

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, BIOLÓGICAS E AMBIENTAIS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NA BACIA DO RIO
ITAPICURÚ E RISCO DE SALINIZAÇÃO NO PROJETO DE
IRRIGAÇÃO PONTO NOVO - BA**

MÁRCIO CLÁUDIO MERCÊS BRITO

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA
MAIO - 2007**

QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NA BACIA DO RIO ITAPICURÚ E RISCO DE SALINIZAÇÃO NO PROJETO DE IRRIGAÇÃO PONTO NOVO - BA

MÁRCIO CLÁUDIO MERCÊS BRITO

Engenheiro Agrônomo
Universidade Federal da Bahia, 1993.

Dissertação submetida à Câmara de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Ciências Agrárias, Área de Concentração: Engenharia e Manejo da Irrigação.

Orientador: Prof. Dr. Francisco A. de C. Pereira

Co-Orientador: Prof. Dr. Vital Pedro da S. Paz

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA - 2007

FICHA CATALOGRÀFICA

B862

Brito, Márcio Cláudio Mercês

Qualidade da água para irrigação na bacia do rio Itapicurú e risco de salinização no projeto de irrigação Ponto Novo-Ba / Márcio Cláudio Mercês Brito. - Cruz das Almas, BA, 2007.

f.53 : il., tab., Graf.

Orientador: Francisco Adriano de Carvalho Pereira

Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2007.

1. Irrigação – rio Itapicurú, BA. 2. Rio Itapicurú - qualidade. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II. Título.

CDD 20ed. 631.587

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Adriano de C. Pereira
Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas - UFRB.
(Orientador)

Prof. Dr. Vital Pedro da Silva Paz
Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas - UFRB.
(Co-Orientador)

Dra. Roberta Alessandra Bruschi Gonçalves Gloaguen
Bolsista PDJ / CNPq

Dissertação homologada pelo Colegiado do Programa de Pós Graduação em
Ciências Agrárias em.....
Conferindo o Grau de Mestre em Ciências Agrárias em.....

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu amor, esposa, companheira de todas as horas, Fabiane, pelo apoio, carinho, compreensão e paciência a mim dedicados ao longo destes anos de caminhada.

Ofereço aos meus queridos pais, Firmino e Adalice, filha, Brendinha, irmãos, Conça, Cris, Cata, Mário e Neto , sobrinhos, Digo, Bele, Nanda e Tony, sogros, Vera e Delfino, cunhados, Newton Saldanha, Mara, Clau, Renato e Girley pelas palavras de carinho e incentivo em todos os momentos, pela constante presença, ainda que distantes fisicamente.

AGRADECIMENTOS

Embora uma dissertação seja pela sua finalidade acadêmica, um trabalho individual, há contributivos de natureza diversa que não podem nem devem deixar de ser realçados. Por essa razão, desejo expressar os meus sinceros agradecimentos:

A Deus, pela dádiva da vida, pelo Seu amor incondicional que me fortalece todos o dias.

A Jesus, o mestre dos mestres, pelos ensinamentos que me ajudaram em todos os momentos da vida.

Ao Professor Doutor, Francisco Adriano, professor, orientador e amigo, pelo constante incentivo, sempre indicando a direção a ser tomada nos momentos de maior dificuldade, interlocutor interessado em participar de minhas inquietações, co-autor em vários trechos. Agradeço, principalmente, pela confiança depositada no meu trabalho, pela disponibilidade revelada ao longo destes anos e pelas críticas e sugestões relevantes feitas durante a orientação.

Ao Professor Doutor, Vital Pedro da Silva Paz, professor, co-orientador cuja orientação, permanente disponibilidade e apoio me permitiram trazer um manancial de informação que em muito contribuiu para a execução desta dissertação.

Ao Professor Doutor, Áureo Silva de Oliveira, professor, pelo apoio e colaboração durante o período do projeto.

À Dr^a. Roberta Alessandra Bruschi Gonçalves Gloaguen e ao Dr. Thomas Gloaguen pelas sugestões, incentivo e correções do texto.

A todos os professores, funcionários e colegas do Mestrado em Ciências Agrárias da UFRB, e todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta dissertação, dando-me força, incentivo e principalmente, nos momentos mais difíceis.

À Universidade Federal do Recôncavo, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

Ao NEAS, pelo suporte através das instalações e equipamentos que muito contribuiu no sucesso deste trabalho.

A direção e todos os colegas da Escola Coopeducar e Colégio Santo Antonio que sempre se disponibilizaram a acertos necessários de horário para que eu pudesse cumprir com todas as minhas obrigações profissionais e acadêmicas.

A todos os meus alunos, que sempre entenderam os momentos em que precisei me ausentar por conta do curso de mestrado.

Aos meus eternos pais, Firmino e Adalice, que, durante toda minha vida, sempre estiveram disponíveis para ajudar quando fosse ou não preciso. Não posso deixar de mencionar, neste momento tão importante da minha vida, que eu os amo muito e que daria minha vida, se assim pudesse, como forma de demonstração desse imenso amor e carinho que sinto. .

À minha esposa, acima de tudo, pelo inestimável apoio familiar que preencheu as diversas falhas que fui tendo por força das circunstâncias, e pela paciência e compreensão revelada ao longo destes meses.

Por último (mas os últimos são sempre os primeiros), a minha filha Brenda, pela compreensão e ternura sempre manifestadas apesar do 'débito' de atenção.

E a todos que não estão aqui citados, mas que contribuíram de alguma forma, meu agradecimento.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	
ABSTRACT	
INTRODUÇÃO	1
Capítulo 1	
QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NA BACIA RIO HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPICURU NO ESTADO DA BAHIA	5
Capítulo 2	
DIGANÓSTICO DO RISCO DE SALINIZAÇÃO DO PROJETO DE IRRIGAÇÃO PONTO NOVO – BAHIA	32

QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NA BACIA DO RIO ITAPICURÚ E RISCO DE SALINIZAÇÃO NO PROJETO DE IRRIGAÇÃO PONTO NOVO - BA

Autor: Márcio Cláudio Mercês Brito.

Orientador: Francisco Adriano de C. Pereira.

RESUMO: O desenvolvimento da agricultura na região da Bacia Hidrográfica do Rio Itapicurú apresenta um grande potencial com a adoção da irrigação. A pressão do setor da agricultura irrigada é mais representativa nas regiões do alto e médio Itapicurú. Nessas áreas, o maior uso do solo ocorre com ocupação agrícola de ciclo curto, com pequenas irrigações e áreas não irrigadas. Assim como outras propriedades químicas e físicas, a salinidade do solo e da água é um atributo bastante variável no espaço e no tempo. Este trabalho teve por objetivo a avaliação dos parâmetros da qualidade da água para irrigação na Bacia Hidrográfica do Alto e Médio Itapicurú, situada na porção Nordeste do Estado da Bahia e o diagnóstico do risco de salinização no Projeto de Irrigação Ponto Novo (10° S, 39° W, 400 m), no semi-árido baiano, nas atuais condições de operação e manejo da irrigação. Para o estudo da qualidade da água para irrigação na bacia, foram coletadas amostras de água em 20 pontos situados no alto e médio Itapicurú. O diagnóstico do risco de salinização foi realizado em 19 lotes irrigados e não irrigados do projeto. Os resultados obtidos permitiram classificar a água de irrigação da bacia como sendo de baixo a médio risco à salinidade e sodicidade. A condutividade elétrica apresentou uma variação bastante acentuada com valores de 0,08 a 9,87 dS.m⁻¹/25°C, a relação de adsorção de sódio variou de 0,27 a 9,28 indicando que as amostras possuem valores normais em água de irrigação. Observou-se que o pH do solo variou de 5,18 a 7,02; em 82,45% das amostras de solo não se constatou problemas devido à presença de sais; que 70,2% das amostras de solo pertencem à classe de baixo perigo de sodificação e que a média de capacidade de armazenamento é baixa, variando de 32 a 36 mm.

Palavras-chave: Qualidade da água, Bacia do Itapicurú, agricultura irrigada e salinidade.

QUALITY OF WATER FOR IRRIGATION IN THE ITAPICURU RIVER BASIN AND RISK FOR SOIL SALINIZATION IN THE PONTO NOVO IRRIGATION DISTRICT, STATE OF BAHIA

Author: Márcio Cláudio Mercês Brito

Advisor: Francisco Adriano de C. Pereira.

Abstract: The development of agriculture in the Itapicuru River Basin presents a great potential with the adoption of irrigation. Irrigated areas are more frequently encountered in the upper and middle parts of the basin, where the main crops irrigated are fruits, vegetables and ornamentals. Like any other physical or chemical property of the soil and water, salinity is an attribute significant variable in space and time. This work aimed at evaluating the quality of irrigation water and diagnosing the risk for soil salinization in the Ponto Novo Irrigation District – PNID at the upper part of the Itapicuru River Basin, in the northeast portion of the State of Bahia. The climate of the region is semiarid and the fieldwork did not alter the current practices of irrigation management in the PNID. For the study of irrigation water quality, water samples were collected in 20 locations randomly selected across the upper and middle parts of the basin. For the evaluation of risk of salinization, soil samples from 10, 30, and 50 cm depth were taken from 19 irrigated and non-irrigated plots of small stakeholders. According to the results, the water was classified as being of low to moderate risk to salinity and sodicity. On the other hand, electrical conductivity values presented a significant variation ranging from 0.08 dS m⁻¹ to 9.87 dS m⁻¹ at 25°C. In general, the highest CE values were found in the parts of the basin where precipitation is lower. The values of SAR varied from 0.27 to 9.28 indicating normal values for irrigation water. Results also showed that 17.55% of plots in the PNID presented problems related to salt concentration; 70.2% of plots were classified as of low risk of sodicity; and that the pH varied from 5.18 to 7.02. The average soil water holding capacity from 0 to 60 cm depth varied from 32 to 36 mm, indicating that the soils are of low storage capacity.

Key word: Water quality, Itapicuru River Basin, irrigated agriculture, salinity.

INTRODUÇÃO

Essencial à vida, a água é uma substância necessária às diversas atividades humanas, além de constituir componente fundamental da paisagem e do meio ambiente. Recurso de valor inestimável, ela apresenta utilidades múltiplas, como a geração de energia elétrica, abastecimento doméstico e industrial, irrigação, navegação, recreação, turismo, aquicultura, piscicultura, pesca e, ainda, assimilação e condução de esgoto (LIMA et al., 1999).

Embora as fontes hídricas sejam abundantes, são mal distribuídas na superfície do planeta. Em algumas áreas, as retiradas são tão elevadas, em comparação com a oferta, que a disponibilidade superficial de água está sendo reduzida e os recursos subterrâneos rapidamente esgotados (FREITAS; SANTOS, 1999) sendo, portanto, de fundamental importância o uso eficiente dos recursos hídricos, principalmente pela agricultura irrigada, seu principal consumidor.

Mundialmente, a agricultura consome cerca de 69% de toda a água derivada de rios, lagos e aquíferos subterrâneos, e os outros 31% são consumidos pelas indústrias e uso doméstico (CHRISTOFIDIS, 1997). Apesar do grande consumo de água, a irrigação representa a maneira mais eficiente de aumento da produção de alimentos. Estima-se que, mundialmente, no ano de 2020 os índices de consumo de água para a produção agrícola sejam mais elevados na América do Sul, África e Austrália (PAZ et al., 2000).

Segundo Costa (1991), embora seja uma técnica que visa o aumento da produtividade das culturas, em especial em regiões áridas e semi-áridas, a irrigação apresenta grande impacto nas disponibilidades hídricas dos mananciais de água, uma vez que grandes demandas são alocadas para os sistemas de irrigação. Especial atenção deve ser dada a essas regiões quanto ao gerenciamento da água para irrigação que, geralmente, consome grande volume de água comparativamente ao consumo urbano e industrial. Além da alta demanda hídrica, segundo Carvalho (1998), a maioria dos projetos envolvendo

recursos hídricos, em todo o mundo, não tem alcançado os níveis desejados de produtividade devida basicamente às dificuldades operacionais encontradas no campo, não levadas em consideração durante o planejamento.

A expansão crescente da área irrigada com grandes culturas nos últimos quinze anos reflete o reconhecimento de muitos produtores sobre a importância da prática da irrigação como uma das alternativas viáveis para a elevação da produtividade, bem como das possibilidades que oferece de garantia, estabilidade e diversificação da produção. A independência do caráter aleatório de chuvas, a possibilidade de colocação dos produtos agrícolas em épocas de melhores preços no mercado e a diminuição significativa das probabilidades de perdas de rendimento por efeito da deficiência hídrica constitui vantagens insofismáveis da agricultura irrigada (SILVA et al., 1998).

Os fatores mais diretamente responsáveis pela salinidade estão associados à natureza química dos solos e as interações com outros fatores, aumentando a perda de permeabilidade, elevação do nível do lençol freático e as variáveis climáticas como pluviosidade, irregularidade de distribuição das chuvas, além das perdas hídricas por evaporação e evapotranspiração.

A salinidade e a sodicidade nos solos afetados por sais representam a maior ameaça para a agricultura em escala global. A primeira afeta principalmente a absorção de água pelas plantas devido à redução do potencial osmótico da solução do solo, enquanto que a segunda afeta a estrutura do solo e, indiretamente, a disponibilidade da água (Bernardo, 2006). A presença de sais no solo pode também provocar problemas de toxicidade para as plantas. O conjunto desses problemas resultará na diminuição da produção agrícola.

Este trabalho teve por objetivo a avaliação dos parâmetros de determinação da qualidade da água para irrigação na Bacia Hidrográfica do Alto e Médio Itapicurú e o estudo do diagnóstico do risco de salinização do solo, no Projeto de irrigação de Ponto Novo, caracterizando os lotes irrigados e não irrigados, quanto à afetação por sais, delimitando as áreas afetadas e/ou que apresentem riscos em potencial de salinização e sodificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E.C.; SOARES, A.A. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: UFV, Impr. Univ., 2006. 625p.

CARVALHO, D.F. de. **Otimização do uso da água no perímetro irrigado do Gorutuba**. 1998. 145f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

COSTA, M.H. **Modelo de otimização dos recursos hídricos para irrigação, conforme a época de plantio**. 1991. 111f.. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.

CHRISTOFIDIS, D. **A água e a crise alimentar**. 1997. Disponível em: <
<http://www.iica.org.br/Aguatab/Demetrios%20Christofidis/P2TB01.htm>>. Acesso em: fev. 2007.

FREITAS, M.A.V.; SANTOS, A.H.M. **Perspectivas de gestão e da informação de recursos hídricos: o estado das águas no Brasil**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica. 1999. CD-ROM.

LIMA, J.E.F.W.; FERREIRA, R.S.A.; CHRISTOFIDIS, D. **Uso da irrigação no Brasil: o estado das águas no Brasil**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica. 1999. 1CD-ROM.

PAZ, V.P.S.; TEODORO, R.E.F.; MENDONÇA, F.C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.465-473, 2000.

SILVA, E.M. da et al. Manejo de irrigação para grandes culturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., SIMPÓSIO DE

MANEJO E IRRIGAÇÃO, 1998. Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p. 239-280.

CAPÍTULO 1

QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPICURÚ NO ESTADO DA BAHIA¹

¹ Artigo Submetido ao Comitê Editorial da Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental

QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPICURÚ NO ESTADO DA BAHIA

RESUMO: A qualidade da água é um aspecto fundamental para o êxito da utilização de sistemas irrigados, no entanto, a avaliação de sua qualidade é muitas vezes negligenciada no momento da elaboração de projetos. Como consequência, a irrigação poderá produzir efeitos indesejáveis na condução de uma cultura comercial ou servir como veículo de contaminação. Sendo assim, este trabalho teve por objetivo a avaliação dos parâmetros de qualidade da água para irrigação na Bacia Hidrográfica do Alto e Médio Itapicurú. Para o estudo da qualidade da água, foram coletadas amostras de água em diversos pontos da bacia, para determinação dos parâmetros físico-químicos: cloreto, sódio, cálcio, magnésio, potássio, pH, RAS, CE. Os resultados permitiram classificar a água da irrigação da bacia na maioria dos pontos amostrados como sendo de baixo a médio risco à salinidade e sodicidade. A condutividade elétrica apresentou uma variação bastante acentuada com valores de 0,08 a 9,87 dS.m⁻¹/25°C; em geral, os maiores valores de condutividade elétrica foram verificados nos locais com menores índices pluviométricos. A relação de adsorção de sódio variou de 0,27 a 9,28 indicando valores normais para água de irrigação. A água na bacia do rio Itapicurú foi identificada, na maioria dos pontos amostrados, como de boa qualidade para uso em irrigação.

Palavras-chave: Recursos hídricos, condutividade elétrica, agricultura irrigada.

QUALITY OF WATER FOR IRRIGATION IN THE ITAPICURU RIVER BASIN, STATE OF BAHIA

Abstract: The quality of water is a basic aspect for the success of irrigated systems, however, not always the quality of water is considered when the project is being elaborated. This can lead the irrigation not to produce the expected results in terms of crop yield or can lead to contamination problems. The objective of this work was to evaluate the quality of water in the Itapicuru River Basin for use in irrigation. Water samples were collected in several points of the upper and middle parts of the basin for analysis in laboratory. The following physics and chemical parameters were considered: concentration of chloride, sodium, calcium, magnesium, potassium, pH, and CE. From salt concentration, the Sodium Adsorption Ratio (SAR) was calculated. According to results, the water at the sample points was classified as being of low to moderate risk to salinity and sodicity. On the other hand, electrical conductivity values presented a significant variation ranging from 0.08 dS m^{-1} to 9.87 dS m^{-1} at 25°C . In general, the highest CE values were found in the parts of the basin where precipitation is lower. The values of SAR varied from 0.27 to 9.28 indicating normal values for irrigation water. It was found that the water in the upper and middle part of the Itapicuru River Basin is of good quality for irrigation.

Key word: Water resources, electric conductivity, irrigated agriculture.

INTRODUÇÃO

A expansão crescente da área irrigada com grandes culturas nos últimos quinze anos reflete o reconhecimento de muitos produtores sobre a importância da prática da irrigação como uma das alternativas viáveis para a elevação da produtividade, bem como das possibilidades que oferece de garantia, estabilidade e diversificação da produção. A independência do caráter aleatório de chuvas, a possibilidade de colocação dos produtos agrícolas em épocas de melhores preços no mercado e a diminuição significativa das probabilidades de perdas de rendimento por efeito da deficiência hídrica constitui vantagens insofismáveis da agricultura irrigada (SILVA et al., 1998).

O setor agrícola é o maior consumidor de água, com cerca de 70% de toda a água usada em muitos países. Sendo esta o elemento essencial ao desenvolvimento agrícola, sem o controle e a administração adequados e confiáveis não será possível uma agricultura sustentável (ABU-ZEID, 1996). Modelos tecnológicos para a agricultura irrigada devem, portanto, estar baseados em estudos de disponibilidade dos recursos hídricos, planejamento, manejo e otimização do uso da água, de forma a manter a qualidade do recurso e preservar o meio natural.

De acordo com Mabbett (1998), a irrigação moderna é um conjunto que integra e requer altos níveis de energia e equipamentos tecnicamente refinados, para obter água de uma fonte superficial ou subterrânea, transportá-la até a parcela e aplicá-la em volume e intensidade adequados ao requerimento das plantas. Os sistemas de irrigação têm sido cada vez mais utilizados para aplicar compostos químicos necessários à nutrição e proteção dos cultivos. Águas residuais de origem agro-industrial e doméstica também têm sido aplicadas por sistemas de irrigação na propriedade agrícola. O uso inadequado de compostos químicos e resíduos líquidos pode causar graves danos a fauna dos cursos d'água e prejudicar o meio-ambiente.

A contaminação das águas acelera a degradação ambiental. Os níveis freáticos em todos os países do mundo têm reduzido e, em alguns casos, até desaparecido. Nos Estados Unidos, o rio Amarillo desaparece 620 km antes de sua desembocadura, devido a uma extração excessiva de água para irrigação, e o rio Colorado não chega ao Golfo da Califórnia desde 1993. Na Espanha tem-se

o caso evidente de explorações em estufa em Almeria, onde esgotados os recursos naturais e a água, a produção hortifrutífera se baseia em adubação química excessiva que contamina a água (HERNÁNDEZ, 1996).

As águas que se destinam à irrigação devem ser avaliadas principalmente sob três aspectos: salinidade, sodicidade e toxicidade de íons, variáveis estas fundamentais na qualidade agrônômica das mesmas (HOLANDA E AMORIM, 1997), mesmos em regiões não áridas ou semi-áridas. A toxidez, que diz respeito ao efeito combinado de certos íons sobre as plantas, afeta o rendimento e em algumas ocasiões pode se manifestar na forma de desequilíbrio nutricional.

Existem vários critérios que determinam se a água pode ou não ser usada para irrigação, segundo a quantidade de sais dissolvida. Ayers e Westcot, (1991), indica o risco de produzir problemas de salinidade segundo os seguintes limites no conteúdo de sais, (Tabela 1).

Tabela 1. Qualidade da água de irrigação quanto ao risco de Salinidade.

SDT¹ (g.L⁻¹)	CEa² (dS.m⁻¹)	Risco
< 0,45	< 0,7	Nenhum
0,45 - 2	0,7 - 3	Ligeiro a moderado
> 2	>3	Alto, severo

¹ Total de sais dissolvidos; ² Condutividade Elétrica da água.

Como pode ser observado, se o conteúdo de sais for maior que 2 g.L⁻¹ ou a condutividade elétrica maior de 3 dS.m⁻¹, os problemas de salinidade podem ser graves a menos que se estabeleça uma série de tratamentos como lavagem de sais, freqüentes, rotações de cultivo ou o uso de culturas que resistam melhor às condições de salinidade.

A condutividade elétrica da água é a sua capacidade de transmitir a corrente elétrica devido à presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions (PORTO et al., 1991), sendo por isso, um parâmetro químico indicativo da quantidade de sais dissolvidos na água. Os sais presentes na água, segundo Ayers e Westcot (1991), originam-se da dissolução ou intemperização das rochas e solos, incluindo a dissolução lenta do calcário, do gesso e de outros minerais. Os lançamentos de esgotos não tratados também podem contribuir com até 550 mg.L⁻¹ de sólidos dissolvidos fixos (VON SPERLING, 1996), dentre os

quais, grande parte, corresponde aos sais dissolvidos. Para a irrigação, o principal problema do excesso de sais na água, é que após a sua deposição no solo, se acumula à medida que a água é evaporada ou consumida pelas culturas (AYERS E WESTCOT, 1991), podendo resultar em salinização do solo.

O aumento da salinidade do solo pode promover redução nos rendimentos das plantas, provocar morte em plantas sensíveis aos sais e inviabilizar áreas para a agricultura (WATER RESEARCH COUNCIL, 1989). Em certas situações, o excesso de sais na água também pode causar a obstrução física em sistemas de irrigação. A precipitação de sais nas tubulações é favorecida, sobretudo em águas de pH elevado (NAKAYAMA e BUCKS, 1986), ou por meio de reações com fertilizantes fosfatados de baixa solubilidade utilizados em fertirrigação (COELHO et al, 2002). A análise da condutividade elétrica também permite verificar a influência direta e indireta das atividades desenvolvidas nas bacias sobre os recursos hídricos (lagos, reservatórios, rios), como lançamentos de efluentes domésticos e industriais e atividades agropastoris, pois segundo Moraes (2001), o resultado da poluição pode ser detectado pelo aumento da condutividade elétrica no curso d'água.

Existem diversos modelos para a classificação da qualidade de água de irrigação baseados em resultados de testes laboratoriais, sendo o mais utilizado o proposto pela UCCC (University of Califórnia Committee Consultants), apresentada por Ayers & Westcot (1991). Este modelo avalia a qualidade da água em função da CE (salinidade) e RAS (Sodificação) dentre outros parâmetros e classifica a água em função das restrições que cada característica discutida possa exercer na condução adequada da agricultura irrigada.

Perigo de salinização

As águas são divididas em quatro classes, segundo sua condutividade elétrica (CE), ou seja, em função de sua concentração total de sais solúveis (Bernardo, 2006).

C1 - Água com salinidade baixa (condutividade elétrica entre 0 e 0,25 dS.m⁻¹ a 25°C)

Pode ser usada para irrigação da maioria das culturas e na maioria dos solos, com pouca probabilidade de ocasionar salinidade. Alguma lixiviação é necessária,

mas isso ocorre nas práticas normais de irrigação, à exceção dos solos com permeabilidade extremidade baixa.

C2 - Água com salinidade média (condutividade elétrica entre 0,250 e 0,75 dS.m⁻¹ a 25°C)

Pode ser usada sempre que houver um grau moderado de lixiviação. Plantas com moderada tolerância aos sais podem ser cultivadas, na maioria dos casos, sem práticas especiais de controle da salinidade.

C3 - Água com salinidade alta (condutividade elétrica entre 0,75 e 2,25 dS.m⁻¹ a 25°C)

Não pode ser usada em solos com deficiência de drenagem. Mesmo nos solos com drenagem adequada, pode-se necessitar de práticas especiais para o controle da salinidade. Pode ser usada somente para irrigação de plantas com boa tolerância aos sais.

C4 - Água com salinidade muito alta (condutividade elétrica entre 2,250 e 5,0 dS.m⁻¹ a 25°C).

Não é apropriada para irrigações, sob condições normais, mas pode ser usada ocasionalmente, em circunstâncias muito especiais. Os solos deverão ser muito permeáveis e com drenagem adequada, devendo ser aplicado excesso de água nas irrigações para ter boa lixiviação. A água somente deve ser usada para culturas que sejam tolerantes aos sais.

Perigo de alcalinização ou sodificação

As águas são divididas em quatro classes, segundo sua razão de adsorção de sódio (RAS), ou seja, em função do efeito do sódio trocável, nas condições físicas do solo (Bernardo, 2006).

S1 - Água com baixa concentração de sódio

Pode ser usada para irrigação, em quase todos os solos, com pequena possibilidade de alcançar níveis perigosos de sódio trocável.

S2 - Água com concentração média de sódio

Só pode ser usada em solos de textura grossa ou em solos orgânicos com boa permeabilidade. Apresenta um perigo de sodificação considerável, em solos de textura fina, com alta capacidade de troca catiônica, especialmente sob baixa condição de lixiviação, a menos que haja gesso no solo.

S3 - Água com alta concentração de sódio

Pode produzir níveis maléficos de sódio trocável, na maioria dos solos, e requer práticas especiais de manejo do solo, boa drenagem, alta lixiviação e adição de matéria orgânica. Nos solos que têm muito gesso, ela pode não desenvolver níveis maléficos de sódio trocável. Pode requerer o uso de corretivos químicos para substituir o sódio trocável, exceto no caso de apresentar salinidade muito alta, quando o uso de corretivos não seria viável.

S4 - Água com muito alta concentração de sódio

É geralmente imprópria para irrigação, exceto quando sua salinidade for baixa ou, em alguns casos, média, e a concentração de cálcio do solo ou o uso de gesso ou outros corretivos tornarem o uso desta água viável.

Riscos de obstruções

Os sólidos em suspensão, as substâncias dissolvidas e os microorganismos contidos na água de irrigação podem provocar obstruções nos emissores da irrigação localizada. A classificação da água para o sistema de irrigação localizada em relação a problemas de entupimento devido a fatores físicos, químicos e biológicos, seguiu recomendações de Nakayama e Bucks (1986) conforme Tabela 2.

Tabela 2. Classificação da água para o sistema de irrigação segundo Bucks e Nakayama (1986).

Elemento	Risco de obstruções		
	Nenhum	Moderado	Grave
Sólidos em suspensão (mg.L ⁻¹)	< 50	50 -100	> 100
Sólidos solúveis (mg.L ⁻¹)	< 500	500 -2000	>2000
Magnésio (mg.L ⁻¹)	< 0.1	0.1 –0.15	> 1.5
Ferro (mg.L ⁻¹)	< 0.1	0.1 – 0.15	> 1.5
Ácido sulfídrico (mg.L ⁻¹)	< 0.5	0.5 - 2	> 2
pH	< 7	7 - 8	> 2

O pH é um índice que caracteriza o grau de acidez ou alcalinidade de um ambiente. No caso das águas de irrigação o pH normal situa-se entre 6,5 e 8,4. As águas com pH fora da faixa normal podem criar desequilíbrios de nutrição ou

conter íons tóxicos. As mudanças provocadas por pH fora da faixa normal da água de irrigação no solo são lentas, e quando isso ocorre ao invés de se corrigir o pH da água, por não ser prático, faz-se a correção do solo. O maior perigo das águas com valores fora da faixa normal de pH está na deteriorização do equipamento de irrigação (AYERS E WESTCOT, 1991).

O problema mais grave e freqüente em instalações de irrigação localizada é a obstrução dos emissores ou pontos de saída de água. As obstruções afetam a uniformidade de distribuição e a eficiência da irrigação, podendo abrigar a substituição do sistema de aplicação de água (LOPEZ et al., 1997). As obstruções de natureza física e biológica podem ser evitadas ou controladas por dispositivos de pré-filtragem e filtragem, ou com tratamentos químicos, no caso de bactérias e algas.

Na irrigação localizada a obstrução química dos emissores é o problema mais difícil de solucionar, devido principalmente aos custos para tratamento da água. Os precipitados mais comuns são hidróxidos e óxidos de ferro, fosfatos cálcicos e magnésio (SÀNCHEZ, 1998). Assim, dependendo da qualidade da água e em função do planejamento e da eficiência da adubação, as instalações hidráulicas de um sistema de irrigação podem ser danificadas ou apresentarem funcionamento precário.

Problemas de Infiltração

Os problemas de infiltração relacionados com a qualidade da água de irrigação devem ser avaliados pelos valores de CE e RAS, e estes são facilmente visualizados, pois quando isso acontece a água aplicada ao solo, seja artificialmente por irrigação ou naturalmente pela chuva, fica sobre o solo por um tempo relativamente longo, ou ainda ocorre uma infiltração muito lenta e conseqüentemente haverá redução na produção devido a cultura não receber a quantidade de água necessária. Além disso, ainda ocorre formação de crostas superficiais e surgimento de problemas de germinação e emergência das plantas. A infiltração, em geral, aumenta com a salinidade e diminui com a redução desta ou com o aumento no teor de sódio em relação ao cálcio e magnésio (RAS). Desta forma, para avaliar o efeito final da qualidade da água, deve-se considerar esses dois fatores (AYERS E WESTCOT, 1991), como apresentados na Tabela 3.

Com base na importância deste conhecimento para irrigação, é que originou-se este trabalho, cujo objetivo é a avaliação dos parâmetros de determinação da qualidade da água para irrigação na Bacia Hidrográfica do Alto e Médio Itapicurú.

Tabela 3. Problemas de infiltração relacionados com a qualidade da água de irrigação, segundo (AYERS E WESTCOT, 1991).

Problema Potencial Infiltração (Avaliada usando a CEa e RAS conjuntamente)	Grau de Restrição para Uso		
	Nenhum	Moderado	Severa
RAS= 0 - 3 e CEa=	>0,7	0,7 – 0,2	<0,2
RAS= 3 –6 e CEa=	>1,2	1,2 – 0,3	<0,3
RAS= 6 –12 e CEa=	>1,9	1,9 – 0,5	<0,5
RAS= 12 –20 e CEa=	>2,9	2,9 – 1,3	<1,3
RAS= 20 –40 e CEa=	>5,0	5,0 – 2,9	<2,9

MATERIAL E MÉTODOS

Características da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Itapicurú localiza-se na região Nordeste do Estado da Bahia entre as coordenadas 10° 00' e 12° 00' de latitude sul e 37° 30' e 40° 45' de longitude oeste (Figura 1). Possui uma forma alongada no sentido oeste-leste, com cerca de 350 km de extensão e 130 km de largura, estreitando-se continuamente para leste a partir do meridiano 38° 30', e até a desembocadura do oceano Atlântico, próximo à cidade do Conde. Ocupando uma área de cerca de 36.440 km², é considerada uma das maiores bacias hidrográficas do estado da Bahia, com rios de domínio inteiramente estadual, englobando 45 municípios e uma população de 1.086.000 habitantes (SRH , 2002).

O Alto da Bacia do Itapicurú limita-se ao Norte pela bacia Vaza-Barris e a Oeste pela bacia do Sub-Médio São Francisco, tendo os rios Curaçá e Poções como principais afluentes do rio São Francisco, com a bacia do rio Salitre, também afluente da margem direita do São Francisco; ao sul, faz limites com a bacia do rio Paraguaçu. A Leste o rio Itapicurú, seu principal corpo hídrico, tem sua desembocadura nas proximidades da cidade de Conde no Oceano Atlântico.

A geologia da bacia hidrográfica do Rio Itapicurú é bastante complexa, englobando tipos litológicos de idades bastante variadas, desde o Arqueano até o Quaternário recente, todos fazendo parte do contexto geológico do Craton do São Francisco (CEI,1986).



Figura 1. Localização geográfica da Bacia do Rio Itapicurú no Estado da Bahia (Fonte: SRH, 2002).

A temperatura média anual na bacia é de 24,0°C. A amplitude de variação das temperaturas é muito pequena: o mês mais frio é julho, com média de 21,3°C, enquanto os meses mais quentes são novembro, dezembro e janeiro, com média de 25,5°C. A umidade relativa do ar, na bacia, apresenta-se com média anual de 70%, ocorrendo pouca variação ao longo do ano: o mês mais seco é outubro, com média de 62% enquanto o mês mais úmido é junho, com média de 78%. A variação espacial da umidade já é mais significativa, verificando-se uma média mensal de 57% no mês de outubro em Senhor do Bonfim, indo até 80% em Monte Santo, no mês de julho (SEI, 1998).

A precipitação anual excede a 750 mm. A região da bacia apresenta três regimes pluviométricos. No baixo Itapicurú a precipitação anual oscila entre 530 e 1.439 mm, com o trimestre mais chuvoso que vai de maio a julho e o mais seco de setembro a novembro. No médio Itapicurú a precipitação anual varia de 411,2 a 718,1 mm com período mais chuvoso nos meses de fevereiro a abril, sendo o período seco entre agosto e outubro. No alto Itapicurú a precipitação anual oscila entre 477,6 e 1.129,3 mm, com trimestre mais chuvoso nos meses de janeiro a março, e mais seco nos meses de agosto a outubro. A distribuição espacial das chuvas na bacia do Itapicurú não diverge, em complexidade, daquela que se verifica na região nordestina tomada em seu conjunto. Como em todo o Nordeste, a região apresenta, às vezes, discrepância quanto a tendência geral de decréscimo das alturas de chuvas na medida em que se adentra pelo continente. O contraste é bem nítido na bacia do Itapicurú, cujas vertentes dos trechos altos tem maiores pluviosidade que aquelas dos trechos médios (CEPLAB, 1976).

A evaporação na bacia é relativamente alta, com média anual de 1.847,8 mm, estando dentro da faixa típica das regiões semi-áridas. A evapotranspiração potencial foi determinada pela metodologia da FAO, obtendo-se uma média mensal de 115,5 mm, com uma amplitude de variação entre 72,6 mm no mês de junho, até 162,9 mm no mês de outubro (SEI – 1998).

Estudo da qualidade da água

Os parâmetros básicos de avaliação da qualidade de água para irrigação, que foram investigados neste trabalho são: Acidez (pH), Condutividade elétrica (CEa), Cálcio (Ca^{++}), Magnésio (Mg^{++}), Sódio (Na^{++}), Potássio (K^+), Ferro (Fe), Cloreto (Cl^-), Sulfato (SO_4^-), Carbonato (CO_3^-), Bicarbonato (HCO_3^-) e Relação de Adsorção de Sódio (RAS). Os procedimentos analíticos destes parâmetros foram realizados no LAFSMA – Laboratório de Análise de Fertilizantes, Solo e Monitoramento Ambiental LTDA em Cruz das Almas - BA.

Coletas de água para avaliação

As coletas de água seguiram as recomendações apresentadas por Holanda e Amorim (1997), conforme descrição a seguir:

a) As amostras de água foram coletadas, em garrafas de polipropileno apropriadas e fechadas hermeticamente (volume aproximado de 1,0 litros). Antes

da coleta as garrafas foram lavadas duas ou três vezes com a mesma água amostrada.

b) No caso de coleta de água de rio, reservatório ou córrego, quando possível, evitou-se a amostragem próxima à margem. Após a lavagem, a garrafa foi introduzida na água com a boca fechada e em seguida aberta e completamente cheia.

c) Concluída a coleta, o ponto de amostragem foi georeferenciado e a amostra identificada com indicações do local, gleba, data, fonte e responsável pela coleta, além de informações adicionais de solo e cultura irrigada.

d) A amostra de água coletada foi transportada para o laboratório no período inferior a 72 horas.

Período e local de amostragem

A amostragem das águas nas propriedades ocorreu no final do período chuvoso do ano de 2005, nos rios de fácil acesso e de maior porte, perenes no verão, onde foi possível avaliar com melhor segurança a variação qualitativa da água. Os pontos de amostragem foram definidos após o reconhecimento das áreas com exploração agrícola irrigada.

Na Figura 2, encontram-se apresentados a distribuição espacial dos pontos de coleta de água na bacia.

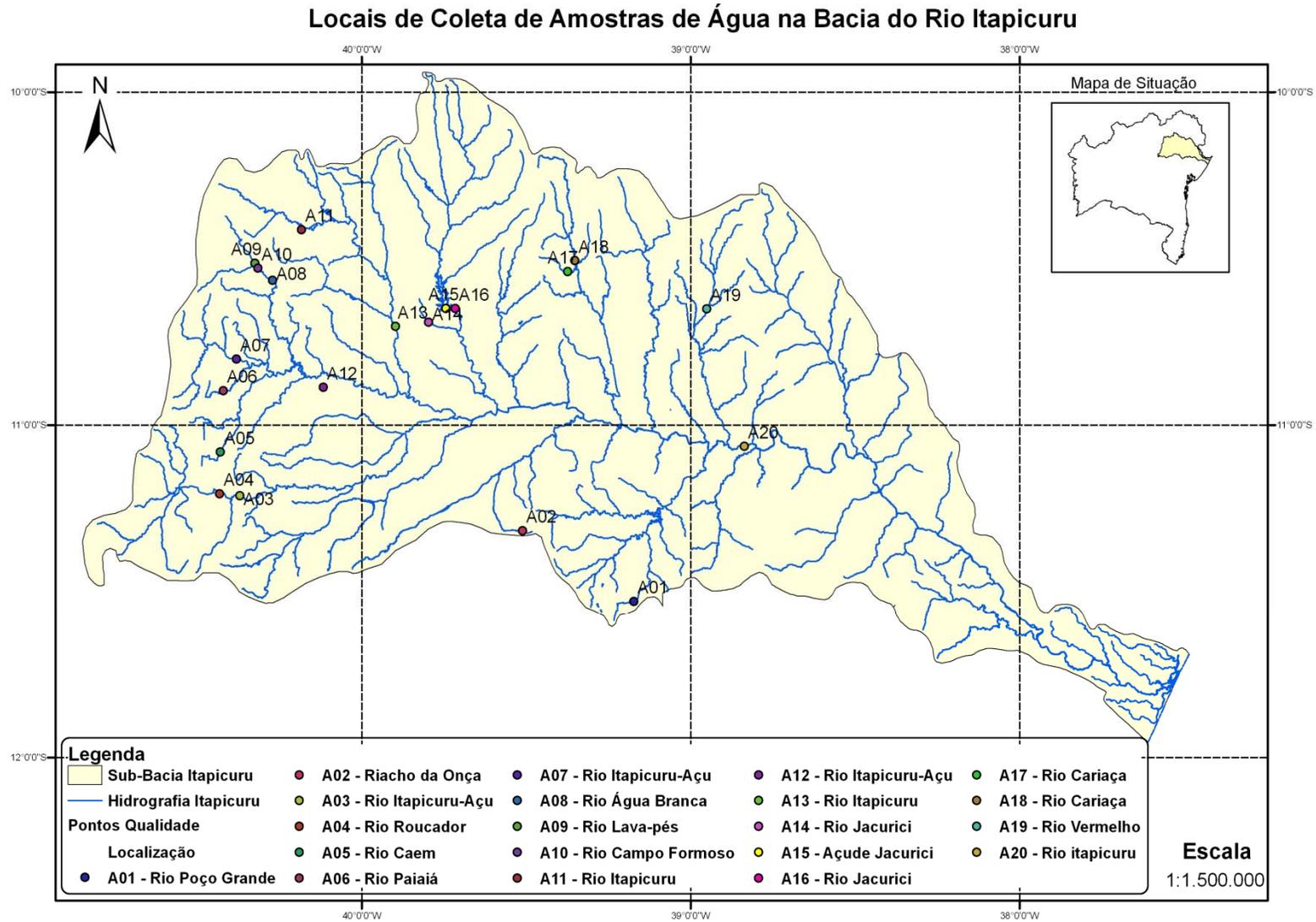


Figura 2. Locais de coleta de amostras de água na Bacia do Rio Itapicuru.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Qualidade da água para irrigação

1.1 pH

Os resultados do pH nas 20 amostras de água analisadas são apresentados na Figura 3. Estes valores foram definidos como normais, encontrando-se dentro da faixa de 6,5 a 8,4, de acordo com Ayers e Westcot (1991). Verificou-se que 95% das amostras apresentam pH normal, enquanto somente 5% (A14) tiveram um pH levemente mais elevado. Segundo Ayers e Westcot, 1991, o maior perigo das águas com valores anormais de pH está na deteriorização do equipamento de irrigação, o qual deve ser cuidadosamente selecionado para utilizar estas águas.

Oliveira et al. (1988), estudando a qualidade físico-química da água para irrigação em diferentes aquíferos do Rio Grande do Norte, concluiu que nos aquíferos da região da Chapada do Apodi a água de poços tubulares rasos (influenciados pelo calcário) e profundos (confinados no arenito) apresentam maiores problemas, devido aos maiores valores de pH e à concentração de íons carbonatos. Por outro lado, em razão dos elevados valores de pH (moda superior a 7,0, chegando a se registrar valores superiores a 8,0) podem ocorrer problemas para os equipamentos usados na irrigação (corrosão) ou precipitação de adubo na tubulação, adsorção de nitratos (principalmente quando a água possui elevados teores de CO_3^{2-}), quando usadas na fertirrigação podendo o problema se agravar com a obstrução de emissores quando o pH da água é muito elevado.

1.2 Bicarbonato

A Figura 4 apresenta os valores de bicarbonatos. Estes valores também foram comparados com a classificação de Ayers e Westcot (1991), que definem a restrição de uso a partir de $91,5 \text{ mg.L}^{-1}$ de HCO_3^- . Desta forma verifica-se que 100% das amostras estão abaixo do valor crítico.

Segundo Ayers e Westcot, 1991, essas águas com baixos teores de bicarbonatos, caso a evaporação seja elevada e a umidade relativa menor que 30% devem ser evitadas, principalmente se for usado o sistema de irrigação

por aspersão. Isto se deve aos constantes problemas de incrustações que o bicarbonato provoca sobre folhas, frutos e flores, dificultando a comercialização dos produtos, em virtude da má aparência. Provavelmente, esses problemas possam ser solucionados se forem feitas irrigações noturnas, redução da frequência de irrigação e aumento da velocidade de rotação do aspersor. Pois esta velocidade influi na precipitação lançada sobre o terreno em cada instante, ou seja, quanto maior a velocidade, menor será a precipitação instantânea sobre determinado ponto do círculo molhado e conseqüentemente menores serão os riscos de encharcamento e compactação do terreno.

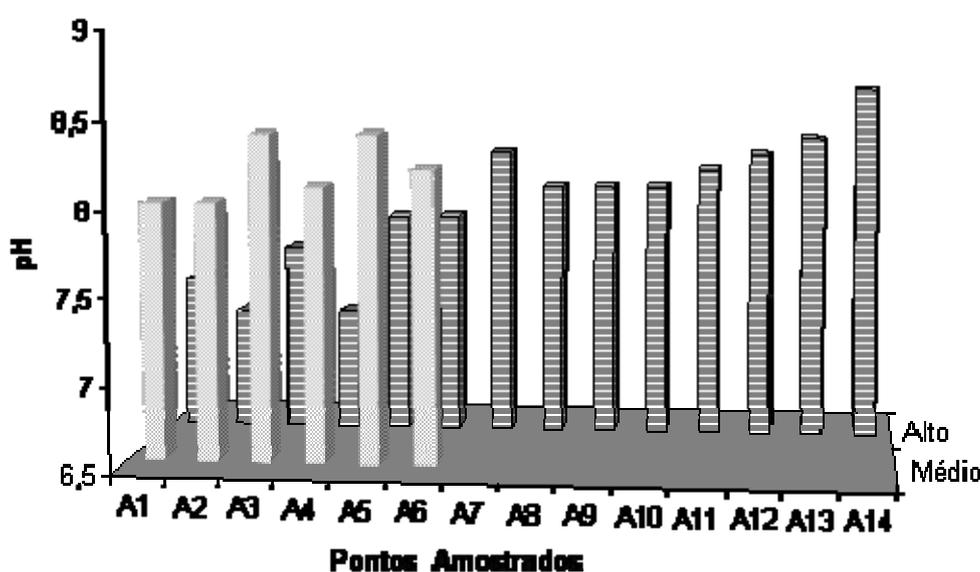


Figura 3. Valores obtidos de pH da água de irrigação amostrada.

Brito et al. (2005), estudando a Influência das atividades antrópicas na qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Salitre, observou que águas bicarbonatadas usadas para irrigação, principalmente em regiões áridas e semi-áridas, devido às elevadas taxas evapotranspirométricas, favorecem na redução da água no solo e aumentam a concentração salina da solução do solo, de maneira que os íons de Ca^{++} e Mg^{++} alcançam os limites de solubilidade e precipitam, aumentando a RAS.

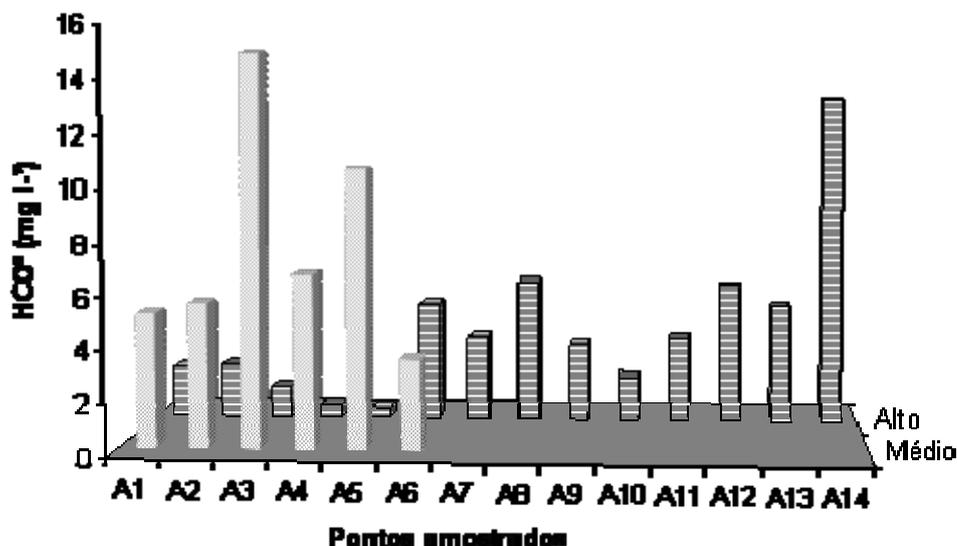


Figura 4. Valores obtidos de bicarbonato da água de irrigação amostrada.

1.3 Salinidade

Utilizando os valores de Condutividade elétrica, as águas em estudo foram classificadas quanto ao perigo de salinidade (Figura 5), de acordo com a classificação proposta por RICHARDS (1954). Verifica-se que quanto ao grau de restrição ao uso, 45% das águas não possuem restrição, 45% possuem restrição moderada e 10% possuem severa restrição ao uso. Sendo assim, essas águas que apresentam restrições moderada e severa (55%) levam para o solo grande quantidade de sais via irrigação, os quais se acumulam na zona radicular das plantas e os seus teores aumentam a cada irrigação; após uma irrigação o teor de sais próximo à superfície do solo é aproximadamente igual ao da água de irrigação e vai aumentando com a profundidade, pois os sais se concentram ali para serem levados para camadas mais profundas com as próximas irrigações e posteriormente lixiviados a maiores profundidades. Devido a isso é que existe a necessidade de se aplicar uma quantidade de água maior que a consumida pelas plantas, principalmente no período vegetativo, para que esse excesso de água possa carrear os sais a profundidades fora do alcance do sistema radicular, não afetando assim as culturas.

Junior et al. (1999), em estudo sobre o uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no Semi-Árido Piauiense realizado no município de

Picos, encontraram valores de $2,5 \text{ dS.m}^{-1}$ a 25°C , evidenciando que essas águas têm restrição para as atividades agrícolas, em virtude do risco de salinização dos solos.

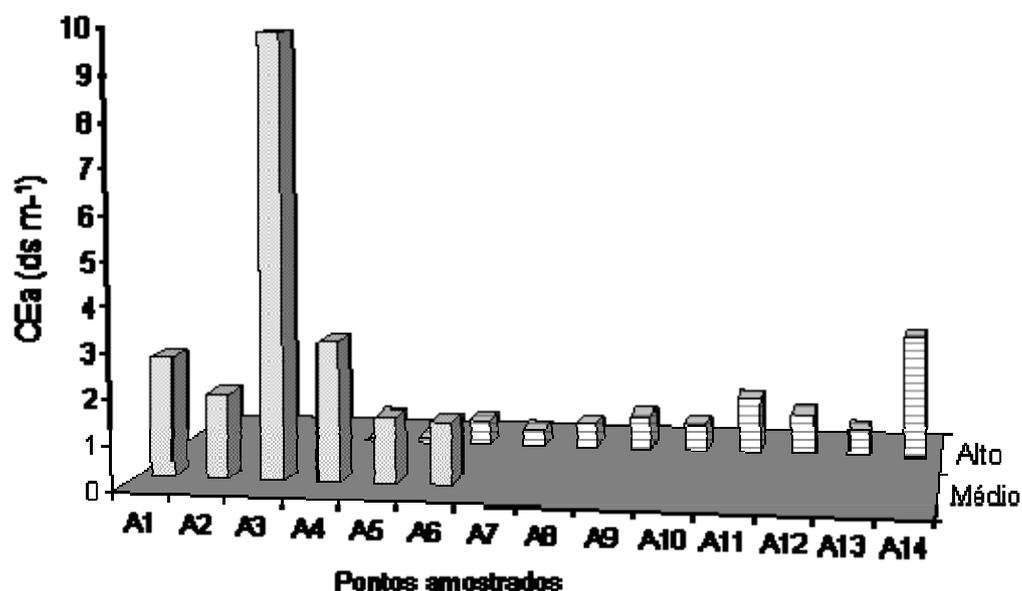


Figura 5. Valores de Condutividade elétrica da água de irrigação amostrada.

1.4 Sodicidade

Utilizando os valores da Relação de adsorção de sódio (RAS), as águas em estudo foram classificadas quanto ao perigo de sodicidade (Figura 6), de acordo com a classificação proposta por (AYERS e WESTCOT, 1991). Verifica-se 100% das amostras possuem valores normais em água de irrigação.

Paula et al. (2005) estudando a Qualidade de água usada na agricultura urbana na cidade do Recife, concluiu que os resultados médios dos valores da CEa e a RAS não apresentaram, durante o período observado, restrição severa ao uso na irrigação, porém os valores máximos da CEa e da RAS apontam para essas águas como restrição ligeira e moderada ao uso na irrigação exigindo, deste modo, cuidado gradual na seleção das culturas e das alternativas de manejo, de modo a se alcançar o potencial máximo de rendimento das culturas.

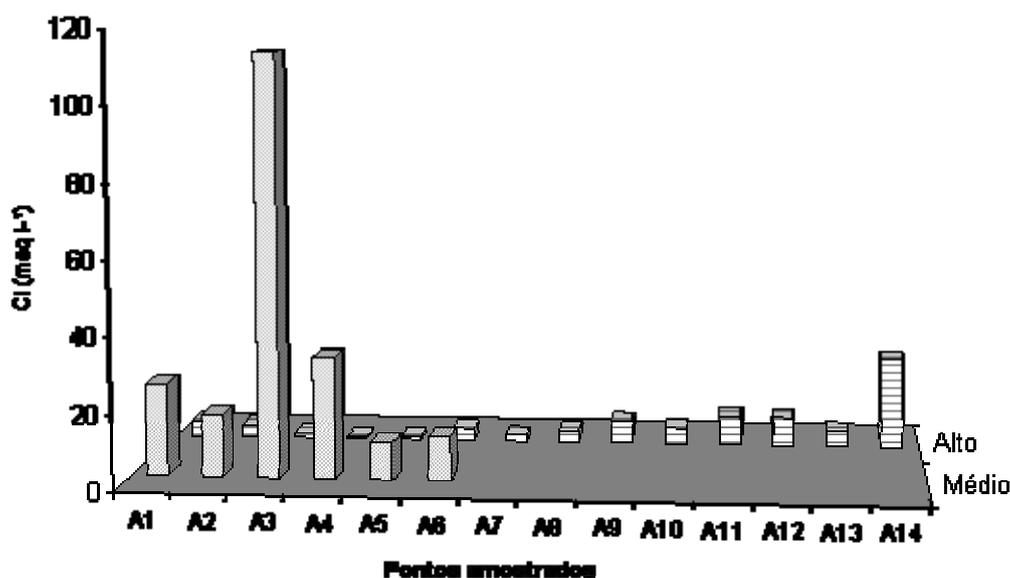


Figura 6. Valores da Relação de adsorção de sódio da água de irrigação amostrada.

1.5 Sódio

Com base na Figura 7, verificou-se que 30% das águas estudadas apresentam concentrações de sódio com grau de restrição ligeira a moderada, independente do método de irrigação utilizado, 10% possuem restrição severa e 60% não possuem restrição. Os problemas de toxicidade frequentemente acompanham ou complicam os de salinidade ou de infiltração e podem aparecer, mesmo, quando a salinidade for baixa. As concentrações de sódio nas folhas alcançam níveis tóxicos depois de vários dias ou semanas. Os sintomas aparecem primeiro nas folhas mais velhas e em suas bordas e, à medida que se intensifica, a necrose espalha-se progressivamente na área internervural da planta até o centro das folhas. Quando a proporção Ca/Mg na água da irrigação é menor que a unidade (5% no total de análises cadastradas), os efeitos potenciais do sódio são ligeiramente maiores, em virtude da concentração de sódio ser determinada através das RAS. Isto quer dizer que determinado valor de RAS é ligeiramente mais perigoso quando a proporção Ca/Mg é menor que a unidade e que quanto mais baixa for essa proporção, maior será o perigo dessa RAS. Pesquisas mostram que com determinado valor da RAS da água de irrigação, obtêm-se valores de PST no

solo além do normal, quando a proporção Ca/Mg da água aplicada é menor que a unidade (RAHMAN e ROWELL,1979).

Morais et al. (1998), estudando a 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, Mossoró-RN, concluiu que os problemas de toxicidade pelo sódio podem ocorrer com uso continuado de cerca de 25% das águas através de irrigações superficiais, sendo que esse valor aumenta para cerca de 60% quando a irrigação é feita por aspersão.

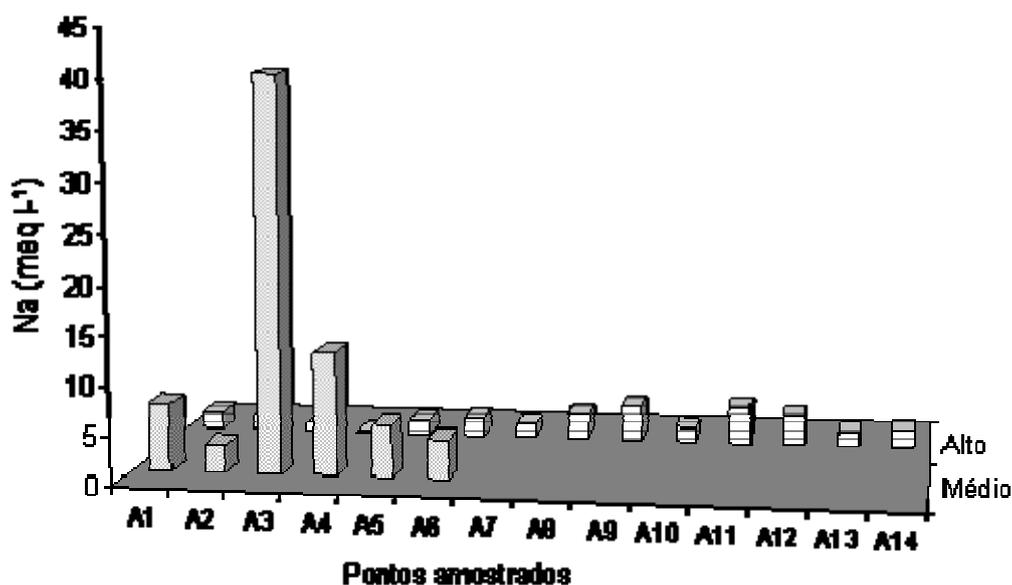


Figura 7. Valores do íon sódio da água de irrigação amostrada.

1.6 Cloreto

Analisando-se a Figura 8, observou-se em relação à toxicidade pelo íon cloreto que, 30% do total das amostras apresentaram restrição ligeira à moderada independente do tipo de irrigação utilizada, 35% apresentou severa restrição e 35% não possuíam restrição. Segundo Ayers e Westcot, 1991, a toxicidade mais freqüente é a provocada pelo cloreto contido na água através de irrigação. O cloreto não é retido ou adsorvido pelas partículas do solo, através do qual se desloca facilmente com a água deste, porém é absorvido pelas raízes e translocado às folhas, onde se acumula pela transpiração. Se sua concentração excede a tolerância da planta, produzem-se danos com seus sintomas característicos, como necroses e queimaduras nas folhas.

Oliveira et al. (2005), estudando o Diagnóstico de qualidade das águas da micro bacia do riacho Angico, para fins de irrigação concluiu que, das nove fontes estudadas não são adequadas para utilização pelos métodos de irrigação por aspersão e superficial, considerando-se as avaliações dos parâmetros cloreto e sódio, que detectaram baixa, moderada e severa restrições de uso.

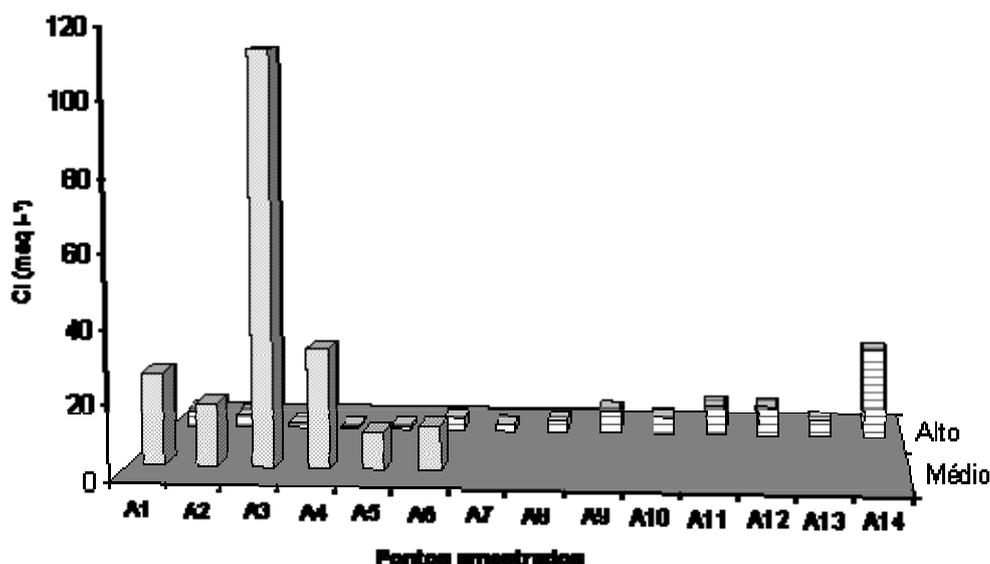


Figura 8. Valores do íon cloreto da água de irrigação amostrada.

7. Infiltração

Das águas estudadas, 50% não apresentaram problemas de infiltração no solo, 40% apresentaram redução da infiltração de ligeira a moderada e 10% apresentam redução severa. Assim, 50% dessas águas podem provocar problemas de infiltração, e estes são facilmente visualizados. Quando a água é aplicada ao solo, seja artificialmente por irrigação ou naturalmente pela chuva, ela fica sobre o solo por um tempo relativamente longo, ou ainda ocorre uma infiltração muito lenta e conseqüentemente haverá redução na produção devido à cultura não receber a quantidade de água necessária. Além desses fatores, ainda ocorre formação de crostas superficiais e surgimento de problemas de germinação e emergência das plantas. Podem-se relacionar problemas de permeabilidade de água no solo no que se refere aos baixos teores de cálcio e magnésio, ou sódio alto, em virtude do sódio causar dispersão das argilas. A água corrosiva (de salinidade inferior a $0,5 \text{ dS.m}^{-1}$ e particularmente abaixo de

0,2 dS.m⁻¹) tende a lixiviar os sais e minerais solúveis, incluindo os de cálcio, reduzindo sua influência sobre a estabilidade dos agregados e estrutura do solo. Independentemente do valor da RAS, as águas de salinidade muito baixa (condutividade abaixo de 0,2 dS.m⁻¹), invariavelmente, causam problemas de infiltração; no presente estudo, encontrou-se 2 amostras (8,7%) indicadoras de águas que podem provocar tal problema.

Marciano et al. (2000) estudando a infiltração da água em Luvisso solo salinizado no Perímetro Irrigado Califórnia, concluiu que o processo de salinização provocou redução na capacidade de infiltração, acarretando problemas de absorção de água pelo solo e conseqüente escoamento superficial. Fato, também, constatado por Netto et al. (2001) no Perímetro Irrigado Jabiberi, para Neossolo Flúvico salinizado.

CONCLUSÕES

1. A maioria das águas avaliadas apresentou pH dentro da faixa considerada normal;
2. Observou-se restrição severa a toxidez pelo íon sódio em 10% das águas avaliadas;
3. A concentração do íon cloreto é elevada na maioria das águas estudadas, tornando-se restrição severa em 35 % das amostras;
4. Não se verificou nenhum tipo de restrição das águas estudadas quanto à presença de bicarbonato;
5. A água na bacia do rio Itapicurú foi identificada na maioria dos pontos amostrados como de boa qualidade para uso em irrigação, desde que sejam observados os cuidados com relação à lixiviação dos sais e a presença do íon cloreto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABU-ZEID, M.A. Water and sustainable developmentIn: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS, n.8 , 1996, México. **Anais...** Disponível em: <http://unesco.org.uy/phi/libros/uso_eficiente/mahmoud.html> Acesso em: 10 fev. 2007.

AMORIM, J.R.A. ; HOLANDA, J.S. Qualidade da água para irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26.,; SIMPÓSIO MANEJO E CONTROLE DA SALINIDADE NA AGRICULTURA IRRIGADA., 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1997. p.137-169.

AYERS, R.S. ; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura.** Trad. GHEYI, H.R; MEDEIROS, J.F.; DAMASCENO, F.A. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29 revisado 1).

BAHIA. .Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Habitação. Superintendência de Recursos Hídricos. Recursos Hídricos. **Legislação básica do estado da Bahia.** Salvador, 2002. 32p.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E.C.; SOARES, A.A. **Manual de irrigação.** 8.ed. Viçosa: UFV, Impr. Univ., 2006. 625p.

BRITO, L. T. de L. et al. Influência das atividades antrópicas na qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Salitre. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.9, n.4 , p.596-602, 2005.(Suplemento).

CENTRO DE ESTATÍSTICA E INFORMAÇÕES (BA). **Avaliação dos recursos hídricos das bacias hidrográficas do estado da Bahia:** bacia do Rio Itapicuru. Salvador, 1986. v. 2.

CENTRO DE PLANEJAMENTO DA BAHIA. **Atlas climatológico do estado da Bahia**: análise espacial da pluviosidade. Salvador, 1976. 181p.

il.(Documento,2).

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, A. S.; BORGES, A. L. Aspectos básicos da fertirrigação. In: BORGES, A. L.; COELHO, E. F.; TRINDADE, A. V. **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. cap. 1, p. 9-14.

CRUCIANI, D. E. **A drenagem na agricultura**. São Paulo: Nobel. 1989. 337p.

HERNÁEZ, S. **Comerse el mundo**. 1996. Disponível em:<www.hachette.es/quo/96dic/natura/mundo.htm>. Acesso em : 07 fev. 2007.

JÚNIOR, A. S. de A. et al. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no semi-árido Piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.4, p.873-880, 2006. (Suplemento).

LIMA, E. R. V. et al. Sistema de informações geográficas e técnicas de sensoriamento remoto na elaboração de mapa de risco de erosão no sertão da Paraíba. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, n. 12, p.257-63, 1992.

LOPEZ, J.R. et al. **Riego localizado**. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa, 1997. 405p.

MABBETT, T. **Médio ambiente**: el agua en la agricultrura. 1998. Disponível em: < www.tucuman.com/produccion/1998/98ago_12.htm> Acesso em: 05 mar. 2007.

MARCIANO, C. R. et al. Infiltração da água em luvisolo salinizado. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 13, 2000, Ilhéus.

Anais... Ilhéus: Comissão Executiva do Plano de Lavoura Cacaueira, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2000. Meio Virtual: 1 Cdrom.

MORAES, A. J. **Manual para a avaliação da qualidade da água.** São Carlos: RiMa,2001. 44p.

MORAIS, E. R. C. de; 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. **Revista Caatinga**, Mossoró – Rn, V. 11, n. 1, p. 75-83,1998.

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production.** St. Joseph: ASAE, 1986. 383p.

NETTO, A. de O. A, MACHADO, R.; BARRETO, M. C. DE V. Diagnóstico do processo de salino-sodificação no perímetro irrigado Jabiberi-SE. **Irriga**, Botucatu-SP,v.11,n.4, p. 456, outubro-dezembro,2006.

OLIVEIRA, M de; MAIA, C. E; Qualidade físico-químico 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-PB, v.2, p.17-21, 1988. (Suplemento).

OLIVEIRA, F. M. de. et al. Diagnóstico de qualidade das águas da microbacia do riacho Angico, para fins de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.9, , p.221-225, 2005.(Suplemento).

PAULA, V de; KATO, M. T; FLORÊNCIO, L. Qualidade de água usada na agricultura urbana na cidade do Recife. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.9, p.123-127, 2005. (Suplemento).

PESSOA, M. D. **Inventário hidrogeológico básico do Nordeste**: folha N° 18 – São Francisco– NE. Recife: SUDENE, 1979.

PORTO, M. F. A.; BRANCO, S. M.; LUCA, S. J. de. Caracterização da qualidade de água. In: BRANCO, S. M. **Hidrologia ambiental**. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo / ABRH, 1991. cap. 2, p. 27-66.

RAHMAN, W. A. ; ROWELL, D. L. The influence of magnesium in saline and sodic soils: a specific effector a problem of cation exchange? **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 30, p. 535-546, 1979.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954.. (USDA: Agriculture Handbook,60).

SÀNCHEZ, C.L.S. **Uso y manejo agrícola del agua de riego**. 1998. Tenerife.: [s.l], 1998. 113p.

SILVA, E.M. da. et al. Manejo de irrigação para grandes culturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27; SIMPÓSIO MANEJO DE IRRIGAÇÃO, 1998. Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.15-26.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. **Análise dos atributos climáticos do Estado da Bahia**. Salvador, 1998. 85p.(Série estudos e pesquisas, 38).

VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, 1996. 246p.

VITTI, G.C. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta**. Jaboticabal: FENEP, 1988. 37p.

RAHMAN, W. A. ; ROWELL, D. L. The influence of magnesium in saline and sodic soils: a specific effector a problem of cation exchange? **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 30, p. 535-546, 1979..

WATER RESEARCH COUNCIL. **Irrigation-induced water quality problems:** what can be learned from the San Joaquin Valley experience. Washington: National Research Council, 1989. 157p.

CAPÍTULO 2

DIAGNÓSTICO DO RISCO DE SALINIZAÇÃO NO PROJETO DE IRRIGAÇÃO DE PONTO NOVO, BAHIA¹

DIAGNÓSTICO DO RISCO DE SALINIZAÇÃO NO PROJETO DE IRRIGAÇÃO DE PONTO NOVO, BAHIA.

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo diagnosticar o risco de salinização no Projeto de Irrigação Ponto Novo (10° S, 39° W, 400 m), no semi-árido baiano, nas atuais condições de operação e manejo da irrigação. O diagnóstico foi realizado em 19 lotes irrigados e não irrigados. Foram coletadas amostras indeformadas para determinação da capacidade de armazenamento da água no solo e deformadas para as determinações químicas. As profundidades de coleta do solo foram de 0-20,20-40 e 40-60 cm, seguindo o esquema de amostragem aleatória estratificada. Foram avaliados os seguintes indicadores e elementos químicos do solo: condutividade elétrica (CEes) no extrato de saturação do solo. pH, cálcio e magnésio ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$), fósforo (P), potássio (K^+), sódio (Na^+), hidrogênio (H^+) e alumínio (Al^{+++}). Com bases nos resultados encontrados observou-se que o pH do solo variou de 5,18 a 7,02; 17,55% dos solos apresentaram problemas devido à presença de sais; 70,2% dos solos pertencem à classe de baixo perigo de sodificação; a capacidade média de armazenamento variou de 32 a 36 mm, considerada baixa.

Palavras-chave: agricultura irrigada, salinidade e capacidade de armazenamento.

DIAGNOSING RISK FOR SOIL SALINIZATION IN THE PONTO NOVO IRRIGATION DISTRICT, STATE OF BAHIA

Abstract: This work aimed at evaluating the risk for salinization of soil in the Ponto Novo Irrigation District - PNID (10° S, 39° W, 400 m) under the current irrigation practices. The experimental area is located in the upper part of the Itapicuru River Basin where the climate is semiarid. Soil samples at 10, 30, and 50 cm depth were sampled from 19 (nineteen) irrigated and non-irrigated plots randomly chosen. Undisturbed soil samples were collected for soil water holding determination. Soil chemical parameters were determined in laboratory from disturbed soil samples, as follows: soil paste extract electrical conductivity (CE_{es}), pH, and concentration of ions of calcium (Ca^{++}), magnesium (Mg^{++}), phosphorus (P), potassium (K^{+}), sodium (Na^{+}), hydrogen (H^{+}) and aluminum (Al^{+3}). Results showed that 17.55% of plots in the PNID presented problems related to salt concentration; 70.2% of plots were classified as of low risk of sodicity; and that the pH varied from 5.18 to 7.02. The average soil water holding capacity from 0 to 60 cm depth varied from 32 to 36 mm, indicating that the soils are of low storage capacity.

Key-word: irrigated agriculture, salinity, water holding capacity

INTRODUÇÃO

No Brasil, os principais problemas de salinização estão surgindo nos projetos de irrigação, notadamente nos projetos públicos situados no “Polígono das Secas”. As principais causas disso relacionam-se à falta de drenagem associada à baixa eficiência da irrigação por superfície, conduzida na maioria dos projetos, e não à qualidade da água usada. BERNARDO (2006).

Grande parte da economia do Nordeste do Brasil é baseada na produção de alimentos. O regime irregular de chuvas e a elevada evaporação que caracteriza cerca de 70% da região, conhecida como semi-árido, impõem a necessidade de irrigação para o desenvolvimento da agricultura. Se apoiada em sistema produtivo de baixo custo, a agricultura irrigada em pequena escala é capaz de reduzir impactos ambientais - quando comparada com agricultura de grande porte, bem como permitir ações participativas das comunidades rurais (DIAGNÓSTICO..., 2007).

O diagnóstico dos níveis atuais de salinidade e a projeção de valores futuros em um sistema potencialmente em risco de salinização são de fundamental importância para prevenção e o controle do problema de acúmulo de sais. O uso de técnicas de manejo para o controle da salinização possibilita primordialmente o aumento da produtividade agrícola, sem, contudo promover a degradação dos recursos naturais. Em regiões como o Nordeste do Brasil, esse aumento de produtividade implica no incremento da oferta de alimentos e conseqüente melhora do nível de renda e grau de nutrição das famílias dos pequenos e médios produtores rurais, desestimulando a migração rural-urbana e garantindo a sustentabilidade do sistema em longo prazo (DIAGNÓSTICO..., 2007).

Segundo Robinson (1953), alguns constituintes presentes no solo podem provocar a sua infertilidade. Eles se agrupam em três categorias: ácidos existentes no solo; compostos metálicos venenosos; e sais solúveis (incluindo os álcalis). Dentre os fatores que controlam a ocorrência, a extensão e o nível de salinidade do solo incluem-se: os de longa duração (materiais formadores do solo, topografia, drenagem do solo, hidrologia das águas subterrâneas e clima regional) e os de curta duração (precipitação, evaporação, uso da terra e práticas de cultivo).

A salinidade e a sodicidade nos solos afetados por sais representa a maior ameaça para a agricultura em escala global. A primeira afeta principalmente a absorção de água pelas plantas, devido à redução do potencial osmótico da solução do solo, enquanto que a segunda afeta a estrutura do solo e, indiretamente, a disponibilidade da água (Bernardo, 2006). A presença de sais no solo pode também provocar problemas de toxicidade para as plantas. O conjunto desses problemas resultará na diminuição da produção agrícola.

A salinização do solo afeta a germinação e a densidade das culturas, bem como seu desenvolvimento vegetativo, reduzindo sua produtividade e, nos casos mais sérios, levando à morte generalizada das plantas. O processo de salinização (concentração de sais na solução do solo) ocorre, de maneira geral, em solos situados em região de baixa precipitação pluviométrica e que possuam lençol freático próximo da superfície (SALINIZAÇÃO DO SOLO, 2007).

Devido a fatores climáticos, aos métodos de irrigação utilizados, e a condições edáficas, os sais dissolvidos contidos na água de irrigação e do aquífero podem-se acumular no perfil do solo. Tal acumulação pode comprometer a qualidade do solo e, em consequência (através do ciclo da água no sistema), contribuir para a degradação da água subterrânea. Ainda, a produtividade das culturas pode ser comprometida pelos níveis de salinidade da água e do solo. Inúmeros sistemas inicialmente produtivos são abandonados em médio prazo em razão de crescentes problemas de salinização acarretando a diminuição da produtividade agrícola. (DIAGNÓSTICO..., 2007).

As principais causas da salinização nas áreas irrigadas são os sais provenientes de água de irrigação e/ou do lençol freático, quando esse se eleva até próximo à superfície do solo. Pode-se afirmar via de regra, que a salinização é subproduto da irrigação: uma lâmina de 100 mm de água, com concentração de sais de $0,5 \text{ g.l}^{-1}$, aplicada a uma área de 1,0 ha, deposita, naquela área, 500 kg de sal. Quanto maior for a eficiência do sistema de irrigação, menor será a lâmina de água aplicada e, como consequência, menor será a quantidade de sal conduzida para a área irrigada, bem como o volume de água percolado e drenado. O requerimento básico para o controle da

salinidade, nas áreas irrigadas, é a existência da percolação e da drenagem natural ou artificial, garantindo o fluxo da água e do sal para abaixo da zona radicular das culturas. Nessa situação, não haverá salinização do solo. No local onde o dreno descarregar, entretanto, haverá aumento na concentração de sais (SALINIZAÇÃO DO SOLO, 2007).

Assim como outras propriedades químicas e físicas, a salinidade do solo e da água é um atributo bastante variável no espaço e no tempo. O termo salinidade se refere à presença no solo de sais solúveis; quando a concentração de sais se eleva ao ponto de prejudicar o rendimento econômico das culturas, diz-se que tal solo está salinizado.

De acordo com Rhoades e Loveday (1990) e Hoorn e Alphen (1994), para se manter a solução do solo num nível de salinidade compatível com o sistema de cultivo, a remoção de sais na zona radicular depende da manutenção do balanço de sais. Esta lixiviação é o fator mais importante para reduzir a intensidade da salinização de uma área irrigada.

Os solos salinos apresentam CES superior a $4,0 \text{ dS.m}^{-1}$ e sua recuperação pode ser feita através da lixiviação dos sais. Por outro lado, os solos sódicos apresentam PST superior a 15% e sua melhoria poderá ocorrer com a aplicação de condicionadores (BERNARDO, 2006) ou através da subsolagem (HOLANDA, 2000).

Medeiros (1992), cita que em Israel o uso de água com condutividade elétrica variando entre $0,70$ e $4,00 \text{ dS.m}^{-1}$, tem aumentado a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, de $0,20$ a $2,50 \text{ dS.m}^{-1}$, após um período de irrigação. Para Rhoades et al. (1992), o nível de sais na zona radicular deve ficar abaixo do nível nocivo às plantas cultivadas. Assim, o monitoramento direto da salinidade na zona radicular é recomendado para se avaliar a eficiência dos diversos programas de manejo na área irrigada.

O Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos da América adota quatro categorias para a classificação dos solos afetados por sais: solos normais; solos salinos; solos salino-alcalino ou alcalino-sódico; e solo alcalino ou sódico. Os parâmetros adotados para essa classificação foram os mesmos propostos por Richards (1974).

O presente trabalho teve como objetivo estudar a distribuição espacial da salinidade do solo, caracterizando-os nas áreas irrigadas e não irrigadas,

afetadas por sais, no Projeto de irrigação de Ponto Novo, delimitando as áreas afetadas e/ou que apresentem riscos em potencial de salinização e sodificação.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado no Perímetro de Irrigação de Ponto Novo (PIPN), localizado no semi-árido baiano (10° 51' S, 40° 03' W, 400 m), inserido na Bacia do Rio Itapicurú entre as cidades de Ponto Novo e Senhor do Bonfim e distante 350 km a noroeste de Salvador.

A área do PIPN compreende de um total de 3.444, 2.536 ha irrigáveis, sendo composto de 146 lotes para pequenos produtores (área média de 5,0 ha), 62 lotes para médios produtores (área média de 30,0 ha) e 1 lote, de 110 ha, para produção de feno de alta qualidade, integrante do Programa Cabra Forte do Governo da Bahia. Possui clima semi-árido e seco a subúmido, com uma temperatura média anual de 23,9°C. O período chuvoso é de dezembro a fevereiro, com uma pluviosidade média anual de 685 mm.

Relações entre tensão e conteúdo de água do solo do PIPN.

Para determinação das curvas de retenção de água no solo, foram coletadas amostras de solo no ponto médio das seguintes camadas do perfil: 0 – 0,20 m; 0,20 – 0,40 m; 0,40 – 0,60 m. Coletaram-se dez amostras por camada sendo oito para elaboração da curva de retenção e duas para determinação da densidade do solo. A determinação das relações entre tensão e conteúdo de água do solo foi efetuada no laboratório de Física do Solo da Embrapa Mandioca e Fruticultura. O ajuste das curvas de retenção da água no solo se deu com base na equação de van Genuchten (1980).

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha|\phi_m|^n)\right]^m} \quad (1)$$

em que:

θ_r - umidade volumétrica residual (cm³ cm⁻³)

θ_s - umidade volumétrica saturada (cm³ cm⁻³)

$|\phi_m|$ - potencial matricial (kPa)

α , m , n – parâmetros empíricos da equação

Considerou-se capacidade de campo (CC), a umidade do solo obtida com a aplicação da tensão de 10 kPa e, como ponto de murcha permanente (PMP) a obtida com a tensão de 1500 kPa. A água disponível foi determinada pela diferença entre CC e PMP.

Qualidade da água de irrigação do PIPN

A água utilizada no PIPN é proveniente da barragem de Ponto Novo. O estudo da qualidade da água envolveu a coleta e a avaliação dos parâmetros de determinação da qualidade da água para irrigação. A análise dos dados deu-se a partir do diagrama para classificação da água de irrigação, quanto ao risco de salinidade e sodicidade, indicada por Ayers e Westcot (1991). Os procedimentos analíticos foram realizados no LAFSMA – Laboratório de Análise de Fertilizantes, Solo e Monitoramento Ambiental LTDA em Cruz das Almas - BA.

Avaliação da salinidade dos lotes

Foram avaliados 19 lotes irrigados e não irrigados no Perímetro Irrigado de Ponto Novo. Analisaram-se os seguintes indicadores e elementos químicos do solo: condutividade elétrica (CEes) no extrato de saturação do solo, pH, cálcio e magnésio ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$), fósforo (P), potássio (K^+), sódio (Na^+), hidrogênio (H^+) e alumínio (Al^{+++}). A salinidade do solo foi classificada segundo a proposição de RHOADES et al. (2000), como apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação da salinidade relacionada à tolerância dos cultivos.

CE^1 (dS.m^{-1})	Classificação
0-2	Salinidade muito baixa
2-4	Salinidade ligeira
4-8	Salinidade média
8-16	Salinidade forte
>16	Salinidade muito forte

¹ Condutividade elétrica

Determinou-se a percentagem de sódio trocável no PST no extrato de saturação do solo, a fim de avaliar a proporção de sódio trocável adsorvido em relação à capacidade de troca catiônica (CTC).

$$PST = \frac{Na}{(Ca + Mg + k + Na + H + Al)} \times 100 \quad (2)$$

A sodicidade do solo foi classificada conforme proposta por Pizarro (1978), como apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Classificação dos solos segundo sua PST (porcentagem de sódio trocável).

Classe	PST
Não sódicos	< 7,0
Ligeiramente sódicas	7 -10
Medianamente sódicos	11 – 20
Fortemente sódicos	21 – 30
Excessivamente sódicos	> 30

Com base nos dados avaliados de pH, condutividade elétrica do extrato de saturação do solo e da percentagem de sódio trocável realizou-se o diagnóstico do risco de salinização e sodificação dos lotes estudados, tomando-se por base a classificação proposta por (Bohn et al., 1985, apud Queiroz et al., 1997) como apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação de solos afetados por sais.

Solos	Classificação Tradicional	Classificação Proposta
Normais	CE < 4	CE < 2
	PST < 4	PST < 15
	pH < 8,5	pH < 8,5
Salinos	CE > 4	CE > 2
	PST < 15	PST < 15
	pH < 8,5	pH < 8,5
Sódicos	CE < 4	CE < 2
	PST > 15	PST > 15
	pH > 8,5	pH > 8,5
Salino-sódicos	CE > 4	CE > 2
	PST > 15	PST > 15
	pH < 8,5	pH < 8,5

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação da qualidade da água de irrigação

Na Tabela 4 estão apresentados os valores médios dos indicadores da qualidade da água de irrigação do PIPN.

Observou-se (Tabela 4) que o pH, está dentro da faixa considerada normal para água de irrigação, situado entre 6,5 e 8,4 e a CEa com concentrações menores que $0,7 \text{ dS.m}^{-1}$ não tem nenhuma restrição para o uso segundo Ayers e Westcot (1991). Segundo a classificação do U.S. Salinity Laboratory Staff (citado por Bernardo, 2006) água do tipo C2-S1 de média salinidade e baixos teores de sódio, pode ser usada em qualquer tipo de solo com grau moderado de lavagem, sendo adequada para culturas moderadamente tolerantes ao sal e que não acumulem quantidades prejudiciais de sódio. Para Ayers e Westcot (1991), o problema mais comum relacionado com águas salinas e sódicas é a redução da velocidade de infiltração de água no solo, que ocorre devido à interação existente entre baixos valores de CEa e valores elevados de RAS. Esse efeito não foi verificado na unidade experimental. De acordo com Rhoades (1977), os

valores encontrados indicam que a água usada para irrigação oferece poucos riscos à permeabilidade do solo.

Tabela 4. Análise físico-química da qualidade da água usada na irrigação.

pH	8,02
CEa (dS.m ⁻¹ /25 °C)	0,61
Dureza total (mg.L ⁻¹) (CaCO ₃)	90
Alcalinidade (mg.L ⁻¹) (CaCO ₃)	14
RAS (mmol _c .L ⁻¹) ^{0,5}	1,33
Classificação para Irrigação	C2-S1
Cátions:	
Cálcio (mg.L ⁻¹)	28
Magnésio (mg.L ⁻¹)	15
Sódio (mg.L ⁻¹)	35
Ânions:	
Bicarbonatos (mg.L ⁻¹)	1,7
Cloretos (mg.L ⁻¹)	163

Gervásio et al. (2000), estudando o efeito da salinidade da água de irrigação na produção da alface americana, concluiu que o aumento unitário da salinidade acima de 0,2 dS.m⁻¹ da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, proporciona redução de 17% na produção comercial da alface.

Brito et al. (2005), estudando a influência das atividades antrópicas na qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Salitre concluiu que, não se observaram variações significativas nas variáveis de qualidade das águas entre os períodos de chuva e sem chuva, porém se notou que nas áreas sob influência da irrigação ocorreram aumentos significativos nas variáveis, principalmente no pH, na condutividade elétrica da água e do extrato de saturação do solo.

Avaliação da físico-química dos solos do PIPN

As classes de solo (EMBRAPA, 1997) de cada setor estudado são apresentadas na Tabela 5, onde se verifica a predominância de Podzólicos de textura média e profunda.

Tabela 5. Classificação dos solos dos setores estudados.

Setor	Lotes	Solo	Descrição
1	64, 68, 70, 74,83	Pala	Podzólico Amarelo latossólico álico profundo a muito profundo textura média fase bem drenado relevo plano a suave ondulado.
2	20,14	Pala	Podzólico Amarelo latossólico àlico profundo a muito profundo textura média fase bem drenado relevo plano a suave ondulado.
3	4,11,15	PAa1	Podzólico Amarelo àlico moderado muito profundo textura média fase bem drenado relevo plano.
6	1,2,19,21,27	LAa3	Latossolo Amarelo àlico fraco ou moderado muito profundo textura média fase bem acentuadamente drenado relevo plano a suave ondulado.
7	38,45,53,56	Pala	Podzólico Amarelo latossólico àlico profundo a muito profundo textura média fase bem drenado relevo plano a suave ondulado.

De acordo com a literatura os solos da classe Latossolos Amarelos apresentam baixos teores de Fe_2O_3 , em sua maioria, abaixo de 7%. São solos bem drenados, profundos e muito profundos, com predominância de textura média, baixa relação textural e pouca diferenciação entre os horizontes. Apresentam baixa saturação e soma de bases, enquanto os teores de saturação por alumínio são altos, o que lhes confere caráter àlico.

Uma de suas características mais marcantes é a coesão – quando secos, apresentam-se duros ou muito duros. Suas principais limitações decorrem de forte acidez, alta saturação com alumínio extraível e baixa fertilidade química natural. São, portanto, solos muito pobres em nutrientes, o que exige um investimento inicial bastante alto, com o uso intensivo de

adubação fertilizante. Diferenciam-se dos demais Latossolos por ter permeabilidade mais lenta, devido à coesão que lhe é característica, favorecendo os processos erosivos.

A classe Podzólico Vermelho-Amarelos integra solos minerais com horizonte B textural, não hidromórficos e argila de atividade baixa. Apresentam perfis bem diferenciados, com seqüência de horizontes A, Bt e C. São moderados a fortemente ácidos, de baixa fertilidade natural e a transição do horizonte A para o Bt ocorre desde gradual até abrupta. Estes solos apresentam horizonte A moderado, fraco ou proeminente e geralmente textura média no horizonte A e argilosa no Bt. Possuem seqüência de horizontes A, Bt e C e normalmente têm filmes de argila - cerosidade - envolvendo os elementos estruturais no horizonte Bt. Apresentam significativa diferença textural entre o horizonte A e o Bt e são de fertilidade natural média, com saturação por bases variando em torno de 80%. Em relação ao tipo de horizonte A, o mais comum é o moderado, mas também ocorrem, em menor freqüência, os tipos fracos, proeminentes e chernozêmico. Esta classe compreende solos distróficos e eutróficos.

Nas Tabelas 6, 7, 8, 9 e 10 estão apresentados os resultados da análise físico-química dos solos avaliados, indicando valores de pH, Sódio (Na), saturação de bases(V), condutividade elétrica (CE) e porcentagem de sódio trocável (PST) das amostras analisadas no extrato de saturação às profundidades: (00-20); (20-40) e (40-60) cm dos lotes do PIPN.

Analisando-se os valores mínimo e máximo de pH (5,18 e 7,02), verifica-se a ocorrência de acidez média à alcalinidade fraca, de acordo com Raij (2001). Em valores percentuais, 66,67% das amostras de solo apresentaram valores de pH medianamente ácido (pH 5,0 -5,9); 31,58% fracamente ácido (pH 6,0-6,9) e 1,75% neutro (pH 7,02).

Tabela 6. Resultados de pH, Sódio (Na), saturação de bases (V), condutividade elétrica (CE) e porcentagem de sódio trocável (PST) do solo em diferentes profundidades dos lotes analisados do PIPN no setor 1.

Lote	Prof. m	pH	Na mg.l ⁻¹	V %	CEes dS.m ⁻¹	PST %	Classif.
70	0,00 – 0,20	6,89	12	85,29	3,6	35,3	Salino sódico
	0,20 – 0,40	5,5	0,64	77,47	1,6	7,21	Normal
	0,40 – 0,60	5,83	13,6	87,18	4	34,9	Salino sódico
68	0,00 – 0,20	6,55	0,16	74,21	0,6	2,06	Normal
	0,20 – 0,40	6,11	0,4	90,29	1	3,88	Normal
	0,40 – 0,60	5,79	1,28	87,17	0,8	16,4	Normal
64	0,00 – 0,20	5,4	0,8	76,84	1,2	9,27	Normal
	0,20 – 0,40	5,84	0,4	43,8	1	4,5	Normal
	0,40 – 0,60	5,56	1,3	66,55	0,7	16,7	Normal
83	0,00 – 0,20	5,34	8	82,39	4	28,2	Salino sódico
	0,20 – 0,40	6,57	0,16	71,08	0,8	2,31	Normal
	0,40 – 0,60	5,67	12,1	83,1	4	34,1	Salino sódico
74	0,00 – 0,20	5,33	2,56	85,71	1,6	18,3	Salino sódico
	0,20 – 0,40	5,35	3,04	85,03	1,2	22,8	Salino sódico
	0,40 – 0,60	5,64	0,6	80,07	2	5,98	Normal

Tabela 7. Resultados de pH, Sódio (Na), saturação de bases (V), condutividade elétrica (CE) e porcentagem de sódio trocável (PST) do solo em diferentes profundidades dos lotes analisados do PIPN no setor 2.

Lote	Prof. m	pH	Na mg.l ⁻¹	V %	CEes dS.m ⁻¹	PST %	Classif.
20	0,00 – 0,20	6,19	2,72	83,47	1	30	Normal
	0,20 – 0,40	5,46	0,4	87,28	1,5	3,39	Normal
	0,40 – 0,60	5,51	0,16	85,37	0,8	1,17	Normal
14	0,00 – 0,20	6,25	0,4	75,33	1	1,79	Normal
	0,20 – 0,40	6	0,16	60,3	0,6	3,18	Normal
	0,40 – 0,60	6,26	0,16	73,11	0,6	0,86	Normal
	0,00 – 0,20	6,23	0,4	82,25	1	2,84	Normal

Lote	Prof. m	pH	Na mg.l ⁻¹	V %	CEes dS.m ⁻¹	PST %	Classif.
4	0,20 – 0,40	6,1	0,16	77,67	0,6	1,79	Normal
	0,40 – 0,60	5,4	0,16	70,57	0,6	2,35	Normal

Tabela 8. Resultados de pH, Sódio (Na), saturação de bases (V), condutividade elétrica (CE) e porcentagem de sódio trocável (PST) do solo em diferentes profundidades dos lotes analisados do PIPN no setor 3.

Lote	Prof. m	pH	Na mg.L ⁻¹	V %	CEes dS.m ⁻¹	PST %	Classif.
15	0,00 – 0,20	5,47	6,8	81,62	2,5	25	Salino sódico
	0,20 – 0,40	5,18	0,16	79,49	0,6	3,28	Normal
	0,40 – 0,60	5,47	0,4	75,2	1	3,31	Normal
11	0,00 – 0,20	6	0,16	82,06	1	1,15	Normal
	0,20 – 0,40	5,2	0,16	74,98	0,8	2	Normal
	0,40 – 0,60	6,3	0,16	72,81	0,6	2,17	Normal

Tabela 9. Resultados de pH, Sódio (Na), saturação de bases (V), condutividade elétrica (CE) e porcentagem de sódio trocável (PST) do solo em diferentes profundidades dos lotes analisados do PIPN no setor 6.

Lote	Prof. m	pH	Na mg.L ⁻¹	V %	CEes dS.m ⁻¹	PST %	Classif.
2	0,00 – 0,20	5,4	20	96,68	6,6	33,2	Salino sódico
	0,20 – 0,40	5,34	9,92	91,32	3	43,1	Salino sódico
	0,40 – 0,60	5,76	9,6	88,03	0,04	57,4	Normal
21	0,00 – 0,20	5,61	0,48	80,41	1	6,27	Normal
	0,20 – 0,40	5,89	6,4	84,85	2	32,3	Salino sódico
	0,40 – 0,60	5,96	6	76,63	2	28	Salino sódico
	0,00 –	6	0,8	80,56	1,5	2,83	Normal

Lote	Prof. m	pH	Na mg.L⁻¹	V %	CEes dS.m⁻¹	PST %	Classif.
1	0,20						
	0,20 – 0,40	5,43	0,8	60,92	2	6,25	Normal
	0,40 – 0,60	5,83	1,52	84,34	12	4,76	Salino
19	0,00 – 0,20	7,02	0,4	74,88	1,5	1,83	Normal
	0,20 – 0,40	6,54	0,8	57,35	1	6,2	Normal
	0,40 – 0,60	6,75	0,4	69,13	0,5	4,94	Normal
27	0,00 – 0,20	5,37	3,52	87,37	1,2	22,2	Normal
	0,20 – 0,40	5,68	0,4	86,84	0,8	5,26	Normal
	0,40 – 0,60	5,19	0,4	56,89	1	3,45	Normal

Tabela 10. Resultados de pH, Sódio (Na), saturação de bases (V), condutividade elétrica (CE) e porcentagem de sódio trocável (PST) do solo em diferentes profundidades dos lotes analisados do PIPN no setor 7.

Lote	Prof. m	pH	Na mg.L⁻¹	V %	CEes dS.m⁻¹	PST %	Classif.
53	0,00 – 0,20	5,83	0,9	71,95	1	8,41	Normal
	0,20 – 0,40	5,65	5,6	76,19	2	26,7	Salino sódico
	0,40 – 0,60	5,98	0,16	75,93	0,8	2,57	Normal
38	0,00 – 0,20	5,8	6,8	86,36	3	30,9	Salino sódico
	0,20 – 0,40	6,29	0,16	77,6	0,8	2,39	Normal
	0,40 – 0,60	5,93	0,32	71,41	0,8	4,57	Normal
56	0,00 – 0,20	6,08	0,16	78,62	0,8	2,28	Normal
	0,20 – 0,40	5,72	1,2	79,67	4	4,88	Salino
	0,40 –	5,63	0,96	78,05	1	10,5	Normal

Lote	Prof. m	pH	Na mg.L ⁻¹	V %	CEes dS.m ⁻¹	PST %	Classif.
	0,60						
	0,00 – 0,20	5,62	0,3	67,87	3,4	4,19	Salino
45	0,20 – 0,40	6,57	0,32	70,1	0,6	6,38	Normal
	0,40 – 0,60	5,5	0,48	76,51	0,6	5,64	Normal

Comparando-se os valores de pH observou-se uma pequena variação nos resultados, em todas as profundidades do perfil analisado. Esse comportamento expressa uma reação contrária do solo a mudanças do pH, o qual é explicado por Raij (1991), solo rico em matéria orgânica e/ou com teores elevados de argila. Quando a argila apresenta maior atividade de superfície, caracteriza um solo que possui elevado poder tampão, reação contrária a mudanças de pH.

Com base nos dados de CEes, a qual indica o nível de sais nos solos, pode-se afirmar que em 82,45% das amostras de solo no PIPN, não ocorrem problemas devido à presença de sais, ou seja, os solos podem ser classificados como não salinos ($0 - 2 \text{ dSm}^{-1}$). No entanto, os demais valores de CEes indicam solos ligeiramente salinos ($2-4 \text{ dS.m}^{-1}$) e medianamente salino (4dS.m^{-1}), o que corresponde a 15,8% e 1,75%, respectivamente, das áreas amostradas, já apresentando com isso tendência a salinização.

Com base nos dados de PST do extrato de saturação, a qual avalia a sodicidade, pode-se afirmar que 61,40% dos solos pertencem à classe dos não sódicos, 5,26% pertencem à classe ligeiramente sódica, 7,02% pertencem à classe medianamente sódica, 12,28% pertencem à classe fortemente sódica e 14,04% à classe excessivamente sódica.

Na avaliação conjunta da CEes, PST e pH, quanto à classificação de solos afetados por sais (Tabela 6), verificou-se que das amostras de solo 75,44% são classificadas como normais, 5,26% das amostras de solo são salinos e 19,30% das amostras de solo são classificadas como salino-sódicos.

Com base nos dados da RAS do extrato de saturação, a qual avalia as classes de perigo de sodificação provocados pela água de irrigação, pode-se

afirmar que 70,2% dos solos do Projeto de irrigação Ponto Novo pertencem à classe de perigo baixo, 7,02% pertencem à classe de perigo médio, 5,25% pertencem à classe perigo alto e, 17,53% à classe de perigo muito alto. O aumento da proporção de Na no solo gerou um aumento linear crescente da relação de adsorção de sódio (RAS) para cada nível testado de salinidade.

Richards (1974), enfatiza que RAS maior que 15 ($\text{mmol}_c \cdot \text{L}^{-1}$)^{0,5} acarreta risco de sodificação para o solo. Valores elevados para esse parâmetro trazem como consequência o endurecimento do solo, havendo a diminuição da capacidade de retenção de água e também maior dificuldade para a penetração das raízes das plantas.

Montenegro (1996) estudando Neossolos Flúvicos no Perímetro Irrigado Jaguaribe Apodi – Ce constatou que a baixa fertilidade apresentada em alguns pontos desse tipo de solo devia-se às práticas de manejo de solo e água, que ao longo dos anos promoveram o acúmulo de sais nas camadas superficiais do solo, promovendo a salinização e conseqüentemente redução da fertilidade do solo.

Características físico-hídricas dos solos do PIPN

Na Tabela 11 estão apresentados os parâmetros da equação de Van Guentuchen, utilizados para ajustes das curvas de retenção de água nos solos avaliados.

Tabela 11. Valores ajustados dos parâmetros da equação de van Genuchten (1980), para as curvas de retenção de água no solo, coeficiente de determinação e disponibilidade total de água no solo (DTA).

Setor	Prof. (cm)	dg (g cm ⁻³)	α	n	m	θ _s	θ ₁₀	θ ₁₅₀₀	θ _r	r ²	DTA ₆₀ (mm)
						cm ³ cm ⁻³					
1	10	1,39	0,61	1,15	0,50	0,48	0,12	0,08	0,06	0,983	32,0
	30	1,48	0,28	1,23	0,50	0,44	0,15	0,09	0,06	0,989	
	50	1,54	0,18	1,05	0,52	0,42	0,16	0,10	0,07	0,986	
2	10	1,51	0,40	1,20	0,49	0,43	0,15	0,10	0,07	0,987	36,0
	30	1,52	0,33	1,18	0,47	0,43	0,15	0,09	0,07	0,986	
	50	1,58	0,13	1,13	0,58	0,40	0,17	0,10	0,08	0,989	
3	10	1,72	0,98	1,17	0,28	0,35	0,15	0,10	0,06	0,794	32,0
	30	1,46	0,45	1,02	0,52	0,45	0,13	0,09	0,06	0,988	

Setor	Prof. (cm)	dg (g cm ⁻³)	α	n	m	θ_s	θ_{10}	θ_{1500}	θ_r	r^2	DTA ₆₀ (mm)
						cm ³ cm ⁻³					
	50	1,78	0,13	1,16	0,49	0,33	0,15	0,08	0,06	0,987	
6	10	1,64	0,90	1,09	0,35	0,38	0,18	0,13	0,10	0,899	34,0
	30	1,53	0,45	1,15	0,35	0,42	0,17	0,10	0,07	0,963	
	50	1,55	0,17	1,00	0,62	0,42	0,13	0,08	0,06	0,990	
7	10	1,72	0,53	1,12	0,34	0,35	0,15	0,10	0,07	0,974	36,0
	30	1,65	0,34	1,11	0,31	0,38	0,18	0,11	0,07	0,964	
	50	1,68	0,13	1,10	0,46	0,37	0,17	0,11	0,08	0,976	

O ajuste da umidade do solo nas profundidades em função do potencial mátrico, pelo modelo de Van Genuchten (1980), foi muito similar entre as profundidades. Os parâmetros empíricos do ajuste estão apresentados na Tabela 11. As análises dos resultados médios de porosidade total mostram que a mesma situa-se, considerando a média das profundidades, de 36 a 44% sendo que os solos avaliados nos setores 3, 6 e 7 apresentam uma porosidade menor na superfície caracterizando um possível causa de compactação. Em média a capacidade de armazenamento da água do solo é baixa, considerando a profundidade de 60 cm, a água armazenada varia de 32 a 36 mm.

Ainda de acordo com a Tabela 7, observa-se que há uma tendência para aumento da densidade do solo com a profundidade nos setores 1 e 2, isso ocorre provavelmente em decorrência da compactação ocasionada pelo peso das camadas subjacentes. Pode ser também devido à presença de sais, como sódio trocável, cuja presença propicia a dispersão do solo que, através da lixiviação do material desagregado pode formar uma camada mais densa nas maiores profundidades. De acordo com Reichardt (1990), a densidade global por ter no seu denominador o volume total da amostra, varia de acordo com seu volume. Ao se compactar uma amostra de, a massa seca permanece constante e o volume total diminui, por conseguinte, a densidade global aumenta. A densidade do solo é, portanto, um índice do grau de compactação de um solo.

CONCLUSÕES

1. O pH do solo variou de 5,18 a 7,02 apresentando reação de acidez média à alcalinidade fraca; 66,67% das amostras de solo apresentaram valores de pH medianamente ácido, 31,58% fracamente ácido e 1,75%, neutro.
2. Em 82,45% das amostras de solo não se constatou problemas devido à presença de sais, sendo consideradas não salinas. As demais amostras apresentaram valores de ligeiramente salina (15,8%) e mediamente salina (1,75%), o que demonstra tendência à salinização.
3. 70,2% das amostras de solo pertencem à classe de baixo perigo de sodificação.
4. A média de capacidade de armazenamento da água do solo é baixa, a água armazenada varia de 32 a 36 mm.
5. Quanto à classificação de solos afetados por sais, verificou-se que, 75,44% das amostras são classificadas como normais 5,26% como salinas e 19,30%, salino-sódicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYERS, R. S. ; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Trad. Gheyi, H. R.; Medeiros de, J. F. e Damasceno, F. V. A. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. (Estudos FAO: Irrigação e drenagem, 29).

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E.C.; SOARES, A.A. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: UFV, Impr. Univ., 2006. 625p.

BRITO, L. T. de L. et al. Influência das atividades antrópicas na qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Salitre. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4, p.596-602, 2005.

DIAGNÓSTICO e controle da salinização para melhoria da sustentabilidade de pequena agricultura irrigada em sistemas de aquíferos aluviais do Semi-árido nordestino. 2006. Disponível em: <<http://www.ufpe.br/salinidade/pesqueira.htm>> .Acesso em 20 dez. 2006.

EMATER-PB. **Sugestões de adubação para o estado da Paraíba: 1ª aproximação.** João Pessoa, 1979. 105p.

EMBRAPA/CNPS. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

GENUCHTEN, M.T.van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, n.5, p.892-898, 1980.

GERVÁSIO, E. S; CARVALHO, J. de A; SANTANA, M. J. de. Efeito da salinidade da água de irrigação na produção da alface americana. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Campina Grande, v.4, n.1, p.125-128, 2000.

HOOR, N, J.W. van ; ALPHEN, J.G. van. Salinity control. In: RITZEMA, H.P. 2.. ed. **Drainage principles and applications.** Wageningen: ILRI, 1994. cap.15, p.533-600. (ILRI publication, 16).

HOLANDA, J. S. **Manejo e utilização de áreas salinizadas do vale do Açu.** Fortaleza: Banco do Nordeste. 2000. 95p.

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. 173f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1992.

MONTENEGRO, R. A. Análise da variabilidade espacial da salinidade em Aluvião no perímetro irrigado Jabiberi Apodi – Ce. **Relatório final:** SRHCE. Fortaleza,1996.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos.** Madrid: Agrícola Española, 1978. 521p.

QUEIROZ, J.E. et al.. Avaliação e monitoramento da salinidade do solo. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. (Eds.). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: SBEA/UFPB. 1997. p.69-112.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343p.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico, 2001. 284p.

RHOADES, J. D. LOVEDAY, J.G. Salinity in irrigated agriculture. In: STEWART, D. R.; NIELSEN, D. R. (Eds.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA/ CSSA,/SSSA, 1990. p.1089–1142. (Agronomy, 30).

RHOADES, J.D. Drainage for salinity control. In: VANSCHILFGAARDE, J. (Ed.). **Drainage for agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 2000. p.1089–1142 . (Agronomy, 30).

RHOADES, J.D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. **The use of saline waters for crop production**. Rome: FAO, 1992. 133p. (FAO Irrigation and drainage paper, 48).

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990.

RICHARDS, L. A. **Diagnostico y rehalitacion de suelos salinos y sódicos**. Mexico: Limusa, 1974.

ROBINSON, H. **Estudio científico del suelo**. 2. ed. Madrid: Aguilar, 1953.

SALINIZAÇÃO do solo. 2006. Disponível em: <<http://www.codevasf.gov.br/program>>. Acesso em 20 dez. 2006.