entretanto, ainda há necessidade da realização de pesquisas de validação em condições de campo.

REFERÊNCIAS

AKHTAR, S. S.; ANDERSEN, M. N.; LIU, F. Residual effects of biochar on improving growth, physiology and yield of wheat under salt stress. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 158, n. 1, p. 61-68, 2015.

ALMUTAIRI, Z. M. Effect of nano-silicon application on the expression of salt tolerance genes in germinating tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings under salt stress. **Plant Omics Journal**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 106-114, 2016.

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**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 491-498, 2011.

AMORIM, M. A.; SOARES, B. T. M.; COVA, A. M. W.; PAZ, V. P. DA S.; GHEYI, H. R.; SEVERO RAFAEL, M. R.; MODESTO, F. J. N.; SANTANA, J. DA A.; NEVES, B. S. L. DAS. Hydroponic production of 'biquinho' pepper with brackish water. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 245, n. 28, p. 1-10, 2021.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p.

ASHRAF, M.; AKRAM, N. A. Improving salinity tolerance of plants through Conventional Breeding and Genetic Engineering: an analytical comparison. **Biotechnololy Advances**, [S. l.], v. 27, n. 6, p. 744-752, 2009.

BELTRÁN, J. M. Integrated approach to address salinity problems in irrigated agriculture. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F.; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSAL, 2016. cap. 1, p. 3-6.

BEZERRA, F. M. S.; LACERDA, C. F. DE; RUPPENTHAL, V.; CAVALCANTE, E. S.; OLIVEIRA, A. C. DE. Salt tolerance during the seedling production stage of

catharanthus roseus, tagetes patula and celosia argentea. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 51, n. 3, 2020.

BOARI, F.; DONADIOA, A.; PACEA, B.; SCHIATTONI, M. I.; CANTOREA, V. Kaolin improves salinity tolerance, water use efficiency and quality of tomato. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 167, p. 29 – 37, 2016.

CARVALHO, M. E. A.; CASTRO, P. R. DE C. Extratos de algas e suas aplicações na agricultura. **Série Produtor Rural**, Piracicaba, n. 56, 2014. 58 p.

CAVALCANTE, E. S.; LACERDA, C. F.; COSTA, R. N. T.; GHEYI, H. R.; PINHO, L. L.; BEZERRA, F. M. S.; OLIVEIRA, A. C.; CANJÁ, J. F. Supplemental irrigation using brackish water on maize in tropical semi-arid regions of brazil: yield and economic analysis. **Scientia Agricola**, São Paulo, v. 78, suppl. 1, 2021.

COSTA, C. S. B.; BONILLA, O. H. Halófitas brasileiras: formas de cultivo e usos. *In*: GHEYI, H. R., DIAS, N. DA S.; LACERDA, C. F. DE; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura: estudo básico e aplicados**. 2.ed. Fortaleza: INCTSAL, 2016. 504 p.

COSTA, R. N. T.; COLARES, D. S.; SAUNDERS, L. C. U.; SOUZA, F. Análise das eficiências de aplicação e de uso da água em cultivo de arroz no perímetro irrigado Morada Nova, CE. **Irriga**, Botucatu, v. 10, p. 372-382, 2005.

CISSE, E. H. M.; MIAO, L. F.; YANG, F.; HUANG, J. F.; LI, D. D.; ZHANG, J. Gly betaine surpasses melatonin to improve salt tolerance in dalbergia odorifera. **Frontiers Plant Science**, London, v. 12, p. 588, 2021.

DANTAS, B. F.; RIBEIRO, R. C.; OLIVEIRA, G. M.; SILVA, F. F. S.; ARAÚJO, G. G. L. Biosaline production of seedlings of native species from the caatinga dry forest. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, p. 1551-1560, 2019.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; SOUSA NETO, O. N.; QUEIROZ, I. S. R. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. *In*: GHEYI, R. H.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSAL, 2016. cap.11, p. 151-162.

DIAS, N. S.; DINIZ, A. A.; MORAIS, P.L.D; PEREIRA, G. S.; SA, F. V. S.; SOUZA, B. G. A.; CAVALCANTE, L. F.; FERREIRA NETO, M. Yield and quality of cherry tomato fruits in hydroponic cultivation. **Bioscience journal**, Uberlândia, v. 35, p. 1470-1477, 2019.

DODD, I. C.; PÉREZ-ALFOCEA, F. Microbial amelioration of crop salinity stress. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 63, n. 9, p. 3415-3428, 2012.

EL MOUKHTARI, A.; CABASSA-HOURTON, C.; FARISSI, M.; SAVOURÉ, A. How does proline treatment promote salt stress tolerance during crop plant development?. **Frontiers Plant Science**, Waltham, v. 11, n. 1127, 2020.

FARIAS, G. C.; NUNES, K. G.; SOARES, M. A.; SIQUEIRA, K. A.; LIMA, W. C.; NEVES, A. L. R.; LACERDA C. F.; FILHO, E. G. Dark septate endophytic fungi mitigate the effects of salt stress on cowpea plants. **Brazilian Journal Microbiology**, Singapore, v. 51, n. 1, p. 243-253, 2020.

FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; GHEYI, H. R.; ANDRADE, A. P. de; MEDEIROS, S. de S. Halofitismo e agricultura biossalina. *In*: GHEYI, H. R., DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura: estudo básico e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSAL, 2016. 504 p.

FERREIRA NETO M.; GHEYI, H. R.; HOLANDA, J. S.; MEDEIROS, J. F.; FERNANDES, P. D. Qualidade do fruto verde de coqueiro em função da irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 6, p. 69-75. 2002.

FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J.; SOUZA, E. R. DE. Fitorremediação de solos afetados por sais. *In*: GHEYI, H. R., DIAS, N. DA S.; LACERDA, C. F. DE; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura: estudo básico e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSAL, 2016. cap. 30, p. 489 - 504.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Como superar os desafios relacionados à água na agricultura**. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1333398/>. Acesso em: 20 abr. 2021.

GHEYI, H. R.; AZEVEDO, N. C.; BATISTA, M. A. F.; SANTOS, J. G. R. Comparação dos métodos na recuperação de solo salino-sódico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, p. 173-178, 1995.

GOMES, E. M.; GHEYI, H. R.; SILVA, E.F.F. Melhorias nas propriedades químicas de um solo salino sódico e rendimento de arroz, sob diferentes tratamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, p. 355-361, 2000.

GOMES, K. R.; AMORIM, A. V.; FERREIRA, F. J.; ANDRADE FILHO, F. L.; LACERDA, C. F.; GOMES-FILHO, E. Respostas de crescimento e fisiologia do milho submetido a estresse salino com diferentes espaçamentos de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 4, p. 365-370, 2011.

GONDIM, F. A.; GOMES FILHO, E.; MARQUES, E. C.; PRISCO, J. T. Efeitos do H₂O₂ no crescimento e acúmulo de solutos em plantas de milho sob estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 373-381. 2011.

GONDIM, F. A.; MIRANDA, R. S.; GOMES FILHO, E.; PRISCO, J. T. Enhanced salt tolerance in maize plants induced by H₂O₂ leaf spraying is associated with improved gas exchange rather than with non-enzymatic antioxidant system. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, Singapore, v. 25, n. 4, p. 251-260, 2013.

GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. **Annual Review Plant Physiology**, Palo Alto, v. 31, p. 149-190, 1980.

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

KUMAR, A. **Activity and mechanisms of ascophyllum nodosum extract induced salinity tolerance in tomato**. 2014. 124 f. Dissertação - University Of Dalhouse, Halifax, 2014.

LACERDA, C. F.; COSTA, R. N. T.; BEZERRA, M. A.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, G. G., GHEYI, H. R. Estratégias de manejo para uso de água salina na agricultura. *In*: GHEYI, H. R., DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura: estudo básico e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSAL, 2016a. 504 p.

LACERDA, C. F.; FERREIRA, J. F. S.; SUAREZ, D. L. Evapotranspiration as a criterion to estimate nitrogen requirement of maize under salt stress. **Journal of Agronomy and Crop Science**, [S. l.], v. 202, p. 192-202, 2016b.

LACERDA, C. F.; FERREIRA, J. F. S.; SUAREZ, D. L.; FREITAS, E. D.; LIU, X.; RIBEIRO, A. A. Evidence of nitrogen and potassium losses in soil columns cultivated with maize under salt stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 8, p. 553-557, 2018.

LACERDA, C. F.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J.F.; COSTA, R. N. T.; SOUSA, G. G.; LIMA, G. S. Strategies for the use of brackish water for crop production in northeastern Brazil. *In*: TALEISNIK, E.; LAVADO, R. S. (org.). **Saline and alkaline soils in Latin America: natural resources, management and productive alternatives**. Cham: Springer, 2021, p. 71-99.

LACERDA, C. F.; HERNANDEZ, F. F. F.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, C. H. C. de; PALÁCIO, H. A. de Q. Problemas de salinidade na agricultura: identificação e formas de convivência. *In*: **SEMIÁRIDO E O MANEJO ADEQUADO DE SEUS RECURSOS NATURAIS**. 2. ed. Fortaleza: gráfica e editora, 2016c, 406 p. Cap. 13, p. 291-318.

LACERDA, C. F.; OLIVEIRA, E. V. de; NEVES, A. L. R.; GHEYI, H. R.; BEZERRA, M. A.; COSTA, C. A. G. Morphophysiological responses and mechanisms of salt tolerance in four ornamental perennial species under tropical climate. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n. 10, p. 656-663, 2020.

LACERDA, C. F.; SILVA, F. B.; NEVES, A. L. R.; SILVA, F. L. B.; GHEYI, H. R.; NESS, R. L. L.; GOMES FILHO, E. Influence of plant spacing and irrigation water quality on a cowpea-maize cropping system. **International Research journal of Agricultural Science and Soil Science**, Chhattisgarh. 1, p. 163-167, 2011.

LEE, K. J.; YOO, S.; PARK, S. W.; LEE, S. J.; SURIYAPANANONT, V.; NAMUCO, L. O. Effects of 2004-tsunami on the changes from 2005 to 2006 in salinity of soil profiles and groundwater wells and on mortality of garden fruit trees in maldives. **Forest science and technology**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 14-27, 2008.

LEITE, M. J. H.; GOMES, A. D. V.; SANTOS, R. V.; ARAÚJO, J. L. Crescimento do maracujazeiro amarelo em função de gesso e compostos com rejeitos de mineralização aplicados em solo salinizado. **Nativa**, Sinop, v. 4, n. 6, p. 353-359, 2016.

LI, H. ZHU, Y.; HU, Y. Beneficial effects of silicon in alleviating salinity stress of tomato seedlings grown under sand culture. **Acta Physiology Plant**, [S. l.], v. 37, n.71, 2015.

LÚCIO, W. S.; LACERDA, C. F.; MENDES FILHO, P. F.; HERNANDEZ, F. F. F.; NEVES, A. L. R.; GOMES-FILHO, E. Growth and physiological responses of melon plants inoculated with mycorrhizal fungi under salt stress. **Semina Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 1587-1602, 2013.

MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance-current assessment. **Journal of Irrigation Drainage Division of ASCE**, Reston, v. 103, p. 115-134, 1977.

MACIEL, M. P.; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R.; REZENDE, E. P. L.; OLIVEIRA, G. X. S. Produção de girassol ornamental com uso de águas salobras em sistema hidropônico NFT. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 2, p. 165–172, 2012.

MEDEIROS, J. F. **Qualidade da água de irrigação utilizada nas propriedades assistidas pelo "GAT" nos estados do RN, PB, CE e avaliação da salinidade dos solos**. 1992. 73 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1992.

MEDEIROS, W. J. F.; OLIVEIRA, F. I. F.; LACERDA, C. F.; SOUSA, C. H. C.; CAVALCANTE, L. F.; SILVA, A. R. A.; FERREIRA, F. S. Isolated and combined effects of soil salinity and waterlogging in seedlings of ‘green dwarf’ coconut. **Semina Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n. 4, p. 1459-1468, 2018.

MIRANDA, J. R. P.*et al.* Avaliação do silício como atenuador dos efeitos da salinidade na nutrição mineral de clones de *Anacardium occidentale* L. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 3, p. 144-155, 2010.

MIYAMOTO, S.; MARTINEZ, I.; PADILLA, M.; PORTILLO, A.; ORNELAS, D. **Landscape plant lists for salt tolerance assessment**. El Paso: USDI: Bureau of Reclamation: Texas Agricultural Experiment Station, 2004. 15 p.

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

NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F.; SOUSA, C. H. C.; SILVA, F. L. B.; GHEYI, H. R.; FERREIRA, F. J.; ANDRADE FILHO, F. L. Growth and yield of cowpea/sunflower crop rotation under different irrigation management strategies with saline water. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, p. 814-820, 2015.

NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F.; SOUSA, C. H. C.; FERNANDES, F. I. de O.; RIBEIRO, M. da S. de S. Quantitative and qualitative responses of *catharanthus roseus* to salinity and biofertilizer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, p. 22-26, 2018.

NEVES, M. F.; PINTO, M. J. A. (coord.). **Mapeamento e Quantificação da Cadeia de Flores e Plantas Ornamentais do Brasil**. São Paulo: OCESP, 2015. Disponível em: <https://www.ibraflor.com.br/numeros-setor>. Acesso em: 30 abr. 2021.

NEUMANN, E. R.; RESENDE, J. T. V.; CAMARGO, L. K. P.; CHAGAS, R. R.; LIMA FILHO, R. B. Produção de mudas de batata doce em ambiente protegido com aplicação de extrato de *ascophyllum nodosum*. **Horticultura Brasileira**, Recife, v. 35, n. 4, 2017.

OLIVEIRA, E. V. de; LACERDA, C. F. DE; NEVES, A. L. R.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, D. R.; OLIVEIRA, F. I. F. de; VIANA, T. V. DE A. A new method to evaluate salt tolerance of ornamental plants. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, Cham, v. 30, p. 173–180, 2018.

OLIVEIRA, F. I. F.; MEDEIROS, W. J. F. DE; LACERDA, C. F. DE; NEVES, A. L. R.; OLIVEIRA, D. R. Saline water irrigation managements on growth of ornamental plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 11, p. 739-745, 2017.

PARVEEN, N.; ASHRAF, M. Role of silicon in mitigating the adverse effects of salt stress on growth and photosynthetic attributes of two maize (*Zea mays* L.) Cultivars grown hydroponically. **Pakistan Journal of Botany**, Karachi, v. 42, n. 3, p. 1675-1684, 2011.

PORTO, E. R.; AMORIM, M. C. C. de; DUTRA, M. T.; PAULINO, R. V.; BRITO, L. T. de L.; MATOS, A. N. B. Rendimento da *atriplex nummularia* irrigada com efluentes da criação de tilápia em rejeito da dessalinização de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 97-103, 2006.

RENGASAMY, P. Soil chemistry factors confounding crop salinity tolerance – a review. **Agronomy**, Basel, v. 6, p. 1-11, 2016.

RIBEIRO, A. A.; LACERDA, C. F.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, C. H. C.; BRAZ, R. S.; OLIVEIRA, A. C.; PEREIRA, J. M. G.; FERREIRA, J. F. S. Uses and losses of nitrogen by

maize and cotton plants under salt stress. **Archives of Agronomy and Soil Science**, Cham, 2020.

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

SÁ, F. V. S.; GHEYI, H. R.; LIMA, G.S.; MOREIRA, R. C. L.; DIAS, A. S.; SOARES, L. A. A.; MELO, A. S. DE; FERREIRA NETO, M. Physiological indices of west indian cherry (*malpighia emarginata*) irrigated with saline water under nitrogen and phosphorus doses. **Australian Journal of Crop Science**, Brisbane, v. 13, p. 1141-1148, 2019.

SANTOS, M. M. S.; LACERDA, C. F.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, C. H. C.; RIBEIRO, A. A.; BEZERRA, M. A.; ARAÚJO, I. C. da S.; GHEYI, H. R. Ecophysiology Of The Tall Coconut Growing Under Different Coastal Areas Of Northeastern Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 232, n. 1, 2020.

SANTOS JÚNIOR, J. A.; GHEYI, H. R.; GUEDES FILHO, D. H.; DIAS, N. DA S.; SOARES, F. A. L. Cultivo de girassol em sistema hidropônico sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n. 4, p. 842-849, 2011.

SHARMA, D. K.; SINGH, A. Salinity research in India - achievements, challenges and future prospects. **Water and Energy International**, New Delhi, v. 58, p. 35-45, 2015.

SILVA, A. F.; SOUSA, V. F. O.; SANTOS, G. L.; ARAÚJO JÚNIOR, E. S.; SILVA, S. L. F.; MACEDO, C. E. C.; MELO, A. S.; MAIA, J. M. Antioxidant protection of photosynthesis in two cashew progenies under salt stress. **Journal of Agricultural Science**, [S. l.], v. 10, p. 388-404, 2018.

SILVA, E. M.; LACERDA, F. H. D.; MEDEIROS, A. S.; SOUZA, L. P.; PEREIRA, F. H. F. Métodos de aplicação de diferentes concentrações de H₂O₂ em milho sob estresse salino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 11, n. 3, p. 1-7, 2016.

SILVA, F. L. B.; LACERDA, C. F.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, G. G.; SOUSA, C. H. C.; FEERIRA, F. J. Irrigação com águas salinas e uso de biofertilizante bovino nas trocas gasosas e produtividade de feijão-de-corda. **Irriga**, Botucatu, v. 18 n. 2, 2013.

SILVA, F. L. B.; LACERDA, C. F.; SOUSA, G. G.; NEVES, A. L. R.; SILVA, G. L.; SOUSA, C. H. C. Interação entre salinidade e biofertilizante bovino na cultura do feijão-de-corda. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15 n. 4, 2011.

SOARES FILHO, W. S.; GHEYI, H. R.; BRITO, M. E. B.; NOBRE, R. G.; FERNANDES, P. D.; MIRANDA, R. S. Melhoramento genético e seleção de cultivares tolerantes à salinidade. *In*: GHEYI, R. H.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSAL, 2016. cap.17, p. 259-274.

SOARES, T. M.; SANTOS, E. P. M.; MODESTO, F. J. N.; SANTOS, M. A. C. M. Crescimento, produção e consumo hídrico do quiabeiro submetido à salinidade em condições hidropônicas. **Irriga**, Botucatu, v. 24, p. 86-97, 2019.

SOUSA, C. H. C. de; LACERDA, C. F.; SILVA, F. L. B. da; NEVES, A. L. R.; COSTA, R. N. T.; GHEYI, H. R. Yield of cotton/cowpea and sunflower/cowpea crop rotation systems during the reclamation process of a saline-sodic soil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, p. 867-876, 2014.

SOUSA, C. H. C. de; SILVA, F. L. B.; LACERDA, C. F. DE; COSTA, R. N. T.; GHEYI, H. R. Instalação de um sistema de drenagem subterrânea em um solo salino-sódico cultivado com coco em pentecoste - Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 5, p. 16-23, 2011.

SOUSA, G. G.; VIANA, T. V. A.; SILVA, G. L.; DIAS, C. N.; AZEVEDO, B. M. Interação entre salinidade e biofertilizante de caranguejo na cultura do milho. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 28, n. 1, p. 44-53, 2016.

SOUZA, E. R.; FREIRE, M. B. dos S.; CUNHA, K. P. V. DA; NASCIMENTO, C. W. A. DO; RUIZ, H. A. LINS, C. M. T. Biomass, anatomical changes and osmotic potential in *atriplex nummularia* lindl. Cultivated in sodic saline soil under water stress. **Environmental and Experimental Botany**, [S. l.], v. 82, p. 20–27, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: ARTMED, 2017. 888 p.

TALEISNIK, E.; LAVADO, R. S. **Saline and alkaline soils in Latin America: natural resources, management and productive alternatives**. Cham: Springer, 2021. 463 p.

THOMAS, S. C.; FRYE, S.; GALE, N.; GARMON, M.; LAUNCHBURY, R.; MACHADO, N.; MELAMED, S.; MURRAY, J.; PETROFF, A.; WINSBOROUGH, C. Biochar mitigates negative effects of salt additions on two herbaceous plant species. **Journal of Environmental Management**, [S. l.], v. 129, n. 1, p. 62- 68, 2013.

WICKE, B.; SMEETS, E.; DORNBURG, V.; VASHEY, B.; GAISER, T. TURKENBURG, W.; FAAIJ, A. The global technical and economic potential of bioenergy from salt-affected soils. **Energy and Environmental Science**, Cambridge, v. 4, p. 2669-2681, 2011.

CAPÍTULO 8

Tratamento de águas salobras com catalisador eletrolítico

Ricardo B. de Figueiredo, Joselito M. de Souza, Wagner P. Felix, Fernando V. G. Ponte, Marcelo R. de S. Bastos

8.1 INTRODUÇÃO

Todas as regiões semiáridas do mundo têm características muito semelhantes: escassez de água, balanço hídrico negativo, abundância de sol, estação chuvosa muito curta, água e solo salinos, ventos secos, solo com estrutura química pobre, pastos extensivos que aceleram processos de desertificação, acesso limitado à tecnologia, baixa densidade de população e pobreza. Muitas dessas características encontram-se também no Semiárido brasileiro, a maior região semiárida em termos de extensão e habitantes da América Latina (GUANZIROLI; CARDIM, 2000).

Na região Nordeste, 70% do subsolo é formado por rochas cristalinas, cuja predominância em grande parte do Semiárido brasileiro, impõe características salobras e salinas às águas subterrâneas, dificultando seu aproveitamento para consumo humano, dessedentação animal e irrigação. Em geral, os sistemas aquíferos na região semiárida, apresentam vazões inferiores a 5 m³/h e médios a altos teores de sólidos dissolvidos totais. Mesmo com essas limitações, essas águas têm importância do ponto de vista econômico e social, atendendo às necessidades de agricultores familiares que não dispõem de outras fontes hídricas para os diversos usos em uma propriedade rural. Para reduzir os efeitos das irregularidades

climáticas, essas águas podem ser utilizadas na produção de alimentos, forragens, dessedentação animal, dentre outros (BRITO, PEREIRA, MELO, 2009).

O panorama atual exige que se busquem tecnologias sustentáveis que permitam o convívio e o bem-estar humano e animal em um ambiente com características hidrológicas peculiares. Tais tecnologias devem apresentar características como baixo custo de produção, uso de mão de obra local e com um longo tempo de vida útil. Catalisadores eletrolíticos podem viabilizar o uso de águas salobras para consumo humano e dessedentação animal, além da produção de alimentos e forragens. Assim, os catalisadores são capazes de converter sais que estão solúveis na água em sais com baixa solubilidade, por meio da modificação da formação cristalina e suas características físicas e químicas, possibilitando inativação e/ou remoção por precipitação, filtração e redução da capacidade de aderir às superfícies.

8.2 ASPECTOS TÉCNICOS E TEÓRICOS

A água apresenta-se, predominantemente, na forma líquida. Quimicamente, trata-se de uma molécula formada por dois átomos de Hidrogênio e um átomo de Oxigênio, unidos por um tipo de ligação bem definida, chamada de ligação covalente, conforme Figura 1.

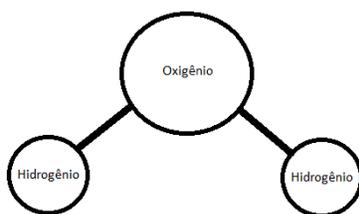


Figura 1 – Representação esquemática da molécula da água (H₂O).

Águas advindas do subsolo por vezes requerem uso de tecnologias a fim de promoverem melhorias em sua qualidade, já que estas águas são geralmente caracterizadas pelas elevadas concentrações de dureza de cálcio e magnésio, ferro e cloreto. Sendo assim, a inativação e/ou remoção de dureza das águas subterrâneas, muitas vezes se faz necessário, visto que se encontra em quantidades significativas, especialmente na região semiárida brasileira.

8.2.1 Dureza

Tendo origem natural pela dissolução de rochas calcárias, ricas em cálcio e magnésio, a dureza expressa em mg L^{-1} de carbonato de cálcio (CaCO_3), indica a concentração de cátions multivalentes em solução na água, sobretudo dos íons: cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}), e em menor magnitude, alumínio (Al^{+3}), ferro (Fe^{+2} e/ou Fe^{+3}), manganês (Mn^{+2}) e estrôncio (Sr^{+2}) e se manifesta pela resistência à reação de saponificação. Em concentrações acima de 150 mg L^{-1} , a água é classificada como “água dura”. Teores entre 150 e 75 mg L^{-1} , como “moderadamente duras” e, abaixo de 75 mg L^{-1} é chamada de “água mole” (LIBÂNIO, 2010).

A Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, admite o valor de dureza até $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de CaCO_3 (BRASIL, 2021). Valores abaixo desse limite já podem causar uma série de inconvenientes como incrustação e corrosão.

Problemas decorrentes do uso de água dura:

- ✓ entupimento de tubos, torneiras e conexões hidráulicas causado pela precipitação dos sais de cálcio e magnésio;
- ✓ manchas em roupas e utensílios;
- ✓ ressecamento da pele e dos cabelos;

- ✓ corrosão acelerada de componentes elétricos – resistência de chuveiros;
- ✓ distúrbios intestinais e efeitos laxativos (presença de sais de magnésio);
- ✓ indícios de maior incidência de casos de cálculo renal;
- ✓ rejeição ao consumo pelo gosto forte;
- ✓ entupimento de gotejadores e micro aspersores em sistemas de irrigação;
- ✓ rejeição de consumo por rebanhos, e;
- ✓ salinização de solos – redução da produtividade agrícola.

Águas advindas do subsolo por vezes requerem uso de tecnologias a fim de promoverem melhorias em sua qualidade, já que estas águas são geralmente caracterizadas pelas elevadas concentrações de dureza de cálcio e magnésio, ferro e cloreto. Sendo assim, a inativação e/ou remoção de dureza das águas subterrâneas, muitas vezes se faz necessário, visto que se encontra em quantidades significativas, especialmente na região semiárida brasileira.

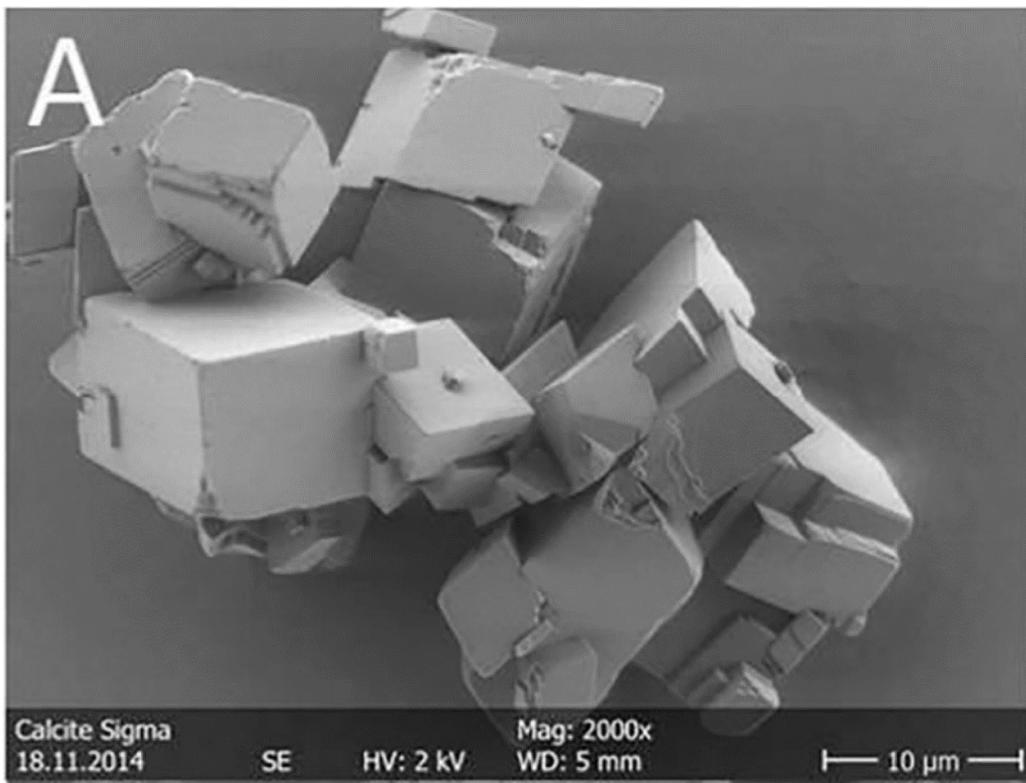
8.2.2 Carbonato de cálcio (CaCO₃)

Sob o ponto de vista químico, o Carbonato de Cálcio pode ser encontrado na natureza de duas formas cristalinas diferentes: ou na forma do cristal calcita ou na forma do cristal aragonita. Essa característica que o mineral apresenta a mesma composição química em formas cristalinas e propriedades físicas diferentes dá-se o nome de polimorfismo, logo se afirma que a Calcita e a Aragonita são formas polimórficas do Carbonato de Cálcio.

Vários fatores contribuem para que essas estruturas cristalinas sejam encontradas na natureza em maior ou menor quantidade. Dois desses fatores se destacam: o primeiro é o tamanho do íon metálico que se liga ao carbonato e o

segundo é a diferença de solubilidade que essas formas cristalinas apresentam quando em contato com a água.

O Carbonato de Cálcio (CaCO_3) quando se cristaliza da forma trigonal é chamado de Calcita. É a forma mais abundante na natureza e ocorre usualmente nas cores brancas a incolor e são rapidamente solubilizados em água. Já quando este se cristaliza na forma de um sistema pseudo hexagonal é chamado de Aragonita. Raramente encontrado na natureza e ocorre principalmente nas cores amarelo pálido ou de colorido variável e são facilmente precipitados na água (Figura 2).

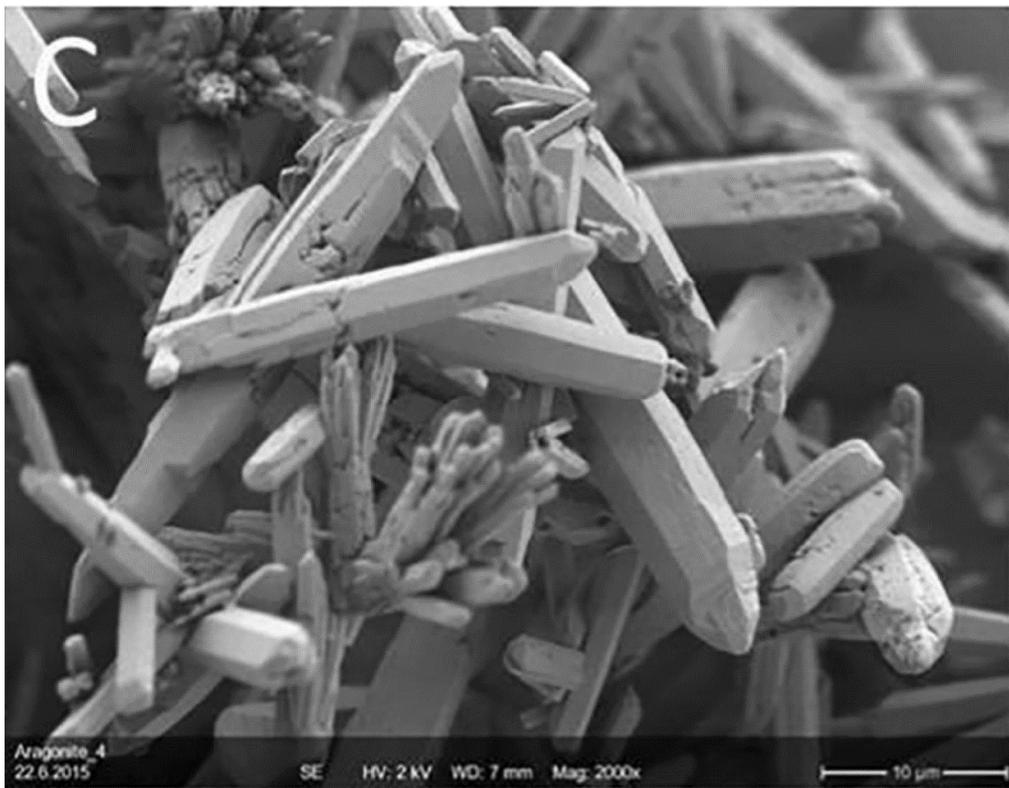


(a)



(b)

Figura 2 – Aspectos da estrutura cristalina da Calcita
(a) Microfotografia eletrônica da formação cristalina da calcita (Mavromatis *et al*, 2018).
(b) Representação esquemática (Klein; Dutrow, 2012).



(c)

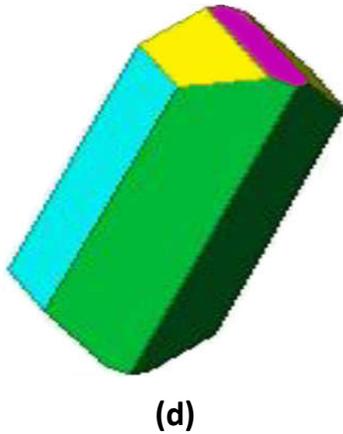


Figura 2 – Aspectos da estrutura cristalina da Arogonita

- (c) Microfotografia eletrônica da formação cristalina da calcita (Mavromatis *et al*, 2018).
- (d) Representação Esquemática (Klein; Dutrow, 2012).

8.2.3 Conceito e funcionamento do catalisador

Um catalisador é uma substância ou dispositivo capaz de acelerar uma reação química, diminuindo sua energia de ativação e sem sofrer alteração, isto é, não é consumido durante a reação. Como exemplo podemos citar o catalisador automotivo, item obrigatório em veículos fabricados no país, cuja função é transformar as emissões tóxicas, provenientes de motores a combustão, monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (N_xO_y) em gases inofensivos ou menos impactantes ao meio ambiente como o vapor d'água (H_2O), dióxido de carbono (CO_2) e gás nitrogênio (N_2), ao passar por materiais e ligas metálicas (Figura 3).

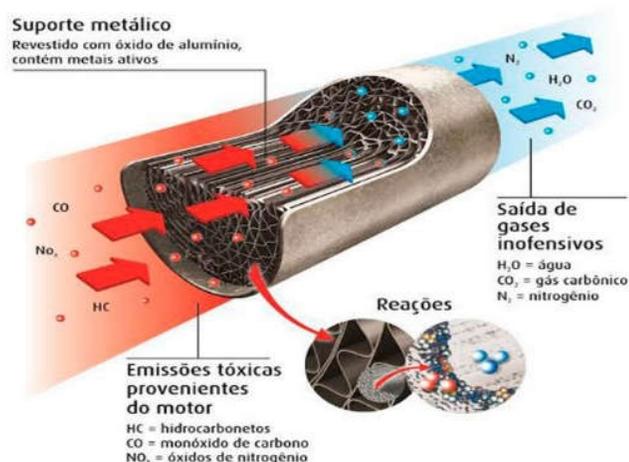


Figura 3 – Representação esquemática de um conversor catalítico automotivo

Fonte: LANA, c2021.

A água contém sólidos dissolvidos e, geralmente, o principal sólido dissolvido em água doce são os sais de cálcio. Usando uma combinação de metais dentro do dispositivo, aliado ao princípio da turbulência, o fluxo de água é forçado através do dispositivo de tratamento, onde ocorre uma reação catalítica eletroquímica. As mudanças eletro físicas nos minerais neutralizam suas propriedades de produção de incrustações.

O tratamento catalítico é um sistema que evita calcificações em sistemas industriais, comerciais, domésticos, agrícolas e abastecimento d'água. O tratamento catalítico da água funciona precipitando alguns dos sólidos dissolvidos em água tornando-os insolúveis. Nenhum outro produto químico é usado e nenhuma energia externa ao sistema é necessária. Os sólidos dissolvidos de cálcio da água são precipitados no interior dos recipientes de armazenamento e não formam incrustações dentro de sistemas de distribuição.

A quantidade de cálcio que pode ser dissolvida na água tem um limite máximo conhecido como **Super Razão de Saturação (Sr)** que pode ser alterando graças à temperatura, ao pH ou à pressão da água.

| | | |
|---|---|--|
| Menor quantidade de íons Ca^{+2} na solução | } | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aumento da temperatura ✓ Diminuição do pH (mais ácido) ✓ Diminuição da pressão |
|---|---|--|

Em geral, mudar o pH tem um impacto maior no **Sr** do que mudar a temperatura. Importante: se a temperatura da água é aumentada, a quantidade de cálcio é reduzida, o que significa que o cálcio sai da solução.

O tratamento catalítico funciona alterando o **Sr** da água localmente, a fim de tirar o cálcio da solução e, assim, reduzir a quantidade de cálcio dissolvido. Isso, por sua vez, significa que quando a água tratada atinge uma superfície quente, como um trocador de calor, tubo de caldeira ou elemento de aquecimento, mesmo que a água esteja aquecida, não há cálcio dissolvido suficiente para causar precipitação e acúmulo de escala.

A parte chave do processo catalítico é uma liga metálica que é usada para gerar uma pequena corrente elétrica dentro da água que passa entre a superfície da liga e a parede do tubo. O processo é semelhante, em princípio, à corrosão eletrolítica, na qual uma pequena corrente elétrica deixa a superfície de um pedaço de material e flui através de um eletrólito (água) para outro pedaço de material.

No dispositivo catalítico esta pequena corrente elétrica afeta localmente o pH da água perto da superfície do dispositivo, resultando em uma mudança na relação **Sr**. Isso, por sua vez, faz com que o íon cálcio precipite na água como carbonato de cálcio (CaCO_3). O formato do núcleo da liga gera um fluxo turbulento através da superfície e garante que a superfície seja mantida limpa. O carbonato de cálcio precipitado toma a forma do cristal aragonita com uma natureza amorfa e não aderente. O resultado é que os minerais são transformados de grandes

estruturas cristalinas de calcita em estruturas microscópicas de aragonita insolúveis. Esses cristais são tão pequenos que permanecem suspensos na água (Figura 4).

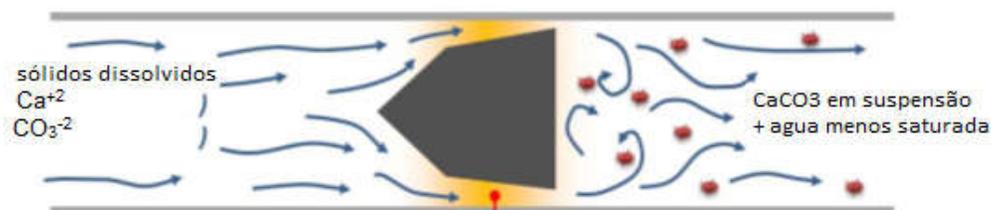


Figura 4 - Representação do funcionamento de um catalisador eletrolítico

A liga do elemento usa um processo chamado absorção/corrosão de superfície que produz uma pequena corrente elétrica na superfície da liga. Isto resulta em uma redução/remoção de CO_2 mudando localmente o pH da solução criando a formação cristalina e precipitação da aragonita. Por outro lado, o perfil do elemento facilita a turbulência e cria a perda de pressão, fato que auxilia a remoção de CO_2 e limpeza da superfície.

Como parte do cálcio foi removido da solução, quando a água sai do dispositivo catalítico, ele contém menos cálcio do que o **Sr** permitiria. Isso significa que quando a água atinge uma superfície quente e sua temperatura é aumentada, o limite de **Sr** não é excedido e o cálcio não precipita na superfície do aquecedor. A calcificação, portanto, não se forma. Na verdade, a água circulante começará agora a reabsorver qualquer cálcio presente em calcificação existente. Isso proporciona prevenção e manutenção do sistema.

Assim, as mudanças eletro físicas nos minerais neutralizam suas propriedades de produção de incrustações por meio da transferência de energia (fornecimento de elétrons) do catalisador para os cristais de calcita e essa energia é utilizada para alteração a sua estrutura cristalina, da forma polimórfica da calcita,

que é mais solúvel em água do que a forma polimórfica da aragonita, bem menos solúvel em água (Figura 5).

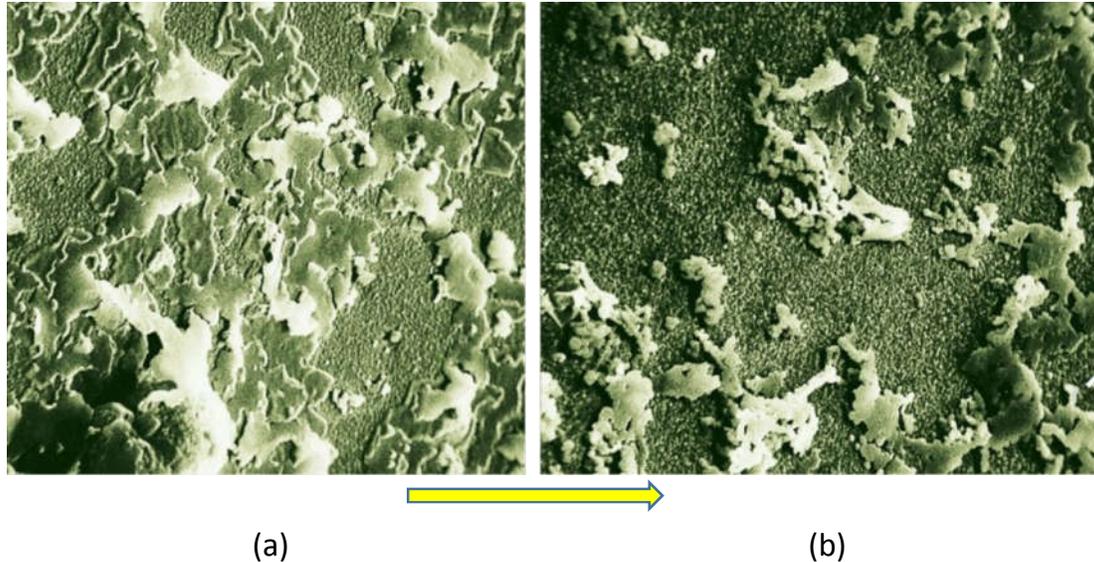


Figura 5 – Representação da transformação da formação cristalina do carbonato de cálcio (a) Calcita, (b) Aragonita.

Fonte: CAREFREE, c2021.

8.3 CATALISADOR ELETROLÍTICO

Na área naval, os problemas mais frequentes são associados à corrosão, calcificação, formação de material orgânico, processos de oxidação entre outros. Todo navio precisa de água para efetuar resfriamento em seus mais diversos equipamentos. Não é somente um meio onde habita, mas o local com o qual constantemente interage. São inúmeros os trocadores de calor em uma embarcação na qual diferentes metais, circulação, pressão dentre outros estão sempre presentes.

A combinação destas variáveis causa sempre corrosão, oxidação, calcificação, crescimento orgânico e danos potenciais em praticamente todas as peças, materiais e equipamentos náuticos.

A água do mar tem elevados teores de salinidade principalmente devido a elevada concentração do íon sódio e, em escala menor, os íons cálcio e magnésio. Não por outra razão, o tempo de vida útil de uma embarcação metálica é de, aproximadamente, 20 anos e exige ao longo da sua vida útil intensa manutenção, reparos frequentes e trocas, muitos deles devido aos fatores acima citados.

No setor industrial, especificamente nas áreas de mecânica, hidráulica e elétrica o convívio com estes problemas é uma rotina. Conseqüentemente, o contato frequente com fabricantes e fornecedores de máquinas, materiais e equipamentos é uma necessidade constante, em especial durante os períodos de garantia contratual, para sanar eventuais problemas e correções.

Os fabricantes dos equipamentos apesar de conhecer e considerar parcialmente estes fatores em seus projetos não criam vínculos corporativos e de comprometimento para soluções no pós-venda notadamente os ligados a qualidade da água nos diversos processos industriais. Seus desenvolvimentos são mais ligados ao que pode resistir a estas questões do que no manejo das características da água em si. É comum, até mesmo em empresas químicas, a terceirização de atividades de monitoramento e soluções aos fabricantes de produtos químicos, mesmo tendo substancial conhecimento de causa e corpo técnico formado para tal domínio químico. As interfaces de uso, capacitação de operadores, disponibilidade econômica e variantes operacionais por vezes suplantam até mesmo a previsibilidade dos fabricantes e desenvolvedores de projetos mecânicos e hidráulicos.

Como é de se esperar esse tipo de controle e condições são obrigatoriamente mais rigorosos na indústria alimentícia, daí exigir do profissional responsável cada vez mais especializações e atualizações constantes, pois além dos problemas como troca de calor, entupimentos e corrosão, nesse tipo de indústria

temos mais uma variável que deve estar sempre sobre total e absoluto controle, as questões ligadas diretamente à contaminação microbiológica dos alimentos.

O uso intenso de produtos químicos e seus efeitos colaterais para manejo e controle da água e de suas características eram, como toda solução nesta vertente, causadora de efeitos colaterais, aliados a custos, manuseio, riscos, controles frequentes, estoques, validades, dentre outros. Nesse tema de catalisador eletrolítico, infelizmente, é comum deparar-se com estudos fragmentados, controversos e remotos sobre a possibilidade de se evitar, pelo menos parcialmente, estas dificuldades decorrentes do uso de águas com elevados teores de salinidade para a indústria. Até mesmo os fabricantes de equipamentos vislumbravam algo assim para resolver suas questões ou pelo menos minimizar os efeitos causados pela água.

Diante da necessidade de solucionar as situações acima mencionadas, em meados do ano de 1991, foi desenvolvido o catalisador eletrolítico, eletrolítico, tecnologia ainda inexistente no Brasil e em boa parte do mundo, fruto da experiência adquirida pelo desenvolvedor, tanto na indústria naval brasileira como em várias indústrias europeias, com base em sólidos conceitos de química, hidráulica, elétrica, metalurgia, dentre outros.

Para o setor industrial o ideal é uma solução de tratamento de baixo custo, funcional, resistente e, é lógico, aplicável às suas necessidades específicas, visto que causam enormes prejuízos e, como de praxe, estes custos são repassados ao produto.

A tecnologia de desenvolvimento do catalisador eletrolítico se originou justamente dos princípios das reações metálicas em meio aquoso com capacidade de conduzir energia elétrica. O trabalho foi realizado em cima destas reações químicas e, principalmente, seus efeitos sobre carbonatos de cálcio e magnésio.

Para disponibilizar essa tecnologia para o mercado foi preciso compatibilizar várias interfaces, tais como: custos, disponibilidade materiais, processo de fabricação e, principalmente, como o dispositivo iria se comportar em situações reais de uso. Para tanto o desenvolvimento em campo foi primordial, obrigatório e de risco, tanto para a empresa como para os clientes. Afinal estava em jogo: bens de produção, mão de obra especializada e investimentos.

Dessa forma, foi desenvolvido um projeto piloto, com risco reduzido para desenvolver, avaliar, parametrizar e, principalmente, evoluir em conceitos e equipamentos. Assim, após mais de 25 anos de experiência no mercado brasileiro, o catalisador eletrolítico Eco Íon já se encontra na quarta geração e, paulatinamente, foi utilizado em diversas aplicações, a saber:

- | | |
|-------------------------------|------------------------|
| ✓ torres de resfriamento; | ✓ água potável; |
| ✓ caldeiras; | ✓ água de reuso; |
| ✓ condensadores evaporativos; | ✓ água para irrigação; |
| ✓ Boilers; | ✓ aviários; |
| ✓ aquecimento solar; | ✓ ar-condicionado. |

A ideia básica é sempre aperfeiçoar o dispositivo eletrolítico para reduzir custos, evitar ou minimizar uso de produtos químicos, manutenção, interferência humana, aliado a resistência mecânica e química e longevidade.

Na indústria não existem amarras definitivas para as questões de águas de processo, existem recomendações e cada situação é um caso. Com o passar dos anos devido à escassez e custos crescentes da água, as indústrias foram obrigadas a, além de reutilizar várias vezes a mesma água antes do descarte, trabalhar com diversos tipos de água, inclusive a de reuso, assim, baixa qualidade, altas concentrações e redução do descarte se tornaram obrigatórios. Outro ponto foi com o gradual e severo controle do uso de químicos no manejo da água.

8.4 ASPECTOS GERAIS DA TECNOLOGIA

Nesta seção serão apresentados aspectos relacionados às reações galvânicas, perdas de calor causadas por incrustações, corrosões sob depósitos e um comparativo entre as tecnologias comumente utilizadas para abrandamento, remoção e inativação de dureza em águas salobras.

8.4.1 Reações galvânicas

As reações galvânicas quando se usam metais diferentes em contato com a água, que não sendo pura, causa efeitos eletrolíticos entre os metais que estão em contato físico. É muito comum se ver tubos de cobre ligados diretamente ao aço carbono, dependendo da área de ambos, a intensidade do ataque varia. O cobre é catódico em relação ao aço carbono que é anódico em relação ao cobre (Quadro 1).

Durante muito tempo foi comum ver este tipo de situação em circuitos de água quente principalmente na construção civil. Posteriormente a Associação Brasileira de Normas Técnicas desaconselhou este tipo de procedimento, por meio de Norma Técnica. Gradualmente, se adotou materiais não metálicos para tubulações como PVC, polietileno, polipropileno, PEX, dentre outros, fato que eliminou corrosão, mas não calcificação.

Quadro 1 - Reação galvânica para diferentes metais

| Risco de Corrosão Galvânica | | Metal de Contato | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--|------------------|---------------|------------------|--------|-------------|---------------|----------------|-------------------------|--------|----------------------|-------|------------------------|-----------------------|--|
| | | Magnésio e ligas | Zinco e ligas | Alumínio e ligas | Cádmio | Aço Carbono | Ferro fundido | Aço inoxidável | Chumbo, estanho e ligas | Níquel | Latão, prata, Níquel | Cobre | Bronze, Cobre e Níquel | Ligas de Níquel Cobre | Ligas de níquel cromo, titânio, prata, grafite, ouro e platina |
| Metal Corrosível | Magnésio e ligas | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde |
| | Zinco e ligas | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde |
| | Alumínio e ligas | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde |
| | Cádmio | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde |
| | Aço Carbono | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde |
| | Ferro fundido | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde |
| | Aço Inoxidável | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde |
| | Chumbo, estanho e ligas | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde |
| | Níquel | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde |
| | Latão, prata e Níquel | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde |
| | Cobre | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde |
| | Bronzes, Cobre e Níquel | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde |
| | Ligas de Níquel e Cobre | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde |
| | Ligas de Níquel e cromo, titânio, prata, grafite, ouro e platina | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde |

Fonte: Adaptado de GALVANIC..., 2021.

Nota: Gráfico elaborado para auxiliar na avaliação ampla do risco de corrosão galvânica associada ao contato de um determinado metal com outro metal. Para usar o gráfico, alinhe o metal a ser avaliado (quanto ao risco de corrosão) na coluna da esquerda com o metal de contato listado na linha superior. Verde representa um risco menor e vermelho representa um risco maior.

8.4.2 Perda de calor causada por incrustações

Formações cristalinas de cálcio e magnésio são reconhecidamente um bom isolante térmico. Sua combinação com sílicas, fosfatos, sulfatos, dentre outros, causam diferentes graus de isolamento sendo o gráfico abaixo uma média destes valores (Figura 6).



Figura 6 - Valores médios de perda de calor causada por incrustação.

8.4.3 Corrosão sob depósitos

Outro grande problema causado pelo controle de incrustação deficiente é a corrosão sob depósitos. Este tipo de corrosão é acelerado pela formação de células de oxigenação diferencial. A água acima do depósito contém oxigênio dissolvido, mas a área abaixo do depósito é deficiente em oxigênio. Forma-se, portanto, uma célula de aeração diferencial, na qual a área pobre em oxigênio se transforma em anodo. O resultado é uma corrosão acelerada nestes pontos causando uma taxa elevada de perda do metal. Toda tubulação se transforma em catodo e o ponto abaixo da corrosão em anodo. Os óxidos metálicos se transformam em novos depósitos estabelecendo então a perpetuação da corrosão. Não é raro ocorrer perfurações aleatórias mais conhecidas como “pitting”.

Importante notar que, em diferentes graus de intensidade, ocorre em praticamente todos os metais (Figura 7).

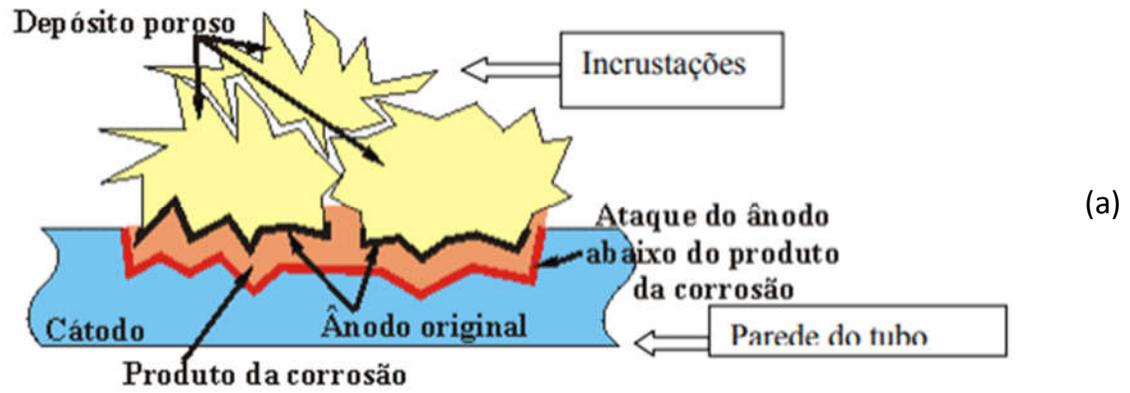




Figura 7 – Corrosão causada por incrustação.

(a) Representação esquemática, (b) Fotografias de corrosão pontual (*Pitting*; pontos distintos de corrosão causada pela ação de oxigênio sobre uma pequena área).

Fonte: SULCROMO, 2020.

8.4.4 – Comparativo entre tecnologias de tratamento de dureza

O Quadro 2 apresenta uma comparação entre as tecnologias mais utilizadas no processo de remoção, abrandamento e inativação de dureza em águas subterrâneas. A tecnologia do catalisador eletrolítico promove a inativação da dureza por meio da alteração da estrutura cristalina dos carbonatos, sendo a tecnologia de menor custo e de maior facilidade de operação quando comparada com as demais comercialmente disponíveis.

Quadro 2 – Comparativo de tecnologias.

| Tecnologia | Modo de Ação | Custos | | Necessidades | | | Resíduos | | Vida útil | Consumo de energia elétrica |
|--------------------------|------------------------|-------------|------------|---|--|--|----------|------------------------|-----------------|-----------------------------|
| | | Instalação | Manutenção | Peças sobressalentes, insumos e materiais | Cconhecimento técnico (instalação, operação e manutenção). | Produtos químicos (operação e/ou manutenção) | Efluente | Rejeito na regeneração | | |
| Catalisador eletrolítico | Modificação cristalina | muito baixo | mínima | não | não | não | não | não | Mínimo (8 anos) | não |
| Resinas | Sequestro de íons | elevado | elevado | sim | sim | sim | não | sim | Variável | não |
| Osiose reversa | Remoção física | elevado | elevado | sim | sim | sim | Sim | sim | Variável | Sim |

8.5 APLICAÇÕES DA TECNOLOGIA

Entre as diversas aplicações do uso da tecnologia de inativação de dureza pelo uso de catalisador eletrolítico destacam-se: a remoção de incrustações em tubulações, condensadores evaporativos, caldeiras, torres de resfriamento, resfriadores adiabáticos, água de irrigação, água de consumo humano. Nesta seção apresentar-se-ão situações da aplicação da tecnologia.

8.5.1 Tubulações

As incrustações podem ocorrer em diversas superfícies mesmo nas não metálicas. Estes materiais apesar de não sofrer tão severamente os processos corrosivos, produzem bloqueios hidráulicos, aumento de consumo de energia, perda de vazão, dentre outros.

É importante frisar que mesmo em tubulações de água potável para consumo humano tais efeitos ocorrem. As legislações se baseiam em questões sanitárias, químicas, microbiológicas e em substâncias que podem causar danos aos

humanos. As questões hidráulicas, de troca de calor e calcificações são agravadas em locais quentes, com perda de pressão, em águas estagnadas ou metais de diferentes metalurgias (Figura 8).

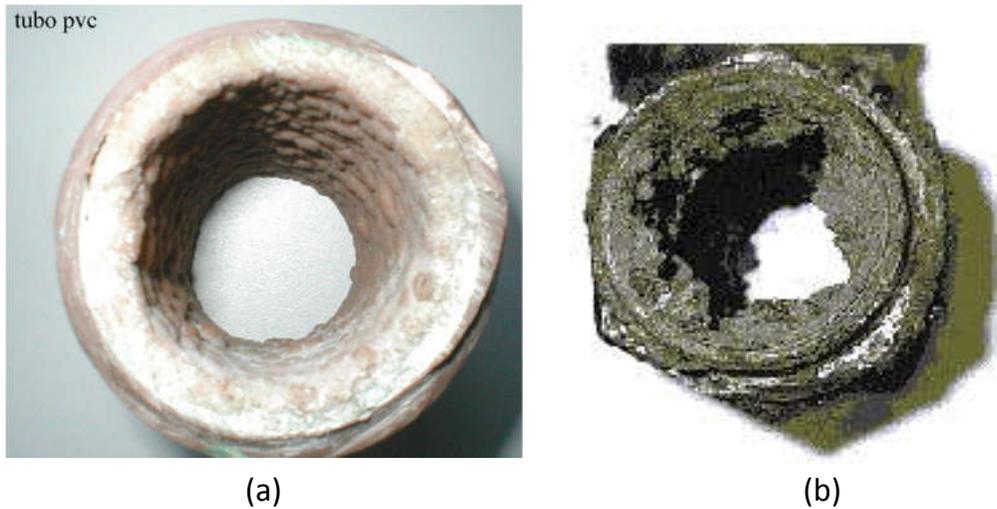


Figura 8 - Aspectos de incrustações em tubos
(a) PVC, (b) tubo de aço carbono galvanizado.

8.5.2 Condensador evaporativo

Na Figura 9 observa-se o princípio de funcionamento de condensador evaporativo, muito utilizado em frigoríficos, laticínios, resfriamento de fluidos de processo, tais como: óleos, abatedouros, aviários e outros.

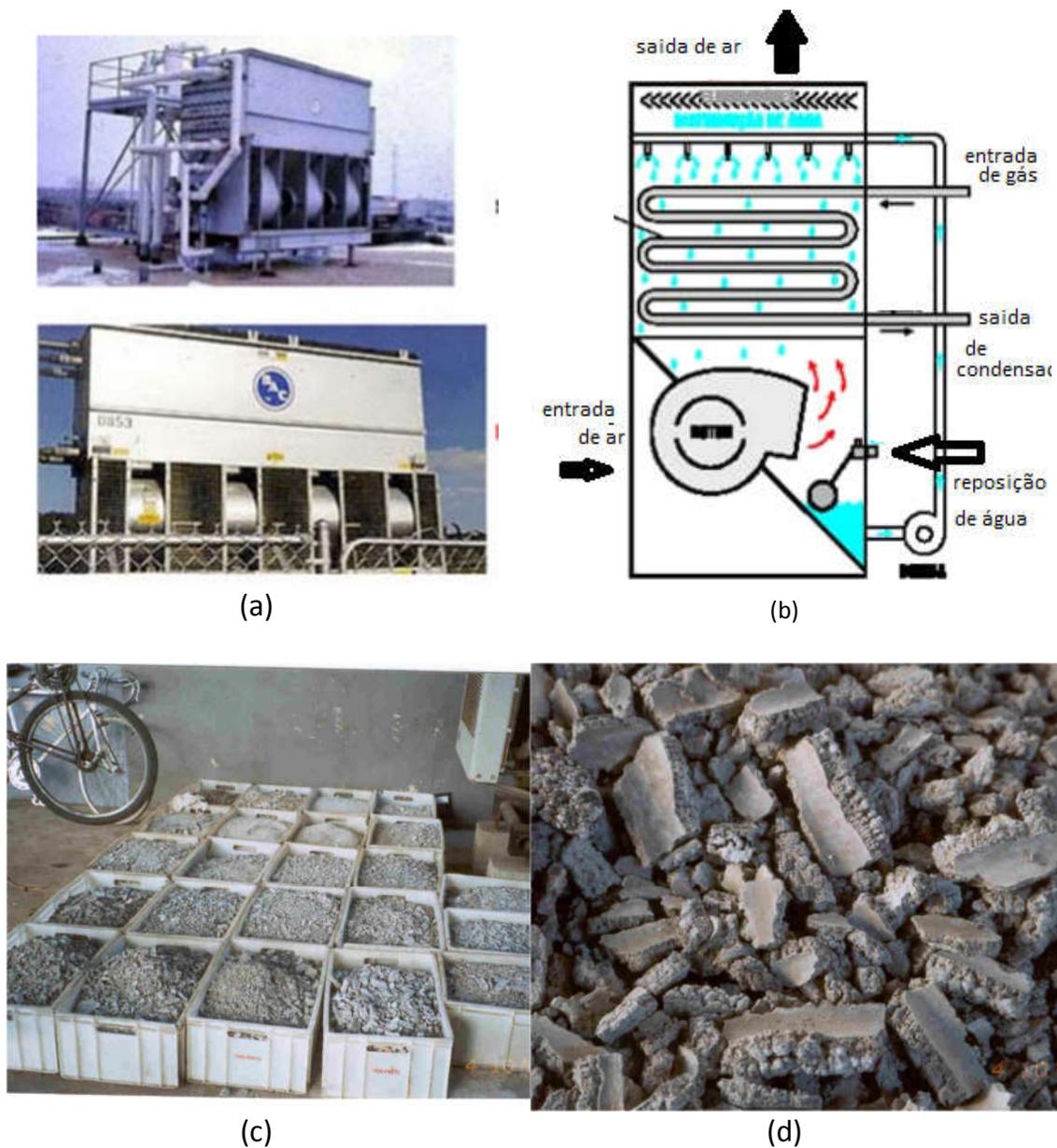


Figura 9 - Condensador evaporativo

(a) Condensador evaporativo de uso industrial, (b) diagrama, (c) calcário removido de um condensador evaporativo de amônia, (d) detalhe do material removido.

Nota: Observa-se a espessura no formato exato da parte interna do tubo.

8.5.3 Caldeira

A Figura 10 destaca o interior de uma caldeira para aquecimento de água para consumo humano, fornecida por concessionária, com detalhes dos ataques na

superfície da carcaça da caldeira em aço carbono. Estes processos são acelerados onde a água é aquecida. As partes brancas são formações calcárias e a azul pintura de epóxi realizada a cada 6 meses.

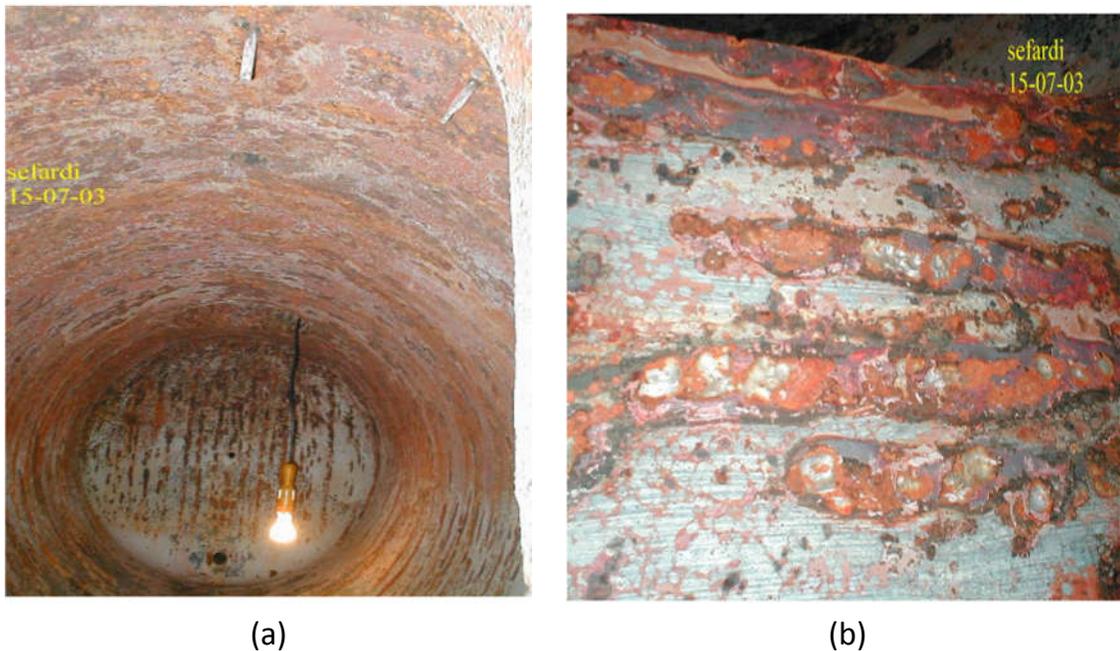


Figura 10 - Fotografia do interior de caldeira
(a) Vista geral; (b) Detalhe das formações calcárias.

A Figura 11 demonstra a instalação de um catalisador eletrolítico para tratamento de água para caldeira na Fazenda Dourado, localizada no município de Juazeiro (BA). O poço foi perfurado e instalado em 2021, vazão de 8.000 L/h, o resultado da análise físico-química apresentou os seguintes dados: pH 7,13, Condutividade Elétrica 10.840 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e Dureza Total de 3.838 mg/L (análise físico química realizada no Laboratório do Senai, Petrolina - PE). O reservatório possui capacidade total para 300 m^3 e o volume do reservatório elevado é de 10 m^3 e a caldeira possui uma capacidade de 6 ton. de vapor por hora com pressão de trabalho de 120 psi.

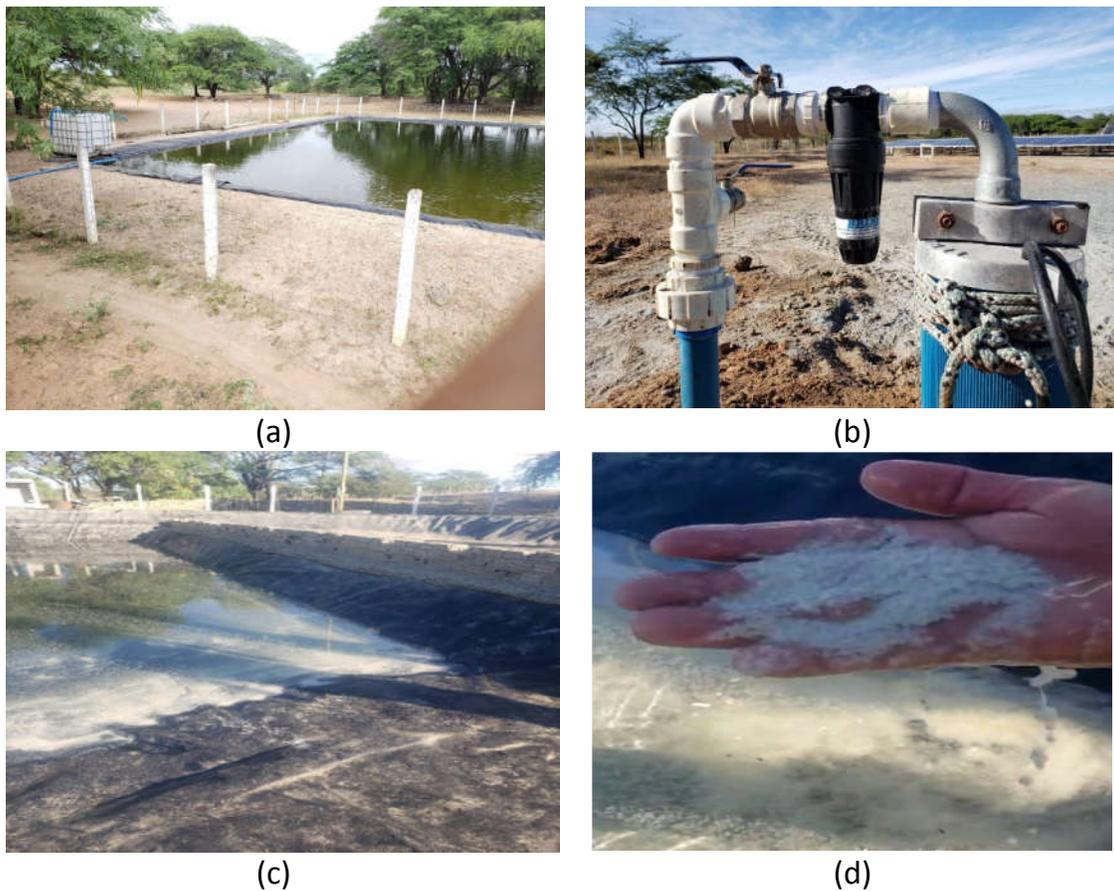


Figura 11 - Fotografias da instalação do catalisador para tratamento de água de caldeira - Fazenda Dourado – Juazeiro – BA
 (a) Tanque de 300 m³ cheio sem água tratada; (b) Catalisador eletrolítico instalado na saída do poço; (c) Formação cristalina no fundo do reservatório após instalação do catalisador; (d) Detalhe da formação cristalina colhida com a mão do fundo do reservatório.

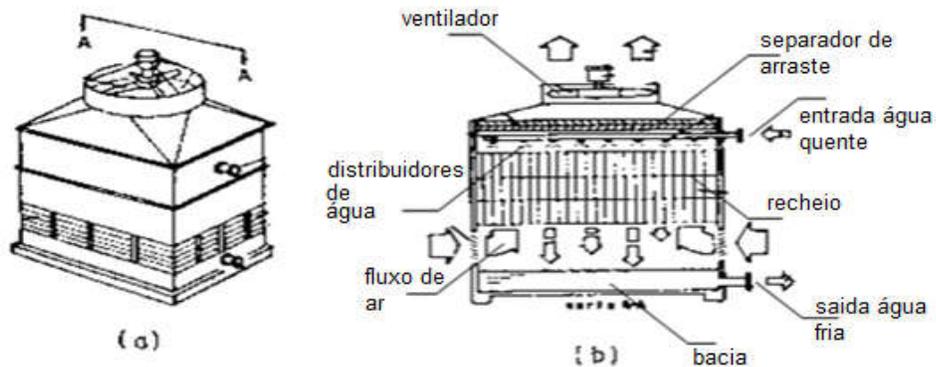
8.5.4 Torres de resfriamento

As torres de resfriamento se comportam como grandes lavadores de ar, além da natural concentração da água, várias outras contaminações oriundas do meio ambiente estão presentes. O desenvolvimento de matéria orgânica é inevitável nas torres onde a água está em contato com a luz solar, e assim, o crescimento de algas é frequente, nas torres de resfriamento aspirada, dentre outras, muito comum em indústrias e hotéis, principalmente em água de processo e ar condicionado.

A presença de lama orgânica, calcários, produtos de corrosão e contaminação natural do ar, retido nas bacias de torre de resfriamento e em outros locais, podem exigir de sistemas de filtros que podem ter ou não limpeza automática.

Frequentemente a água destas torres é usadas em trocadores de calor para as mais diversas finalidades e geralmente, há uma carcaça em aço carbono e tubos em cobre para aumentar a eficiência nessa troca de calor.

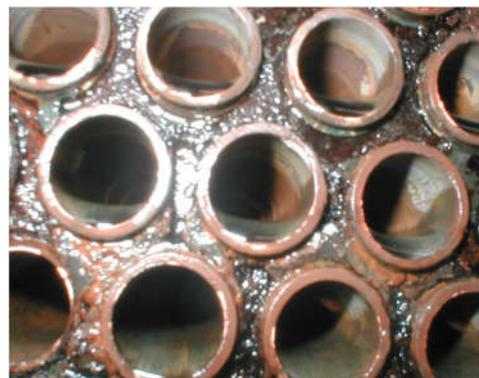
As contaminações migram da torre para todo sistema e causam sérios problemas de entupimento, perda de eficiência e corrosão como já descrito anteriormente. Na Figura 12 é possível ver a formação calcária dentro dos tubos e formação orgânica no espelho em aço carbono.



(a)



(b)



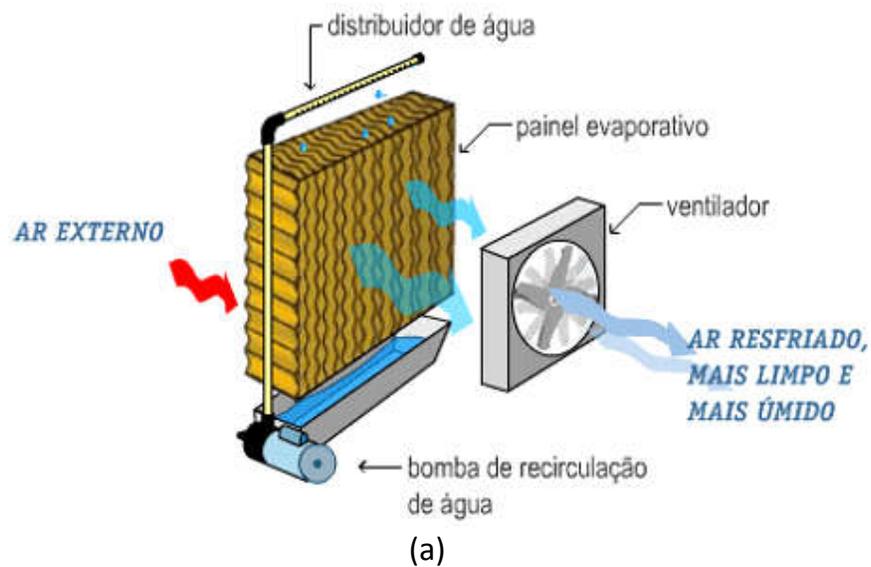
(c)

Figura 12 - Torre de resfriamento

(a) Desenho; (b) Limpeza da torre; (c) Detalhe da formação calcária e orgânica.

8.5.5 Resfriador adiabático

Resfriadores adiabáticos são muito usados em granjas de aves, suínos, salas de ordenha, *packing-houses* e resfriamento de ambientes internos. Recentemente foram adotados em estabelecimento comerciais para remediar o calor e aumentar o conforto ambiental por meio da redução da temperatura de bulbo úmido (Figura 13).



(b)

(c)

Figura 13 – Resfriador evaporativo

(a) Desenho; (b) Detalhe de calcificações nos tubos e spray de nebulização; (c) Detalhe nas formações calcárias nas colmeias.

8.5.6 Irrigação

A Figura 14 mostra aspectos do cultivo de alface em ambiente protegido, numa propriedade rural localizada no município de Garibaldi (RS). O registro fotográfico foi realizado no ano de 2009. O produtor instalou o catalisador eletrolítico no ramal de abastecimento em apenas uma das cinco casas de vegetação. Percebe-se, visualmente, o diferencial no desenvolvimento vegetativo entre as plantas (de mesmo número de dias após plantio) que foram irrigadas com água tratada (Figura 14a) quando comparadas com aquelas que foram irrigadas com água não tratada (Figura 14b). Posteriormente, o produtor adotou o mesmo manejo de tratamento da água de irrigação com catalisador eletrolítico para as demais casas de vegetação. Foi constatado, ainda, que não ocorreram registros de entupimentos de emissores nas casas de vegetação onde foi instalado o dispositivo.



Figura 14 – Cultivo de alface em ambiente protegido – Garibaldi – RS
 (a) Com água tratada com catalisador; (b) Sem água tratada com catalisador.

8.5.7 Instalações prediais

A Figura 15 apresenta um sistema típico de instalado em propriedades rurais, composto por um catalisador e um dosador de cloro em pastilha com ajuste.

Uma carga de pastilha pode tratar até 500.000 litros de água e para ser completado basta abrir e recolocar as pastilhas. Ao lado do dosador de cloro está o catalisador eletrolítico, dimensionado para tratar vazões de até 8.000 litros por hora de água com elevado teor de dureza.



Figura 15 – Instalação padrão: catalisador Eco Íon e dosador de cloro em pastilha.

Nota: As pastilhas de cloro do clorador podem ser visualizadas, mesmo fechado, pois seu corpo é transparente.

Estes equipamentos podem trabalhar em vazões maiores com configurações em paralelo sem necessidade de manutenção periódica, energia e peças sobressalentes.

A Figura 16 mostra a formação calcária removida do fundo da caixa d'água por ação de neutralização e precipitação. A parte restante que passa é inerte e não

causará problemas. Por vezes, em sistemas de maior exigência, são instalados filtros de disco na saída do reservatório e após o bombeamento. Estes filtros podem ser abertos e limpos sem maiores dificuldades, visto que a formação cristalina não está aderida a superfície, podendo ser removida com uma simples lavagem.



(a)



(b)

Figura 16 – Formações calcárias

(a) Material retirado do fundo do reservatório; (b) Elemento filtrante com depósitos de formação cristalina não aderido à superfície.

Uma instalação residencial de tratamento de água, proveniente de poço tubular, no município de Pinheira (SC). O poço possui vazão de 1.200 L/h, elevado teor de dureza, presença de sulfeto de hidrogênio (H_2S) e Ferro (Fe^{+2}). Após a passagem pela unidade de tratamento a água é armazenada em um reservatório para decantação dos sólidos em suspensão (Figura 17).



Figura 17 – Foto de instalação residencial de água de poço.

O catalisador eletrolítico também foi instalado em domicílios a fim de tratar água para um sistema de aquecimento a gás. A água, com elevado teor de dureza, é fornecida pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), no município de Florianópolis – SC. O tratamento com catalisador impediu a formação de obstruções e incrustações causadas por carbonatos, que reduzem as trocas de calor e o rendimento do sistema de aquecimento (Figura 18).



Figura 18 – Foto de instalação residencial de aquecimento de água.

A Figura 19 revela uma situação típica de incrustações, causadas por carbonatos, em parede interna de tubo de PVC predial PVC predial e em emissores de tubo gotejador.



(a)



(b)

Figura 19 – Incrustações causadas por carbonatos

(a) Incrustação em parede interna de tubo de PVC predial; (b) Incrustação e depósitos externos em emissores de tubo gotejador.

A Figura 20 representa uma instalação para tratamento de água com alto teor de turbidez, ferro e matéria orgânica em residências localizadas na zona rural de Bacupari, município de Palmares do Sul (RS). Esta região é caracterizada por extensas fazendas de cultivo de arroz irrigado por inundação. Os povoados naquela região não possuem, em sua maioria, sistema de saneamento básico e/ou de água tratada. Comumente usam poços rasos (< 6 m) instalados com bombas autoaspirantes de baixa vazão, para abastecimento de residências. Devido à proximidade com a Lagoa dos Patos, as águas subterrâneas apresentam altos teores de material orgânico, ferro, cor e turbidez. Em 2015, foram instalados, aproximadamente, 50 unidades de tratamento em residências, que foram constituídos dos seguintes dispositivos: filtros de disco de 120 micras, catalisador eletrolítico, dosador de cloro e reservatório de polietileno para decantação de sólidos em suspensão, por um período de 12 h. Após o tratamento, a água servia para as diversas necessidades domésticas e até mesmo para lavagem de máquinas e equipamentos agrícolas.

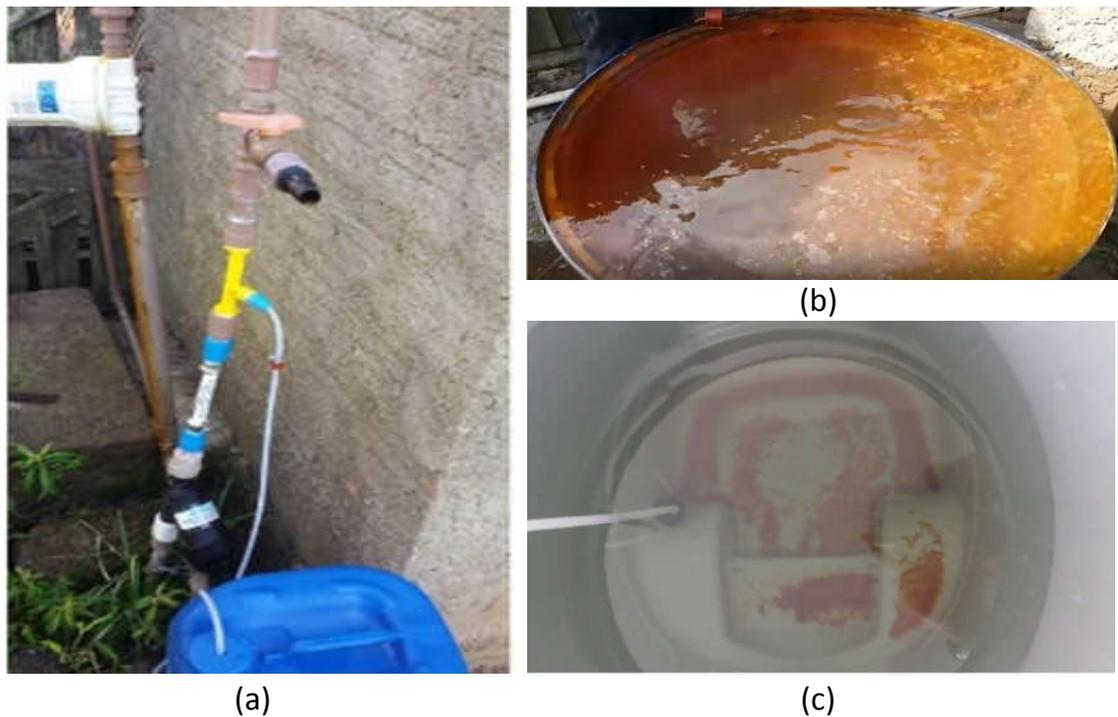


Figura 20 – Sistema residencial de tratamento de água subterrânea no município de em Palmares do Sul (RS)

(a) Catalisador eletrolítico + sistema de injeção de solução de dióxido de cloro; (b) Aspecto da água após a passagem pelo sistema de tratamento; (c) Aspecto da água após decantação de sólidos em suspensão, em 12 horas.

8.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modificação da estrutura cristalina do carbonato de cálcio, por meio do catalisador eletrolítico, dispositivo capaz de converter sais que estão solúveis na água em sais com baixa solubilidade, por meio da modificação das suas características físico-químicas, possibilita a transformação da calcita em aragonita e, assim, a sua inativação e/ou remoção por precipitação, filtração e redução da capacidade de aderir às superfícies.

O cristal de aragonita não se adere às paredes internas de tubulações e peças hidráulicas, evitando os problemas que aconteciam anteriormente ao uso da tecnologia. Além disso, todas as moléculas de bicarbonato no processo eletrolítico sofrem a remoção de dióxido de carbono passando a moléculas de carbonato, o

que facilita sua remoção parcial por decantação em determinadas condições de pH e de filtração.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888**, de 4 de maio de 2021. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em 15 jul. 2021.
- BRITO, L. T. L.; PEREIRA L. A.; MELO, R. F. **Disponibilidade hídrica subterrânea**. Brasília: EMPBRAPA, 2009. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000g5twggzi02wx5ok01edq5s9s9b6a3.html. Acesso em: 14 jul. 2021.
- CAREFREE. **Condicionador de água Care-Free**, [S. l., c2021]. Disponível em: <https://www.carefree.com.au/how-it-works/>. Acesso em: 3 jul. 2021.
- GRABBER CONSTRUCTION PRODUCTS. **Galvanic reaction chart**, North Highland, 2021. Disponível em: <https://www.grabberman.com/Media/TechnicalData/127.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2021.
- GUANZIROLI, C. E.; CARDIM, S. E. de C. S. (coord.). **Novo retrato da agricultura familiar: o Brasil redescoberto**. Brasília: INCRA: FAO, 2000. 74 p.
- KLEIN, C.; DUTROW, B. **Manual de Ciência dos Minerais**. 23. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. 706 p.
- LANA, C. R. de. Química do automóvel (3): catalisadores reduzem emissão de poluentes. **Educação UOL**, São Paulo, c2021. Disponível em: <https://www.educacao.uol.com.br/disciplinas/quimica/quimica-do-automovel-3-catalisadores-reduzem-emissao-de-poluentes.htm>. Acesso: 06 ago. 2021.
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas: Átomo, 2010.
- MAVROMATIS, V.; GOETSCHL, K. E.; GRENGG, C.; KONRAD, F.; PURGSTALLER, B.; DIETZEL, M. Barium partitioning in calcite and aragonite as a function of growth rate. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Amsterdam, n. 237, p. 65-78, 2018.

SULCROMO. 8 tipos de corrosão mais comuns na indústria e como revertê-las.

São Leopoldo, 20 ago. 2020. Disponível em:

<https://www.sulcromo.com.br/noticias-industria/8-tipos-de-corrosao-mais-comuns-na-industria-e-como-reverte-las/>. Acesso em: 01 ago. 2021.

CAPÍTULO 9

Caracterização de halófitas e halotolerantes: potenciais para o uso na agricultura

Oriel H. Bonilla, Eliseu M. P. de Lucena

9.1 INTRODUÇÃO

As halófitas ocupam importantes nichos (particularmente áridos e semiáridos) em muitos ecossistemas. Distribuem-se desde as zonas costeiras, desertos planos até serras e montanhas. Por isso, as características e Ecologia das halófitas são bastante complexas.

Uma abordagem holística é necessária para determinar a natureza das respostas das plantas aos habitats salinos. Além da tolerância de espécies de plantas à salinidade, que é necessária para o estabelecimento bem-sucedido das halófitas em habitats salinos, um complexo de fatores bióticos e abióticos interage para determinar o nível de produção de biomassa, produção reprodutiva e distribuição de espécies ao longo de gradientes ambientais em pântanos salgados e solos salinos. Os fatores bióticos que estão envolvidos na limitação do crescimento das halófitas incluem herbivoria, parasitismo e competição intra e interespecífica. O grau em que esses fatores bióticos estão afetando o crescimento e a distribuição das halófitas varia em diferentes comunidades zonais e de um ano para o outro em qualquer ambiente com salinidade elevada.

Fatores climáticos e edáficos também desempenham um papel significativo na determinação do sucesso das halófitas, assim como a distribuição em um

determinado habitat. Durante um ano de seca, por exemplo, a mortalidade das plantas é geralmente elevada devido ao baixo potencial de água do solo que se desenvolve nos solos pantanosos ou encharcados. Mudanças sazonais no padrão de precipitação também devem ser ajustadas por essas plantas, que são invasoras bem-sucedidas de ambientes irrigados, onde a salinidade do solo se eleva. Os baixos potenciais de solo-água são produzidos em solos salinos por causa dos baixos níveis de precipitação e alta taxa de evaporação em áreas do mundo que são dominadas por comunidades de pastagens e plantas do deserto. No Nordeste brasileiro, padrões imprevisíveis de precipitação de um ano para o outro podem causar mudanças dramáticas no padrão zonal das plantas que crescem em perímetros irrigados onde o teor salino do solo e da água de irrigação varia em torno dessas alterações.

Condições edáficas, como potencial de água do solo, salinidade do solo, inundação, aeração, acúmulo de sulfatos, efeitos de íons específicos e deficiências nutricionais, todos desempenham um papel na determinação do estado fisiológico das halófitas. A produtividade e distribuição das plantas que crescem em ambientes salinos estão intimamente relacionadas às condições edáficas do solo. Uma das principais tarefas no estudo da ecofisiologia das halófitas no futuro será classificar a importância relativa desses fatores solitários e interagentes, bem como, no papel que desempenham na determinação das respostas de crescimento das halófitas e das halotolerantes em diferentes estádios de desenvolvimento. Neste capítulo, apresentaremos uma caracterização das plantas encontradas em solos do Nordeste brasileiro com diferentes gradientes salinos, as quais apresentam um potencial uso econômico e também, com possível uso na agricultura irrigada.

9.2 SALINIZAÇÃO DOS SOLOS E O HALOFITISMO NO NORDESTE BRASILEIRO

Os principais problemas de salinização e sodificação dos solos no Brasil localizam-se particularmente e na região semiárida do Nordeste, onde o déficit hídrico pode ultrapassar os 2.000 mm por ano (SILVA; ALCÂNTARA, 2009), favorecendo com isso, a acumulação de sais solúveis e sódio trocável.

Estimativas emitidas pela FAO (2015) informavam que a área agrícola irrigada da região Nordeste do Brasil é de cerca de 500.000 ha, e 25-30% estava em processo de salinização. Entretanto Medeiros *et al.* (2016), relatam que no Brasil, aproximadamente 9.000.000 ha de solos são afetados pela presença de sais, e a região semiárida não escapa a esta realidade.

A presença da salinidade em muitas latitudes em terras tropicais e subtropicais, onde 43% das terras do planeta são áridas ou semiáridas, estimando-se 15% as localizadas em áreas costeiras ou de interiores, despertou interesse pelo desenvolvimento da agricultura biohalina, onde as culturas das halófitas e halotolerantes passariam a ser irrigadas com água do mar e teriam uma importância econômica (ÖZTURK *et al.*, 2008).

No entendimento e desenvolvimento de tecnologias apropriadas na prática dessa agricultura, as principais aliadas seriam as plantas conhecidas como halófitas, plantas que completam seu ciclo de vida em habitats salinos ou espécies naturalmente adaptadas a crescer e produzir em condições com alta concentração de sais no solo (cerca de 5.000 ppm ou 5 g/L do total de sólidos dissolvidos ou cerca de 85 mM de NaCl ou 7-8 dS m⁻¹) (FLOWERS *et al.*, 1986; FLOWERS *et al.*, 2008; FLOWERS *et al.*, 2010; UNGAR, 1991), por outro lado, as plantas que crescem apenas em áreas com água fresca contendo menos de 125 ppm ou 0,125 g/L de sais solúveis, são chamadas glicófitas (GUL *et al.*, 2015; KOSOVÁ *et al.*, 2013).

No momento atual, o Brasil possui uma rica flora de halófitas e halotolerantes nativas com um grande potencial biotecnológico e econômico para a produção de alimentos e de substâncias bioativas, ainda pouco conhecidas (COSTA; HERRERA, 2016a; COSTA; HERRERA, 2016b). Algumas dessas halófitas são já usadas tradicionalmente como plantas medicinais, tempero e na alimentação animal. Entretanto, são necessários estudos mais aprofundados a respeito da ecologia, da biologia reprodutiva e dos fatores abióticos que permitam um entendimento melhor de quais são as melhores condições de cultivo e uso da qualidade nutricional da biomassa (GLENN *et al.*, 2013).

Na literatura existem muitas listas de plantas cultivadas que possuem tolerância à salinidade (ALVES *et al.*, 2020; AYERS; WESTCOT, 1999; FERNANDES *et al.*, 2016; MASS, 1984) e outras tantas que tratam de levantamento de plantas espontâneas que crescem em habitats nativos com solos salinizados (COSTA; HERRERA, 2016b; HERRERA *et al.*, 2019; KAHN; QAISER, 2006; MEDINA, 2016).

Excetuando algumas algas, quase todas as plantas tolerantes ao sal são angiospérmicas. As halófitas estão amplamente distribuídas em muitas famílias de plantas superiores, fato que pode indicar origem polifilética para a tolerância constitutiva ao sal, conforme reconhecimento de Flowers *et al.* (1986), ao explicarem os mecanismos de tolerância salina.

Menzel e Lieth (2018) elaboraram uma lista com algumas espécies vegetais reconhecidas como halófitas e halotolerantes, reunindo cerca de 2.000 espécies e mais de 500 gêneros. Encabeçando esta lista, estão as famílias Poaceae, Ciperaceae (monocotiledóneas), Amaranthaceae, Chenopodiaceae e Fabaceae (dicotiledóneas), entre outras.

No Quadro 1 compilamos a diversidade florística de famílias botânicas encontradas em solos salinos e salinizados no Nordeste brasileiro que apresentam representantes genuinamente halofíticos e halotolerantes. Na primeira coluna

distribuímos as família e espécies ocorrentes, na segunda coluna os ecossistemas de distribuição desta espécie e a sua origem, na terceira coluna e quarta coluna, o tipo de planta e a forma de vida, respectivamente, conforme Raunkier (1934) e na quinta e última coluna os usos econômicos. Na Figura 1 observam-se algumas plantas halófitas herbáceas arbustivas e na Figura 2 plantas halotolerantes encontradas em solos salinizados da região semiárida do Nordeste do Brasil.

Quadro 1 - Diversidade florística de famílias botânicas halofíticas e halotolerantes encontradas em solos salinizados na região Nordeste do Brasil

| Família/Espécie | Distribuição/Origem | Tipo de Planta | Forma de Vida | Uso Econômico |
|---|--|----------------------------------|---------------|---------------|
| AIZOACEA | | | | |
| <i>Sesuvium portulacastrum</i> (L.) L. | Costa, restinga manguezal e solos salinizados/Nz | Psamófito | FCS; HF | 1; 2; 3; 5; 8 |
| <i>Trianthema portulacastrum</i> L. | Restinga e solos salinizados/Nz | Psamófito | HC; TE | 4; 6 |
| AMARANTHACEAE | | | | |
| <i>Blutaparion vermiculare</i> (L.) Mears | Costa, restinga, manguezal, solos salinos e salinizados/N | Psamófito | TE; FCS | 1; 3; 4; 6 |
| <i>Salicornia neei</i> Lag. | Marismas, pântanos úmidos salinos, solos salinos e salinizados/N | Hidrohalófito; Psamófito | FCS; HF | 1; 2; 3; 4; 6 |
| <i>Alternanthera tenella</i> Colla | Restinga e solo salinizados/N | Psamófito; Xerófito | TE | 4; 6 |
| BATACEAE | | | | |
| <i>Batis maritima</i> L. | Restinga, pântanos úmidos salinos e manguezal/N | Hidrohalófito | FCS | 1; 2; 3; 4; 6 |
| CONVOLVULACEAE | | | | |
| <i>Ipomoea asarifolia</i> (Desr.) Roem. & Schult | Costa, restinga, dunas, solos salinos e salinizados/N | Psamófito; Produtora de Fibra | TE; LI | 2; 3; 6; 8 |
| FABACEAE | | | | |
| <i>Crotalaria retusa</i> L. | Costa, restinga, dunas e solos salinizados/Nz | Psamófito; Xerófito | NF; TE | 3; 4; 6; 8 |
| <i>Tephrosia egregia</i> Sandwith | Restinga, solos salinizados, dunas e costa/N | Psamófito | NF; TE | 2; 3; 4; 6; 8 |
| <i>Parkinsonia aculeata</i> L. | Restinga, solos salinizados, dunas e costa/Nz | Xerófito | MIF | 3; 6; 7; 8 |
| <i>Desmanthus virgatus</i> (L.) Willd. | Dunas, costa, restinga e solos salinizados/N | Psamófito | CF; TE | 3; 4; 6; 8 |
| <i>Vigna luteola</i> (Jacq.) Benth. | Pântanos úmidos salinos, manguezal, dunas e restinga/N | Hidrohalófito; Psamófito | CF; TE | 2; 3; 6; 8 |
| <i>Senna obtusifolia</i> (L.) H.S.Irwin & Barneby | Dunas, costa, restinga e solos salinizados/N | Psamófito; Xerófito | NF; CF; TE | 3; 4; 6 |

| | | | | |
|--|--|---|---------------|---------------|
| <i>Macroptilium lathyroides</i> (L.) Urb. | Dunas, costa, restinga e solos salinizados/N | Psamófitas | NF; CF; TE | 2; 3; 4; 6; 8 |
| <i>Sesbania exasperata</i> Kunth | Pântanos úmidos salinos, dunas e solos salinizados/N | Hidrohalófitas; Psamófitas | NF; TE | 3; 6 |
| LAMIACEAE | | | | |
| <i>Marsypianthes chamaedrys</i> (Vahl) Kuntze | Restinga e solos salinizados/N | Xerófitas; Psamófitas | NF; CF; TE | 4; 6; 8 |
| <i>Mesosphaerum suaveolens</i> (L.) Kuntze | Restinga e solos salinizados/N | Xerófitas; Psamófitas | NF; CF; TE | 4; 6; 8 |
| MALVACEAE | | | | |
| <i>Sidastrum micranthum</i> (A.St.-Hil.) Fryxell | Restinga e solos salinizados/N | Xerófitas; Psamofitas; Produtora de fibra | NF; CF; TE | 2; 3; 4; 6; 8 |
| <i>Melochia pyramidata</i> L. | Restinga e solos salinizados/N | Xerófitas; Psamofitas; Produtora de fibra | NF; CF; TE | 2; 3; 4; 6; 8 |
| <i>Melochia tomentosa</i> L. | Restinga e solos salinizados/N | Xerófitas; Psamofitas; Produtora de fibra | NF; CF; TE | 2; 3; 4; 6; 8 |
| <i>Malvastrum coromandelianum</i> (L.) Garcke | Restinga e solos salinizados/N | Xerófitas; Psamofitas; Produtora de fibra | NF; CF; TE | 2; 3; 4; 6; 8 |
| <i>Wissadula amplissima</i> (L.) R.E.Fr. | Restinga e solos salinizados/N | Xerófitas; Psamofitas; Produtora de fibra | NF; CF; TE | 2; 3; 4; 6; 8 |
| <i>Waltheria communis</i> A.St.-Hil. | Restinga e solos salinizados/N | Xerófitas; Psamofitas; Produtora de fibra | NF; CF; TE | 2; 3; 4; 6; 8 |
| <i>Sida rhombifolia</i> L. | Restinga e solos salinizados/N | Xerófitas; Psamofitas; Produtora de fibra | NF; CF; TE | 2; 3; 4; 6; 8 |
| <i>Sida cordifolia</i> L. | Restinga e solos salinizados/N | Xerófitas; Psamofitas; Produtora de fibra | NF; CF; TE | 2; 3; 4; 6; 8 |
| <i>Sida galheirensis</i> Ulbr. | Restinga e solos salinizados/N | Xerófitas; Psamofitas; Produtora de fibra | NF; CF; TE | 2; 3; 4; 6; 8 |
| <i>Herissantia crispa</i> (L.) Brizicky | Restinga e solos salinizados/N | Xerófitas; Psamofitas; Produtora de fibra | NF; CF; TE | 2; 3; 4; 6; 8 |
| <i>Herissantia tiubae</i> (K.Schum.) Brizicky | Restinga e solos salinizados/N | Xerófitas; Psamofitas; Produtora de fibra | NF; CF; TE | 2; 3; 4; 6; 8 |
| NYCTAGINACEAE | | | | |
| <i>Boerhavia diffusa</i> L. | Restinga, dunas e solos salinizados/Nz | Xerófitas; Psamofitas | CF; HC; G; XE | 4; 6 |
| POACEAE | | | | |
| <i>Paspalum ligulare</i> Nees | Costa, restinga, dunas, solos salinos e salinizados/N | Xerófitas; Psamofitas | CF; TE | 2; 3 |
| <i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) Willd. | Costa, restinga, dunas, solos salinos e salinizados/Nz | Xerófitas; Psamofitas | CF; TE | 2; 3 |
| <i>Chloris barbata</i> Sw. | Costa, restinga, dunas, solos salinos e salinizados/N | Xerófitas; Psamofitas | CF; TE | 2; 3 |
| <i>Eragrostis plana</i> Ness | Costa, restinga, dunas, solos salinos e salinizados/Cul | Xerófitas; Psamofitas | CF; TE | 2; 3 |
| <i>Sporobolus virginicus</i> (L.) Kunth | Costa, restinga, dunas, manguezal, solos salinos e salinizados/N | Xerófitas; Psamofitas | CF; TE | 2; 3 |

PORTULACACEAE

| | | | | |
|--------------------------------|--|---------------------|---------|---------------|
| <i>Portulaca halimoides</i> L. | Restinga, solos salinos e salinizados/N | Xerófita; Psamofita | FCS; TE | 1; 2; 3; 4; 6 |
| <i>Portulaca oleracea</i> L. | Restinga, solos salinos e salinizados/Nz | Xerófita; Psamofita | FCS; TE | 1; 2; 3; 4; 6 |
| <i>Portulaca pilosa</i> L. | Restinga, solos salinos e salinizados/N | Xerófita; Psamofita | FCS; TE | 1; 2; 3; 4; 6 |

SOLANACEAE

| | | | | |
|------------------------------------|---|---------------------|------------|------------|
| <i>Solanum palinacanthum</i> Dunal | Restinga, solos salinos e salinizados/N | Xerofita; Psamofita | NF; CF; TE | 2; 4; 6 |
| <i>Solanum agrarium</i> Sendtn. | Restinga, solos salinos e salinizados/N | Xerofita; Psamofita | NF; CF; TE | 2; 4; 6 |
| <i>Physalis angulata</i> L. | Manguezal, solos salinos e salinizados/Nz | Xerofita; Psamofita | NF; CF; TE | 1; 2; 4; 6 |

Origem - Cultivada (Cul), Nativa (N), Naturalizada (Nz); Forma de Vida – Microfanerófitos (MIF), Nanofanerófitos (NF), Fanerófitos de Caule Suculento (FCS), Caméfitos (CF), Hemicriptófitos (HC), Geófitos (G), Hidrófitos (HF); Terófitos (TE), Lianas (LI), Xeromófitos (XE); Uso Econômico - Alimentação Humana (1), Alimentação Animal (2), Forragem e Adubo Verde (3), Medicinal (4), Ornamental (5), Químico (6), Madeira e outros usos maderáveis (7), Produtora de Fibras e Melífera (8).

Fonte: Adaptado de RAUMKIER, 1934.

No semiárido nordestino e principalmente nos perímetros irrigados, onde a salinização dos solos parece crescer a cada ano foram identificadas 11 famílias botânicas: Aizoaceae, Amaranthaceae, Bataceae, Convolvulaceae, Fabaceae, Lamiaceae, Malvaceae, Nyctaginaceae, Poaceae, Portulacaceae e Solanaceae; totalizando 40 espécies, das quais 31 são nativas, oito naturalizadas e uma cultivada (Quadro 1).

Do grupo de plantas genuinamente halofíticas (Figura 1) podemos mencionar bredo-de-porco (*Sesuvium portulacastrum* (L.) L.), iresine (*Blutaparon vermiculare* (L.) Mears), beldroega (*Portulaca pilosa* L.) e *Batis maritima* L. Estas plantas ocorrem de forma espontânea e são indicadoras de solos salinos úmidos. Todas elas apresentam caules e folhas suculentas e normalmente sua área de ocorrência centra-se nas zonas costeiras (LUNARDI *et al.*, 2005), geralmente detrás da faixa dos Manguezais, ou consorciada com outras espécies de plantas pioneiras nas Dunas e Restingas (HERRERA, 1997), assim como em áreas irrigadas do semiárido onde a salinidade dos solos é evidente e que são geralmente

abandonadas devido a este problema. Quanto ao seu uso, *Batis maritima* pode ser ingerida juntamente com saladas e outros acompanhamentos (DEBEZ *et al.*, 2010).



Figura1 - Algumas plantas halófitas herbáceas arbustivas encontradas em solos salinos e salinizados da região semiárida do Nordeste do Brasil



Figura 2 - Algumas plantas halotolerantes encontradas em solos salinizados da região semiárida do Nordeste do Brasil

As Malvaceae (Quadro 1) apresentaram o maior número de espécies (11 spp), as quais são todas halotolerantes (Figura 2), semelhante ao caso da malvácea halotolerante mais estudada, que o algodoeiro (*Gossypium* sp.).

Como pode ser observado no Quadro 2, existe grande variação na percentagem de cinzas na matéria seca, mostrando que grande parte do peso na

matéria seca é formada por elementos tais como: Na⁺, Mg²⁺, K⁺, Ca²⁺ e Cl⁻, principais eletrólitos achados em tecidos de halófitas e na própria água de mar. Segundo Cheeseman (2015), a grande acumulação desses íons é um mecanismo de adaptação ou de ajuste osmótico da planta.

Quadro 2 - Análise bromatológica parcial de algumas das plantas provenientes de um perímetro irrigado com problemas de salinização no município de Pentecoste-CE

| Nome Científico | Nome Vulgar | % de Matéria Seca | | | | |
|--------------------------------|----------------|-------------------|-------|------|-------|--------|
| | | MS | PB | EE | FB | Cinzas |
| <i>Sesuvium portulacastrum</i> | Bredo-de-porco | 88,82 | 13,70 | 2,48 | 9,05 | 32,10 |
| <i>Sida cordifolia</i> | Malva-comum | 88,50 | 15,57 | 2,63 | 21,77 | 6,47 |
| <i>Sida galheirensis</i> | Malva-amarela | 89,11 | 9,00 | 2,35 | 24,24 | 12,28 |
| <i>Melochia tomentosa</i> | Capa-bode | 89,51 | 9,00 | 2,32 | 28,93 | 6,56 |

Matéria seca (MS), Proteína Bruta (PB), Extrato Etéreo (EE), Fibra Bruta (FB).

Quanto às análises bromatológicas os resultados mostraram valores aceitáveis de proteína (Quadro 2), quando comparados com trabalho semelhante feito por Nascimento *et al.* (1996) para forrageiras arbóreas nativas encontradas na Bacia do Parnaíba. Os valores nutritivos das halófitas analisadas nos indicam que estas plantas se constituem numa alternativa promissora no Nordeste brasileiro para cobrir as necessidades nutricionais dos ruminantes, sobretudo na época seca.

No semiárido do Nordeste encontramos um bom número destas plantas que podem ser melhor estudadas, visto que estas espécies, já colonizam solos degradados afetados pela salinização secundária. Um aspecto que merece especial cuidado e atenção em relação às plantas aqui citadas, é que muitos autores as consideram “plantas daninhas” ou plantas invasoras (LORENZI, 2008), e como tal, precisam ser eliminadas do meio das culturas, pelo fato de carecer de valor econômico aparente. É bom destacar que do ponto de vista ecológico e da ocorrência de uma espécie no ambiente que ela ocupa, nenhuma planta é mais ou menos importante que outra, pois todas estas exercem importantes funções e usos

que vale a pena analisar, com o objetivo de melhor aproveitá-las. Alguns representantes da família Malvaceae, especialmente as do gênero *Sida*, pois, possuem fibras empregadas na indústria têxtil, cordoaria e na aniagem. Outras podem ser usadas como fornecedoras de genes para programas de melhoramento genético, na procura de plantas tolerantes ao estresse hídrico e salino (ARZANI, 2008).

A *Crotalaria retusa* (Fabaceae), por exemplo, é uma planta herbácea que se desenvolve anualmente em todo o país, vegetando principalmente terras abandonadas, margens de rodovias, áreas de pastagens e solos salinizados. Pode ser usada para repelir nematoides do solo em plantações de tomate e soja (CARVALHO, 2017), assim como em adubação verde.

Testes envolvendo concentrações salinas de 10 a 40 mM de NaCl no substrato (FARIAS *et al.*, 2019a; FARIAS *et al.*, 2019b) demonstraram que em *Macroptilium lathyroides* (Fabaceae) houve crescimento em todas as concentrações, sendo as maiores TCRs e TCAs observadas no substrato areia na concentração de 40mM e 30mM, percebendo-se que a espécie forrageira é resistente aos níveis salinos geralmente encontrado nos solos salinizados (KOTUBY-AMACHER *et al.*, 2000), tornando a leguminosa uma possível fonte de cultivo e uso em remediação para solos salinizados. Já em *Vigna luteola* (Fabaceae), apesar do bom desenvolvimento das plantas em todos os níveis salinos e substratos, foi observada uma queda nas taxas de crescimento de acordo com o aumento das concentrações salinas, podendo haver sensibilidade dessa leguminosa a concentrações mais elevadas de NaCl. Segundo Santos *et al.* (2018), ambas plantas são batizadas como plantas do futuro, pelas suas perspectivas de utilização em ambientes degradados e em solos salinizados.

A halófito costeira *Salicornia neei* Lag. (Amaranthaceae), anteriormente chamada *Sarcocornia ambigua* (Michx.) M.A. Alonso & M.B. Crespo (COSTA *et al.*,

2018; COSTA *et al.*, 2019), cresce em solos costeiros, inclusive alagados pela água do mar, onde a salinidade do solo pode variar de 16 a 55 dS.m⁻¹, e até mesmo hipersalinas. Esta planta está sendo cultivada com êxito no semiárido cearense com fins forrageiros (sendo a produção de biomassa fresca em torno de 16 t/ha) e em programas de biorremediação (ALVES *et al.*, 2020). Além da produção de alimentos e bioprodutos, esta planta pode ser usada para a implementação de processos de tratamentos de efluentes da aquicultura e carcinicultura (COSTA, 2006; SCHARDONG *et al.*, 2018; SCHARDONG *et al.*, 2020).

Chama também a atenção as plantas da família Solanaceae, em especial *Physalis angulata*. Os frutos são comestíveis *in natura* e são de sabor ligeiramente ácidos, de alto valor nutricional ou podem ser usados em conserva com vinagre (KINUPP; LORENZI, 2019), é de grande importância agrícola em outras partes do mundo, além de ter uso farmacológico devido à bioprodução de substâncias complexas (fisalinas) com diversas propriedades terapêuticas comprovadas.

9.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma geral, podemos dizer que a ocorrência espontânea de plantas em gradientes salinos no Nordeste do Brasil, nos leva a concluir que existe um potencial enorme quanto a plantas halotolerantes e halófitas nativas que poderão ser usadas como forrageiras ou na alimentação humana, porém esta afirmação deve ser ainda objeto de estudos mais aprofundados. Também deve ser revisto o conceito de “plantas daninhas” ou “ervas daninhas”, pois conduz ao desvirtuamento e pouco interesse pela pesquisa e na procura de outras utilidades econômicas que estas plantas apresentam, sendo já muito utilizadas e com grande eficiência em outras partes do mundo, dando uso aos solos salinizados.

REFERÊNCIAS

ALVES, P. R.; LUCENA, E. M. P.; HERRERA, B. O.; MARQUES, E. C.; GOMES FILHO, E.; COSTA, C. S. B. Solutos orgânicos e inorgânicos em *Salicornia neei* Lag. sob lâminas de irrigação e adubação no semiárido cearense. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, n. 15, v. 4, p. 360-367, 2020.

ALVES, P. R.; REIS, A T.; COSTA, C. S. B.; HERRERA, B. O.; LUCENA, E. M. P. Cultivo de *Salicornia neei* Lag. no semiárido cearense. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 63592-63605, 2020.

ARZANI, A. Improving salinity tolerance in crop plants: a biotechnological view. **In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant**, New York, v. 44, n. 5, p. 373-383, 2008.

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

CARVALHO, P. H. **Controle biológico e alternativo de *Meloidogyne incognita* E M. javanica em tomateiro**. 2017. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2017. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/23402/1/2017_Patr%C3%ADciaHonoratodeCarvalho.pdf. Acesso em: 16 ago. 2019.

CHEESEMAN, J. M. The evolution of halophytes, glycophytes and crops, and its implications for food security under saline conditions. **New Phytologist**, Lancaster, v. 206, n. 2, p. 557–570, 2015.

COSTA, C. S. B. A *salicornia*: uma planta que pode ser utilizada no cultivo integrado com o camarão. **Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 98, n. 1, p. 28-33, 2006.

COSTA, C. S. B.; CHAVES, F. C.; ROMBALDI, C. V.; SOUZA, C. R. Bioactive compounds and antioxidant activity of three biotypes of the sea asparagus *Sarcocornia ambigua* (Michx.) M.A. Alonso & M.B. Crespo: a halophytic crop for cultivation with shrimp farm effluent. **South African Journal of Botany**, [S. l.], v. 117, p. 95–100, 2018.

COSTA, C. S. B.; HERRERA, B. O. Halófitas brasileiras: formas de cultivo e uso. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (ed.). **Manejo da**

salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2016b. p. 243-258.

COSTA, C. S. B.; HERRERA, B. O. Halophytic life in Brazilian salt flats: biodiversity, uses and threats. *In*: KHAN, M. A.; BOER, B.; ÖZTURK, M.; CLUSENER-GODT, M.; GUL, B.; BRECKLE, S-W. (ed.). **Sabka Ecosystem V: the Americas**. Berlin: Springer, 2016a. p. 11-27.

COSTA, C. S. B.; KADEREIT, G.; FREITAS, G. P. M. Molecular markers indicate the phylogenetic identity of southern Brazilian sea asparagus: first record of *Salicornia neei* in Brazil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 70, p. e03122017.2019/1-10, 2019.

DEBEZ, A.; SAADAOU, D.; SLAMA, I.; HUCHZERMAYER, B.; ABDELLY, C. Responses of *Batis maritima* plants challenged with up to twofold seawater NaCl salinity. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, [S. l.], v. 173, p. 291-299, 2010.

FARIAS, I. B. M.; HERRERA, O. B.; LACERDA, C. F.; SOLTYS, N. M. F.; LIMA, F. R. A.; SILVA, R. G. Crescimento de mudas de *Vigna luteola* (Jacq.) Benth., submetidas a salinidade. *In*: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 5., 2019, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: INOVAGRI, 2019a. v. 1. p. 211-220.

FARIAS, I. B. M.; HERRERA, O. B.; LACERDA, C. F.; SOLTYS, N. M. F.; LIMA, F. R. A.; CRUZ, F. R. M. Crescimento absoluto e relativo de *Macroptilium lathyroides* (L.) Urb., em dois substratos sobre efeito de salinidade. *In*: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 5., 2019, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: INOVAGRI, 2019b. v. 1. p. 201-211.

FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; GHEYI, H. R.; ANDRADE, A. P. de; MEDEIROS, S. S. Halofitismo e agricultura bioassalina. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES-FILHO, E (ed.). **Manejo da salinidade na agricultura:** estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 219-242.

FLOWERS, T. F.; GALAL, H. K.; BROMHAM, L. Evolution of halophytes: multiple origins of salt tolerance in land plants. **Functional Plant Biology**, Clayton, v. 37, p. 604-612, 2010.

FLOWERS, T. J.; COLMER, T. D. Salinity tolerance in halophytes. **New Phytologist**, Lancaster, v. 179, p. 945–963, 2008.

FLOWERS, T. J.; HAJIBAGHERI, M. A.; CLIPSOM, N. J. W. Halophytes. **The Quaterly Review of Biology**, Chicago, v. 61, n. 2, p. 313-337, 1986.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Status of the World’s Soil Resources (SWSR) – Main Report**: Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. Rome: FAO, 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/I5126E>. 2020. Acesso em: 29 mai. 2021.

GLENN, E. P.; ANDAY, T.; CHATURVEDI, R.; MARTINEZ-GARCIA, R.; PEARSLTEIN, S.; SOLIZ, D.; NELSON, S. G.; FELGER, R.S. Three halophytes for saline-water agricultura: an oilseed, a forage and a grain crop. **Environmental Experimental Botany**, [S. l.], v. 92, p. 110-121, 2013.

GUL, B.; ÖZTURK, M.; AHMED, M. Z.; KHAN, M. A. **Halophytes for food security in dry lands**. Australia: Academic Press Inc, 2015. 360 p.

HERRERA, B. O; DIAS, F. Y. E. C; LUCENA, E. M. P.; LACERDA, C. F.; LOIOLA, M. I. B. Comunidade halofítica herbáceo-arbustiva em perímetro irrigado do município de Pentecoste–CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 12, n. 5, p. 1934-1951, 2019.

HERRERA, O. **Pesquisas sobre a salinidade, ecologia e ecofisiologia das halófitas costeiras tropicais *Sesuvium portulacastrum* L. (Aizoaceae) e *Batis maritima* L. (Batidaceae)**. 1997. 182 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Bielefeld Universitat, Bielefeld, 1997.

KHAN, M. A.; QAISER, M. Halophytes of Pakistan: characteristics, distribution and potential economic usages. *In*: KHAN, M. A.; KUST, G. S.; BARTH, H.-J.; BÖER, B. (ed.). **Sabkha Ecosystems**. Netherlands: Springer Netherlands, 2006. v. 2, p. 129-153.

KINUPP, V. F.; LORENZI, H. **Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil**: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2019. 768 p.

KOSOVÁ, K.; VITÁMVÁS, P.; URBAN, M. O.; PRÁŠIL, I. T. Plant proteome responses to salinity stress – comparison of glycophytes and halophytes. **Functional Plant Biology**, Clayton, v. 40, p. 775-786, 2013.

- KOTUBY-AMACHER, J.; KOENIG, R.; KITCHEN, B. **Salinity and plant tolerance**. Logan: Utah state University electronic Publishing, 2000. Disponível em: www.extenson.usu.edu/agropubs/ags003.pdf. Acesso em: 29 mai. 2021.
- LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas**. 4. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 640 p.
- LUNARDI, F. O.; HERRERA, B. O.; COSTA, C. S. B.; FREITAS, M.C.; CHAVES, B. E. Estudos ecofisiológicos e germinativos de *Sesuvium portulacastrum* L. sob estresse salino. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 57., 2005, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: SBPC, 2005.
- MAAS, E. V. Crop tolerance. **California Agriculture**, Davis, v. 36. n. 10, p. 2021, 1984.
- MEDEIROS, J. F. de; GHEYI, H. R.; COSTA, A. R. F.; TOMAZ, H. V. Manejo do solo-água-planta em áreas afetadas por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 319-335.
- MEDINA, E. Physiological ecology of psammophytic and halophytic plant species from coastal plains in Northern South America. In: KHAN, M. A.; BOER, B.; ÖZTURK, M.; CLUSENER-GODT, M.; GUL, B.; BRECKLE, S-W. (ed.). **Sabka Ecosystem V: the Americas**. Berlin: Springer, 2016. p. 29-56.
- MENZEL, U.; LIETH, H. Halophyte database Vers. 2.0 update. In: LIETH, H.; MOCHTCHENKO, M. (ed.). **Cash crop halophytes**. Dordrecht: Kluwer, 2018. Compact disk.
- MENZEL, U.; LIETH, H. Halophyte database Vers. 2.0. In: LIETH, H.; MOSCHENKO, M.; LOHMAN, M.; KOYRO, H.-W.; HAMDY, A. (ed.). **Halophyte uses in different climates I: ecological and ecophysiological studies**. The Netherlands: Backhuys Publishers, 1999. Progress in Biometeorology, v. 13, p. 77-88.
- NASCIMENTO, M. P. S. C. B.; OLIVEIRA, M. E. A.; NASCIMENTO, H. T. S.; CARVALHO, J. H.; ALCOFORADO FILHO, F. G.; SANTANA, C. M. M. **Forrageiras da Bacia do Paranaíba: usos e composição química**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 1996. 86 p. (Série Documentos, n. 19).

ÖZTURK, M.; BASLAR, S.; DOGAN, Y.; SAKCALI, M. S. Alleviation of salinity stress in the seeds of some brassica species. *In*: KHAN, M. A.; WEBER, D. J. (ed.).

Ecophysiology of high salinity tolerant plants. Dordrecht: Springer, 2008. p. 145-156. (Tasks for Vegetation Science, v. 40).

RAUNKIAER, C. **The life forms of plants and statistical plant geography.**

Clarendon: Oxford, 1934.

SANTOS, J.; AL-AZZAWI, M.; ARONSON, J.; FLOWERS T.J. eHALOPH a database of salt-tolerant plants: helping put halophytes to work. *Plant & Cell Physiology*, Oxford, v. **57**, n. **1**, p. e10/1–10, 2016.

SANTOS, M. V. F. *et al.* Forrageiras - Fabaceae: *Macroptilium lathyroides*. *In*: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F. G. C. (ed.). **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro - região Nordeste.** Brasília: MMA, 2018. cap. 5. p. 548-554. (Biodiversidade, 51).

SCHARDONG, R. M. F.; HERRERA, B. O.; TÉDDE, S. S. Cultivo de *Batis maritima*, *Sarcocornia ambigua* e *Sporobolus virginicus* com água residuária do cultivo de *Litopenaeus vannamei*. *Biotemas*, Florianópolis, v. 31, p. 19-32, 2018.

SCHARDONG, R. M. F.; MORO, M. F.; HERRERA, B. O. Aquaponic system with white shrimp *Litopenaeus vannamei* rearing and production of the plants *Batis maritima*, *Salicornia neei* and *Sporobolus virginicus*. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 63, p. 1-12, 2020.

SILVA, D. F.; ALCÂNTARA, C. R. Déficit hídrico na Região Nordeste: variabilidade espaço – Temporal. **UNOPAR Científica Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 8, n. 1, p. 45-51, 2009.

UNGAR, I. A. **Ecophysiology of vascular halophytes.** Boca Raton: CRC Press, 1991. 209 p.

CAPÍTULO 10

Experiências com o uso de águas salobras em hidroponia no Nordeste brasileiro

Mairton G. da Silva, Petterson C. C. Silva, Alide M. W. Cova, Hans R. Gheyj, Tales M. Soares

10.1 INTRODUÇÃO

Em regiões áridas e semiáridas de diferentes partes do mundo, devido às distribuições irregulares das precipitações no espaço e no tempo, a irrigação é indispensável para o estabelecimento das lavouras. No entanto, essas regiões enfrentam grandes períodos de escassez de água de baixa salinidade, o que torna a agricultura irrigada convencional menos praticável e mais arriscada.

Na grande parte do Nordeste brasileiro, em detrimento da baixa oferta de águas superficiais, uma prática antiga e cada vez mais recorrente, tem sido a abertura de poços profundos. No entanto, muitas vezes as águas extraídas das reservas subterrâneas apresentam elevadas concentrações de sais (SILVA, M. *et al.*, 2018). O uso dessas águas na irrigação, além de limitar o cultivo de várias espécies de plantas, pode acarretar na salinização do solo, em muitos casos levando à desertificação (VASCONCELOS, 2014; SUASSUNA *et al.*, 2017).

Diferentes estratégias têm sido empregadas visando o aproveitamento de águas salobras, como o uso de culturas tolerantes à salinidade (UNAL *et al.*, 2014), assim como a alternância da irrigação com águas de baixa salinidade e salobras de acordo com a fase de crescimento da cultura (NEVES *et al.*, 2017). Outra estratégia bastante exitosa tem sido a adoção da técnica do cultivo hidropônico, para culturas

de ciclos curtos, como as hortaliças em geral (LIRA *et al.*, 2018; SILVA, M. *et al.*, 2018; ALVES *et al.*, 2019).

Na hidroponia há uma maior eficiência do uso da água, característica essa desejável para a região do Nordeste brasileiro, independente da qualidade da água (SILVA, M. *et al.*, 2016a). Além disso, como já mencionado, essa técnica pode ser usada para o aproveitamento de águas salobras, levando-se em consideração a seguinte hipótese: enquanto no cultivo tradicional baseado no solo, a planta responde a duas vertentes do estresse hídrico, quais sejam estresses por secamento e osmótico, em hidroponia, como não há interface água/ar entre as partículas sólidas, isenta-se o meio do potencial matricial, resultando efetivamente no efeito de apenas um desses estresses: o estresse osmótico.

No presente capítulo são abordados aspectos relacionados às diferentes estratégias empregadas para o uso de águas salobras no cultivo hidropônico em condições experimentais, vislumbrando assim opções para o cultivo comercial.

10.2 HIDROPONIA

No cultivo hidropônico todos os nutrientes são fornecidos às plantas por meio de uma solução nutritiva. Nos subtópicos seguintes serão abordados diferentes aspectos, como vantagens e desvantagens do cultivo hidropônico; sistemas, instalações e culturas exploradas em hidroponia; manejo da solução nutritiva e das culturas.

10.2.1 Vantagens e desvantagens

Além da maior eficiência no uso da água em relação ao plantio convencional, como mostrado no Quadro 1, na hidroponia, quando todas as recomendações técnicas são respeitadas, inúmeras outras vantagens podem ser

obtidas, como cita Jones Jr. (2014): produção de melhor qualidade o ano inteiro; maior produtividade; colheita precoce, aumentando assim a intensidade de colheitas; menor emprego de mão de obra; melhoria na qualidade de vida dos produtores; menor quantidade de fertilizantes químicos; mínimo uso de defensivos; dispensa da rotação de culturas; o preparo do solo não é necessário; eliminação de alguns tratos culturais, como o controle de plantas daninhas.

Quadro 1 – Eficiência do uso da água (EUA) de diferentes espécies de plantas sob condições hidropônicas e cultivo convencional em solo

| Cultura | EUA (kg m ⁻³) | | EUA (kg m ⁻³) | |
|------------|---------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| | Hidroponia [#] | Fonte | Solo | Fonte |
| Alface | 93,24 [*] | SOARES <i>et al.</i> , 2019 | 28,50 ^{1*} | SILVA, V. <i>et al.</i> , 2018b |
| Almeirão | 22,50 ² | ATZORI <i>et al.</i> , 2019 | 14,80 | PITORO <i>et al.</i> , 2021 |
| Cebolinha | 8,93 ^{3**} | SILVA JÚNIOR <i>et al.</i> , 2019a | 7,26 ⁴ | SANTOS <i>et al.</i> , 2020 |
| Coentro | 29,43 [*] | SILVA, M. <i>et al.</i> , 2020a | 4,48 [*] | SILVA, V. <i>et al.</i> , 2018a |
| Couve-flor | 17,53 | COSTA, 2020 | 9,42 ⁵ | SOUZA <i>et al.</i> , 2018 |
| Chicória | 71,10 | SILVA, M. <i>et al.</i> , 2020b | 13,90 | PITORO <i>et al.</i> , 2021 |
| Rúcula | 22,07 ^{6**} | CAMPOS JÚNIOR <i>et al.</i> , 2018a | 14,42 [*] | CUNHA <i>et al.</i> , 2013 |
| Salsa | 54,61 ^{6***} | MARTINS <i>et al.</i> , 2019a | 16,50 | PITORO <i>et al.</i> , 2021 |

[#] Valores de EUA obtidos em hidroponia com o uso de água de baixa salinidade; * – valores obtidos em experimentos realizados no outono; ¹ – valor obtido para alface crespa ‘Isabela’; ² – valor convertido a partir da unidade m³ t⁻¹; ³ e ⁶ – valores obtidos no 1º e 2º experimento, respectivamente; ⁴ – valor obtido sob lâmina de irrigação de 70,63 mm e dose de NPK de 377,34 kg ha⁻¹; ⁵ – valor obtido no 2º experimento sob 100% da evapotranspiração da cultura somada com a precipitação efetiva; ** e *** – valores obtidos sob tratamento controle, com condutividades elétricas das soluções nutritivas de 1,5 e 1,7 dS m⁻¹ (sem NaCl), respectivamente.

Apesar das inúmeras vantagens, na hidroponia tem-se algumas restrições que podem limitar a expansão dessa técnica de cultivo, como: custo elevado de aquisição/instalação da estrutura; dependência de fonte de energia elétrica segura para circulação da solução nutritiva em sistemas fechados (SILVA, M. *et al.*, 2016b); necessidade de mão de obra especializada (BARMAN *et al.*, 2016) e maior risco de disseminação de fitopatógenos (MARTÍNEZ *et al.*, 2013).

Como maneira de mitigar essa última desvantagem (rápida disseminação de doenças pelo contato direto das raízes das plantas com a solução nutritiva), é estratégico o uso de reservatórios individualizados por bancada de cultivo (Figura 1a) e/ou por setores (Figura 1b) para evitar grandes perdas na produção quando a solução é contaminada, mas isso pode implicar em custo adicional de instalação.

Outras soluções são encontradas, por exemplo, a desinfestação da solução nutritiva com radiação ultravioleta (CORRÊA *et al.*, 2010) e a aplicação de peróxido de hidrogênio (COSTA, 2020).



Figura 1 – Cultivo hidropônico comercial: com um reservatório embaixo de cada bancada com oito canais, no município de Iguatu-CE
(a) e (b) reservatório (1) para atender um setor com três bancadas na parte frontal da estufa, no município de São Felipe-BA.

Fonte: Fotos disponibilizadas pelos produtores.

10.2.2 Sistemas, instalações e culturas exploradas hidroponicamente

Os sistemas hidropônicos são muito versáteis e podem variar de acordo com a finalidade, desde aqueles empregados comercialmente com altos níveis de tecnologia até aqueles mais simples para fins domésticos (BARBOSA *et al.*, 2015). As plantas podem ser cultivadas em meio líquido (solução nutritiva) ou em

substratos inertes (cascalho, fibra de coco, lã de rocha, perlita, serragem, turfa, vermiculita, etc.) (SHARMA *et al.*, 2018).

Os principais sistemas hidropônicos empregados comercialmente são o NFT (técnica do fluxo laminar de nutrientes, Figura 2a) e o DFT (técnica do fluxo profundo, Figura 2b). Existem outros sistemas, os quais são derivados a partir destes, por exemplo, o sistema DFT adaptado em tubos dispostos em nível (Figura 2c).

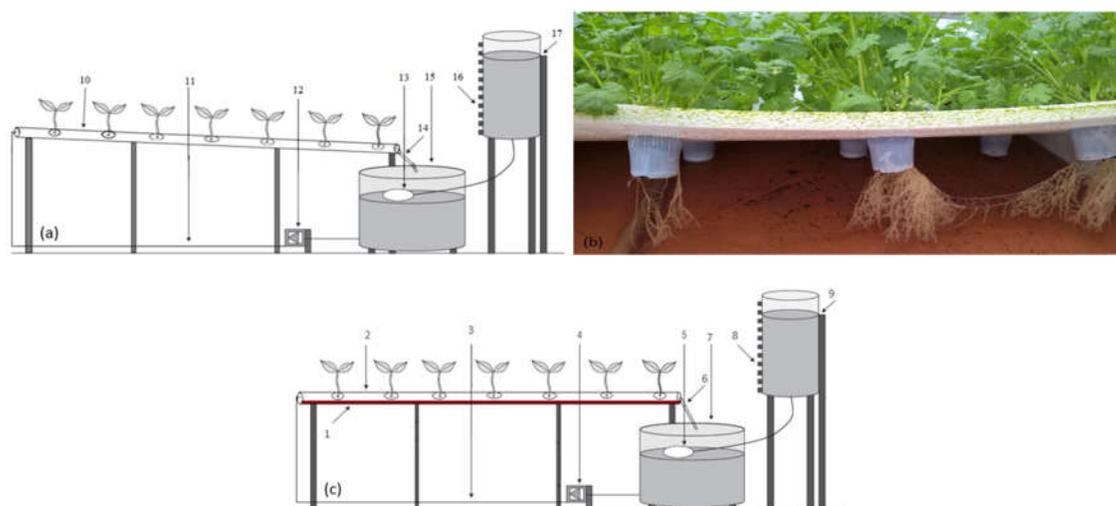


Figura 2 – Sistemas hidropônicos

- (a) NFT - técnica do fluxo laminar de nutrientes
- (b) DFT - técnica do fluxo profundo convencional
- (c) DFT adaptado em tubos em nível

1 – altura da lâmina de solução nutritiva no canal hidropônico; 2 e 10 – canais hidropônicos instalados em nível e em declive, respectivamente; 3 e 11 – tubo para condução da solução até o canal hidropônico; 4 e 12 – conjunto motobomba para recalcar a solução até o canal hidropônico; 5 e 13 – torneira boia para manter o nível de solução constante no reservatório; 6 e 14 – tubulação para condução do excesso de solução para o reservatório com solução; 7 e 15 – reservatório com a solução; 8 e 16 – microtubo transparente com fita métrica para leitura do consumo hídrico das plantas; 9 e 17 – reservatório com água para o abastecimento.

Fonte: ALVES *et al.*, 2021, p. 5. [Figuras (a) e (c)].

Quanto às instalações hidropônicas, o tipo de estrutura mostrado nas Figuras 2a e 2c aplica-se apenas para fins de pesquisa. Nesse caso, cada parcela

hidropônica tem sido composta por um canal de cultivo, uma eletrobomba e um reservatório. Para fins comerciais, as instalações mais utilizadas por pequenos produtores são aquelas com reservatórios individualizados por bancada (Figura 1a) e/ou por setores (Figura 1b).

Na hidroponia tem sido possível o cultivo de várias espécies de plantas, como as hortaliças folhosas e de frutas, condimentares, medicinais, ornamentais e forrageiras para alimentação animal (SARDARE; SHRADDHA, 2013; HUSSAIN *et al.*, 2014). No Quadro 2 encontra-se o compêndio de vários estudos realizados em diferentes Instituições do Nordeste brasileiro. Nesses estudos, a alface é a principal cultura utilizada, justificando-se por ser a pioneira produzida comercialmente no Brasil em hidroponia. Outras culturas têm sido cultivadas hidroponicamente, como rúcula, agrião, coentro, salsa, cebolinha, almeirão, chicória, acelga, couve-folha, couve-flor, brócolis, manjeriço, hortelã, entre outras, tanto em escala comercial, como também nas pesquisas.

Quadro 2 – Cultivo de várias espécies de plantas com diferentes estratégias para o uso de águas salobras sob condições hidropônicas no Nordeste brasileiro

| Cultura | Estratégia | DAT | CEa ou CEsol (dS m ⁻¹) | Redução (%) [*] | Produção ^{**} | Fonte |
|-----------|------------|-----|------------------------------------|--------------------------|------------------------|--|
| Agrião | AS | 25 | 0,2 – 5,2 ⁽¹⁾ | 10,98 | 40,78 ^(a) | LIRA <i>et al.</i> , 2018 ^{(3)I} |
| | | 20 | 0,6 – 4,6 ⁽¹⁾ | 15,81 | 32,64 ^{(a)w} | SOUZA <i>et al.</i> , 2020 ^{(3)II} |
| | | 25 | | 14,12 | 36,49 ^(a) | |
| | AA/AS | | ns | ----- ^x | | |
| | AS/AA | 24 | 0,27 – 7,5 ⁽¹⁾ | 4,99 | 300,17 ^(a) | ALVES <i>et al.</i> , 2011 ^{(3)III} |
| | AS | | | 7,00 | 377,21 ^(a) | |
| Alface | AS/AA | 21 | 0,2 – 5,2 ⁽¹⁾ | 15,23 | 148,67 ^(a) | SOARES <i>et al.</i> , 2015 ^{(3)I} |
| | | 30 | | 8,02 | 383,35 ^(a) | |
| | | 14 | 1,6 – 7,6 ⁽²⁾ | ----- ^y | 233,78 ^(a) | GUIMARÃES <i>et al.</i> , 2017 ^{(3)IV} |
| | | 21 | 1,9 – 4,9 ⁽²⁾ | 7,58 | 174,91 ^(a) | |
| Cebolinha | AS | 40 | 1,5 – 9,0 ⁽²⁾ | 9,96 | 23,23 ^{(b)z} | SILVA JÚNIOR <i>et al.</i> , 2019b ^{(4)I} |
| | AS/AA | | | 3,84 | 20,76 ^{(b)z} | |
| Chicória | AS | 25 | 0,34 – 6,0 ⁽¹⁾ | 8,53 | 134,52 ^(a) | ALVES <i>et al.</i> , 2019 ^{(4)III} |

| | | | | | | |
|--------------------|-------|-----|-----------------------------|--------------------|------------------------|---|
| | AS | 26 | 0,3 – 7,73 ⁽¹⁾ | 8,84 | 92,66 ^(c) | CAZUZA NETO <i>et al.</i> , 2014 ^{(3)III} |
| Coentro | AA/AS | 24 | 0,43 – 8,53 ⁽¹⁾ | ns | 49,79 ^(d) | SILVA <i>et al.</i> , 2015 ^{(3)III} |
| | AS | 25 | 0,26 – 7,0 ⁽¹⁾ | 6,08 | 44,05 ^(e) | SILVA, M. <i>et al.</i> , 2018 ^{(4)III} |
| Couve chinesa | AS | 37 | 0,2 – 5,2 ⁽¹⁾ | 12,42 | 773,87 ^(a) | LIRA <i>et al.</i> , 2015 ^{(3)I} |
| Couve-flor | AS/AA | 65 | 1,4 – 6,7 ⁽²⁾ | 4,64 | 433,90 ^(f) | COSTA <i>et al.</i> , 2020 ^{(3)III} |
| Couve-folha | AS | 45 | 0,3 – 5,0 ⁽¹⁾ | ----- ^y | 403,33 ^(a) | VIANA <i>et al.</i> , 2017 ^{(3)III} |
| | AS/AA | | | 9,50 | 592,17 ^(a) | |
| Hortelã | AS | 50 | 0,47 – 9,43 ⁽¹⁾ | 3,76 | 297,65 ^(a) | SILVA FILHO <i>et al.</i> , 2014 ^{(3)III} |
| Manjeriçã | AS | 49 | 0,29 – 8,48 ⁽¹⁾ | 7,86 | 215,64 ^(a) | BIONE <i>et al.</i> , 2014 ^{(3)III} |
| | AS/AA | 28 | 2,45 – 12,27 ⁽²⁾ | 6,69 | 159,24 ^(a) | GONDIM FILHO <i>et al.</i> , 2018 ^{(4)III} |
| Pimentão | AS | 69 | 0,29 – 7,09 ⁽¹⁾ | 10,50 | 737,81 ^(h) | SANTOS <i>et al.</i> , 2018 ^{(3)III} |
| Pimenta 'Biquinho' | AS/AA | 120 | 2,70 – 7,77 ⁽²⁾ | ----- | 2387,74 ⁽ⁱ⁾ | BIONE <i>et al.</i> , 2021 ^{(3)III} |
| Quiabeiro | AS/AA | 85 | 2,08 – 18,61 ⁽²⁾ | ----- | 500 ^(j) | MODESTO <i>et al.</i> , 2019 ^{(3)III} |
| Rúcula | AS/AA | 22 | 0 – 10 ⁽¹⁾ | 3,60 | 48,04 ^(k) | JESUS <i>et al.</i> , 2015 ^{(3)I} |
| | AS | 30 | 1,5 – 9,0 ⁽²⁾ | 7,20 | 28,81 ^(L) | CAMPOS JÚNIOR <i>et al.</i> , 2018b ^{(4)I} |
| | AS/AA | | | 8,10 | 47,35 ^{(L)z} | |
| Salsinha | AS | 40 | 1,7 – 6,7 ⁽²⁾ | 8,55 | 50,01 ^(m) | MARTINS <i>et al.</i> , 2019b ^{(4)I} |

AS – Água salobra; AS/AA – água salobra usada no preparo da solução nutritiva e reposição com água de abastecimento; AA/AS – água de abastecimento usada no preparo da solução nutritiva e reposição com água salobra; AS/AC – água salobra usada no preparo da solução nutritiva e reposição com água de chuva; DAT – dias após o transplante; (1) – condutividade elétrica da água (CEa); (2) – condutividade elétrica da solução nutritiva (CESol); (3) e (4) – sistemas hidropônicos NFT e DFT em tubos, respectivamente; (a) – massa fresca da parte aérea – MFPA (g planta⁻¹); (b, c, d, e, k, L e m) – produção de MFPA de 1 maço com 3, 8, 24, 12, 10, 2 e 45 plantas (g), respectivamente; (f) – massa fresca da inflorescência (g); (h) – massa fresca de frutos (g planta⁻¹); (i) – massa fresca de frutos maduros (g planta⁻¹) obtida até a salinidade limiar (SL) de CESol de 4,58 dS m⁻¹; (j) – massa fresca de frutos (g planta⁻¹) obtida até a SL de CESol de 5,43 dS m⁻¹; * – redução por incremento unitário de CEa ou CESol; ** – produções obtidas sob tratamento controle; ns – diferença não significativa; w – produção obtida sob tempo de circulação da solução de 15 min; x – média não informada; y – dados ajustados ao modelo quadrático; z – produção obtida sob três frequências de recirculações da solução por dia; I, II, III, IV e V – estudos realizados na UFRPE, Recife; UFC, Fortaleza; UFRB, Cruz das Almas; UFCG, Campina Grande e UEPB, Lagoa Seca, respectivamente.

Vários fatores são decisivos para implantação de uma nova espécie de planta em condições hidropônicas, como o clima, bem como a preferência do

mercado local. Adicionalmente, o sucesso do empreendimento hidropônico depende de muitos outros fatores, como salientam Bezerra Neto e Barreto (2012), incluindo a viabilidade econômica, fatores relacionados à comercialização dos produtos, como a proximidade de um centro consumidor, custo de produção e preço do produto no mercado local. De acordo com Costa *et al.* (2020), considerando-se os elevados custos dos sistemas hidropônicos, recomenda-se o cultivo de espécies com ciclos curtos e com altas lucratividades, como as hortaliças.

10.2.3 Manejos das soluções nutritivas e das culturas

O manejo da solução nutritiva (SN) é muito importante para o êxito na produção hidropônica. Em alguns casos, a suplementação de nutrientes ao longo do ciclo de cultivo e/ou até mesmo a troca da SN se faz necessária. Isso porque, em condições experimentais, conforme salientam Bione *et al.* (2021), quando se empregam águas salobras no processo produtivo, além da absorção de nutrientes, ocorre também absorção de íons tóxicos pelas plantas, o que pode alterar a composição da solução.

Portanto, a fim de manter a condutividade elétrica da solução (CEsol) de cada tratamento conforme desejado, tem-se adotado como parâmetro para reposição de nutrientes e/ou troca da solução, a depleção na CEsol do tratamento controle (sem salinidade), qual seja, entre 25 e 50% da condição inicial (LIRA *et al.*, 2015; BIONE, 2017). No cultivo do coentro por 25 dias não houve a necessidade de reposição de nutrientes (SILVA, M. *et al.*, 2016b; SILVA, M. *et al.*, 2018), já para alface houve necessidade de reposição aos 14 dias após o transplântio (DAT), quando a CEsol se encontrava abaixo de 1,0 dS m⁻¹ (SOARES *et al.*, 2015). Para culturas de ciclos mais longos, a exemplo da couve-flor, houve troca das soluções

aos 43 DAT (COSTA *et al.*, 2020) e aos 28, 61 e 90 DAT para pimenta ‘Biquinho’ (BIONE *et al.*, 2021).

Por questões metodológicas, alguns autores utilizam seus tratamentos considerando os níveis de CEa, enquanto outros adotam os níveis de CEsol (Quadro 2). Por isso, ao longo do texto as duas nomenclaturas são empregadas conforme o estudo em questão.

Uma preocupação ambiental diz respeito ao descarte das soluções salinas após o final do cultivo. Nesse sentido, diferentes estratégias podem ser utilizadas, como por exemplo, na semana de colheita não se repõe o volume consumido pelas plantas, e assim, o volume do rejeito salino é reduzido. Posteriormente, esse rejeito pode ser destinado a um local específico da propriedade mantido para essa finalidade. Essa alternativa deve ser tomada com cuidado para não gerar um estresse que comprometa o rendimento final da cultura.

Quanto ao manejo das culturas, plantas de pequeno porte (alface, almeirão, coentro, chicória, entre outras) não necessitam de apoio para sustentação nos canais de cultivo. Já aquelas de maiores portes, a exemplo da couve-flor (Figura 3a), maxixeiro (Figura 3b), minimelancia (Figura 3c), pimenta (Figura 3d), pimentão (Figura 3e), entre outras, se faz necessário o tutoramento, geralmente feito com auxílio de fitilhos. Mesmo assim, pode ocorrer o tombamento das plantas devido ao peso das mesmas. Uma solução auxiliar para isso foi idealizada por Costa (2020), o qual empregou para sustentação das plantas de couve-flor suportes cilíndricos alocados nos orifícios dos canais de cultivo (Figura 3f).

Em função do menor porte das plantas quando produzidas com águas salobras (Figura 4), o manejo nas rotinas diárias com tráfego entre as bancadas de cultivo é facilitado.



Figura 3 – Tutoramento de plantas da couve-flor (a), maxixeiro (b), minimelancia (c), pimenta (d) e pimentão (e) com fitilhos e da couve-flor com suporte de PVC (e) em condições hidropônicas



Figura 4 – Plantas da couve-flor sob cultivo em condições hidropônicas
 (a) condutividade elétrica da água (CEa) de $0,3 \text{ dS m}^{-1}$
 (b) com água salobra com CEa de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$

10.3 HIDROPONIA COMO TÉCNICA CONDIZENTE À REALIDADE DO SEMIÁRIDO

Nas comunidades rurais do Semiárido brasileiro, o cultivo de hortaliças folhosas tem sido a principal fonte de renda para os pequenos agricultores familiares (SILVA, 2019). No atual cenário de escassez hídrica, tem sido cada vez mais difícil a permanência dos agricultores no campo, sendo necessárias mudanças nas técnicas de cultivo tradicionais, visando principalmente, a otimização do uso da água.

Nesse sentido, a hidroponia é uma técnica que promove o cultivo em locais com pouca disponibilidade hídrica, onde não é possível a implantação de projetos tradicionais de irrigação por demandarem elevados volumes de água, além da possibilidade do uso de águas salobras impróprias para o plantio convencional em solo.

Adicionalmente, a hidroponia pode ser implantada em pequenas áreas (SILVA, 2019), condição essa que faz parte da realidade das pessoas nessa região. Geralmente, no nordeste brasileiro, as propriedades rurais são pequenas e os solos são rasos (SANTOS, 2017).

10.3.1 Estratégias de manejo para o uso de águas salobras

No Quadro 2 verificam-se o cultivo de várias espécies de plantas em condições hidropônicas sob diferentes estratégias para o uso de águas salobras (AS), quais sejam: uso exclusivo de AS (para o preparo da solução nutritiva – SN e reposição do consumo hídrico das plantas); uso de AS para o preparo da SN e água de abastecimento – AA ou água de chuva – AC para a reposição do consumo hídrico; e uso de AA para o preparo da SN e AS para a reposição do consumo hídrico.

Conforme os vários estudos apresentados no Quadro 2, quando o uso das águas salobras foi exclusivo ocorreram maiores reduções no rendimento das plantas comparadas às estratégias de usar águas salobras apenas para o preparo da solução nutritiva ou para reposição do consumo hídrico das plantas.

10.3.2 Restrições ao uso de águas salobras no Semiárido

Tem sido possível o cultivo de várias espécies de plantas com os mais variados níveis de salinidade (Quadro 2). Porém, vislumbrando a implantação da hidroponia em comunidades remotas do Semiárido brasileiro, onde as temperaturas são mais elevadas, essa dinâmica da interação entre salinidade e temperatura na zona radicular precisa ser investigada. Assim, um melhor entendimento das respostas das plantas a tais condições de estresses pode ajudar na adoção de estratégias para atenuar o efeito das altas temperaturas na solução nutritiva.

Os resultados do estudo de Freitas *et al.* (2021) evidenciam o efeito da temperatura sobre a CEsol, pois com o aumento da temperatura ocorre aumento na dissociação dos sais na solução nutritiva. Naquele estudo a amplitude diurna da CEsol real foi de apenas $0,43 \text{ dS m}^{-1}$ com o uso de água com baixa salinidade (CEa $0,3 \text{ dS m}^{-1}$) (Figura 5a), enquanto com o uso de água salobra (CEa $5,3 \text{ dS m}^{-1}$) foi de $3,58 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 5b).

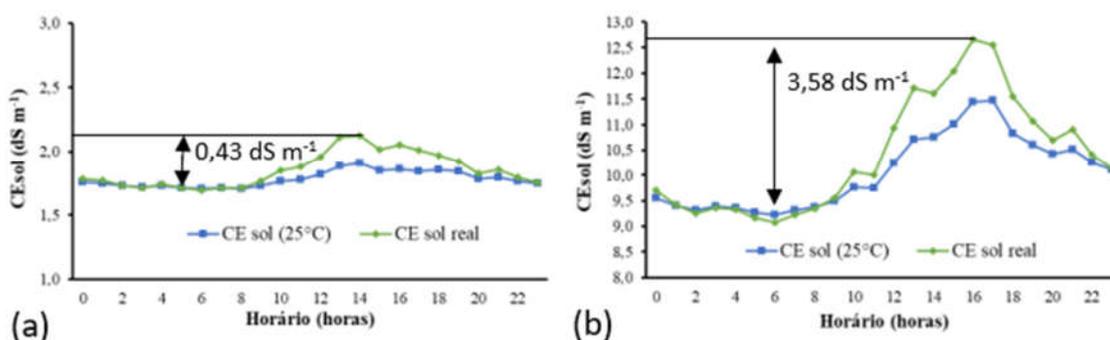


Figura 5 – Condutividade elétrica da solução nutritiva padronizada à 25°C (CEsol(25°C)) e real sem compensação de temperatura (CEsolreal) nas condições de cultivo com água de baixa salinidade – condutividade elétrica da água (CEa) de $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ (a) e com água salobra com CEa de $5,3 \text{ dS m}^{-1}$ (b), no sistema hidropônico DFT em tubos, UFRB, Cruz das Almas – BA

Fonte: FREITAS *et al.*, 2021, p. 75.

Conforme Silva, M. *et al.* (2020c), sob condições de altas temperaturas, há uma redução na disponibilidade de oxigênio dissolvido na solução, e consequentemente, pode ocorrer um aumento da incidência do *Pythium sp.*, prejudicando o crescimento e desenvolvimento das plantas. Quando associada ao uso de águas salobras, o aumento da temperatura da solução aumenta significativamente as taxas de crescimento micelial do *Pythium* conforme estudo de Rasmussen e Stanghellini (1988) (Quadro 3). Em alguns casos, como registrado por Silva *et al.* (2020c), ocorreu acometimento por *Pythium sp.* em plantas sem estresse salino (CEa $0,3 \text{ dS m}^{-1}$) quando comparadas às plantas sob salinidade (CEa $6,5$

dS m⁻¹), ambos os tratamentos sob temperatura da solução constante a 30°C (Figura 6).

Quadro 3 – Taxas de crescimento micelial (mm/24 h⁻¹) de *Pythium aphanidermatum* em função da salinidade e temperaturas das soluções

| Salinidade (dS m ⁻¹) 1:1 (m/m) NaCl e CaCl ₂ | Temperaturas (°C) | | | |
|--|-------------------|------|------|------|
| | 15 | 20 | 25 | 30 |
| 0,5 | 12,3 | 27,5 | 32,5 | 41,7 |
| 1,3 | 13,7 | 27,8 | 33,3 | 42,5 |
| 2,8 | 15,0 | 28,7 | 32,8 | 43,2 |
| 4,3 | 15,0 | 29,2 | 33,7 | 43,0 |
| 5,7 | 15,2 | 29,5 | 34,3 | 43,5 |
| 7,1 | 15,7 | 29,5 | 34,3 | 44,2 |
| 14,2 | 10,7 | 25,0 | 28,8 | 43,8 |
| 21,2 | 10,3 | 23,7 | 26,7 | 41,5 |
| 28,4 | 7,7 | 22,7 | 25,2 | 39,5 |

Fonte: RASMUSSEN; STANGHELLINI, 1988, p. 1496.

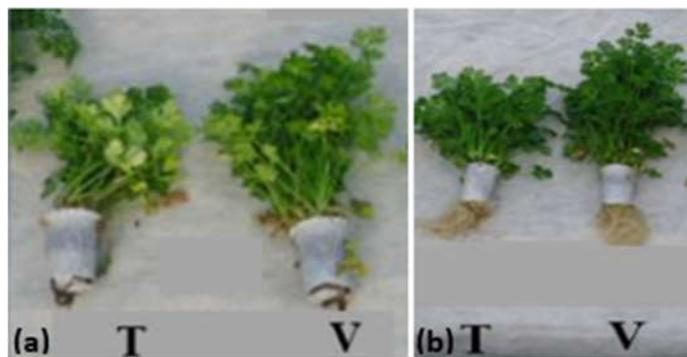


Figura 6 – Plantas de coentro ‘Tabocas’ (T) e ‘Verdão’ (V) com raízes escurecidas sob cultivo sem estresse salino – condutividade elétrica da água (CEa) de 0,3 dS m⁻¹ (a) e com água salobra com CEa de 6,5 dS m⁻¹ sem anomalias nas raízes (b) em condições hidropônicas, UFRB, Cruz das Almas – BA

Fonte: SILVA, M. *et al.*, 2020c, p. 676.

Para minimizar este problema, no estudo de Ali (2018) *in vitro* não houve incidência de *Phytium* sp. sob aplicação do peróxido de hidrogênio (H₂O₂) na concentração de 2% em solução ágar. Sob condições hidropônicas com uso de águas salobras, alguns autores também têm reportado a prevenção e o controle do *Phytium* sp. com a aplicação do H₂O₂ na solução nutritiva. Por exemplo, no estudo de Costa (2020) com a couve-flor aplicou-se o H₂O₂ (200 volumes: 1,7 mL para 1000 L) na solução duas vezes por semana. Este produto tem sido empregado com grande sucesso em plantios hidropônicos comerciais, conforme relatos de alguns produtores nos estados do Ceará e Bahia.

Sob altas temperaturas, o efeito da salinidade é potencializado, pois, devido à alta demanda evapotranspirométrica, ocorre um aumento significativo da absorção de água e de íons oriundos de águas salobras. Parte desses íons (principalmente Na⁺ e Cl⁻), quando absorvidos em altas concentrações pode ocasionar toxidez como mostrado nos estudos de Silva *et al.* (2011) (Figura 7) e Cazusa Neto *et al.* (2014). Por outro lado, os íons não absorvidos permanecem na solução, aumentando assim a CEsol.



Figura 7 – Clorose nas bordas foliares de plantas de rúcula cultivada com águas salobras produzidas com adição de NaCl, Ibimirim – PE

Fonte: SILVA *et al.*, 2011, p. 153.

Nesse caso, quando possível, deve-se evitar o uso exclusivo de águas salobras com elevados níveis de CEa em épocas mais quentes, sendo sugerido seu uso apenas para reposição do consumo hídrico das plantas. Utilizando essa última estratégia, as produções de alface e coentro (Quadro 2), respectivamente, nos estudos de Alves *et al.* (2011) (Figura 8a) e Silva *et al.* (2015) foram similares aquelas obtidas com uso de água de baixa salinidade. Com este tipo de estratégia a incorporação de sais na solução nutritiva pela reposição com águas salobras ocorre lentamente, contribuindo assim, para aclimação das plantas (SILVA *et al.*, 2015).

Ainda no estudo de Alves *et al.* (2011), empregando outras duas estratégias, quais sejam: águas salobras no preparo da solução (Figura 8b) e uso exclusivo (Figura 8c), apesar das reduções no rendimento da alface, não foram detectados sintomas de toxidez ou deficiência mineral nas plantas.



Figura 8 – Plantas de alface cultivadas com águas salobras: apenas para reposição do consumo hídrico (a), no preparo da solução nutritiva (b) e uso exclusivo (c), UFRB, Cruz das Almas – BA

Fonte: ALVES *et al.*, 2011, p. 495 e p. 497.

Estes resultados comprovam a importância do uso de diferentes estratégias para o uso de águas salobras em sistemas hidropônicos. Independentemente do tipo de estratégia, pode haver distúrbios nutricionais. A estratégia implica na intensidade do distúrbio, observado, por exemplo, pela redução das concentrações de K^+ e NO_3^- em plantas cultivadas sob elevados níveis de NaCl (COVA *et al.*, 2017).

10.4 POSSIBILIDADES DA HIDROPONIA COMERCIAL COM ÁGUAS SALOBRAS

As pesquisas desenvolvidas com o uso de águas salobras, em sua maioria, empregam estruturas típicas de cultivo comercial, em termos, por exemplo, de diâmetros e comprimento dos canais de cultivo, e espaçamento de plantas (entre canais e entre plantas). Nesse caso, os resultados encontrados nesses estudos podem ser alcançados em empreendimentos hidropônicos comerciais.

Quanto aos rendimentos das culturas sob estresse salino, em geral, são satisfatórios. Por exemplo, para massa fresca da parte aérea (MFPA) da alface, Soares *et al.* (2015) registraram rendimentos relativos da ordem de 60% sob os níveis estimados de CEa de 2,7 e 5,1 $dS\ m^{-1}$, com o uso exclusivo de águas salobras (AS) e AS apenas para o preparo da solução, respectivamente. Rendimentos na mesma magnitude foram obtidos para o agrião sob os níveis de CEa de 3,75 (LIRA *et al.*, 2018) e 3,18 $dS\ m^{-1}$ (SOUZA *et al.*, 2020) com o uso exclusivo de AS. Também com o uso exclusivo de AS, rendimentos relativos acima de 55% foram obtidos sob CEa de 6,5 $dS\ m^{-1}$ para o coentro (SILVA, M. *et al.*, 2018; SILVA, M. *et al.*, 2020c) e CEa de 5,8 $dS\ m^{-1}$ para chicória (ALVES *et al.*, 2019).

No estudo de Costa (2020) registrou-se elevado rendimento relativo da couve-flor, de aproximadamente 74% sob CEsol de 6,7 $dS\ m^{-1}$ com o uso de águas salobras apenas para o preparo da solução. Já quando as águas salobras foram usadas em todo o processo produtivo, mesmo sob alta salinidade

(CEsol 11,2 dS m⁻¹) o rendimento relativo foi de aproximadamente 60%. Destaca-se a qualidade das inflorescências produzidas, tanto com as águas salobras usadas apenas para o preparo da solução (Figura 9a) como o uso exclusivo (Figura 9b).

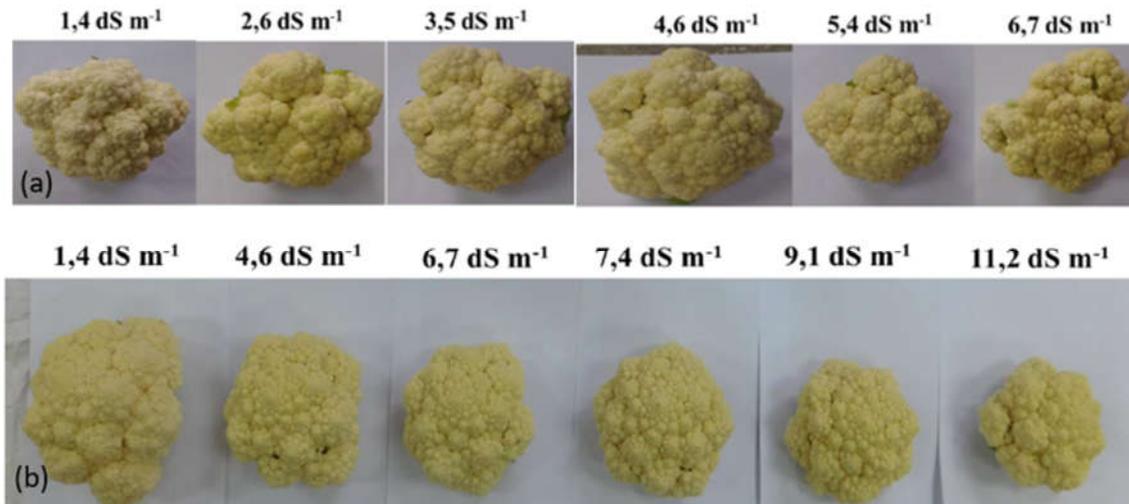


Figura 9 – Inflorescências da couve-flor 'SF1758' produzidas com o uso de águas salobras
 (a) apenas para o preparo da solução nutritiva;
 (b) com o uso exclusivo.

Fonte: COSTA, 2020, p. 52 e p. 71.

Em função do menor porte das plantas quando cultivadas com águas salobras (Figuras 8b e 8c), menores espaçamentos entre plantas podem ser adotados que pode compensar as perdas eventuais, no caso das culturas comercializadas individualmente (acelga, alface, almeirão, chicória, manjeriço, etc.). Para culturas comercializadas na forma de maços (agrião, cebolinha, coentro e rúcula), pode-se dispor um maior número de sementes por unidade de cultivo (copo/recipiente).

Nesse sentido, os resultados dos estudos de Santos Júnior (2021)[#] e Silva (2021)² mostram que o aumento na densidade de semeadura do coentro

[#] SANTOS JÚNIOR, J. A. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Comunicação pessoal, 2021.

² Trabalho de Mairton Gomes da Silva e colaboradores da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2021 (resultados ainda não publicados).

compensou a redução sob estresse salino em condições hidropônicas. No primeiro estudo, as produções de MFPA sob os níveis de CEsol de 1,49 (controle) e 4,5 dS m⁻¹ foram de aproximadamente 49 g maço⁻¹ com 100 e 150 plantas, respectivamente. Similarmente, no segundo estudo, as produções sem estresse salino (CEa 0,25 dS m⁻¹) e com salinidade (CEa 6,5 dS m⁻¹) foram próximas, de aproximadamente 48 g maço⁻¹, quando se colocou 6 plantas e 44 g maço⁻¹ com 30 plantas, respectivamente.

Em alguns casos, o uso de águas salobras não provoca efeitos negativos na análise sensorial, confirmando a viabilidade do uso destas águas para o cultivo hidropônico. Bione (2017) durante um ensaio de análise sensorial em frutos da pimenta ‘Biquinho’ cultivada com águas salobras (CEa 0,34; 1,5; 2,5 e 3,5 dS m⁻¹) observou que os escores médios da escala hedônica para as variáveis de sabor e intenção de consumo não diferiram até o nível de CEa de 2,5 dS m⁻¹ (Tabela 1), indicando que até este nível de salinidade os avaliadores não conseguiram identificar diferenças no sabor dos frutos. Este resultado refletiu diretamente na intenção de consumo, que seguiu o mesmo comportamento. Viana *et al.* (2018) com alface usando água salobra concluíram que os consumidores compram o produto em função da aparência e da qualidade textural, e provavelmente deverão repetir sua compra em função da satisfação com o sabor.

Tabela 1 – Escores médios da escala hedônica para sabor e intenção de consumo (1 a 5) em função dos tratamentos de condutividade elétrica da água (CEa) utilizados para produção de pimenta ‘Biquinho’

| Variáveis | CEa (dS m ⁻¹) | | | |
|--------------------|---------------------------|-------|--------|-------|
| | 0,34 | 1,5 | 2,5 | 3,5 |
| Sabor | 6,99ab | 7,19a | 6,69ab | 6,41b |
| Intenção de compra | 3,77a | 3,84a | 3,53ab | 3,31b |

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Fonte: BIONE, 2017, p. 94.

A aparência das plantas produzidas sob estresse salino é uma característica importante para aquisição do produto, conforme ressaltam Freitas *et al.* (2021). Aqueles autores relataram que não houve sintomas depreciativos que pudessem ser atribuídos à salinidade em plantas de alface (Figura 10).

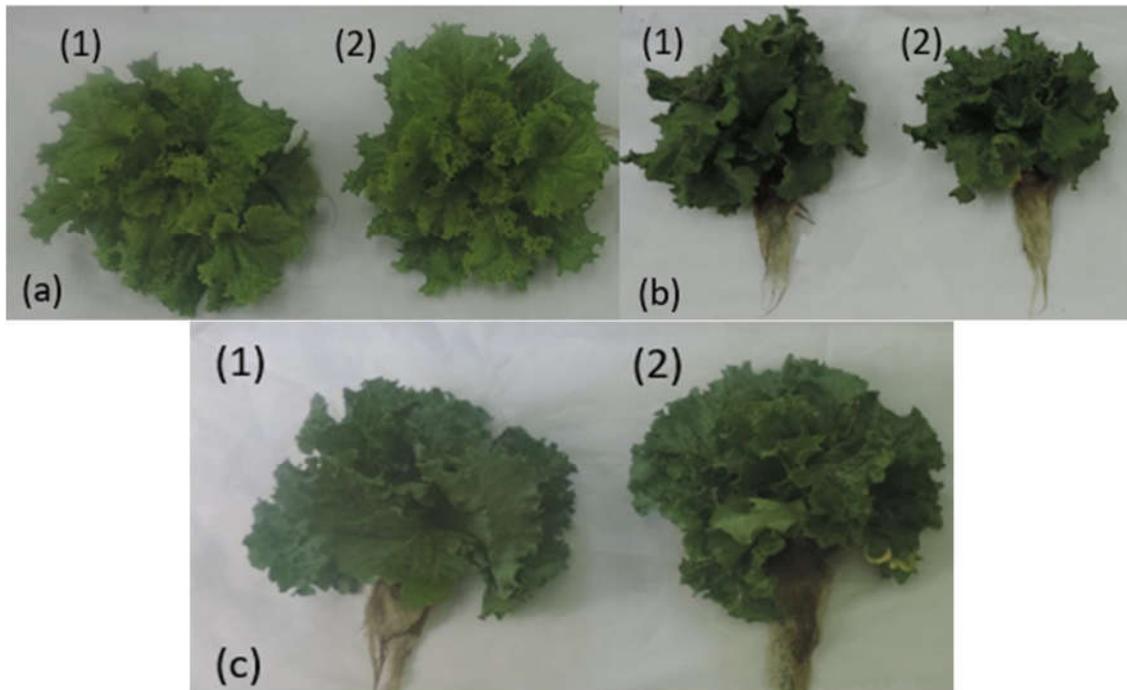


Figura 10 – Plantas de alface cultivadas com água exclusivamente salobra ($CEa\ 5,3\ dS\ m^{-1}$) nos sistemas hidropônicos NFT (1) e DFT em tubos (2), UFRB, Cruz das Almas – BA (a) 'Robusta' (a); (b) 'Gloriosa'; (c) 'Tainá'.

Fonte: FREITAS *et al.*, 2021, p. 78.

10.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A hidroponia tem sido vista por muitos apenas como uma técnica para pesquisa, principalmente para avaliação das respostas das plantas ao estresse salino e nutrição mineral (estudos de omissão de nutrientes essenciais), garantindo resultados mais rápidos em comparação ao cultivo em vasos com solo.

Contrariando aqueles que não vislumbram essa técnica como empreendimento comercial, os resultados de estudos realizados no Nordeste brasileiro mostram que é possível o cultivo de várias espécies de interesse comercial empregando águas salobras. Adicionalmente, a alta eficiência do uso da água na hidroponia se justifica pelo cenário de escassez hídrica nessa região.

A principal restrição para expansão da hidroponia no Semiárido brasileiro pode estar relacionada com o alto investimento inicial para as instalações necessárias. Porém, pequenos produtores com baixos investimentos têm conseguido montar estruturas utilizando-se de materiais mais simples do que aqueles preconizados como ideais e tem obtidos rendimentos satisfatórios.

REFERÊNCIAS

ALI, A. A. M. Role of hydrogen peroxide in management of root rot wilt disease of the thyme plant. **Journal of Phytopatology and Pest Management**, Assiut, v. 5, n. 3, p. 1-13, 2018. Disponível em:

<http://ppmj.net/index.php/ppmj/article/view/163/5.3.1>. Acesso em: 22 maio 2021.

ALVES, L. S.; GHEYI, H. R.; SILVA, M. G. da; PAZ, V. P. da S. Biomass production and essential oil content and composition in basil hydroponic systems using treated domestic effluents. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, Tunja, v. 15, n. 2, e10778, May/Aug. 2021. Disponível em:

<https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i2.10778>. Acesso em: 1 maio 2021.

ALVES, L. S.; SILVA, M. G. da; GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. da S.; SOARES, T. M.; RAFAEL, M. R. S. Uso de águas salobras no cultivo da chicória em condições hidropônicas. **Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 4, p. 758-769, out./dez. 2019. Disponível em:

<https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2917/2588>. Acesso em: 1 maio 2021.

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**, Campina

Grande, v. 15, n. 5, p. 491-498, maio, 2011. Disponível em:
<https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n5/v15n5a09.pdf>. Acesso em: 6 maio 2021.

ATZORI, G.; NISSIM, W. G.; CAPARROTTA, S.; SANTANTONI, F.; MASI, E. Seawater and water footprint in different cropping systems: A chicory (*Cichorium intybus* L.) case study. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 211, p. 172-177, 1 Jan. 2019. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377418305778>. Acesso em: 24 maio 2021.

BARBOSA, G. L.; GADELHA, F. D. A.; KUBLIK, N.; PROCTOR, A.; REICHELM, L.; WEISSINGER, E.; WOHLLEB, G. M.; HALDEN, R. U. Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional agricultural methods. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 12, n. 6, p. 6879-6891, Jun. 2015. Disponível em:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4483736/pdf/ijerph-12-06879.pdf>. Acesso em: 7 maio 2021.

BARMAN, N. C.; HASAN, M. M.; ISLAM, M. R.; BANU, N. A. A review on present status and future prospective of hydroponics technique. **Plant Environment Development**, Rajshahi, v. 5, n. 2, p. 1-7, Jul. 2016. Disponível em:
<http://plantenvdev.com/wp-content/uploads/2017/01/PED-Vol5No2-p1-7.pdf>. Acesso em: 1 maio 2021.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. As Técnicas de hidroponia. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, Recife, v. 8/9, p. 107-137, 2012. Disponível em: <http://www.journals.ufrpe.br/index.php/apca/article/view/152>. Acesso em: 17 maio 2021.

BIONE, M. A. A. **Cultivo hidropônico de pimenteira 'Biquinho' com águas salobras**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2017. Disponível em:
https://www.ufrb.edu.br/pgea/images/Teses/MARIA_AUGUSTA_AMORIM_BIONE.pdf. Acesso em: 18 maio 2021.

BIONE, M. A. A.; PAZ, V. P. da S.; SILVA, F. da; RIBAS, R. F.; SOARES, T. M. Crescimento e produção de manjeriço em sistema hidropônico NFT sob salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 12, p. 1228-1234, dez. 2014. Disponível em:

<https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v18n12/a04v18n12.pdf>. Acesso em: 6 maio 2021.

BIONE, M. A. A.; SOARES, T. M.; COVA, A. M. W.; PAZ, V. P. da S.; GHEYI, H. R.; RAFAEL, M. P. S.; MODESTO, F. J. N.; SANTANA, J. da A.; NEVES, B. S. L. das. Hydroponic production of 'Biquinho' pepper with brackish water. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 245, 106607, 28 Feb. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377420321545?via%3Dihub>. Acesso em: 6 maio 2021.

CAMPOS JÚNIOR, J. E.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; MARTINS, J. B.; SILVA, E. F. de F. e; ALMEIDA, C. D. G. C. de. Rocket production in a low cost hydroponic system using brackish water. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 4, p. 1008-1016, Oct./Dec. 2018b. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rcaat/v31n4/1983-2125-rcaat-31-04-1008.pdf>. Acesso em: 6 maio 2021.

CAMPOS JÚNIOR, J. E.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; SILVA, E. F. de F. e; MARTINS, J. B.; ROLIM, M. M. Consumption, efficiency and water content of arugula under different management of brackish nutritional solutions. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 38, n. 6, p. 885-892, Nov./Dec. 2018a. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/eagri/v38n6/1809-4430-eagri-38-06-0885.pdf>. Acesso em: 24 maio 2021.

CAZUZA NETO, A.; SOARES, T. M.; BIONE, M. A.; FREITAS, F. T. O. de; MELO, D. M. de; SILVA FILHO, J. A. da. Qualidade do molho de coentro produzido em água salobra em sistema hidropônico NFT. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON SALINITY, 2., & BRAZILIAN MEETING ON IRRIGATION ENGINEERING, 2., 2014. Fortaleza. **Anais eletrônicos** [...]. Fortaleza: INOVAGRI/INCT-EI/INCTSal, 2014. Disponível em: <http://www.bibliotekevirtual.org/index.php/2013-02-07-03-02-35/simposios/221-ii-inovagri-2014/1951-ii-inovagri-2014-a493.html>. Acesso em: 6 maio 2021.

CORRÊA, E. B.; BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. Controle biológico da podridão de raiz causada por *Pythium aphanidermatum* e promoção de crescimento de alface hidropônica com *Clonostachys rosea*. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 35, n. 4, p. 248-252, Jul./Ago. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/tpp/a/xvBYRQpQNjDSZPbwGs49qth/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 31 maio 2021.

COSTA, L. F. da. **Produção e qualidade da couve-flor com águas salobras em hidroponia**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade

Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2020. Disponível em: https://www.ufrb.edu.br/pgea/images/Teses/LEANDRO_FERREIRA_COSTA.pdf. Acesso em: 18 maio 2021.

COSTA, L. F. da; SOARES, T. M.; SILVA, M. G. da; MODESTO, F. J. N.; QUEIROZ, L. de A.; PEREIRA, J. de S. Cauliflower growth and yield in a hydroponic system with brackish water. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 4, p. 1060-1070, Oct./Dec. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rcaat/v33n4/1983-2125-rcaat-33-04-1060.pdf>. Acesso em: 5 maio 2021.

COVA, A. M. W.; FREITAS, F. T. O. de; VIANA, P. C.; RAFAEL, M. R. S.; AZEVEDO NETO, A. D. de; SOARES, T. M. Content of inorganic solutes in lettuce grown with brackish water in different hydroponic systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 3, p. 150-155, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v21n3/1415-4366-rbeaa-21-03-0150.pdf>. Acesso em: 17 maio 2021.

CUNHA, F. F. da; GODOY, A. R.; MAGALHÃES, F. F.; CASTRO, M. A. de; LEAL, A. J. F. Irrigação de diferentes cultivares de rúcula no nordeste do Mato Grosso do Sul. **Water Resources and Irrigation Management**, Cruz das Almas, v. 2, n. 3, p. 131-141, Sept./Dec. 2013. Disponível em: <https://www3.ufrb.edu.br/seer/index.php/wrim/article/view/1617/849>. Acesso em: 23 maio 2021.

FREITAS, F. T. O. de; SOARES, T. M.; SILVA, M. G. da; RAFAEL, M. R. S. Cultivo de alface sob intervalos de recirculações das soluções nutritivas em sistemas hidropônicos usando água salobra. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial – Nordeste, v. 1, n. 1, p. 67-96, junho, 2021. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4253/2817>. Acesso em: 02 jul. 2021.

GONDIM FILHO, H.; SILVA, P. C. C.; SILVA, M. G. da; PEREIRA, M. M.; SOARES, T. M.; AZEVEDO NETO, A. D. de; VASCONCELOS, R. S.; GHEYI, H. R. Growth, production and essential oil content of basil genotypes in hydroponic conditions under salt stress. **Journal of Experimental Agriculture International**, London, v. 25, n. 1, p. 1-10, 3 Aug. 2018. Disponível em: <https://www.journaljeai.com/index.php/JEAI/article/view/1255/1872>. Acesso em: 6 maio 2021.

GUIMARÃES, R. F. B.; NASCIMENTO, R. do; RAMOS, J. G.; LIMA, S. C. de; CARDOSO, J. A. F.; MELO, D. F. de. Acúmulo de fitomassa de cultivares de alface hidropônica submetidas à salinidade. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 8, p. 2141-2151, nov./dez. 2017. Disponível em: <https://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/701>. Acesso em: 6 maio 2021.

HUSSAIN, A.; IQBAL, K.; AZIEM, S.; MAHATO, P.; NEGI, A. K. A review on the science of growing crops without soil (soilless culture) – a novel alternative for growing crops. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, London, v. 7, n. 11, p. 833-842, 2014.

JESUS, C. G.; SILVA JÚNIOR, F. J.; CAMARA, T. R.; SILVA, E. F. F.; WILLADINO, L. Production of rocket under salt stress in hydroponic systems. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 33, n. 4, p. 493-497, Oct./Dec. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/hb/v33n4/1806-9991-hb-33-04-00493.pdf>. Acesso em: 6 maio 2021.

JONES JR., J. B. **Complete guide for growing plants hydroponically**. 1st ed. Boca Raton: CRC Press, 2014. 223 p.

LIRA, R. M. de; SILVA, E. F. de F. e; SILVA, G. F. da; SANTOS, A. N. dos; ROLIM, M. M. Production, water consumption and nutrient content of Chinese cabbage grown hydroponically in brackish water. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 3, p. 497-505, jul./set. 2015. Disponível em <https://www.scielo.br/pdf/rca/v46n3/0045-6888-rca-46-03-0497.pdf>. Acesso em: 6 maio 2021.

LIRA, R. M.; SILVA, E. F. F.; SILVA, G. F.; SOARES, H. R.; WILLADINO, L. G. Growth, water consumption and mineral composition of watercress under hydroponic system with brackish water. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 36, n. 1, p. 13-19, Jan./Mar. 2018. Disponível em <https://www.scielo.br/pdf/hb/v36n1/1806-9991-hb-36-01-13.pdf>. Acesso em: 6 maio 2021.

MARTÍNEZ, F.; CASTILLO, S.; BORRERO, C.; PÉREZ, S.; PALENCIA, P.; AVILÉS, M. Effect of different soilless growing systems on the biological properties of growth media in strawberry. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 150, p. 59-64, 4 Feb. 2013. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030442381200502X>. Acesso em: 1 maio 2021.

MARTINS, J. B.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; BARTUSCH, V. P.; GHEYI, H. R.; BEZERRA NETO, E.; SILVA, M. M. da. Water relations in parsley plants cultivated in brackish nutrient solutions of different cationic natures. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 9, p. 662-668, 2019a. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br/revista/v23n09/v23n09a04.pdf>. Acesso em: 27 maio 2021.

MARTINS, J. B.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; SILVA JÚNIOR, F. J. da; SILVA, G. F. da; MEDEIROS, S. de S. Production of parsley in hydroponic conditions under isosmotic brackish nutrient solutions. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 43, p. e023418, 25 Apr. 2019b. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cagro/v43/1981-1829-cagro-43-e023418.pdf>. Acesso em: 6 maio 2021.

MODESTO, F. J. N.; SANTOS, M. A. C. M. dos; SOARES, T. M.; SANTOS, E. P. M. dos. Crescimento, produção e consumo hídrico do quiabeiro submetido à salinidade em condições hidropônicas. **Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 1, p. 86-97, jan./mar. 2019. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2957/2473>. Acesso em: 6 maio 2021.

NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F. de; ALVES, M. P.; SOUSA, C. H. C. de; GOMES FILHO, E. Leaf gas exchange and nutrients accumulation in cowpea plants under different management strategies with brackish water. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 1, p. 129-139, jan./mar. 2017. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2137/1661>. Acesso em: 27 maio 2021.

PITORO, V. S. J.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; VENTURA, K. M.; JANE, S. A. Cultivo vertical de hortaliças. In: PADRÓN, R. A. R. (ed.). **Manejo, gestão e técnicas em irrigação**. 1. ed. Canoas: Mérida Publishers, 2021. p. 14-30. Disponível em: <https://meridapublishers.com/l8manejo/l8capitulo1.pdf>. Acesso em: 27 maio 2021.

RASMUSSEN, S. L.; STANGHELLINI, M. E. Effect of salinity stress on development of *Pythium* blight in *Agrostis palustris*. **Phytopathology**, Florida, v. 78, n. 11, p. 1495-1497, Nov. 1988. Disponível em:

https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1988Articles/Phyto78n11_1495.PDF. Acesso em: 22 maio 2021.

SANTOS, A. C. dos; SILVA, M. G. da; BOECHAT, C. L.; CHAGAS, D. S.; MENDES, W. de S. Brackish water: an option for producing hydroponic *Capsicum annuum* in laminar flows of mineral nutrients. **Revista Colombiana de Ciencias Horticolas**, Bogotá, v. 12, n. 1, p. 147-155, Jan./Apr. 2018. Disponível em: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v12n1/2011-2173-rcch-12-01-147.pdf>. Acesso em: 6 maio 2021.

SANTOS, M. A. L. dos; SANTOS, L. J. da S.; SILVA, J. C. da; SANTOS, D. P. dos; GOMES FILHO, R. R.; SANTOS, R. A. Desempenho agronômico e análise multivariada na produção da cebolinha verde em resposta a lâminas de irrigação e níveis de adubação sintética. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 12, e23691211006, 21 dez. 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/11006/9868>. Acesso em: 26 maio 2021.

SANTOS, M. C. dos. **Solos do semiárido do Brasil**. 2. ed. Recife: Editora EDUFPRPE, 2017. 55 p. (Cadernos do Semiárido: riquezas & oportunidades, 10). Disponível em: <http://www.ipa.br/novo/pdf/cadernos-do-semiarido/10---solos-do-semiarido-do-brasil.pdf>. Acesso em: 31 maio 2021.

SARDARE, M. D.; SHRADDHA, V. A. A review on plant without soil – hydroponics. **International Journal of Research in Engineering and Technology**, Bangalore, v. 2, n. 3, p. 299-304, Mar. 2013. Disponível em: <https://ijret.org/volumes/2013v02/i03/IJRET20130203013.pdf>. Acesso em: 10 maio 2021.

SHARMA, N.; ACHARYA, S.; KUMAR, K.; SINGH, N.; CHAURASIA, O. P. Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. **Journal of Soil and Water Conservation**, New Delhi, v. 17, n. 4, p. 364-371, Oct./Dec. 2018. Disponível em: <https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:jswc&volume=17&issue=4&article=009>. Acesso em: 10 maio 2021.

SILVA, M. G. da. **Coentro hidropônico sob diferentes condições de cultivo relacionadas à solução nutritiva: temperatura, salinidade e recirculação**. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2019. Disponível em:

https://www.ufrb.edu.br/pgea/images/Teses/MAIRTON_GOMES_DA_SILVA.pdf. Acesso em: 31 maio 2021.

SILVA, M. G.; ALVES, L. S.; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R.; BIONE, M. A. A. Growth, production and water use efficiency of chicory (*Cichorium endivia* L.) in hydroponic systems using brackish waters. **Advances in Horticultural Science**, Firenze, v. 34, n. 3, p. 243-253, 20 May, 2020b. Disponível em: <https://oaj.fupress.net/index.php/ahs/article/view/8855/8735>. Acesso em: 6 maio 2021.

SILVA, M. G. da; OLIVEIRA, I. de S.; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R.; SANTANA, G. de O.; PINHO, J. de S. Growth, production and water consumption of coriander in hydroponic system using brackish waters. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 8, p. 547-552, Aug. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v22n8/1415-4366-rbeaa-22-08-0547.pdf>. Acesso em: 6 maio 2021.

SILVA, A. O. da; SILVA, D. J. R. da; SOARES, T. M.; SILVA, E. F. de F. e; SANTOS, A. N. dos; ROLIM, M. M. Produção de rúcula em sistema hidropônico NFT utilizando água salina do Semiárido - PE e rejeito de dessalinizador. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p. 147-155, jan./mar. 2011. Disponível em: http://www.agraria.pro.br/ojs-2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=agraria_v6i1a929. Acesso em: 7 maio 2021.

SILVA, M. G. da; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R.; COSTA, I. P.; VASCONCELOS, R. S. Growth, production and water consumption of coriander grown under different recirculation intervals and nutrient solution depths in hydroponic channels. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, Al Ain, v. 32, n. 4, p. 281-294, Apr. 2020a. Disponível em: <https://www.ejfa.me/index.php/journal/article/view/2094/1339>. Acesso em: 11 maio 2021.

SILVA, M. G. da; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, M. G. B. de; SANTOS, C. C. dos. Hydroponic cultivation of coriander using fresh and brackish waters with different temperatures of the nutrient solution. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 40, n. 6, p. 674-683, Nov./Dec. 2020c. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/eagri/v40n6/1809-4430-eagri-40-06-0674.pdf>. Acesso em: 6 maio 2021.

SILVA, M. G. da; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, I. de S.; SILVA FILHO, J. A. da. Crescimento e produção de coentro hidropônico sob diferentes densidades de semeadura e diâmetros dos canais de cultivo. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 2, p. 312-326, maio/jun. 2016a. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2085/1602>. Acesso em: 11 maio 2021.

SILVA, M. G. da; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, I. de S.; SILVA FILHO, J. A. da; CARMO, F. F. do. Frequency of recirculation of the nutrient solution in the hydroponic cultivation of coriander with brackish water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 5, p. 447-454, 4 Apr. 2016b. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v20n5/1415-4366-rbeaa-20-05-0447.pdf>. Acesso em: 1 maio 2021.

SILVA, M. G. da; SOARES, T. M.; OLIVEIRA, I. de S.; SANTOS, J. C. da S.; PINHO, J. S.; FREITAS, T. O. de F. Produção de coentro em hidroponia NFT com o uso de águas salobras para reposição do consumo evapotranspirado. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 9, n. 4, p. 246-258, jul./ago. 2015. Disponível em: <http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/319>. Acesso em: 6 maio 2021.

SILVA, V. de P. R. da; SOUSA, I. F. de; TAVARES, A. L.; SILVA, T. G. F. da; SILVA, B. B. da; HOLANDA, R. M. de; BRITO, J. I. B. de; BRAGA, C. C.; SOUZA, E. P. de; SILVA, M. T. Evapotranspiration, crop coefficient and water use efficiency of coriander grown in tropical environment. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 36, n. 4, p. 446-452, Oct./Dec. 2018a. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/hb/v36n4/1806-9991-hb-36-04-446.pdf>. Acesso em: 23 maio 2021.

SILVA, V. de P. R. da; TAVARES, A. L.; SOUSA, I. F. de; SILVA, T. G. F. da; HOLANDA, R. M. de; SOUZA, E. P. de; SILVA, B. B. da; BRAGA, C. C.; ALMEIDA, R. S. R. Evapotranspiration, water use efficiency and crop coefficient of three lettuce varieties grown in a tropical region. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 41, n. 3, p. 798-805, 18 Jan. 2018b. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16744/13636>. Acesso em: 23 maio 2021.

SILVA FILHO, J. A. da; SOARES, T. M.; SILVA, M. G.; BIONE, M. A. A.; BATISTA, L. dos S.; CAZUZA NETO, A. Produção de hortelã utilizando águas salobras em sistema hidropônico NFT. *In*: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON SALINITY, 2., & BRAZILIAN

MEETING ON IRRIGATION ENGINEERING, 2., 2014. Fortaleza. **Anais eletrônicos** [...]. Fortaleza: INOVAGRI/INCT-EI/INCTSal, 2014. Disponível em: <http://www.bibliotekevirtual.org/index.php/2013-02-07-03-02-35/simposios/221-ii-inovagri-2014/1435-ii-inovagri-2014-a121.html>. Acesso em: 6 maio 2021.

SILVA JÚNIOR, F. J. da; SANTOS JÚNIOR, J. A.; DIAS, N. da S.; GHEYI, H. R.; RIVERA, R. C.; SILVA, G. F. da; FERNANDES, C dos SANTOS. Green onion production under strategies of replacement and frequencies of circulation of brackish nutritive solutions. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 35, n. 3, p. 796-805, May/Jun. 2019b. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/41956/26116>. Acesso em: 6 maio 2021.

SILVA JÚNIOR, F. J. da; SANTOS JÚNIOR, J. A.; SILVA, M. M. da; SILVA, E. F. de F. e; SOUZA, E. R. da. Water relations of chives in function of salinity and circulation frequency of nutrient solutions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 5, p. 359-365, May, 2019a. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br/revista/v23n05/v23n05a08.pdf>. Acesso em: 27 maio 2021.

SOARES, H. R.; SILVA, E. F. de F. e; SILVA, G. F. da; PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; SANTOS, A. N. Lettuce growth and water consumption in NFT hydroponic system using brackish water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 7, p. 636-642, July, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v19n7/1415-4366-rbeaa-19-07-0636.pdf>. Acesso em: 6 maio 2021.

SOARES, H. R. e; SANTOS JÚNIOR, J. A.; SILVA, E. F. de F. e; ROLIM, M. M.; SILVA, G. F. da. Water and physiological relationships of lettuce cultivated in hydroponics with brackish waters. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 50, n. 2, p. 216-222, abr./jun. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rca/v50n2/1806-6690-rca-50-02-0216.pdf>. Acesso em: 23 maio 2021.

SOUZA, C. A. de; SILVA, A. O. da; SANTOS, J. da S. G.; LACERDA, C. F. de; SILVA, G. F. da. Production of watercress with brackish water and different circulation times for the nutrient solution. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 51, n. 3, e20196775, 10 Aug. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rca/v51n3/1806-6690-rca-51-03-e20196775.pdf>. Acesso em: 6 maio 2021.

SOUZA, A. P. de; SILVA, A. C. da; TANAKA, A. A.; SOUZA, M. E. de; PIZZATTO, M.; FELIPE, R. T. A.; MARTIM, C. C.; FERNEDA, B. G.; SILVA, S. G. da. Yield and water use efficiency of cauliflower under irrigation different levels in tropical climate. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 13, n. 32, p. 1621-1632, 9 Aug. 2018. Disponível em: <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text-pdf/6F32FFE58017>. Acesso em: 24 maio 2021.

SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; ARRIEL, N. H. C.; MELO A. S. de; FERNANDES, J. D. Tolerance to salinity of sesame genotypes in different phenological stages. **American Journal of Plant Sciences**, Wuhan, v. 8, n. 8, p. 1904-1920, 24 July, 2017. Disponível em: https://www.scirp.org/pdf/AJPS_2017072114573513.pdf. Acesso em: 27 maio 2021.

UNAL, B. T.; AKTAS, L. Y.; GUVEN, A. Effects of salinity on antioxidant enzymes and proline in leaves of barley seedlings in different growth stages. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, Sofia, v. 20, n. 4, p. 883-887, 2014. Disponível em: <https://www.agrojournal.org/20/04-24.pdf>. Acesso em: 27 maio 2021.

VASCONCELOS, M. da C. da C. de A. Salinização do solo em áreas irrigadas: Aspectos físicos e químicos. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos, v. 10, n. 1, p. 20-25, jan./mar. 2014. Disponível em: <http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/402/pdf>. Acesso em: 11 maio 2021.

VIANA, P. C.; CERQUEIRA, D. A.; OLIVEIRA, M. G. B.; DAMASCENO, B. S.; SOARES, T. M.; CARVALHO, W. S. Formas de aproveitamento de águas salobras em hidroponia para a produção de couve-folha. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 4., 2017. Fortaleza. **Anais eletrônicos** [...]. Fortaleza: INOVAGRI/ESALQ-USP/ABID/UFRB/INCT-EI/INCTSaI/INSTITUTO FUTURE, 2017. Disponível em: <http://www.inovagri.org/biblioteca/iv-inovagri-meeting/res3920610>. Acesso em: 11 maio 2021.

VIANA, P. C.; FREITAS, F. T. O. de; SILVA, N. D. da; SOARES, T. M.; PAZ, M. G. F. da. Estatística multivariada como ferramenta descritiva na análise sensorial de alface hidropônica produzida com águas salobras. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 12, n. 4, p. 2725-2730, 2018. Disponível em: https://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/959/pdf_482. Acesso em: 31 maio 2021.

XAVIER, J. F.; AZEVEDO, C. A. V. de; SALES, J. C. R. de; AZEVEDO, M. R. de Q. A.; DANTAS, J. F.; LIMA, V. L. A. de; GOMES, J. P.; MONTEIRO FILHO, A. F. Salinity levels in growth and production of curly lettuce (Elba, Cristina and Veneranda) grown in hydroponic system. **Australian Journal of Crop Science**, Melbourne, v. 15, n. 1, p. 73-81, 2021. Disponível em: https://www.cropj.com/xavier_15_1_2021_73_81.pdf. Acesso em: 6 maio 2021.

CAPÍTULO 11

Uso de águas salobras com tecnologia de tratamento por catalisador eletrolítico: projetos pilotos em comunidades rurais nos municípios de Pintadas (BA) e de Russas (CE)

Joselito M. de Souza, Ricardo B. de Figueiredo, Marcelo R. de S. Bastos, Fernando V. G. Ponte, Wagner P. Felix

11.1 INTRODUÇÃO

A região nordeste caracteriza-se geralmente por apresentar clima semiárido, com pluviosidade irregular, elevada evapotranspiração, escassez de recursos hídricos, solos pobres em nutrientes, aquíferos subterrâneos com elevado teor de salinidade e outras características comuns encontradas no bioma caatinga.

Historicamente a água sempre foi escassa na região semiárida brasileira, e em determinadas localidades, essa limitação é muito significativamente, sendo, por isso, um componente primordial para a manutenção da qualidade de vida, geração de renda, promoção da saúde e fixação de agricultores familiares no campo.

Os estados da Bahia e do Ceará apresentam a maior parte de seus territórios na região semiárida, onde predominam as características acima citadas. Notadamente nos municípios de Pintadas (BA) e Russas (CE), a população rural carece de tecnologias de convivência com o semiárido, no tocante, principalmente, ao aproveitamento de subterrâneas salobras uma vez que, na zona rural desses municípios, prevalece o uso de águas oriundas de aquíferos subterrâneos para o consumo humano, dessedentação animal, irrigação de culturas anuais e forrageiras.

Segundo o Instituto Trata Brasil, existem mais de 2,5 milhões de poços tubulares instalados no país. Mais de 5,5 mil municípios brasileiros são abastecidos por águas subterrâneas que representa 18% da demanda dos sistemas públicos de abastecimento urbano (TRATA BRASIL, 2021).

Nas próximas seções serão apresentados dois Projetos Pilotos de aproveitamento de águas subterrâneas salobras, implantados no período compreendido entre os anos de 2011 a 2019, nos municípios de Pintadas e Russas, localizados, respectivamente, nos estados da Bahia e do Ceará, sendo o primeiro para uso em irrigação e dessedentação animal e o último para consumo humano, por meio de tecnologia de inativação de dureza através de catalisador eletrolítico.

11.2 PROJETO-PILOTO DE USO DE ÁGUA SALOBRA EM PINTADAS (BA)

Esta sessão trata da experiência da coalizão Adapta Sertão, formada por agricultores familiares, na experimentação e disseminação de tecnologias de convivência com o semiárido, a fim de reduzir impactos advindos da mudança climática, ocorridos nos últimos 50 anos, especificamente, em municípios da Bacia do Rio Jacuípe, localizada na região semiárida do estado da Bahia (CESANO *et al.*, 2012).

No início do ano 2000 durante a Feira Hortitec, em São Paulo, técnicos da coalizão Adapta Sertão, tomaram conhecimento do catalisador eletrolítico, quando estavam implantando um projeto piloto nos municípios da Bacia do Rio Jacuípe, localizada na região semiárida do Estado da Bahia, para mitigação e criação da resiliência climática, coordenado por aquela organização (Figura 1).

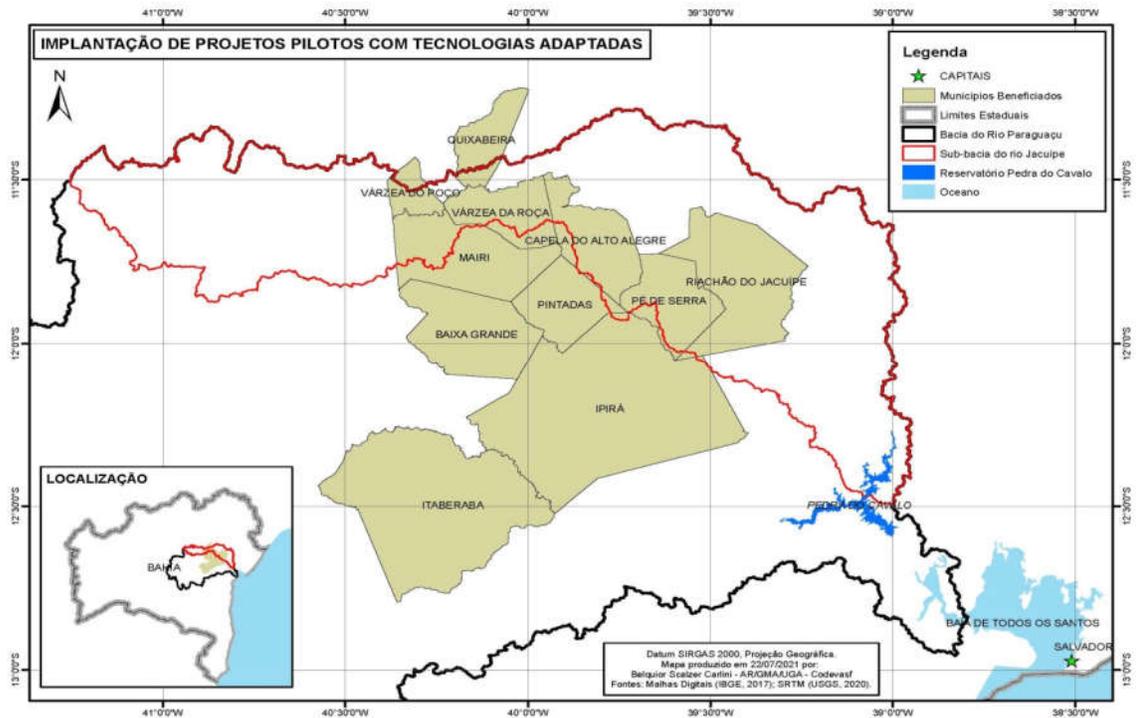


Figura 1 – Mapa da área de abrangência da coalização Adapta Sertão.
 Fonte: CARLINI, 2021 com dados do IBGE, 2017 e USGS, 2020.

O Adapta Sertão tinha como um dos pilares o uso da água do subsolo, captada de poços com pequenas vazões e limitações quanto aos teores de sais para produção de alimentos e forragens. Problemas decorrentes do uso de águas salobras começaram a aparecer, tais como: entupimentos de emissores, salinização do solo, redução da produção e produtividade das culturas, dentre outros. O manejo e uso de espécies resistentes não resolviam a contento o uso da água disponível e a irrigação por gotejamento foi a solução adotada.

Após aproximadamente dois anos da implantação dos primeiros projetos pilotos de irrigação localizada com uso catalisador eletrolítico em água salobra, foi decidido ampliar o uso da tecnologia de manejo de água subterrânea em dezenas de outras pequenas propriedades localizadas em outros municípios da Bacia do Rio Jacuípe. Em seguida a tecnologia de tratamento de água salobra com catalisador

eletrolítico foi usada para dessedentação animal, visto que o teor de sódio existente nas águas subterrâneas da região não era fator limitante ao consumo animal.

De acordo com Cesano e colaboradores (2021) diversos obstáculos tiveram que ser transpostos em razão da falta de integração entre políticas públicas existentes e de infraestruturas de apoio à produção nos municípios onde foram implantados projetos pilotos de tecnologias convivência com a realidade do semiárido.

11.2.1 Estudo meteorológico

Foram tabulados dados climatológicos das estações meteorológicas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), próximas ao município de Pintadas (BA), referente ao período de 1962 à 2011, localizado na Bacia do Rio Jacuípe cuja representação está na Figura 2.

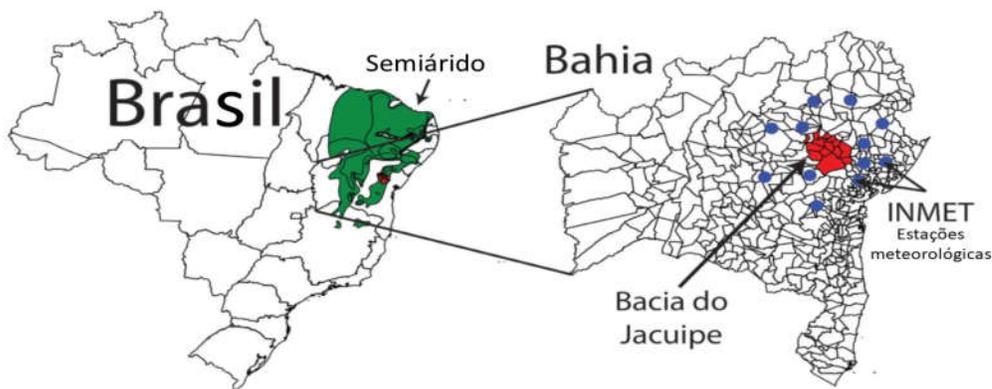


Figura 2 – A região do projeto e as estações meteorológicas do INMET usadas para as análises
 Fonte: CESANO *et al.* (2012).

As análises climatológicas foram realizadas com dados desde a década de 60 em 12 estações meteorológicas da rede INMET, próximas aos municípios da Bacia do Rio Jacuípe, mostrados na Figura 3, cuja interpolação dos dados apontou tendência de queda de precipitação de - 6,8 mm/ano e aumento da temperatura

de 0,042 °C/ano, para o período de 1962 até 2011, conforme se depreende da interpretação dos dados apresentados na Tabela 1 (CESANO *et al.*, 2012).

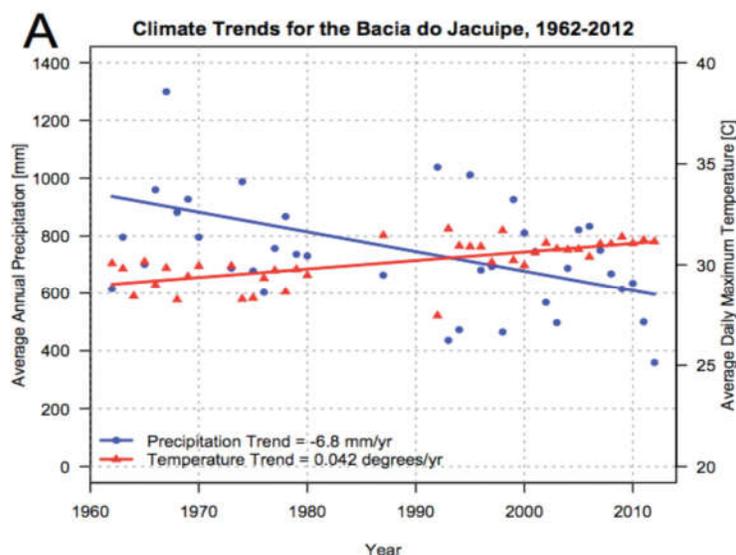


Figura 3 - Tendência da queda de precipitação e aumento da temperatura na Bacia do Jacuípe.

Fonte: CESANO *et al.* (2021)

Tabela 1 - Principais indicadores ambientais de mudança climática no município de Pintadas (BA).

| Indicador | Tendência dos últimos 50 anos | Mudanças em meio século | Comparação (1962 a 2011) |
|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Chuva total | - 60 mm/década | - 300 mm | - 30% |
| Dias com chuva (≤ 1 mm) | - 7 dias/década | - 35 dias | - 22% |
| Dias com chuva intensa (> 10 mm) | + 2,7 dias/década | - 13,5 dias | - 52% |
| Dias consecutivos sem chuva | + 1,3 dias/década | + 6,5 dias | + 26% |
| Temperatura (média diurna) | + 0,37 °C/década | + 1,75 °C | + 6,2% |
| Temperatura (máxima diurna) | + 0,4 °C/década | + 2,0 °C | + 6,7% |
| Temperatura (mínima diurna) | + 0,3 °C/década | + 1,5 °C | + 5,0% |

Fonte: Adaptado de CESANO *et al.*, 2012.

Notas: Essas mudanças são representativas para os municípios da Bacia do Jacuípe e fornecem uma indicação da situação na região semiárida.

Os dados apresentados na Tabela 1 apresentam uma redução média de 60 milímetros de chuva por década enquanto que precipitação anual reduziu em 30%, a alteração do padrão de ocorrências de chuvas, o aumento da temperatura média anual e a redução do número de dias com chuva, no município de Pintadas (BA), considerado como município de referência da citada bacia hidrográfica do Rio Jacuípe, pelos autores do estudo.

O referido estudo sugere uma relação direta sobre impactos econômicos e sociais da região, advindos da irregularidade climática constatada nos últimos 50 anos, tendo em vista que as atividades econômicas empreendidas nos municípios da Bacia do Rio Jacuípe são dependentes de regimes chuvosos estáveis, a exemplo da pecuária leiteira e da agricultura dependente de chuvas, impactando diretamente no segmento de laticínios, comércio dentre outros (CESANO *et al.*, 2012).

A redução da produção agropecuária local e dos índices de produtividade, segundo o estudo realizado, pode ser atribuída aos seguintes fatores:

- ✓ aumento da temperatura média anual,
- ✓ redução da precipitação média anual,
- ✓ alta taxa de desmatamento,
- ✓ falta de inovações e tecnologias adaptadas nos sistemas de produção dos pequenos agricultores.

11.2.2 Adaptação à mudança do clima

Mudanças climáticas acentuam e reforçam vulnerabilidades e desigualdades sociais e econômicas existentes. Se forem consideradas juntas, o clima e as vulnerabilidades sociais podem ter um impacto altamente negativo na convivência dos agricultores familiares com o semiárido que, historicamente, não

têm tecnologias e recursos suficientes para se adaptar (CARVALHO; EGLER, 2003; LEMOS, 2007; SILVA *et al.*, 2009).

Para Reid e Huq (2007) o *Community Based Adaptation* (CBA) apresenta-se como uma estratégia de suma importância, conduzida pela própria comunidade, para enfrentar emergências ou transformações ambientais radicais advindas da mudança climática. Para tanto se faz necessário entender e identificar as suas vulnerabilidades a fim de encontrar e implementar as estratégias de adaptação mais promissoras para se preparar para as adversidades que se vislumbram. Corroborando com esses autores, Cesano e colaboradores (2012) afirmam que é preciso desenvolver, políticas públicas inovadoras que consigam integrar o acesso à água com a disseminação de tecnologias de adaptação de baixo custo e de sistemas produtivos mais resilientes à seca.

11.2.3 Adapta Sertão

A coalizão Adapta Sertão foi criada em 2006 com o propósito de identificar tecnologias e estratégias que pudessem tornar o agricultor familiar do semiárido mais resiliente à mudança do clima, disseminando-as através do CBA, ou seja, estimulando comunidades locais para a adoção de tecnologias adaptadas e estratégias sustentáveis (Figura 4). O foco do projeto é auxiliar o pequeno e médio produtor do semiárido brasileiro a manter a produção em períodos de alta variabilidade climática com tecnologias que proporcionassem segurança alimentar de rebanhos, segurança hídrica da propriedade, uso de água disponível no local e de maneira eficiente, aumento da eficiência produtiva e recomposição do meio ambiente, todas as tecnologias adaptadas a sua realidade a fim de facilitar o acesso a mercados e fortalecer e potencializar as comunidades rurais da região. (CESANO *et al.*, 2012).

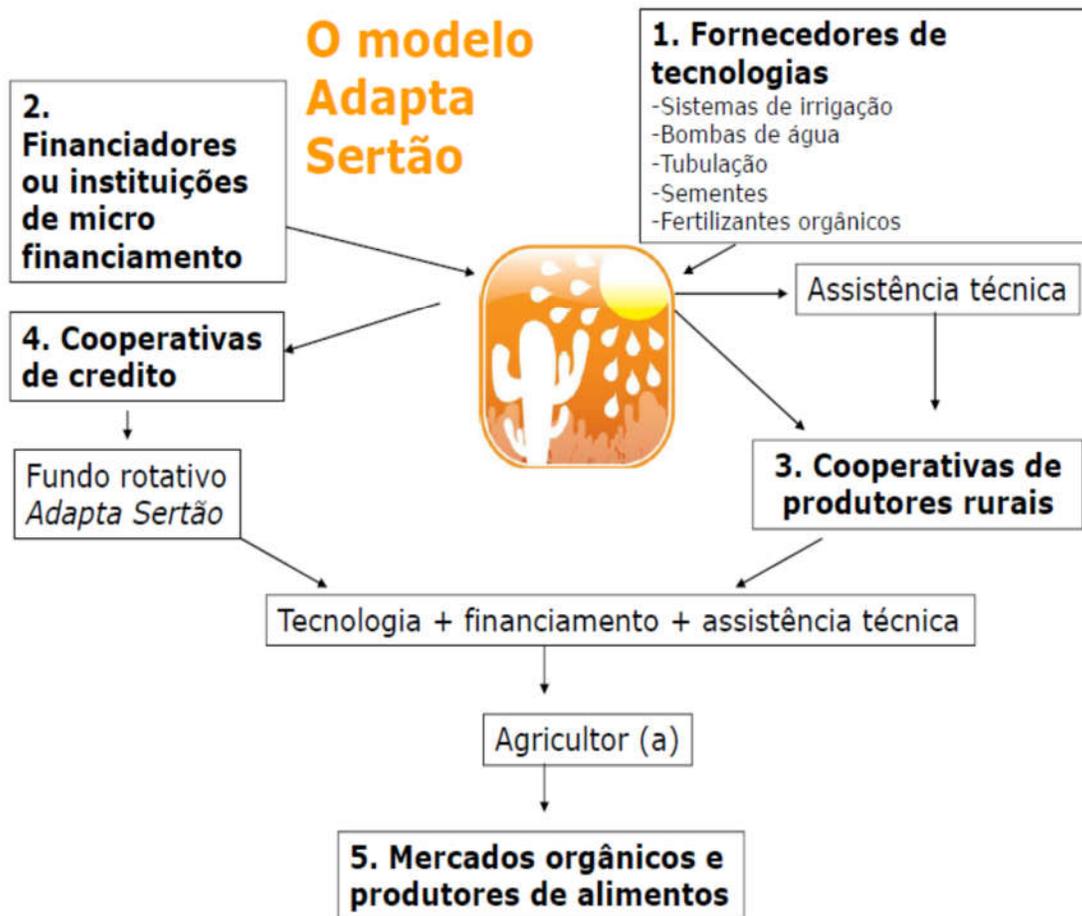


Figura 4 - Diagrama do Modelo da Coalizão Adapta Sertão.

Fonte: Adapta Group. Projeto Adapta Sertão (2018).

Suscintamente, o modelo Adapta Sertão está apoiado em três pontos:

- ✓ processo de aprendizagem desenvolvido a partir de fase piloto;
- ✓ parceria entre várias instituições e organizações locais, regionais e federais;
- ✓ disseminação de um modelo agroecológico baseado no uso sustentável de tecnologias de produção adequadas ao semiárido brasileiro.

11.2.4 Projetos-pilotos

Foram implementados 100 Projetos Pilotos por meio da metodologia CBA, em pequenas propriedades rurais, localizadas em 11 municípios da bacia hidrográfica do Rio Jacuípe, situados na região semiárida da Bahia: Quixabeira, Baixa Grande, Itaberaba, Várzea do Poço, Várzea da Roça, Mairi, Pintadas, Capela, Ipirá, Pé de Serra e Riachão do Jacuípe (Figura 5). O modelo CBA se baseia na combinação de cultivos irrigados e dependentes de chuva, para produção de forragens e diversos produtos agrícolas, como frutíferas e hortaliças. Sementes e mudas de variedades tolerantes a estiagem foram fornecidas pela Embrapa Semiárido, localizada no município de Petrolina-PE.

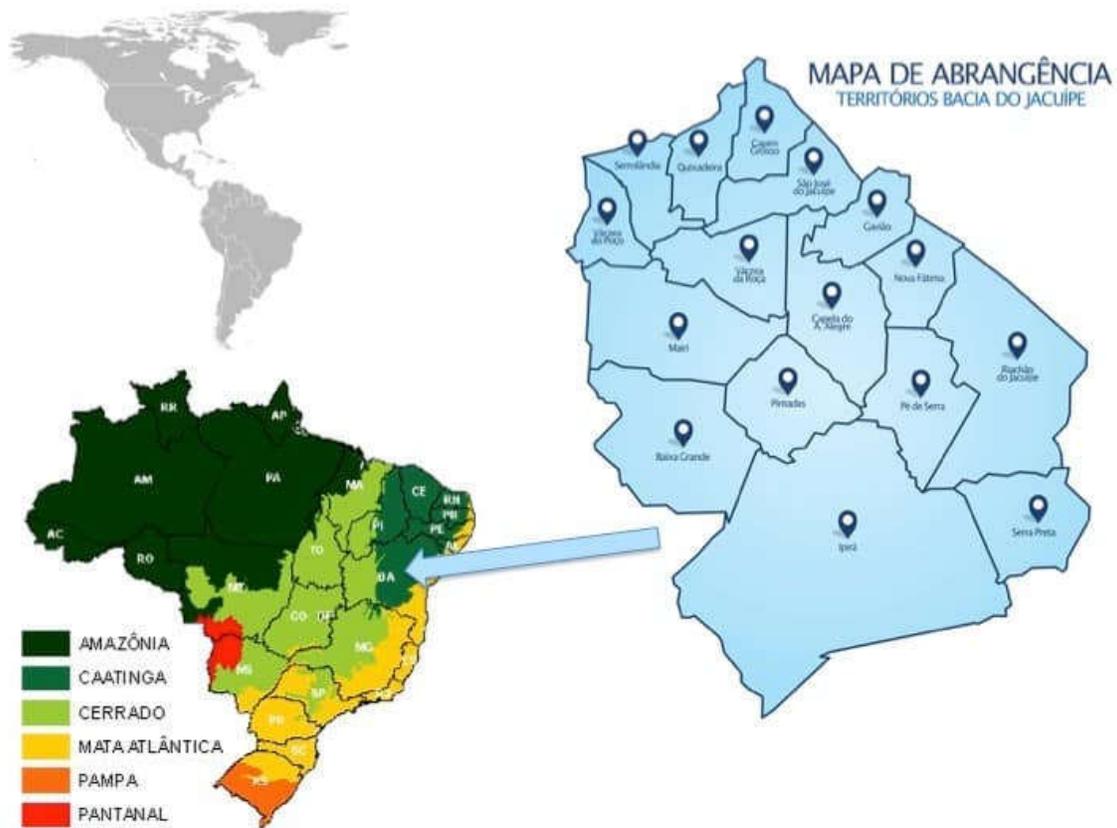


Figura 5 – Mapa de abrangência do Adapta Sertão
 Fonte: Adapta Group. Projeto Adapta Sertão (2018).

A implantação e o monitoramento dos projetos são realizados diretamente pelas organizações dos produtores locais: Cooperativa Ser do Sertão, Sindicatos dos Trabalhadores Rurais dos municípios de Quixabeira e Baixa Grande (BA). A organização do processo é realizada por essas instituições e coordenada pela coalizão Adapta Sertão, composta por diversas instituições, tais como: Rede de Desenvolvimento Humano (REDEH), Comunicação, Educação e Informação em Gênero (Cemina), Rede Pintadas, a Cooperativa de Produtores Ser do Sertão (Pintadas - BA). Ademais participam, ainda, diversas instituições de ensino e pesquisa como o Centro Clima, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), a Universidade da Califórnia, San Diego (EUA) e a Embrapa, responsáveis pela capacitação dos produtores, monitoramento, desenvolvimento de sistemas produtivos e seleção das variedades de forragens e cultivos mais adaptados à escassez de água (CESANO *et al.*, 2012).

As tecnologias adotadas para criar segurança hídrica e aumentar a eficiência no uso da água, em 100 pequenas propriedades rurais, distribuídas em 100 municípios, apresentadas na Figura 6, foram as seguintes:

- ✓ sistema de tratamento de água para dessedentação animal, composto de tanques para bebedouro, sistema de filtragem por disco, sistema de dosagem de cloro por erosão de pastilhas e uma quantidade limitada de insumo de pastilha de cloro, para 100 propriedades;
- ✓ sistema de tratamento de dureza da água para fins de irrigação, pelo catalisador eletrolítico, para 25 propriedades;
- ✓ sistema de tratamento de águas-negras para fins de geração de água para irrigação de palma forrageira, para 20 propriedades;
- ✓ sistema de irrigação por gotejamento para cultivo de forrageiras em 1000 m², para 31 propriedades;

- ✓ tecnologia de medição de quantidade de água de chuva (pluviômetro), para 100 propriedades;
- ✓ tecnologia de bioarmazenamento de água pelo cultivo de 4.500 m² de palma forrageira.

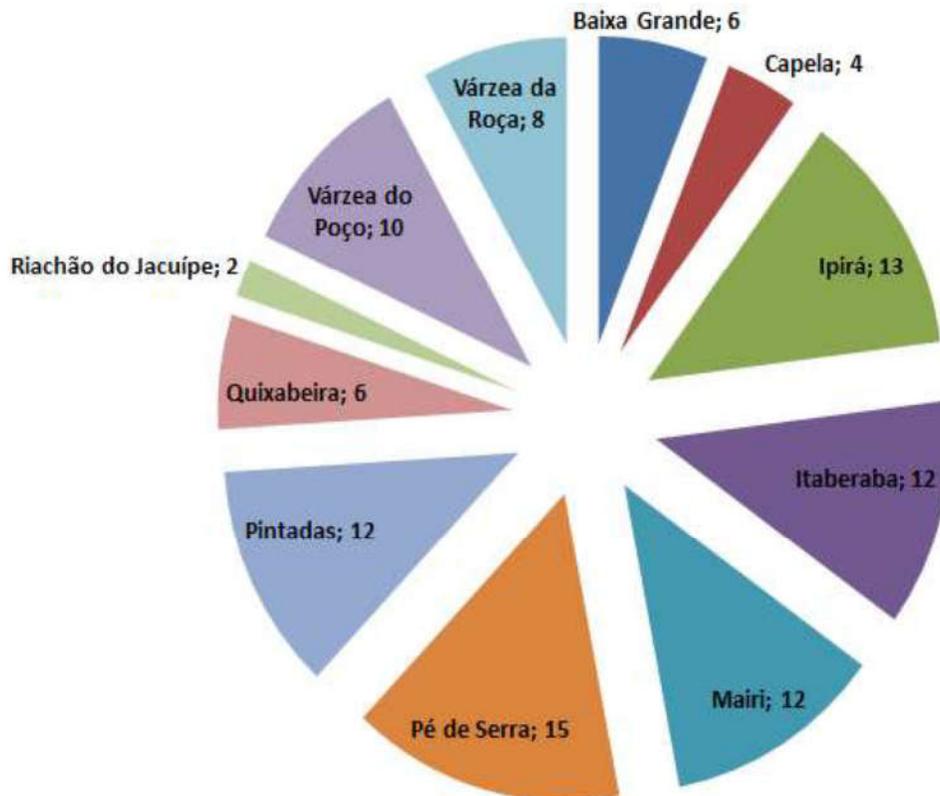


Figura 6 – Quantitativo de famílias beneficiadas por município.

Os cultivos irrigados, nessa etapa de projetos piloto, foram as forrageiras sorgo (*Sorghum vulgare*) e capim elefante (*Pennisetum purpureum*). O gado de leite foi a criação submetida ao uso das tecnologias já mencionadas.

A coalizão Adapta Sertão, com base nas experiências, identificou alguns pontos relevantes para a efetiva disseminação de projetos com a metodologia CBA para a região semiárida, quais sejam:

- ✓ segurança hídrica para 5 anos;
- ✓ segurança alimentar para rebanhos para 5 anos;

- ✓ desenvolvimento de sistemas produtivos adequados ao semiárido.

11.2.5 Poços tubulares

Os aquíferos subterrâneos situados na região semiárida apresentam, em sua maioria, limitações de uso em decorrência das baixas vazões e/ou por presença de sais. Salienta-se que muitos poços perfurados não chegam a sequer serem instalados em razão do alto custo da implantação de soluções convencionais de tratamento, a exemplo da osmose reversa, ou, ainda, pela falta de conhecimento quanto as possibilidades de exploração de culturas agrícolas e forrageiras tolerantes e/ou halófitas, piscicultura, dentre outras. Ante a escassez de mananciais com águas de boa qualidade físico-química se faz necessário ampliar o uso de águas subterrâneas com diferentes padrões de qualidade e salinidade para atender a crescente demanda por recursos hídricos na região semiárida para usos múltiplos.

Era conhecida a grande quantidade de poços da região que continham altos índices de salinidade e a busca de tecnologias foi para usar tais poços e reforçar as tecnologias de armazenamento de água que já existiam, como o tanque cisterna e o tanque cisterna calçadão.

A coalizão Adapta Sertão aprendeu pela evolução das suas fases, que somente sistemas de irrigação eficientes não eram suficientes para a geração contínua de forragens na propriedade agrícola. Seus sistemas de irrigação localizada instalados na etapa anterior falharam com a secagem das suas fontes hídricas.

Todas as propriedades tinham que medir suas chuvas e criar um banco de dados regional. Inicialmente a proposta era integrar de maneira automática esses dados na rede nacional de medição e coleta de dados meteorológicos. O histórico de medições ajudaria a prever anos de possíveis secas mais prolongadas e com isso ajustar o ciclo de produção de forragens e de armazenamento de água (Figura 7). O

tratamento de águas como o catalisador tinha como propósito a irrigação, atrelado a técnicas de cultivo como aumento de matéria orgânica do solo, frequência diária de irrigação e uso de variedades e espécies tolerantes a águas salinas com teores médios de sódio. O tratamento com catalisador vinha sempre acompanhado com um tanque de decantação, para sedimentar os cristais de carbonato de cálcio (aragonita), por um período de 12 horas, depois do tratamento. Os resultados obtidos indicaram uma redução de 60% no índice de dureza da água dos poços, não tornando a água potável, mas diminuindo seus efeitos indesejáveis ao solo e aos cultivos.

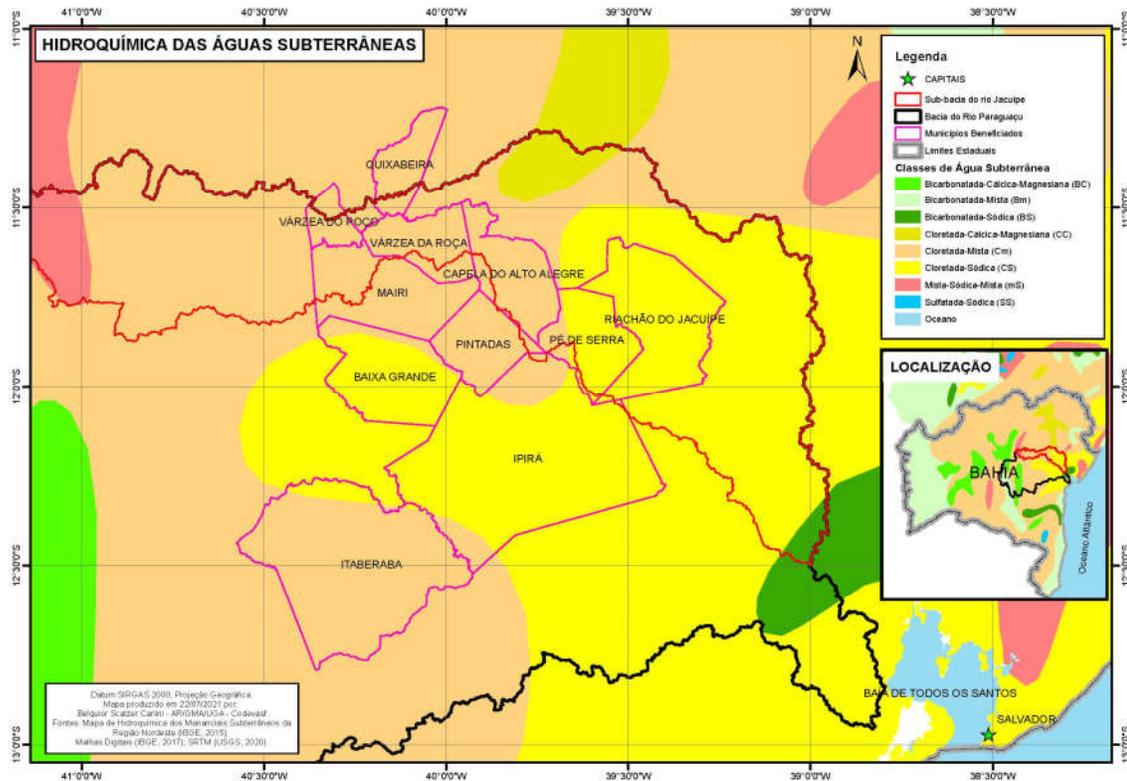


Figura 7 – Mapa da hidroquímica das águas subterrâneas na área de abrangência da coalizção Adapta Sertão

Fonte: CARLINI, 2021 com dados do IBGE, 2017, 2018 e USGS, 2020.

Nota: Na elaboração foi utilizado o Visualizador da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais - INDE.

11.2.6 Irrigação localizada

Para CESANO *et al.* (2012) a redução da pluviosidade média anual e aumento da variabilidade das chuvas, demonstrados nos estudos climatológicos realizados, a coalizão Adapta Sertão disseminou, desde 2008, junto aos pequenos produtores, sistemas piloto de irrigação localizada, como uma importante medida de adaptação às adversidades climáticas, em quatro municípios da Bacia do Rio Jacuípe, inicialmente em Pintadas, e, em seguida, nos municípios de Quixabeira, Baixa Grande e Brumado.

Através de metodologias participativas, a coalizão Adapta Sertão desenvolveu uma estratégia de disseminação da tecnologia de irrigação por gotejamento nos referidos municípios, baseando-se nos seguintes aspectos:

- ✓ Identificação dos fornecedores de tecnologia de irrigação localizada interessados em expandir negócios os municípios da Bacia do Rio Jacuípe;
- ✓ Criação de pontos de venda de equipamentos e peças de irrigação em associações ou a cooperativas de produtores locais, cujos técnicos foram capacitados no dimensionamento e instalação de sistemas de irrigação localizada;
- ✓ Implantação de sistemas piloto de irrigação localizada em municípios da Bacia do Jacuípe, por meio de microcrédito rural, através do PRONAF e/ou recursos próprios;
- ✓ Monitoramento dos sistemas piloto de irrigação e assistência técnica – os sistemas foram monitorados ao longo do tempo foi realizada uma avaliação objetiva da rentabilidade dos projetos, registrando-se dados semanalmente. A assistência técnica para os produtores beneficiados foi fornecida pelos técnicos da cooperativa e associações dos municípios da Bacia do Jacuípe;

- ✓ Disseminação dos resultados e multiplicação através do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf) – Depois da fase piloto, as comunidades se mobilizaram para difundir os resultados obtidos, incluindo-se também, as cooperativas de crédito locais que operavam o Pronaf.

11.2.7 Prêmios recebidos

O Programa de Adaptação a Mudanças Climáticas de Agricultores Familiares do Semiárido, baseado no conceito de *Community Based Adaptation*, adotado e difundido pela coalizão Adapta Sertão, nos municípios da Bacia do Rio Jacuípe, recebeu diversos prêmios internacionais pelo reconhecimento da relevância do trabalho desenvolvido para estabelecer um modelo de convivência com o semiárido; a seguir relacionados: *Wisions Prize for Sustainability* (2007), *Best Practice UN Habitat/Dubai Award* (2008) e *SEED Award Winner* (2008/2009).

11.2.8 Registros fotográficos dos projetos implantados

Nesta seção são apresentados registros fotográficos de quatro propriedades rurais, localizados no município de Pintadas (BA), onde foram instalados catalisadores eletrolíticos para tratamento de águas salobras, no âmbito do projeto de inovações tecnológicas empreendido pela coalização Adapta Sertão. Tais registros foram realizados pelo Técnico em Meio Ambiente Florisvaldo G. Silva, técnico de campo do Adapta Sertão no período de 2009 a 2016 e funcionário da Secretaria de Agricultura do município de Pintadas, no período de 2017 a 2020, atualmente é produtor rural no mesmo município.

A Figura 8 apresenta aspectos do Sítio Vale dos Sonhos, de propriedade do Sr. Florisvaldo Mercês Guimarães da Silva. O catalisador foi instalado em 2014,

inicialmente para tratamento de água salobra de uma cacimba, para cultivo irrigado de feijão-de-corda que respondeu bem ao uso da água tratada. No mesmo ano, foi perfurado um poço tubular, cuja água apresentou dureza total de 375 mg/L, condutividade elétrica de 2.430 $\mu\text{S}/\text{cm}$, classificação C4S1, que é usada para irrigação de hortaliças, dessedentação animal e uso doméstico, com resultados satisfatórios.



(a)



(b)



(c)

Figura 8 – Fotos da propriedade do Sr. Florisvaldo Mercês Guimarães da Silva
(a) Catalisador; (b) tomateiro irrigado por gotejamento; (c) canteiro de hortaliças irrigado por gotejamento.

A Figura 9 mostra os aspectos do imóvel rural Fazenda São Roque, de propriedade do Sr. João Batista Almeida Mendes. Os animais do seu rebanho apresentavam problemas de distúrbios intestinais, provavelmente causados pelo consumo de água de poço com elevado teor de dureza (5.000 mg/L) e de magnésio (998 mg/L). Após a instalação do catalisador e de um dosador de coloro, a aceitação da água de poço pelos animais melhorou além de ter reduzido as ocorrências dos referidos distúrbios.

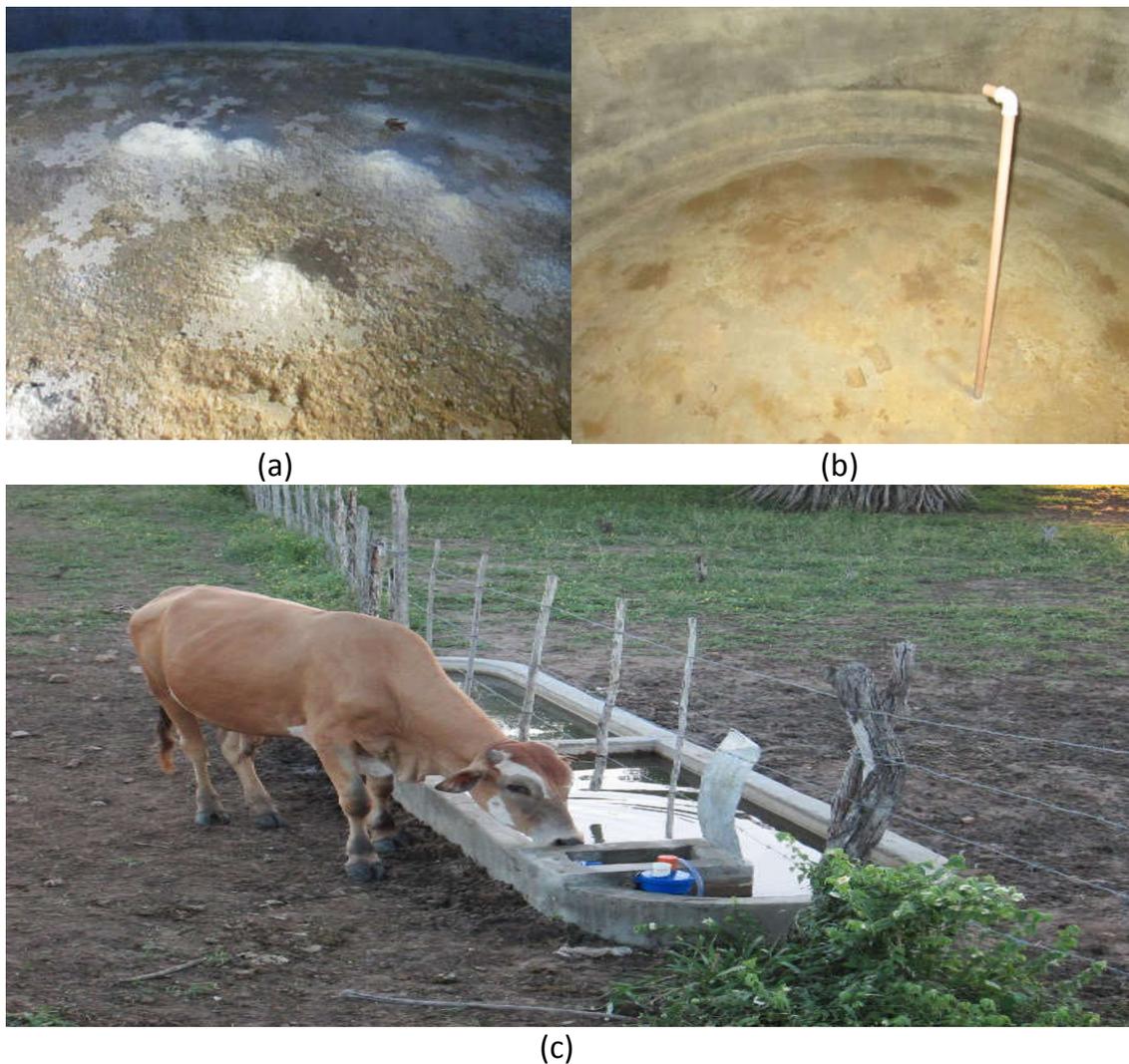


Figura 9 – Fotos da propriedade do Sr. João Batista Almeida Mendes

(a) reservatório com depósitos de formação cristalina; (b) reservatório após a limpeza; (c) animal consumindo água tratada em bebedouro.

Na Figura 10 tem-se o registro da Fazenda Curral Novo, de propriedade do Sr. Marinor Carneiro Sena. Perfurou um poço tubular em 2018 para uso em irrigação por gotejamento, em uma área de capim elefante BRS Capiacú. A água também é utilizada para o consumo animal e limpeza da área de manejo.



(a)



(b)

Figura 10 – Fotos da propriedade do Sr. Marinor Carneiro Sena
(a) área de capim elefante BRS Capiacú, em formação; (b) Área de capim elefante BRS Capiacú, em produção.

A Figura 11 revela aspectos da Fazenda Alto Alegre, de propriedade do Sr. Lucivaldo Oliveira Beltrão. Em 2014 o produtor instalou o catalisador em um poço tubular para irrigação de sorgo, milho e capim elefante. Antes da instalação do catalisador, o produtor constatava diversas ocorrências de entupimento de gotejadores, sendo sanado com a instalação do dispositivo.

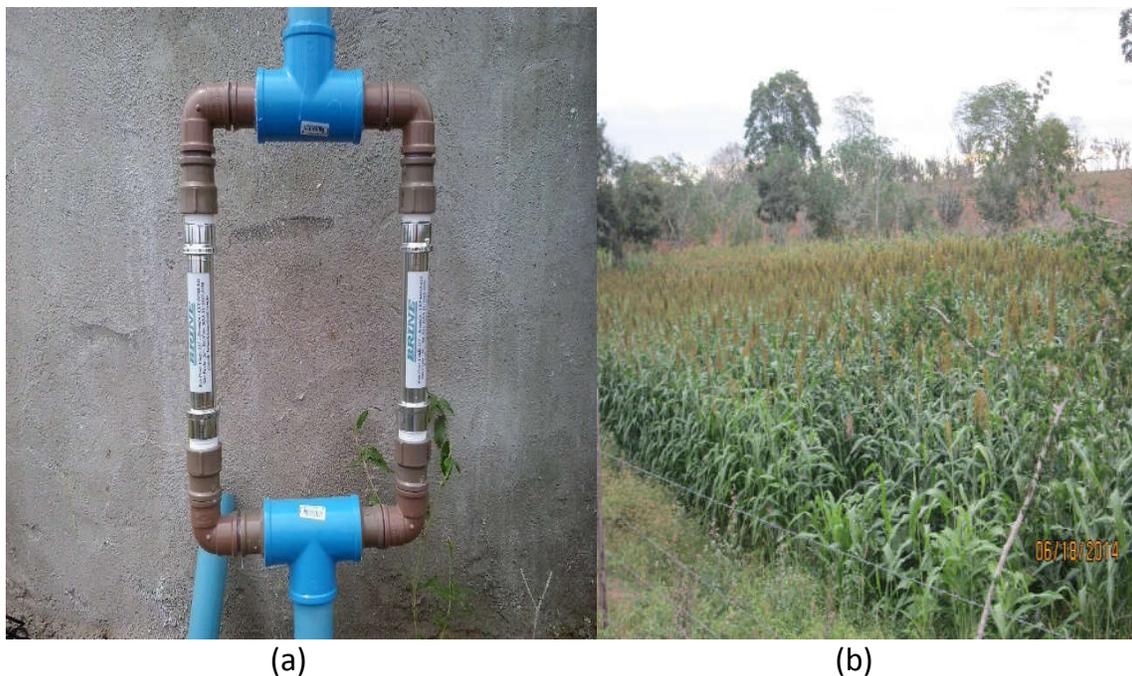


Figura 11 – Fotos da propriedade do Sr. Lucivaldo Oliveira Beltrão
(a) Catalisador com montagem em paralelo; (b) Área de produção de sorgo forrageiro.

11.3 PROJETO-PILOTO DE USO DE ÁGUA SALOBRA NA COMUNIDADE RURAL SERRA DOS VIEIRAS NO MUNICÍPIO DE RUSSAS (CE)

Em outubro de 2017, a coalização Adapta Sertão participou de uma Chamada Pública fomentada pelo Banco do Nordeste do Brasil (BNB) e Instituto Coca Cola, com apoio de diversos parceiros, por meio do projeto “Água + Acesso” a fim de apresentar soluções técnicas para ampliar o acesso à água de forma segura

e sustentável em comunidades de baixa renda do Brasil, prioritariamente na região semiárida nordestina.

A solução tecnológica apresentada pelo Adapta Sertão consistia do uso de catalisador **Eco Íon**, produzido pela Empresa Brine, agregado a filtração e sistema de desinfecção, para concorrer ao Desafio Nº 9 da chamada pública, que tratava da apresentação de solução inovadora de tratamento de água subterrânea com alto teor de dureza em um Sistema Simplificado de Abastecimento de Água para consumo humano, implantado na comunidade de Serra do Vieira, município de Russas, Estado do Ceará.

Os problemas relatados pela comunidade relacionados se relacionavam ao uso de água dura, quais sejam: rejeição de consumo pelo gosto salino acentuado, incrustações nas tubulações hidráulicas e chuveiros, dificuldade no banho e lavagem de roupa, dentre outros. Devido ao fato de o sistema ser usado para consumo humano agregou-se, também, tecnologias inovadoras de filtração e sanitização.

11.3.1 Programa água + acesso

O edital da Chamada Pública do Programa Água + Acesso, realizado pela parceria entre o Instituto Coca-Cola Brasil, Banco do Nordeste, WTT (World-Transforming Technologies), Fundação Avina, Fundação Amazonas Sustentável, Projeto Saúde Alegria, SISAR, e Instituto Trata Brasil (Figura 12), propunha ampliar o acesso à água de forma segura e sustentável para comunidades de baixa renda através de uma aliança com empresas, fundações e algumas das principais organizações de acesso à água no país, em um processo de seleção, apoio à implantação e disseminação de soluções e modelos inovadores e auto sustentáveis que respondam aos principais desafios enfrentados por comunidades em todo o

Brasil. O comitê gestor da Chamada de Soluções Água + Acesso era formado pelo Instituto Coca-Cola Brasil, Fundación Avina e WTT.



Figura 12 – Organizações do Programa + Acesso

Fonte: Água + Acesso (2018)

A referida chamada pública objetivava:

- ✓ identificar soluções e tecnologias para ampliar o acesso e tratamento de água em comunidades rurais e urbanas de baixa renda no Brasil;
- ✓ identificar soluções e tecnologias que melhorem a gestão, operação e eficiência de organizações comunitárias que trabalham para o acesso e tratamento de água;
- ✓ avaliar a performance técnica, econômica e socioambiental de soluções através de pilotos em campo, afim de determinar o potencial de impacto das soluções identificadas;
- ✓ fomentar o tema de inovação de impacto, disseminar e dar visibilidade a inovações e boas soluções, além de direcionar esforços de universidades, incubadoras, parques tecnológicos, agências de inovação, aceleradoras, empresas e inovadores para o desenvolvimento

e aplicação de tecnologias para o acesso à água potável para comunidades;

- ✓ integrar inovadores, organizações sociais, governos, empresas e fundações em ações e modelos que permitam a geração e ampliação de impacto socioambiental positivo de forma economicamente sustentável.

De acordo com o edital da chamada pública a estratégia para implantação do programa estava amparada nos pilares apresentados na Figura 13.

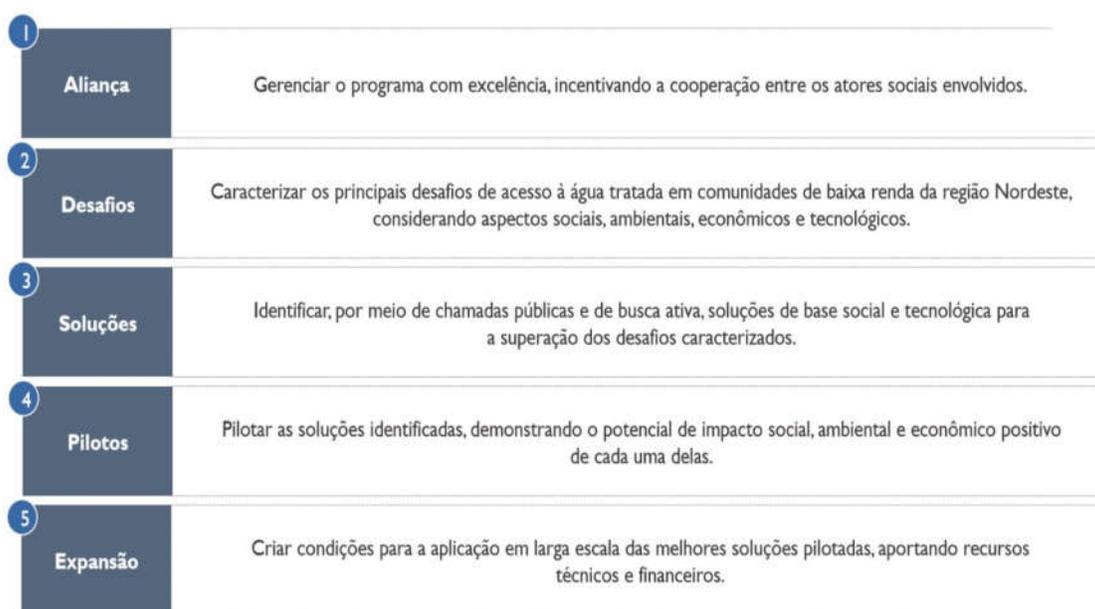


Figura 13 – Estratégia do Programa “Água + Acesso”

Fonte: Água + Acesso (2021)

O sistema de tratamento proposto consagrou-se vencedor do certame, após análise de comissão técnica de julgamento, composta por profissionais e acadêmicos de notório saber, visto que atendeu aos cinco critérios de julgamento contidos no edital do certame, relacionados a seguir:

- ✓ valor do investimento inicial;
- ✓ complexidade de implementação, operação e manutenção;

- ✓ eficiência/produktividade;
- ✓ valor de custeio mensal,
- ✓ estágio de desenvolvimento da solução tecnológica.

O sistema simplificado de abastecimento e tratamento de água foi implantado em 3 dias na comunidade de Serra do Vieira, sem prejuízo da operação de fornecimento. O projeto executivo, os dispositivos, os materiais e acompanhamento técnico no local para a implantação, foram disponibilizados às equipes técnicas da Cagece (Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará) e do Sisar (Sistema Integrado de Saneamento Rural).

A localidade de Serra do Vieira, pertence ao Município de Russas, no Estado do Ceará (Figura 14), tem uma associação responsável pela gestão compartilhada do sistema de abastecimento de água em conjunto com o Sisar: Associação Comunitária Coração de Jesus da Serra do Vieira, cuja responsável legal, naquela época, era a presidente Eliana Machado.

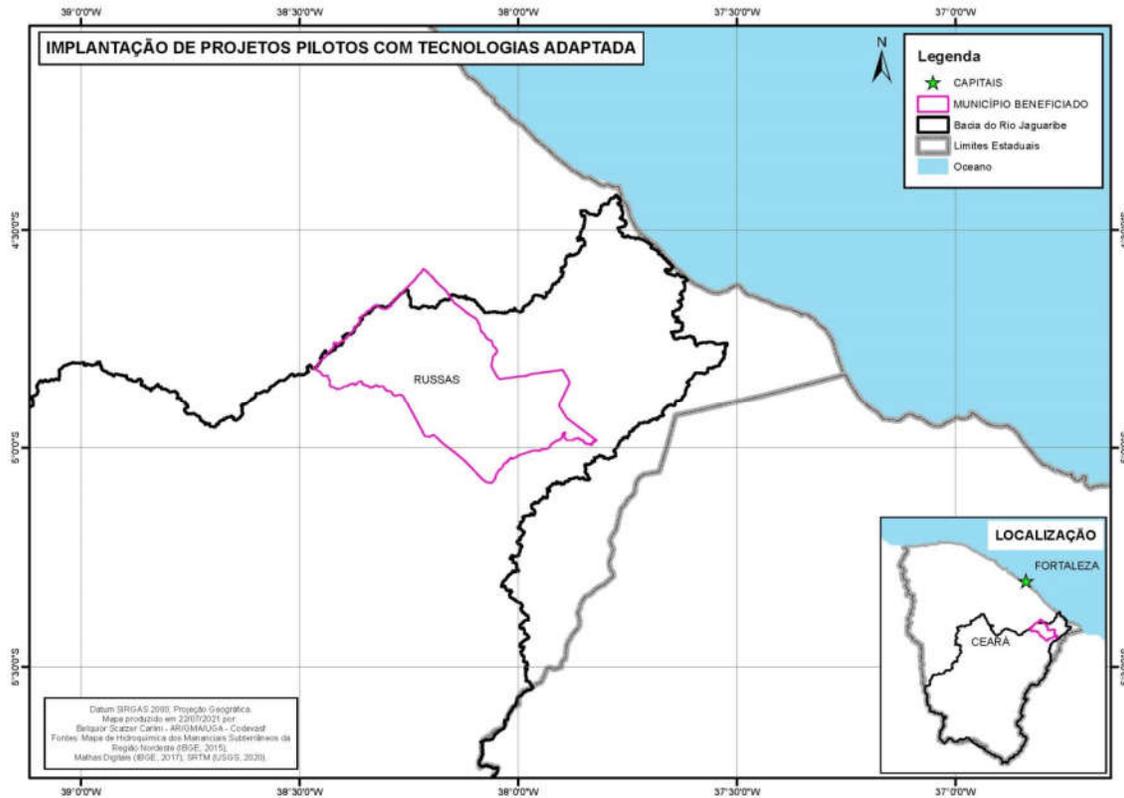


Figura 14 – Mapa de localização do município de Russas (CE) que pertence a bacia do Rio Jaguaribe

Fonte: Fonte: CARLINI, 2021; elaborado com dados do IBGE, 2017 e USGS, 2020.

Nota: Na elaboração foi utilizado o Visualizador da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais - INDE.

A comunidade Serra do Vieira fica distante 23 km da sede do município, possui, aproximadamente, 115 famílias residentes. A fonte de renda da população é o trabalho na agricultura e em pedreiras que exploram o calcário. Está localizada na Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe (BBJ) e suas coordenadas geográficas são: 4,98329 de latitude e 37,81682 de longitude (Figura 15).

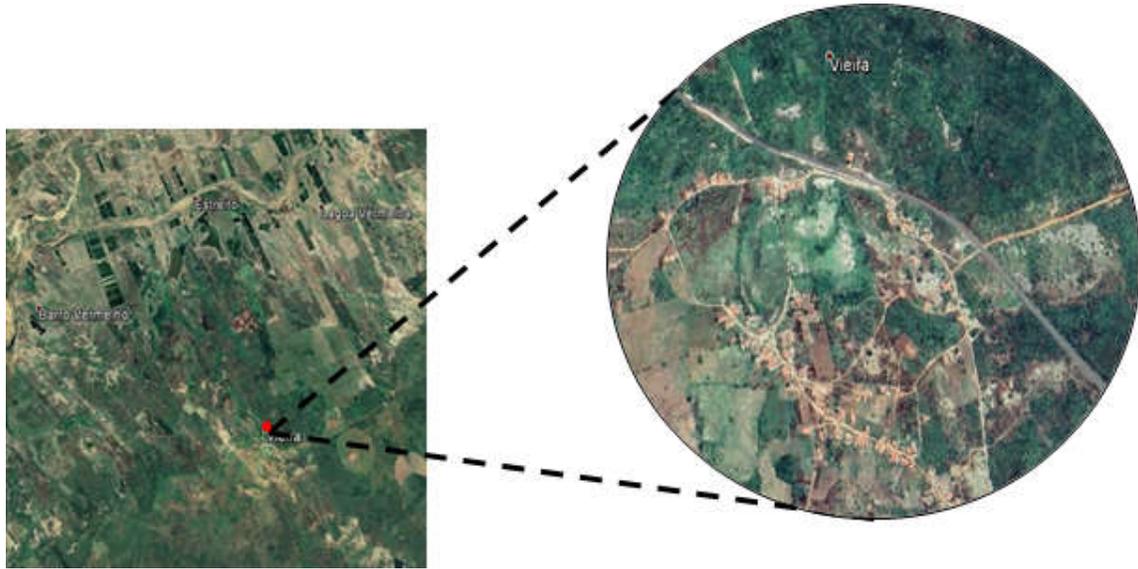


Figura 15 – Localização da comunidade
 Nota: Ilustração elaborada com dados do Google Earth.

Naquela ocasião da implantação do projeto piloto, o operador do Sistema de Abastecimento de Água (SAA) foi o Sr. Helder. Ele é morador da comunidade e membro da associação local. Por esse motivo e conhecimento básico em manutenção hidráulica, ele foi escolhido pela comunidade para ser o operador.

O manancial que abastece atualmente a população da Serra dos Vieiras é um poço tubular com 60 metros de profundidade, que fica situado na própria comunidade e devido as características do solo da região apresenta uma concentração elevada de cálcio e magnésio, por consequência uma dureza total da água acima dos padrões de potabilidade para o consumo humano, consoante a Portaria de Consolidação Nº 5 do Ministério da Saúde.

Passados quase 4 anos da instalação, o sistema continua sendo operando satisfatoriamente, sem necessidade de peças sobressalentes e substituição de equipamentos.

Graças a organização da associação local, a comunidade obteve muitas conquistas dentre elas a construção da sede da associação, atendimento do Centro

de Referência de Assistência Social (CRAS) voltado para crianças, adolescentes e famílias, atendimento médico para a população duas vezes por semana, duas salas de aula para o ensino de jovens e adultos, quadra de esportes, a construção do sistema de abastecimento de água para a população através do Projeto São José do Governo do Estado e posteriormente um projeto para melhoria da qualidade da água através do Projeto “Água + Acesso”, executado por meio de uma parceria entre o Banco do Nordeste e o Instituto Coca Cola (Figura 16).



Figura 16 – Sede da associação
(a) Vista externa; (b) Salão de reuniões.

11.3.2 Sistema Integrado de Saneamento Rural (Sisar)

O Sisar foi originalmente constituído em 1996 no Município de Sobral (CE), agregando 18 associações de usuários de água na Bacia do Acaraú e Coreaú. Caracteriza-se por exigir um processo participativo intenso, já que a maioria das famílias em uma comunidade precisa concordar antes de sua associação se filiar ao modelo de gestão Sisar. Muitos debates ocorreram também com municípios que inicialmente resistiram à ideia, mas depois passaram a apoiá-la. O sucesso do Sisar de Sobral foi tanto, que em 2001, o Governo do Estado do Ceará decidiu expandir

o modelo, por meio da Gerência de Saneamento Rural da Cagece, para mais sete regiões, uma para cada bacia hidrográfica do Estado, como pode ser observado na Figura 17 (ROCHA; SALVETTI, 2017).

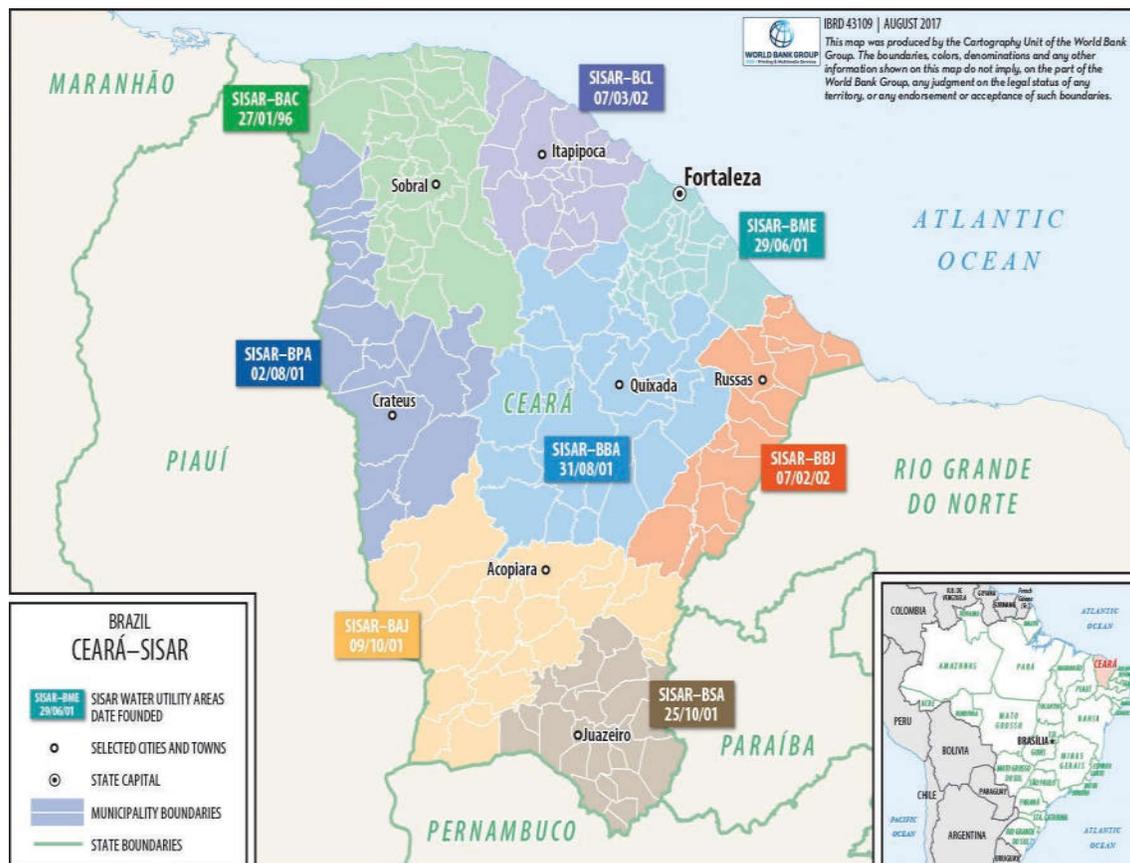


Figura 17 – Área de atuação das 8 unidades Sisar

Fonte: ROCHA; SALVETTI, 2017.

O Sisar é uma federação de associações que, através de contribuição mensal, financia uma estrutura responsável pela manutenção de seus sistemas, fornecimento de insumos (material para manutenção e tratamento), e capacitação social.

A gestão do sistema é compartilhada entre Associação e Sisar, que supre as carências técnicas, administrativas e sociais da comunidade, que solicita seus serviços quando esta não tem conhecimentos suficientes, como para a realização

de manutenção de um conjunto motor-bomba e ajuste no tratamento da água, por exemplo.

Neste modelo de gestão, a operação do sistema é de responsabilidade da comunidade, através de sua associação local. Na própria conta de água, está inserido de maneira destacada, o valor da energia consumida pelo sistema, que é rateada, proporcionalmente ao consumo, entre os usuários. Apesar do operador ser voluntário, ele é gratificado pelos usuários de acordo com um valor decidido em assembleia geral da associação, registrado em seu livro de ata. Para o Sisar, fica apenas o valor atribuído ao consumo de água medido pelo hidrômetro. (CEARÁ, 2021).

11.3.3 Catalisador eletrolítico para remoção de dureza

Nesta sessão são abordados os resultados encontrados após a aplicação do catalisador eletrolítico que com os bons resultados apresentados pela tecnologia, foram produzidos três trabalhos, sendo dois de conclusão de curso de graduação e um resumo científico apresentado no 30º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente, realizado em conjunto com a Feira Nacional de Saneamento e Meio Ambiente (Fenasan) na cidade de São Paulo (SP).

A comunidade de Serra dos Vieiras tem uma grande problemática com relação ao abastecimento de água, o excesso de cálcio e magnésio. O Sisar tem buscado junto as universidades, parceiros do Estado e até parceiros privados a possibilidade de encontrar uma tecnologia para realizar a remoção da dureza da água para viabilizar seu consumo por toda a população.

Desde a mudança de manancial para o poço com dureza elevada, que a população sofre com todos os problemas ocasionados pela dureza de cálcio e magnésio como o entupimento das tubulações, dos chuveiros e até dos hidrômetros, sabor da água, a água não faz espuma e quem bebe a água corre o

risco de criar pedra nos rins. Todos os problemas citados acima eram relatados pela população e estão registrados conforme mostrado na Figura 18.

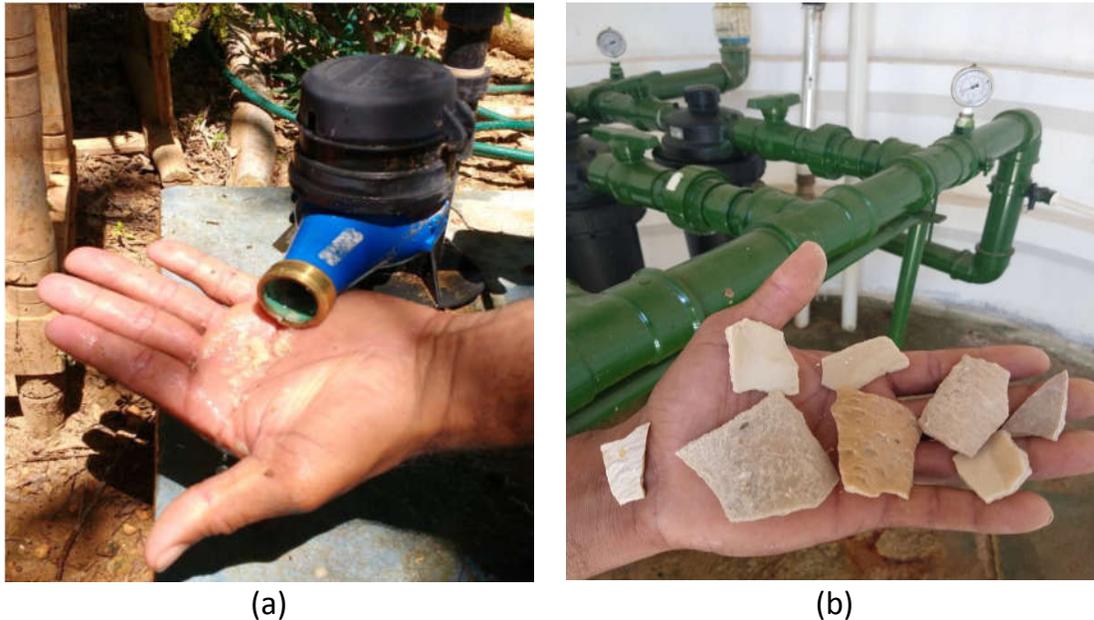


Figura 18 – Fatos ocorridos no SAA devido ao teor elevado de dureza da água.
 (a) Hidrômetro entupido; (b) Material encontrado dentro das tubulações e reservatório elevado.

Uma tecnologia apresentada pela Universidade Federal do Ceará, que consistia em tratamento por batelada com resina aniônica, teve um bom desempenho em relação a remoção de dureza, mas a proposta não obteve viabilidade, pois como a população já recebia água na porta de casa e a tecnologia adotada necessitava que os usuários de água fossem buscar água em um ponto, tipo chafariz. Outra inviabilidade da tecnologia foi a dificuldade de operação e custos elevados, pois necessitava de regeneração da resina. Assim o sistema ficou em desuso e voltou a trabalhar da maneira inicial com a distribuição pela rede de distribuição, mesmo com toda dificuldade.

Anos depois, através do programa aliança “Água + Acesso”, iniciado em 2017, com o lançamento do edital da chamada pública, com o objetivo de solucionar problemáticas de qualidade de água no Brasil, especificamente o desafio

nº 9, que tratava da apresentação de solução inovadora para tratamento de água de dureza elevada na água de abastecimento do povoado de Serra dos Vieiras, município de Russas (CE), situação semelhante a de outros municípios da bacia do Rio Jaguaribe (Figura 19).

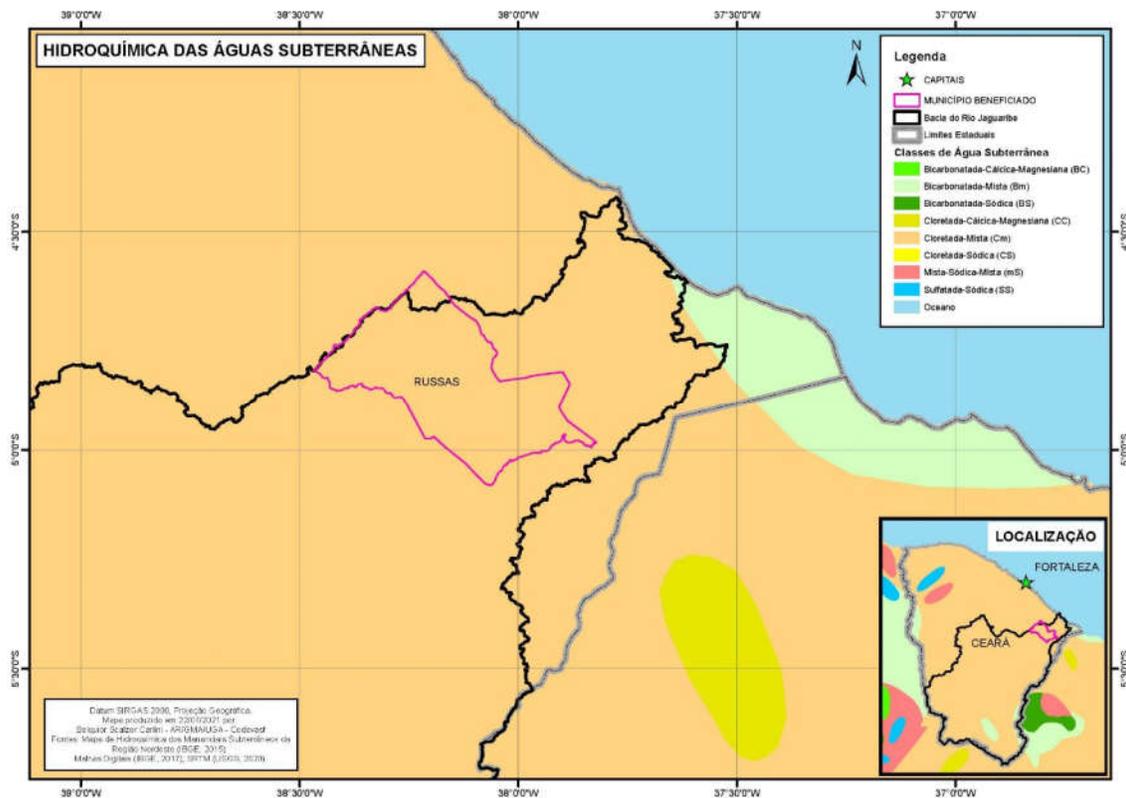


Figura 19 – Mapa da hidroquímica das águas subterrâneas da bacia do Rio Jaguaribe

Fonte: CARLINI, 2021 elaborado com dados do IBGE, 2017, 2018 e USGS, 2020.

Nota: Na elaboração foi utilizado o Visualizador da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais - INDE.

Em 2018 foi iniciada a instalação do projeto piloto vencedor do certame, o catalisador eletrolítico **Eco Íon**, que foi acompanhado pela equipe da gerência de saneamento rural da Cagece e do Sisar, fornecendo parecer de que a solução é amplamente replicável devido a sua facilidade de operação pelo operador local e o baixo custo de manutenção. Os resultados estão apresentados no estudo de caso, descrito a seguir.

11.3.4 Resultados do estudo de caso

Brito (2019) aborda o estudo de caso na comunidade de Serra dos Vieiras, apresentando inicialmente a concepção do sistema que foi adotado na localidade, onde a vazão exigida para atender a população é de 6 m³/h, e a água bruta (Figura 20) é conduzida por uma tubulação de recalque com 1.200 m de comprimento com DN 50 mm até passar pelo catalisador eletrolítico, localizado na área interna do reservatório elevado (REL) do sistema (Figura 21).



Figura 20 – Área da captação do poço tubular na localidade de Serra dos Vieiras, município de Russas (CE)



Figura 21 – Reservatório elevado na localidade de Serra dos Vieiras, município de Russas (CE)

O tratamento acontece quando a água com alto índice de dureza passa pelo catalisador que é o responsável pela mudança pontual no pH, fazendo com que o carbonato de cálcio e de magnésio sofram uma alteração na sua estrutura cristalina, passando de calcita para aragonita.

A água tratada chega ao REL, com capacidade de 30 m³. O mesmo tem uma função importante no tratamento que é de decantação de uma parte dos cristais formados. É no REL também que é aplicado a desinfecção, por meio de dosador de cloro em pastilha de tricloroisocianurato. Na descida para a distribuição da água para a população ainda existe uma sequência de filtros de disco de 5 µm.

O REL tem a função de armazenar a água que será distribuída à população, garantindo as pressões necessárias para o funcionamento eficaz da rede de distribuição, além de armazenar o volume necessário à lavagem do filtro, que será realizada em contra fluxo de descarga a partir de tubulação independente.

11.3.5 Pontos de coleta

Os locais escolhidos para realização das coletas são pontos estratégicos para conhecimento dos parâmetros da água bruta e identificação da eficiência na remoção da dureza de cálcio e magnésio. Pode-se observar na Figura 22 o ponto corresponde ao local onde é coletada a água tratada, já o ponto da coleta da água bruta é na saída do poço.



Figura 22 – Ponto de coleta de água tratada

11.3.6 Parâmetros analisados

Para determinação dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos averiguados, foram empregados os métodos dispostos no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (2012). Estes parâmetros tiveram suas análises determinadas no laboratório de controle de qualidade da Unidade de Negócios BBJ pertencente a CAGECE. Os parâmetros analisados, a metodologia aplicada e os equipamentos empregados estão dispostos conforme Quadro 3.

Quadro 3 - Parâmetros físicos, químicos e biológicos analisados.

| Parâmetro Analisado | Metodologia Analítica Utilizada |
|--|--|
| Turbidez | Nefelometria |
| Cor Aparente | Comparação Visual |
| pH | Potenciometria |
| Dureza Total | Espectrofotometria |
| Cloro Residual | Titulometria |
| Coliformes Totais <i>Escherichia coli</i> | Substrato Cromogênico |

11.3.7 Discussão dos resultados

No Quadro 4 estão dispostos os valores médios dos parâmetros Turbidez, Cor Aparente, pH, Cloro Residual Livre e Dureza total, onde os dois primeiros sofreram elevação nos resultados mesmo após o tratamento, no entanto, estes continuam abaixo dos valores máximos permitidos pela legislação vigente. O pH não sofreu mudança significativa. O aumento nos teores de Cor Aparente e Turbidez deve-se a reação após o abrandamento em que esta, formou cristais que não ficaram completamente retidos nas etapas de decantação e filtração. Já era esperado tal resultado devido à falta de um tanque para decantação, onde foi aproveitado o reservatório elevado para a função de decantador.

Quadro 4 - Média dos valores apresentados nas análises em cada ponto de coleta.

| Parâmetro Analisado | Ponto 1 (saída do poço) | Ponto 2 (distribuição água tratada) |
|----------------------------|--------------------------------|--|
| Turbidez (uT) | 0,38 | 0,81 |
| pH | 7,50 | 7,57 |
| Cor Aparente (uH) | 2,50 | 10,00 |
| Dureza Total (mg/L) | 653,29 | 462,68 |
| Cloro Residual (mg/L) | ND | 2,00 |

ND: Não determinado

Observa-se na Figura 23 que o parâmetro dureza sofreu uma notável redução pós processo de tratamento, apontando para uma eficiência de remoção de até 34%. O Sisar realiza coleta mensal para acompanhar a qualidade da água distribuída para a população, visando garantir a potabilidade e segurança do consumo para uso humano.

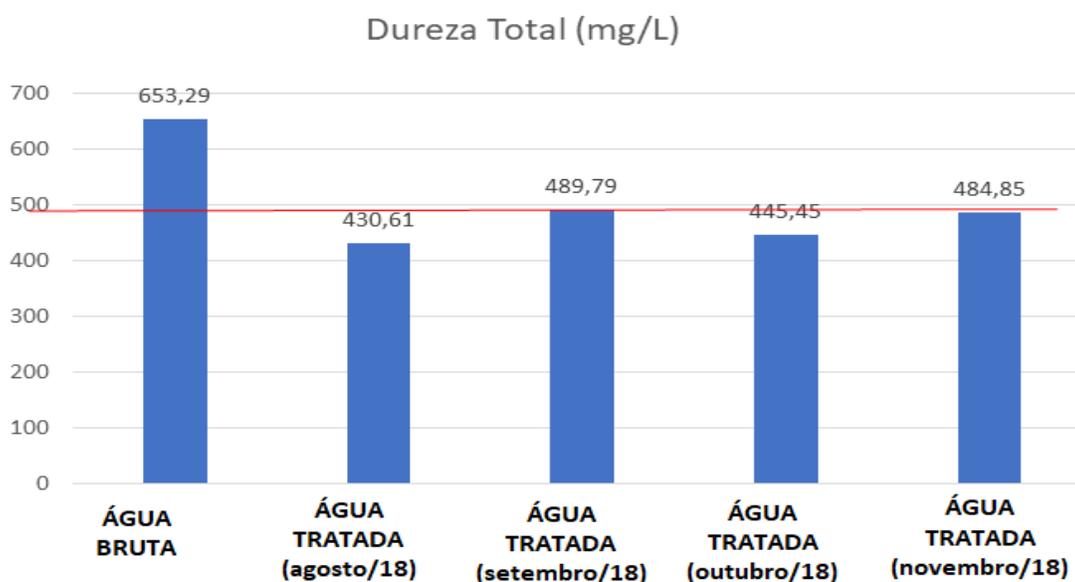


Figura 23 - Valores obtidos das concentrações de dureza total após o tratamento

Durante os meses de acompanhamento, observa-se que houve redução dos teores de Dureza Total, e se apresentaram abaixo do valor máximo permitido pela Portaria de Consolidação Nº 5/2017 – Anexo XX, do Ministério da Saúde, vigente à época do estudo.

Lima (2021) aborda outros resultados muito importantes encontrados para o caso de Serra dos Vieiras, que foi o retorno da população ao consumo da água, após a implantação da tecnologia e o consumo de energia da tecnologia.

11.3.8 Consumo de energia

No tocante ao consumo de energia, para analisar sobre a eficiência do sistema, foi registrado o consumo de energia elétrica e realizado um comparativo entre o período anterior e posterior ao da implantação do sistema, para se obter uma conclusão sobre o consumo de energia elétrica da tecnologia empregada na comunidade de Serra dos Vieiras. Registrou-se que o consumo de energia foi apenas para manter o sistema funcionando como, a bomba submersa de captação e a bomba elevatória que recalca água para o reservatório elevado e por fim distribui por gravidade para os consumidores finais. Um discreto aumento indicado na média quando comparamos antes e após a implantação da tecnologia se dá pelo aumento de ligações e, com isso, a bomba do sistema funciona por mais tempo. Tais dados são mostrados nas Figuras 24 e 25.

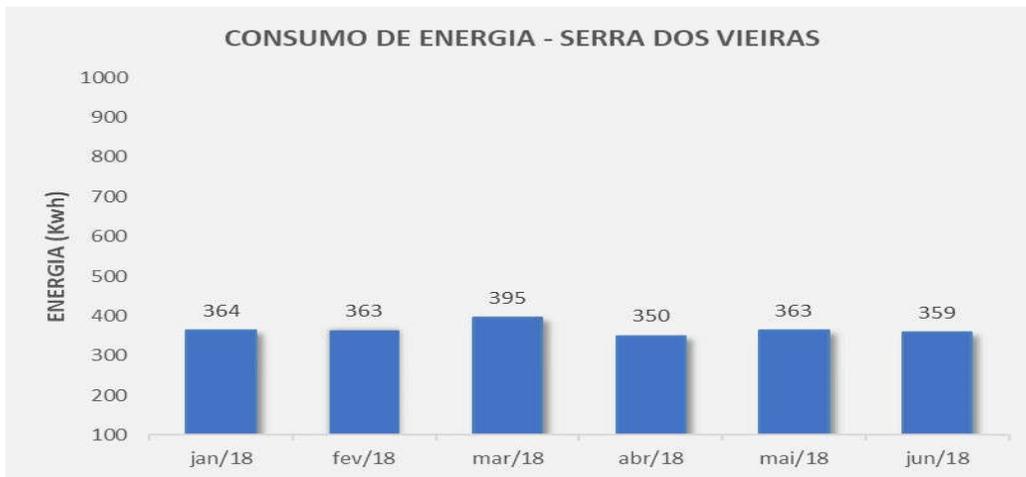


Figura 24 – Consumo de energia antes da implantação

Fonte: LIMA, 2020.



Figura 25 – Consumo de energia após a implantação

Fonte: LIMA, 2020.

De posse desses dados, demonstrou-se que, no tocante a operação do sistema de tratamento, não há uma variação significativa na média do consumo de

energia do sistema, obtendo assim uma eficiência energética positiva, sem onerar o custo de operação.

11.3.9 Ligações domiciliares

Antes da implantação da tecnologia devido ao problema gerado pela dureza, incrustação das tubulações, aumento do gasto com sabão na limpeza doméstica, o número de pedido de corte de ligação aumentou causando uma menor arrecadação para o órgão gerenciador do sistema. A tabela abaixo mostra que após a implantação da tecnologia que ocorreu no mês de julho de 2018, os pedidos de corte de ligação reduziram expressivamente em média de 48,05%, demonstrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Quantidade de ligações prediais

| | Período | Ligações Ativas | Pedidos de Cortes |
|------|-----------|-----------------|-------------------|
| 2018 | Janeiro | 47 | 9 |
| | Fevereiro | 51 | 9 |
| | Março | 50 | 7 |
| | Abril | 51 | 7 |
| | Maio | 53 | 8 |
| | Junho | 60 | 8 |
| | Julho | 65 | 6 |
| | Agosto | 68 | 4 |
| | Setembro | 74 | 4 |
| | Outubro | 73 | 4 |
| | Novembro | 78 | 3 |
| | Dezembro | 81 | 4 |
| 2019 | Janeiro | 85 | 5 |

Fonte: LIMA, 2020.

11.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do catalisador eletrolítico associado a decantação, em conjunto a adoção de técnicas agronômicas e de manejo de irrigação proporcionaram o uso de águas de poços com altos índices de dureza cálcica, classificadas como águas C3 e C4, para irrigação de culturas anuais e forrageiras tolerantes a salinidade. Os sistemas estão em funcionamento de 2013, produzindo forragem com águas consideradas inapropriadas para o cultivo. Esse sistema consegue reduzir e inativar a dureza e, por conseguinte, os efeitos da salinidade da água de irrigação. No equipamento de irrigação permite a retenção por filtração de parte dos cristais floculados, que antes se viam encrustados e aderidos, causando entupimentos tanto no elemento filtrante quanto nos gotejadores. Hipótese a ser comprovada cientificamente.

A tecnologia de catálise eletrolítica mostrou-se eficaz na redução parcial dos elevados teores de dureza total e na inativação das formações cristalinas de cálcio e magnésio presentes nas águas subterrâneas das zonas rurais, em que esta, após o tratamento com a aplicação dessa tecnologia, se encontra conforme os padrões estabelecidos pela Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017 – Anexo XX, do Ministério da Saúde.

A simplicidade da operação da tecnologia é um dos fatores contribuintes para inclusão da mesma em localidades rurais, onde o operador voluntário da associação em conjunto com o modelo de gestão Sisar, mesmo sem muitos conhecimentos técnicos, pode realizar os procedimentos necessários para manter a qualidade de água dentro dos padrões exigidos pela legislação.

REFERÊNCIAS

ADAPTA GROUP. **Projeto Adapta Sertão**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://adaptagroup.com/project/adapta-sertao/>. Acesso em: 01 de jul. 2021.

ADAPTA GROUP. **Resultados do programa MAIS, Bacia do Jacuípe, Bahia – período 2016-2018**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <http://adaptagroup.com>. Acesso em: 15 jul. 2021.

ÁGUA+ACESSO. **Página Principal**. [S. /], 2018. Disponível em: <https://aguamaisacesso.com.br/>. Acesso em: 15 jul. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888**, de 4 de maio de 2021. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em 15 jul. 2021.

BRITO, L. T. L.; PEREIRA L. A.; MELO, R. F. **Disponibilidade hídrica subterrânea**. Brasília: EMPBRAPA, 2009. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000g5twggzi02wx5ok01edq5s9s9b6a3.html. Acesso em: 14 jul. 2021.

BRITO, L. V. V. de. Remoção de dureza com a tecnologia de abrandamento eletrolítico na localidade de Serra dos Vieiras, no Município de Russas – CE. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE, 30., 2019, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Fenasan. p. 1-7. 2019.

CARLINI, B. S. **Mapa da área de abrangência da coalização Adapta Sertão**. Brasília, DF, 2021. Não publicado.

CAREFREE. **Condicionador de Água Care-Free**, [S. /], c2021. Disponível em: <https://www.carefree.com.au/how-it-works/>. Acesso em: 3 jul. 2021.

CARVALHO, O.; EGLER, C. A. G. **Alternativas de desenvolvimento para o Nordeste Semiárido**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2003. 204 p.

CEARÁ. Assembleia Legislativa. Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos. **Cenário atual do saneamento básico no Ceará** [livro eletrônico]. Fortaleza: Assembleia Legislativa do Estado do Ceará: INESP, 2021.

CESANO, D.; BURNEY, J.; RUSSEL, J. M.; La ROVERE, E. L.; OBERMAIER, M.; CORRAL, T.; SILVA, L. S.; COELHO, N. S.; NEVES, C. G. Mudanças climáticas no semiárido da Bahia e estratégias de adaptação da coalizão Adapta Sertão para a agricultura familiar. **Inclusão Social**, Brasília, DF, v. 6, n. 1, p. 88-104, jul./dez. 2012.

GRABBER CONSTRUCTION PRODUCTS. **Galvanic reaction chart**, North Highland, 2021. Disponível em:
<https://www.grabberman.com/Media/TechnicalData/127.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2021.

GUANZIROLI, C. E.; CARDIM, S. E. de C. S. (coord.). **Novo retrato da agricultura familiar**: o Brasil redescoberto. Brasília: INCRA: FAO, 2000. 74 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Malha municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em:
<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 23 jul. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa de hidroquímica dos mananciais subterrâneos da região nordeste do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em:
<https://visualizador.inde.gov.br/VisualizaCamada/967>. Acesso em: 23 jul. 2021.

LANA, C. R. de. Química do automóvel (3): catalisadores reduzem emissão de poluentes. **Educação UOL**, São Paulo, c2021. Disponível em:
<https://www.educacao.uol.com.br/disciplinas/quimica/quimica-do-automovel-3-catalisadores-reduzem-emissao-de-poluentes.htm>. Acesso: 06 ago. 2021.
<https://www.grabberman.com/>. Acesso em: 23 de jul. 2021.

KLEIN, C.; DUTROW, B. **Manual de Ciência dos Minerais**. 23. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. 706 p.

LEMOS, M. C. **Drought, governance and adaptive capacity in North East Brazil: a case study of Ceará**. Human Development Report 2007/2008. Ann Arbor: University of Michigan, 2007.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas: Átomo, 2010.

LIMA, R. T. A. **Alternativa para remoção de dureza de água de abastecimento na zona rural: estudo de caso Serra dos Vieiras, Russas - CE.** 2020. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Farias Brito, Fortaleza, 2020.

MAVROMATIS, V.; GOETSCHL, K. E.; GRENGG, C.; KONRAD, F.; PURGSTALLER, B.; DIETZEL, M. Barium partitioning in calcite and aragonite as a function of growth rate. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Amsterdam, n. 237, p. 65-78, 2018.

REID, H.; HUQ, S. **A vital approach to the threat climate change poses to the poor.** London: International Institute for Environment and Development, 2007. 2 p. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10535/6228>. Acesso em: 15 set. 2011.

ROCHA, W. dos S.; SALVETTI, M. **Case Study—SISAR Ceará, Brazil.** Washington: World Bank Group, 2017. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/28382?locale-attribute=es>. Acesso em: 10 nov. 2017.

SILVA, D. J. R.; SOARES, T.M.; SILVA, E. F. F.; SILVA, A. O.; SANTOS A. N. Utilização de rejeito de dessalinizadores no cultivo da rúcula sob hidroponia NFT no semiárido brasileiro. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 38., 2009, Juazeiro, BA. **Anais [...]**. [S. l.]: CONBEA, 2009.

SISAR. **Entendendo melhor o Sisar.** Fortaleza, 2020. Disponível em: <http://www.sisar.or.br/institucional/#quem-somos>. Acesso em: 15 jul. 2021.

SULCROMO. **8 tipos de corrosão mais comuns na indústria e como revertê-las.** São Leopoldo, 2020. Disponível em: <https://www.sulcromo.com.br/noticias-industria/8-tipos-de-corrosao-mais-comuns-na-industria-e-como-reverte-las/>. Acesso em: 01 ago. 2021.

TRATA BRASIL. **Águas subterrâneas: saneamento e saúde,** São Paulo, 2021. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/aguas-subterraneas-saneamento-e-saude/>. Acesso em: 15 jul. 2021.

US GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Earth Explorer.** Washington, DC, 2020. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 23 jul.2021.

Apoio Institucional



Realização

