

Aplicação de Modelos Hidrológicos Superficiais e Subsuperficiais em Bacias Hidrográficas: FASE I - compilação do banco de dados

Prof. Dr. Lázaro Nonato Vasconcellos de Andrade ¹
Hélio Leandro Lopes ²

¹ UNEB - Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais, Orientador
Juazeiro - BA
✉ lazonove@svn.com.br

² UNEB - Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais, Bolsista PIBIC-CNPq
Juazeiro - BA
✉ lopes.h.l@bol.com.br

Conteúdo	
	1 Introdução
	2 Revisão de Literatura
	2.1. Gestão Ambiental
	2.2 Planejamento
	2.3 Degradação e Desertificação
	2.3.1 O problema da degradação das terras.
	2.3.1.1. Definindo a degradação das terras.
	2.3.1.2. O processo de degradação das terras
	2.3.1.2.1. Compactação do solo.
	2.3.1.2.2. Erosão hídrica.
	2.3.1.2.3 Erosão eólica.
	2.3.2. O processo de desertificação no semi-árido baiano.
	2.4 Qualidade da Água
	2.4.1 Composição química das águas superficiais e subterrâneas
	2.4.2 Fontes de salinidade
	2.4.3 Critério de águas para irrigação.
	2.4.4 Deterioração da qualidade das águas subterrâneas
	2.5 Sistemas de Informação Geográfica
	2.5.1 Espaço geográfico e informação espacial
	2.5.2. Relações espaciais entre fenômenos geográficos
	2.5.3. Descrição geral de sistema de informação geográfica
	2.5.4. Estrutura geral de um SIG
	3 Materiais e Métodos
	4 Resultados e Discussões
	5 Conclusões
	6 Referências Bibliográficas

Resumo: Com o objetivo de atualização do banco de dados e conhecer a qualidade das águas subterrâneas na Bacia do Rio Salitre, foram aplicadas funções do Software para Processamento de Informações Georreferenciadas – SPRING (INPE, 1999) e do software Aquachem (WHI, 2000) para modelagem geoquímica das águas. Esta pesquisa foi realizada através de análises químicas de 404 amostras em diferentes datas e locais. Os resultados destas análises revelam a qualidade das águas subterrâneas na maior parte dos pontos de amostragem como águas de classificação C3 e C4 para o uso na irrigação, águas carbonatadas e cloretadas e redução na Condutividade Elétrica na análise temporal.

Palavras chave: Cartografia, Hidrogeologia e Modelagem Geoquímica de Águas Subterrâneas.

Abstract: With the objective of actualization of the database and behind quality of the water from groundwater in the River Salitre Basin, have been applied functions of the Software para Processamento e Informações Georreferenciadas – SPRING and software Aquachem for modeling water geochemistry. This research have been release trough chemistry analysis from 404 samples in differ dates and locations. The results these analysis reveal water quality of the groundwater in the greater number of the sample points in C3 and C4 water classification for irrigation use, carbonates and chlorides water and reduction of the Electric Conductivity in temporal analysis.

Keywords: Cartography, Hydrogeology and Modeling Water Geochemistry of the Groundwater.

1 Introdução

Em todo mundo, principalmente a partir da década de 60, a preocupação com problemas ambientais vem crescendo de maneira extremamente rápida, dando ênfase aos recursos hídricos. Isto deve-se na sua maior parte, ao crescimento demográfico mundial, que apresentou uma escala de grandeza em ordem geométrica. Esse crescimento deveu-se a vários eventos na civilização, como o domínio do fogo, a prática da agricultura e a conseqüente urbanização, industrialização e avanços na medicina.

Grande parte dos problemas da degradação ambiental no Brasil relaciona-se com a ausência de uma cultura de ocupação do espaço físico, respeitando as características dos diversos ecossistemas, evidentemente, suas riquezas e diversidade e da inadequação dos processos de gestão dos recursos naturais.

O Geoprocessamento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica é uma das

principais ferramenta na análise dos recursos ambientais, dando respostas da superfície geográfica em estudo, que torna uma fonte de pesquisa para aplicação no gerenciamento de bacias hidrográficas e no manejo da irrigação e da drenagem em terras agricultáveis, tornando possível o controle dos processos degradativos (erosão, salinização, desertificação, etc.), que é fonte de estudo desta pesquisa.

2 Revisão de Literatura

2.1. Gestão Ambiental

Uma das principais características do subdesenvolvimento brasileiro é a degradação de vários de seus recursos ambientais. Entre os diversos problemas ambientais brasileiros, podem ser salientados: a poluição industrial, urbana e de mineração, com conseqüente contaminação do ar, do solo e da água; o desmatamento, com perda de diversidade da fauna e da flora e exposição do solo a processos erosivos; as práticas agrícolas inadequadas, levando à erosão dos solos com conseqüente assoreamento de rios, contaminação de águas superficiais e subterrâneas por produtos químicos, como fertilizantes e pesticidas; e impactos de empreendimentos de grande porte, como represas, estradas e ferrovias, com problemas múltiplos de desmatamento, degradação do solo, aterros e alterações nas drenagens e prejuízo à fauna, com mudanças ou eliminação de habitats, entre outros.

Estes problemas são grandemente influenciados pelos modelos econômicos, que podem ou não incorporar o capital natural em seus custos, por decisões políticas, que permitem a exploração de recursos naturais em benefícios de uns poucos ou a sua desvalorização no mercado internacional, pelo processo de participação social, influenciando nas decisões a serem tomadas, e pela capacidade dos ecossistemas afetados amortizarem os danos.

O Capítulo VI da Constituição do Brasil, que trata do Meio Ambiente, traz em seu Artigo 225 que "todos têm o 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" e indica em seu § 1º que incumbe ao Poder Público "preservar e restaurar os processos ecológicos essenciais e prover o manejo ecológico das espécies e ecossistemas", de "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" e de "promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente", entre outros itens (BRASIL, 1988).

A aprovação de um capítulo sobre meio ambiente na Constituição Brasileira de 1988 representou um avanço no tratamento das questões ambientais no país, ainda que a prática demonstre que houve pouca evolução na melhoria das condições de vida e na preservação dos recursos naturais. A legislação ambiental brasileira é uma das mais avançadas do mundo, já que foi espelhada em experiências internacionais, mas a sua aplicação se apresenta inadequada quanto aos meios e às condições.

A gestão ambiental é uma atividade voltada para formulação de princípios e diretrizes, estruturação de sistemas gerenciais e tomada de decisões, tendo por objetivo final promover, de forma coordenada, o uso, proteção, conservação e monitoramento dos recursos naturais e sócio-econômicos em um determinado espaço geográfico, com vistas ao desenvolvimento sustentável.

Gestão ambiental é o processo de articulação das ações dos diferentes agentes sociais que interagem em um dado espaço, visando garantir, com base em princípios e diretrizes previamente acordados e definidos, a adequação dos meios de exploração dos recursos ambientais - naturais, econômicos e sócio-culturais – às especificidades do meio ambiente.

A gestão ambiental envolve a participação social e tem vários componentes a serem avaliados:

- a disponibilidade de recursos ambientais;
- os aspectos sociais;
- os aspectos físicos-químicos e biológicos;
- os aspectos econômicos;
- os aspectos financeiros;
- os aspectos políticos;
- os aspectos institucionais (legais e organizacionais);
- outros aspectos pertinentes.

Dentre as possibilidades que se apresentam para a interferência ou gestão de problemas ambientais, podem ser salientados a recuperação do meio ambiente degradado, a avaliação da degradação futura do meio ambiente, através da análise de impactos, e a potencialização de recursos ambientais, o que permite o seu manejo sustentável.

2.2 Planejamento

Orientado pelos princípios da Política Ambiental, o Planejamento Ambiental constitui outro instrumento fundamental do processo de gestão do espaço. Para sua realização existe uma grande disponibilidade de métodos e modelos, que variam desde a concepção filosófica até a unidade espacial de referência (por exemplo: bio-região, zona ecológico-econômica, bacia hidrográfica, etc.).

Planejamento Ambiental é um processo organizado de obtenção de informações, reflexão sobre os problemas e potencialidades de uma região, definição de metas e objetivos, definição de estratégias de ação, definição de projetos, atividades e ações, bem como definição do sistema de monitoramento e avaliação que irá retro alimentar o processo. Este processo visa organizar a atividade sócio-econômica no espaço, respeitando suas funções ecológicas, de forma a promover o desenvolvimento sustentável.

O planejamento ambiental consiste em um grupo de metodologias e procedimentos para avaliar as conseqüências ambientais de uma ação proposta e identificar possíveis alternativas a esta ação (demanda); ou um conjunto de metodologias e procedimentos que avalia as contraposições entre as aptidões e usos de territórios a serem planejado (linha de oferta).

As características de uma determinada região e o conhecimento de seus ecossistemas permitem planejamentos mais adequados ao uso de recursos naturais, estabelecendo vocações diferenciadas e ampliando a capacidade de negociação com instâncias maiores, como governo federal.

O planejamento inicia-se com a coleta de informações básicas, que inclui características ambientais gerais, recursos de solo e água, vegetação natural, fauna associada, erosão do solo e condições de diversas unidades ambientais, padrões fundiários e de uso do solo, culturas e comunidades humanas, poluição, pestes e doenças, impactos das atividades humanas sobre o meio natural e ambientes antrópicos.

Dentre os métodos usados para elaborar este diagnóstico, o uso de mapas temáticos classes de uso de solo, uso e ocupação,

declividade, vegetação, drenagens, etc. pode favorecer a elaboração de um zoneamento, estabelecendo potenciais de usos ou preservação. Algumas técnicas, como as permitidas com o uso do sensoriamento remoto e os Sistemas Geográficos de Informação, aplicados conjuntamente com análises econômicas e de impactos ambientais, permitem determinar as alternativas mais adequadas de uso ecológico, social e econômico.

2.3 Degradação e Desertificação

Nesta introdução, define-se a degradação das terras e discute a extensão desse problema. Será examinado o processo pelo qual as terras áridas se degradam; será mostrado que a cobertura esparsa da vegetação em regiões áridas é um importante fator para o controle da degradação e, por outro lado, que ajuda a indicar onde o processo de degradação está ocorrendo.

2.3.1 O problema da degradação das terras.

2.3.1.1. Definindo a degradação das terras.

Próximo ao ano de 1949, foram relatados os primeiros aspectos relativos à degradação de terras para o cultivo, em extensas áreas das regiões semi-áridas e subúmidas do Norte da África, na fronteira com o deserto de Saara. O termo cunhado para esse processo de degradação foi "desertificação". O problema já havia sido observado, no mundo Mediterrâneo, há aproximadamente dois milênios, pelo senador romano Cícero, que falou da destruição das florestas do norte da África e da barreira à sua recuperação, proveniente das áreas desertas. A devastadora seca de Sahel, no período de 1968 a 1973 e o aparente avanço acelerado, para o sudoeste, do Deserto de Saara frutificaram numa extensiva discussão internacional do problema e na formação da Conferência das Nações Unidas em Desertificação – UNCOD (United Nations Environment Programme [UNEP], 1992).

Numa reunião, durante 1977, em Nairobi, Kenya, a UNCOD definiu desertificação como segue: "Desertificação é a diminuição ou a destruição do potencial biológico da terra e pode conduzir definitivamente para condições desérticas. Essa questão da degradação, em grande extensão, do ecossistema implica a redução e a destruição do potencial biológico, isto é, da produção de plantas e de animais para múltiplos usos e propósitos, numa época em que o aumento da produtividade é necessário para fornecer suporte ao crescimento das populações" (UNEP, 1978).

Durante os anos que se seguiram várias agências, instituições científicas e cientistas individualmente acharam a definição acima inadequada (UNEP, 1992). Em resposta, vários grupos desenvolveram outras definições, provocando uma enorme confusão. Além disso, oscilações climáticas cíclicas e relações entre essas flutuações e a produtividade da vegetação têm sido observadas nas imagens de satélite; tais relações todavia, não necessariamente diferenciam os conceitos de desertificação e de oscilações climáticas (UNEP, 1992).

Em 1992, a UNCOD produziu a seguinte definição de desertificação: "Desertificação é a degradação da terra em regiões áridas, semi-áridas e subúmidas, resultante unicamente do impacto adverso humano".

Nos últimos 100 anos, os desertos de Sonora e Chihuahuan têm ficado mais áridos, embora essas áreas tenham sido desertos durante um tempo muito longo (Sheridan, 1981). O problema está, longe de ser vencido:

"A introdução do sistema de irrigação por aspersão, especialmente o sistema de pivô central, tem proporcionado previamente a insustentabilidade de terras arenosas para serem cultivadas com sucesso. E quando aqueles são abandonados por razões econômicas ou de armazenamento de água, os Estados Unidos ficarão sujeitos a uma grande evento de erosão eólica, que já ocorreu no passado" (Dregne, 1983).

2.3.1.2. O processo de degradação das terras

Outro item significativo na definição corrente, referida acima, da UNCOD sobre a desertificação é a idéia de "degradação das terras". A UNCOD definiu a degradação das terras como segue:

"Degradação é a redução de recursos potenciais por um ou uma combinação de processos agindo sobre a terra. Estes processos incluem erosão hídrica, erosão eólica e sedimentação por aqueles agentes, provocando redução no total ou na diversidade da vegetação natural." (UNEP, 1992).

Sheridan (1981) caracterizou a aflição da degradação das terras como através dos seguintes sintomas: redução gradativa do nível do lençol freático, salinização da superfície do solo e da água, redução das águas superficiais, elevada erosão não natural do solo, e a desolação da vegetação nativa. Dregne (1983) indica como os maiores processos de desertificação de regiões áridas a erosão da água, a erosão eólica, a salinização, a saturação, e a compactação do solo. Adicionalmente, o mecanismo de formação de pavimentos desérticos e de camadas de solos cimentadas por carbonatos de cálcio, encontradas nos desertos e em outras regiões áridas e semi-áridas, faz o solo mais vulnerável à erosão. Através desses diferentes processos, a terra torna-se mais estéril e fica efetivamente mais próxima ao deserto, com ou sem variações climáticas. Serão mostrados alguns desses processos.

2.3.1.2.1. Compactação do solo.

A compactação do solo é resultado da pressão exercida nele pelo impacto da chuva, pelo pastoreio animal, pelas grandes variações repetitivas no estado da água do solo, e finalmente por tratores e outras máquinas agrícolas (United States Department of Agriculture [USDA], 1993).

A compactação causada somente pelas variações repetitivas do estado da água no solo e chamada de "compactação da água" enquanto a causada pela pressão de máquinas e animais, como também pelo impacto da chuva, é chamada de "compactação mecânica" (USDA, 1993). Camadas compactadas de solos restringem a infiltração de água e aceleram a erosão superficial do solo nos períodos de chuva (Hillel, 1982; Dregne, 1983). Se a camada compactada é muito próxima à superfície do solo, a água pode não penetrar até o nível de crescimento radicular das plantas, ou mesmo até horizontes mais profundos (Hillel, 1982; Dregne, 1993). A redução da penetração da água no solo irá fazer o solo efetivamente mais árido que aquele esperado, devido a variação climática (Dregne, 1983). Camadas superficiais compactadas podem impedir o crescimento de plântulas, pela penetração na superfície do solo, enquanto que camadas mais profundas compactadas podem restringir o crescimento de raízes, dentro das camadas profundas do solo (Hillel, 1982; Dregne, 1983).

2.3.1.2.2. Erosão hídrica.

O USDA (1993) reconhece quatro tipos de erosão: por *runoff* laminar, em sulcos, em voçoroca, e em túnel (ou canalização, ou afunilamento). A erosão laminar é uma remoção, aproximadamente não uniforme, de solo para uma área fora do local de

desenvolvimento, de fácil identificação pelos canais de água formados. Em consequência de desenvolvimento tem-se a erosão em sulcos e as voçorocas. A erosão laminar pode ser séria em inclinações de somente 1 a 2 por cento, mas é geralmente grave a fortes inclinações, em gradientes de solo. Erosão em sulcos é a remoção de solos causada por vários cortes de pequenas dimensões, canais conspícuos, onde a *runoff* é concentrada. Os pequenos canais podem ser facilmente corrigidos pelo cultivo. Mais sérias são as erosões em voçorocas: a água corta profundamente o solo, ao longo da linha de fluxo. Os canais resultantes desse tipo de erosão não pode ser ordinariamente corrigidos para o cultivo, e pode ficar impossível a utilização de maquinaria. (Dregne, 1983; USDA, 1993; Mainguet, 1994).

O último processo, menos usual, é o tipo de erosão proporcionada pela água em forma de funil. Ele ocorre quando subsuperfícies ou camadas subsuperficiais são mais susceptíveis ao movimento livre da água que as camadas superficiais. A água ganha entrada no interior da subsuperfície, através de fendas ou buracos. A água penetra no material subsuperficial e move-se para baixo, no interior do solo, ou se existir um caminho preferencial, completamente para fora do solo. Isso forma uma série de túneis largos e coalescentes, e, na direção desses túneis, pode produzir um aumento da largura, em forma de funil (USDA, 1993). Tal tipo de erosão é um processo danoso, uma vez que, sobre esses minadouros embaixo da superfície, pode ocorrer o colapso, pelo peso de uma pessoa trabalhando, de um animal, ou de uma maquinaria.

2.3.1.2.3 Erosão eólica.

Em escala global, a erosão eólica não é um problema tão sério quanto a erosão hídrica (Holy, 1980), mas é um processo que afeta muitas regiões áridas e semi-áridas. Assim como a erosão hídrica, a eólica envolve a remoção de partículas pelo movimento de um fluido. Neste caso, o fluido é o ar. Como na erosão hídrica as partículas finas são tipicamente perdidas em primeiro lugar; nesse interim, o avanço das perdas de matéria orgânica e de nutrientes, dá-se geralmente de forma conjunta, já que se atraem e formam estruturas complexas. (Degne, 1983). O potencial final, resultado da erosão eólica continuada, é uma área de ativas barreiras de dunas (Dregne, 1983). O estudo clássico dessa relação entre o vento e a areia foi realizado por Bagnold (1942), que focou na areia a abertura dos desertos, em áreas onde a vegetação é geralmente esparsa. Ele apontou para o fato de que a vastidão do movimento da areia ocorre no sentido de elevar o nível do solo.

Se a superfície é coberta por objetos que não podem ser removidos pelo vento, tais como pedras ou vegetação, a rugosidade produzidas por eles vai restringir a habilidade do vento para mobilizar e transportar a areia. Os grãos de areia, saltando, vão se depositar dentro dos espaços, entre as pedras ou no interior da vegetação.

As formações rochosas cuja gênese tem a abrasão continuada da areia em suspensão, em áreas desérticas, atesta o poder das areias como agente erosivo, em conjunto com o vento. A vegetação também é afetada pela ação abrasiva dos grãos de areia. Fryrear et al. (1973), em experimentos laboratoriais com gramíneas, sobre condições de areia em suspensão (vento de areia), encontraram ruptura de células, secagem e exposição de tecidos, além de aumento da ação de insetos e de doenças.

2.3.2. O processo de desertificação no semi-árido baiano.

O norte e o nordeste do semi-árido baiano, d na divisa com os Estados do Piauí, Pernambuco, Alagoas e Sergipe, têm suas potencialidades limitadas pelos riscos da desertificação. Áreas localizadas nos extremos leste e oeste do semi-árido baiano, mais em terras próximas aos municípios de Cipó e Buritirama, foram classificadas como vulneráveis à desertificação, por questões edáficas.

As áreas altamente vulneráveis ocupam a posição nordeste do Estado, no entorno do Raso da Catarina e na borda norte do Lago de Sobradinho. As condições de solo e clima, auxiliadas pela devastação da cobertura vegetal, estão contribuindo para a intensificação do processo de desertificação, já detectado nos arredores dos municípios de Abaré, Chorocho e Canudos. Neste caso, a recuperação natural vê-se impedida, ou retardada, pela agressividade das condições ambientais e pelo pisoteio excessivo do rebanho, representado por ovinos e caprinos, criados extensivamente.

Mais grave, porém, é a situação de áreas em estágio inicial de desertificação. Trata-se do campo dunário localizado entre os municípios de Barra e Pilão Arcado, limitando-se a oeste com a Serra do Estreito e a leste com o Rio São Francisco. As dunas, pela própria condição, acumulam água e atuam como elemento regulador da vazão dos contribuintes do São Francisco que cortam este setor da bacia. A manutenção da cobertura vegetal, mesmo que rarefeita nesta e nas demais áreas referidas, é indispensável diante das situações de perigo representadas pela erosão eólica com remobilização de dunas.

2.4 Qualidade da Água

2.4.1 Composição química das águas superficiais e subterrâneas

A chuva carrega dióxido de carbono (CO_2) o qual em combinação com a água, dá ácido carbônico (H_2CO_3). Por sua vez a água adquire mais dióxido de carbono no solo e, também, ácido húmico. Portanto, a água nova pode dissolver novos materiais da terra. A quantidade de matéria dissolvida depende das características químicas do solo e subsolo, do tempo de permanência na terra e da distância que a água percorre nas rochas. Permanecendo na terra, a água pode ser concentrada por evaporação e mudanças complexas ocorrerão.

Na água subterrânea consideramos sódio, potássio, cálcio, magnésio, ferro, cloreto e sulfato em várias combinações. Silicato é também comum. Fluoreto, nitrato e boro onde presentes, ocorrem em concentrações baixas, mas não obstante podem ser muito importantes. O dióxido de carbono nem sempre forma bicarbonato, mas pode permanecer em pequena porção como gás dissolvido (Cederstrom, 1964).

Dióxido de carbono

Como foi dito acima, a chuva contém dióxido de carbono dissolvido do ar ou do solo. Em combinação com a água forma ácido carbônico, que é um ácido fraco.

Bicarbonato de Cálcio

Quando a água com dióxido de carbono encontra rochas calcárias, forma-se bicarbonato de cálcio, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. O bicarbonato de cálcio só permanece na solução quando em equilíbrio com dióxido de carbono. Quando aquecida, a água perde o dióxido de carbono e o bicarbonato de cálcio se deposita. Bicarbonato de cálcio é um bom composto químico presente na água usada para irrigação. Um excesso de cálcio e magnésio sobre o sódio e potássio é crítico.

Sulfato de Cálcio

Não se precisa dióxido de carbono para dissolver sulfato de cálcio e por isso a solução simples de gipsita da quantidades grandes de

cálcio. A origem do sulfato pode estar no solo intemperizado, particularmente numa área árida onde os sedimentos não foram bem drenados pela escassez de chuva. Ali os minerais contendo enxofre podem ser oxidados e dar CaSO_4 . O sulfato de cálcio pode encontrar-se também na superfície pela evaporação do solo molhado depois de chover, ou depositar-se pela evaporação do solo molhado depois de chover, ou depositar-se pela evaporação da água de capilaridade.

Bicarbonato de Sódio

As rochas ígneas, particularmente os seus feldspatos ácidos, dão bicarbonato de sódio depois do intemperismo mas geralmente, a concentração de bicarbonato de sódio devido a solução simples é pouca numa água subterrânea. Entretanto, muitas águas há com muito bicarbonato de sódio.

Cloreto de Sódio

O cloreto de sódio origina-se das rochas ígneas em pouca quantidade, dos gases vulcânicos e dos evaporitos. As rochas tem somente pouco cloreto, mas os gases vulcânicos são ricos em ácido hidrolórico e os evaporitos comumente tem cloreto de sódio em excesso. A concentração de cloreto numa área úmida é geralmente baixa, talvez poucas partes por milhão, devido à solubilidade alta dos sais dos cloretos e boa circulação da água na terra.

Ferro

Rochas ígneas e muitos minerais dão ferro com o intemperismo. Sedimentos tem cimento de ferro localmente. O ferro está presente na água como bicarbonatos ou sais complexos, talvez em parte sais orgânicos.

Fluoreto

O fluoreto, constitui menor mais não raro, origina-se da solução de rochas ígneas. Sua solubilidade numa solução calcária é baixa, mas onde a água tem muito sódio o fluoreto pode estar presente (Caderstrom, 1984).

2.4.2 Fontes de salinidade

Todas as águas subterrâneas contem sais em dissolução. Os tipos e concentrações dos sais dependem do meio ambiente, do movimento e da fonte de água subterrânea. Geralmente, encontram-se maiores proporções de constituintes dissolvidos em águas subterrâneas do que em águas superficiais, devido à maior exposição dos estratos geológicos aos materiais solúveis. Os sais solúveis encontrados nas águas subterrâneas originam-se primordialmente da dissolução de materiais rochosos. Nas áreas que reabastecem grandes volumes de águas subterrâneas, tais como as de correntes aluvionares ou de áreas de reabastecimento artificial, a qualidade da água superficial de infiltração tem um efeito marcante nas águas subterrâneas. Em determinados locais, gases absorvidos de origem magmática, contribuem com produtos minerais dissolvidos para as águas subterrâneas; excelente exemplo disto são as fontes minerais termais. As águas conadas são em geral altamente mineralizadas, porque se originam de bolsões isolados de águas residuais aprisionadas nas rochas sedimentares desde eras geológicas. Mesmo as águas de chuva que penetram no terreno contém concentrações mínimas de sais retirados da atmosfera.

Os sais são adicionados às águas subterrâneas que passam através do solo por produtos solúveis do intemperismo do solo e da erosão proveniente da precipitação da chuva e das águas em escoamento. A água de excesso de irrigação que percola até o nível d'água pode contribuir com quantidades substanciais de sais. A água que passa através da zona das raízes de áreas cultivadas contém em geral concentrações salinas várias vezes maiores do que as da água aplicada na irrigação. O aumento resulta principalmente do processo de evapotranspiração que tende a concentrar os sais nas águas de drenagem. Além disso, os materiais solúveis do solo, os fertilizantes e a absorção seletiva dos sais pelas plantas modificam as concentrações salinas das águas de percolação. Os fatores que governam este aumento incluem a permeabilidade do solo, as facilidades de drenagem, a quantidade de água aplicada, as plantações, e o clima. Assim, encontram-se elevadas salinidades em solos e águas subterrâneas de climas áridos em que a lixiviação pela água da chuva não é eficiente na diluição das soluções salinas. De forma semelhante, as áreas mal drenadas, particularmente as bacias que têm drenagem interior, contém elevadas concentrações salinas. Também, algumas regiões contém remanescentes da deposição sedimentar sob águas salinas; a designação "terras ruins" implica na falta de produtividade resultante de conteúdos excessivos de sais no solo e na água.

As águas subterrâneas que passam através de rochas ígneas dissolvem apenas quantidades muito pequenas de substâncias minerais, devido à relativa insolubilidade da composição rochosa. A água de chuva de percolação contém dióxido de carbono proveniente da atmosfera, que aumenta a ação solvente da água. Os silicatos minerais das rochas ígneas resultam em ser a sílica o constituinte predominante, embora escasso, das águas subterrâneas em contato.

As rochas sedimentares são mais solúveis do que as rochas ígneas. Devido à sua elevada solubilidade, combinada à sua grande abundância na crosta terrestre, elas fornecem a maior parte dos constituintes solúveis às águas subterrâneas. O sódio e o cálcio são os cátions comumente adicionados; o bicarbonato, o carbonato e o sulfato são os ânions correspondentes. O cloreto apenas ocorre em extensão limitada sob condições normais; há entretanto importantes fontes de cloretos no esgoto, nas águas conadas, e na atina do mar introduzida. O nitrato é apenas raramente constituinte natural importante; elevadas concentrações podem indicar fontes de poluição passada ou presente. Em terrenos calcáreos, os ions de cálcio e carbonato são adicionados às águas subterrâneas por dissolução.

2.4.3 Critério de águas para irrigação.

A adequabilidade de águas subterrâneas para a irrigação é uma contingência dos efeitos dos constituintes minerais da água, tanto sobre a planta como sobre o solo. Os sais podem prejudicar o crescimento das plantas fisicamente, limitando a retirada de água através da modificação de processos osmóticos, ou quimicamente, por reações metabólicas tais como as causadas por constituintes tóxicos. Os efeitos dos sais nos solos, causando variações na estrutura, permeabilidade, a aeração do solo, indiretamente afetam o crescimento das plantas. Não podem ser estabelecidos os limites específicos das concentrações salinas permissíveis para a água de irrigação, devido às grandes variações de tolerância de salinidade entre as diferentes plantas; entretanto, dados de estudos de campo de plantações que crescem em solos artificialmente ajustados a vários níveis de salinidade, fornecem valiosa informação relativa à tolerância aos sais.

Richards (1954) apresentou um diagrama para classificação da água de irrigação, adotado pelos técnicos do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos e que tem tido uso generalizado desde sua publicação. A classificação é baseada na condutividade elétrica da água de irrigação, como indicadora do perigo de salinidade, e na relação de adsorção de sódio (RAS), como indicadora do perigo de sodificação do solo.

Quanto ao perigo de salinização as águas foram divididas em quatro classes, em função de suas concentrações totais de sais solúveis: águas de baixa salinidade (C1), que podem ser usadas na irrigação da maioria das culturas; águas de salinidade média

(C2), que podem ser usadas sempre que se faça uma lixiviação moderada; águas altamente salinas (C3) que não podem ser usadas em solos com problemas potenciais de drenabilidade; e água excessivamente salina (C4), que não é apropriada para irrigação sob condições normais de utilização (RICHARDS, 1954).

2.4.4 Deterioração da qualidade das águas subterrâneas

A qualidade das águas subterrâneas depende da qualidade de suas águas de origem; assim, as variações na qualidade das águas de origem tornam-se importantes. As variações podem envolver ou novas águas de origem, ou piora da qualidade de suprimentos normais. Fontes óbvias, tais como águas de esgotos e industriais, quando entram no aquífero, podem poluir o abastecimento de águas subterrâneas; se a poluição se torna perigosa à saúde pública, diz-se que essas fontes contaminam o abastecimento. A Tabela 1 resume diversas causas de deterioração. Mais do que tudo, esta lista indica a grande variedade de tipos de deterioração e mostra a importância da atenção e da consciência particulares na proteção de um abastecimento de águas subterrâneas no futuro.

Raramente ocorre poluição orgânica grosseira das águas subterrâneas, devido às dificuldades inerentes à introdução de grandes quantidades de resíduos no subsolo. Exceto em aquíferos confinados, tais como rochas e calcáreo fraturados, os sólidos suspensos são removidos pela infiltração, e as bactérias e o material coloidal, pela ação biológica. As soluções inorgânicas, entretanto, passam facilmente através do solo e, uma vez introduzidas, são difíceis de remover. Como a diluição natural é lenta, a limpeza artificial é dispendiosa, e o tratamento é impraticável, os efeitos de tal poluição podem continuar por períodos indefinidos. Portanto, deve-se fazer uma investigação cuidadosa antes de dispor de quaisquer materiais de refugio no subsolo, a fim de garantir-se de que não fique a capacidade de armazenamento das águas subterrâneas irreparavelmente prejudicada.

Tabela 1 - Causas da deterioração da qualidade das águas subterrâneas

CONTAMINAÇÃO E POLUIÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Esgoto. Domiciliar e Municipal • Resíduos industriais • Resíduos orgânicos de fabricação de alimentos • Resíduos orgânicos de processamento de madeira • Resíduos minerais de indústrias de processamento de metais de indústrias de mineração e de extração de minérios de indústrias de petróleo de indústrias químicas miscelânea • Água de refrigeração • Refugos sólidos e semi-sólidos
DEGRADAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Eleitos do Aproveitamento, Uso e Reuso da Água • Água de retorno da irrigação, drenagem superficial e de percolação • Interligação entre os aquíferos devido a poços mal construídos, defeituosos, ou abandonados • Interligação entre os aquíferos devido a diferenças de nível da pressão resultante de retiradas em excesso • Condições de sobretiragem • Intrusão da água do mar • Equilíbrio salino • Difusão ascendente ou lateral de águas salgadas conatas, e/ou juvenis, devido a bombeamento excessivo • Contaminação da superfície devido a poços imprópriamente construídos • Entrada e/ou percolação de águas juvenis de fontes ou cursos d'água altamente mineralizados • Erosão acelerada • Mineralização resultante da transpiração e/ou evaporação das Plantas

2.5 Sistemas de Informação Geográfica

2.5.1 Espaço geográfico e informação espacial

A informação geográfica apresenta uma natureza dual: um dado geográfico possui uma *localização geográfica* (expressa como coordenadas em um espaço geográfico) e *atributos descritivos* (que podem ser representados num banco de dados convencional).

De forma intuitiva, pode se definir o termo "*espaço geográfico*" como uma coleção de localizações na superfície da Terra, sobre o qual ocorrem os fenômenos geográficos. O espaço geográfico define-se, portanto, em função de suas coordenadas, sua altitude e sua posição relativa. Sendo um espaço localizável, o espaço geográfico é possível de ser cartografado (DOLFUS, 1991).

A noção de *informação espacial* está relacionada com à existência de objetos com propriedades, que incluem sua localização no espaço e sua relação com outros objetos. Estas relações incluem conceitos topológicos (vizinhança, pertinência), métricos (distância) e direcionais ("ao norte de", "acima de"). Deste modo, os conceitos de *espaço geográfico* (um *locus* absoluto, existente em si mesmo) e *informação espacial* (um *locus* relativo, depende das relações entre objetos) são duas formas complementares de conceituar o objeto de estudo do Geoprocessamento. Estas formas irão levar à dualidade conceitual na modelagem espacial, onde a noção absoluta de espaço geográfico leva à idéia de conjuntos de campos geográficos e a noção relativa de informação espacial conduz à postulação da existência de conjuntos de objetos geo-referenciados (WORBOYS, 1995).

2.5.2. Relações espaciais entre fenômenos geográficos

Os diferentes fenômenos geográficos, ao se distribuírem sobre a superfície da Terra, estabelecem padrões de ocupação. Ao representar tais fenômenos, o Geoprocessamento procura determinar e esquematizar os mecanismos implícitos e explícitos de inter-relação entre eles. Estes padrões de inter-relação podem assumir diferentes formas:

- *correlação espacial*: um fenômeno espacial (e.g. topografia) está relacionado com o entorno que de forma tão mais intensamente quanto maior for a proximidade de localização;
- *correlação temática*: as características de uma região geográfica são moldadas por um conjunto de fatores. Assim, as formas geológicas, o solo, o clima, a vegetação e os rios formam uma tonalidade interrelacionada. Deste modo, pode-se traçar pontos de correspondência entre o solo e a vegetação de uma região;

- *correlação temporal*: a fisionomia da Terra está em constante transformação, em ciclos variáveis para cada fenômeno. Cada paisagem ostenta as marcas de um passado mais ou menos remoto, apagando ou modificando de maneira desigual, mas sempre presente (DOLFUS, 1991);
- *correlação topológica*: de uma particular importância na representação computacional, as relações topológicas como adjacência, pertinência e intersecção, permitem estabelecer os relacionamentos entre os objetos geográficos que são invariantes à rotação, à translação e à escala.

2.5.3. Descrição geral de sistema de informação geográfica

O termo *Sistema de Informação Geográfica* (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. Um SIG armazena a geometria e os atributos dos dados que estão *georreferenciados*, isto é, localizados na superfície terrestre e numa projeção cartográfica. Os dados tratados em geoprocessamento tem como principal característica a diversidade de fontes geradoras e de formatos apresentados.

Segundo Câmara e Medeiros (1996) os requisitos de armazenar a geometria dos objetos geográficos e de seus atributos representa uma *dualidade* básica para SIG's. Para cada objeto geográfico, o SIG necessita armazenar seus atributos e as várias representações gráficas associadas. Devido a sua ampla gama de aplicações, que inclui temas como agricultura, florestas, cartografia, cadastro urbano e redes de concessionárias (água, energia e telefonia), existem várias maneiras de se utilizar um SIG:

- como ferramenta para produção de mapas;
- como suporte para análise espacial de fenômenos;
- como banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial;
- integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélites, redes e modelos numéricos de terreno;
- oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

2.5.4. Estrutura geral de um SIG

Numa visão abrangente, pode-se indicar que um SIG tem os seguintes componentes:

- Interface com o usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de processamento gráfico e de imagens;
- Visualização e plotagem;
- Armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos).

Estes componentes se relacionam de forma hierárquica. No nível mais próximo ao usuário, a *interface homem-máquina* define como o sistema é operado e controlado. No nível intermediário, um SIG deve ter mecanismos de processamento de dados espaciais (*entrada, edição, análise, visualização e saída*). No nível mais interno do sistema, um *sistema de gerência de banco de dados geográficos* oferece armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos.

De uma forma geral, as funções de processamento do SIG operam sobre dados de uma *área de trabalho* em memória principal. A ligação entre os dados geográficos e as funções de processamento do SIG é feita por mecanismos de seleção e consulta que definem restrições sobre o conjunto de dados (CÂMARA e MEDEIROS, 1996).

3 Materiais e Métodos

A bacia do rio salitre em estudo faz parte da bacia do rio São Francisco e se encontra localizada entre as latitudes 9°27' e 11°30' Sul e entre as longitudes 40°22' e 41°30' Oeste, limitada pelas bacias dos rios tourão e Jacaré. O seu curso d'água principal – o rio salitre – nasce na região central do Estado da Bahia, na Chapada Diamantina, no município de Morro do Chapéu e deságua no rio São Francisco, à 20 km à montante da cidade de Juazeiro. A área da bacia, delimitada em documentos cartográficos na escala 1:500.000 foi avaliada em 14.510 km² sendo que a topografia muito plana e a ausência de rede hidrográfica no seu trecho inferior podem prejudicar a precisão dessa estimativa. Acompanhando-se a linha do divisor de águas que delimita a bacia, encontra-se o seu perímetro avaliado em carta na escala 1:250.000, em 640 km (SEPLANTEC, 1986).

A rede hidrográfica da bacia em estudo é formada pelo rio Salitre como seu rio principal e pelo seus afluentes listados na Tabela 2. Neste presente trabalho de pesquisa, foi sobre esta malha de drenagem que foi realizada a aplicação de modelos hidrológicos superficiais e subsuperficiais no controle de processos degradativos e manejo da irrigação e da drenagem nos cultivos do vale do rio Salitre-BA, em continuidade aos trabalhos realizados por Andrade (1998).

Tabela 2 – Afluentes das margens esquerda e direita do rio Salitre.

MARGEM DIREITA	MARGEM ESQUERDA
Riacho da Conceição	Riacho do Orlando
Riacho Baixa do Sangrador	Riacho do Marim
Vereda Caatinga do Moura	Rio Preto
Riachão	Rio Pacui
Riacho das Piabas	Riacho do Escurial

Na modelagem superficial está sendo utilizado técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, procurando obter respostas ao avanço da salinização, para isto o software utilizado nesta análise é o SPRING. Na primeira etapa foi realizado treinamento no SPRING, utilizando técnicas de digitalização de mapas. Foram digitalizados os mapas do município de Curaça: altimetria, drenagem, zoneamento agrícola, mapas dos distritos, hidrologia e solos; e 3 mapas do município de Petrolina: solos, estradas e projetos de irrigação; também foi adquirido imagens de satélite para posterior tratamento.

Nesta segunda etapa foram digitalizados dois mapas da bacia com os seguintes temas: potencial de recursos hídricos e mapa de avaliação do relevo do projeto RADAM (BRASIL, 1981) para que se completasse o banco de dados da bacia do salitre, que contém várias categorias digitalizadas tais como: Estradas, Altimetria, Solos, Cobertura Vegetal, Densidade de Drenagem, Drenagem, Salinidade, etc. Os mapas estão digitalizados na escala 1:500.000 (ANDRADE, 1998).

Foi instalado o software Aquachem que é desenvolvido especificamente para análise numérica, gráfica e modelagem de um conjunto de dados de geoquímica aquosa. Para análise das águas subterrâneas foram digitados no Aquachem 404 laudos de análise de poços em toda a bacia do Rio Salitre distribuídos por município e por ano (antes e após o ano de 1990) fornecidos pela Companhia de Engenharia Rural da Bahia – CERB, donde os seguintes compostos foram analisados: Condutividade Elétrica, pH, dureza, turbidez, vazão, profundidade, cálcio, magnésio, ferro, flúor, cloretos, sulfatos, N-nítrico, N-nitroso, carbonatos e bicarbonatos.

4 Resultados e Discussões

Na digitalização, com a obtenção de mapas temáticos, foram estabelecidas a visão geral do espaço geográfico em estudo, em termos da divisão municipal no contorno dos divisores de água que compõe a bacia hidrográfica do rio Salitre, que pode ser visualizada na Figura 1.

A análise em banco de dados é uma fonte segura na análise de vários parâmetros. Com relação ao Aquachem, a seguir vai os resultados de dureza e da condutividade elétrica das águas subterrâneas para o município de Campo Formoso que compõe a bacia. Para todos os municípios que compõem foram realizadas a frequência relativa e a frequência acumulada de forma a compor os dados de cada um dos elementos relacionados nos métodos ampliando o banco de dados de águas subterrâneas em nível municipal da bacia. As Tabelas 3 e 4 mostram, como exemplo, os dados de frequência relativa e frequência acumulada de dureza e classificação das águas quanto ao potencial para agricultura irrigada.

Tabela 3 – Frequência relativa e acumulada para potencial para agricultura irrigada para o município de Campo Formoso - BA, considerando a dureza das águas subterrâneas.

CAMPO FORMOSO(1979-1989)			
Dureza	Nº de amostras	F. Relativa (%)	F. Acumulada (%)
Muito mole	2	6.66	6.66
Mole	3	10	16.66
Dura	2	6.66	23.32
Muito dura	23	76.66	100,00

Tabela 4 – Frequência relativa e acumulada para o potencial para agricultura irrigada para o município de Campo Formoso - BA, considerando a condutividade elétrica das águas.

CAMPO FORMOSO(1979-1989)			
Condutividade Elétrica	Nº de Amostra	F. Relativa (%)	F. Acumulada (%)
C ₁	2	6,67	6,67
C ₂	4	13,33	20,00
C ₃	18	60,00	80,00
C ₄	3	10,00	90,00
Imprópria	3	10,00	100,00

Na maioria dos municípios a dureza das águas subterrâneas se enquadram em "dura" a "muito dura" e a condutividade das águas subterrâneas estão classificadas entre C₃ e C₄. Sendo que:

C₁ – Águas de baixa salinidade podendo ser utilizada com a maior parte das lavouras, e na maior parte dos solos. A condutividade varia entre 0 a 250 µS, com pequenos riscos de incidência proveniente de salinização dos solos.

C₂ – Águas de salinidade médias – Condutividade entre 250 e 750 µS, podendo ser utilizada se houver uma lixiviação moderada do solo.

C₃ – Águas de salinidade alta, com condutividade elétrica entre 750 e 2.250 µS só podendo ser utilizadas em solos bem drenados.

C₄ - Águas de salinidade muito forte, com condutividade entre 2.250 e 5.000 µS, geralmente não serve para irrigação, todavia podem ser excepcionalmente utilizadas em solos permeáveis, bem cuidados e abundantemente irrigados.

Impróprias – Águas acima de 5.000 µS são consideradas absolutamente impróprias para irrigação.



Fig. 1 : Divisão municipal no entorno dos divisores de água da bacia do rio Salitre

Os seguintes modelos de gráficos com base nos dados das 404 amostras foram elaborados, a partir das funções pré programadas do Aquachem, para cada um dos municípios compondo o banco de dados de águas subterrâneas da bacia: Scatter Plots, que analisa uma plotagem cartesiana do tipo X-Y como uma aproximação inicial da disposição relativa entre elementos dois a dois em cada amostra; Ternary, que analisa os elementos três a três e que geralmente indicam similaridades ou diferenças na composição da água à partir de certas unidades geológicas e hidrológicas; e o Histograma que primariamente estabelece o número de populações dentro de um determinado conjunto de dados.

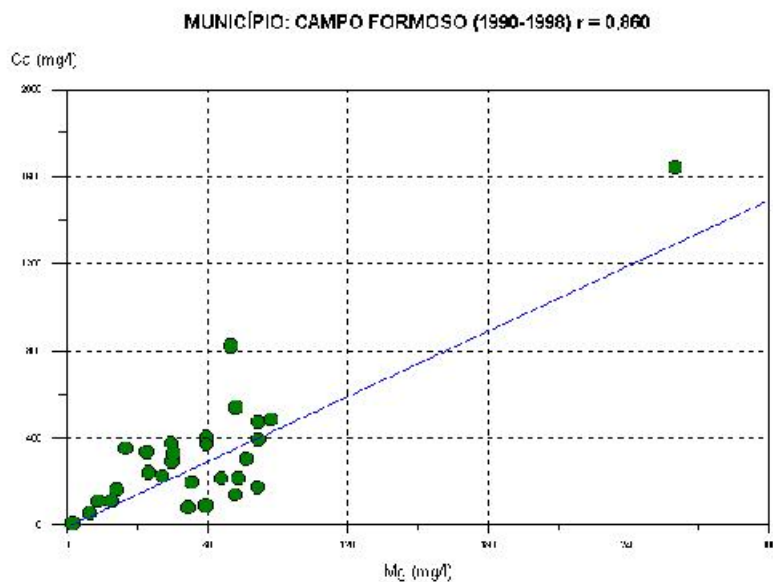


Fig. 2 : Scatter Plot que analisa a relação Ca/Mg (mg/l) de poços no município de Campo Formoso – BA

MUNICÍPIO: JACOBINA (1977-1989)

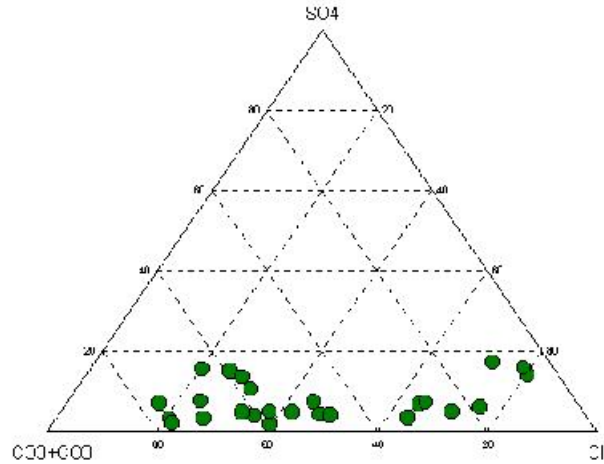


Fig. 3 : Ternery que classifica as águas subterrâneas em: cloretadas, sulfatadas, bicarbonatadas, sódicas, magnesianas e cálcicas (mg/l) para o município de Jacobina – BA

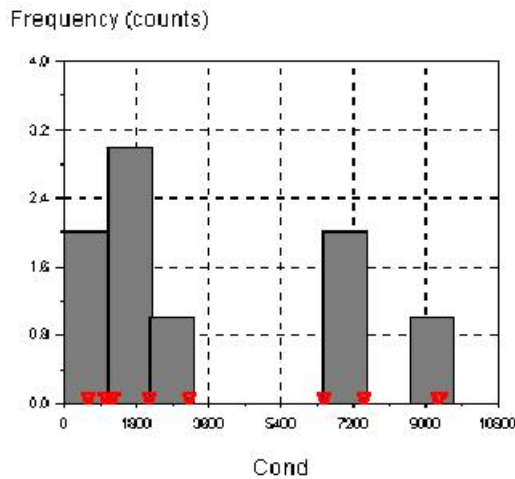


Fig. 4 : Histograma gráfico para o parâmetro de condutividade elétrica da água e sua totalização em intervalos de classe para o município de Campo Formoso – BA

Através do Aquachem foi elaboradas as seguintes análises de dados para cada um dos municípios que compõe a bacia hidrográfica do rio Salitre:

- Análise estatística para cada um dos municípios por diferentes de períodos de aquisição que fornece a média, valor mínimo e máximo, coeficiente de correlação, etc, de cada parâmetro analisado no conjunto de amostra para o período específico, como exemplo, na tabela 5 temos a análise estatística para o município de Antônio Gonçalves no período 1996 a 1999.

Tabela 5 – Elementos principais de uma análise exploratória de dados do Município de Antônio Gonçalves para o período de 1996 a 1999, com número máximo de amostras igual a 5 e a concentração dada em mg/l.

Elemento (mg/l)	Min	Max	Average	St. Dev.	Dev.	CoeffVar%	Sample No
Ca	17,48	2038,99	686,692	886,261	129,062	99,0	5
Mg	9,28	507,17	194,934	235,581	120,852	98,0	5

Cl	12,93	3604,34	1386,102	1788,769	129,05	100,0	5
SO4	4,0	73,0	30,288	30,063	99,256	95,0	5
F	0,21	0,38	0,285	0,07	24,728	45,0	4
Fe	0,14	1,19	0,576	0,387	67,111	88,0	5
NO3	0,333	9,094	5,476	4,575	83,553	96,0	3
NO2	0,002	0,184	0,093	0,129	138,38	99,0	2
HCO3	62,67	165,59	114,85	36,799	32,041	62,0	5
CO3	0,0	14,77	5,906	8,087	136,931	100,0	5
Head	76,0	150,0	110,4	32,478	29,418	49,0	5
Flow	0,936	11,484	3,802	4,357	114,608	92,0	5
pHLab	7,6	8,42	8,056	0,323	4,006	10,0	5
Cond	173,5	9970,0	4266,16	5209,271	122,107	98,0	5
HARD	55,53	4117,57	1485,612	1843,551	124,094	99,0	5
TURB	0,9	25,75	8,29	10,156	122,511	97,0	5
SIO2	10,0	41,7	25,59	12,639	49,39	76,0	5

- Análise da qualidade da água para cada amostra mostrando os parâmetros que estão acima do recomendado e a classificação da água quanto a condutividade elétrica. Na tabela 6 temos a análise da qualidade de água para o poço OUGamp1, no município de Ourorândia, dado coletado em 09/03/1996.

Tabela 6 – Caracterização da qualidade da água para o município de Ourorândia, amostra extraída do poço OUGamp1, para os elementos dureza, turbidez, condutividade elétrica, Magnésio, Cálcio, Ferro, Cloretos e Sulfatos, além da classificação da água quanto ao uso em agricultura irrigada.

SampleID		OUGamp1	
Location		Ourorândia	
Site		Gameleira	
Sampling Date		09/03/96	
Drinking Element	Water Quality Measured	Regulations Recommended	Regulations Maximum
Cond (Condutividade Elétrica ?S)	5123	< 400	< 1250
HARD (Dureza)	1678,98	< 35	
TURB (Turbidez)	7	< 1	< 10
Mg (mg/l)	189,64	< 30	< 50
Ca (mg/l)	901,78	< 100	
Fe (mg/l)	4	< .05	< .2
Cl (mg/l)	1700,41	< 20	< 200
SO4 (mg/l)	122	10 a 50	< 200
Irrigation water:	Conductivity = 5123 ?S (group C4: Very high salinity water)		

- Análise geral de dados de cada poço sobre o tipo de água, soma de cátions e ânions, minerais dissolvidos, relações entre elementos, etc. A tabela 7 mostra análise geral dos dados para o poço JUMudp1 no município de Juazeiro.

Tabela 7 – Tabela de múltiplas entradas da análise geral sobre qualidade da água subterrânea do poço JUMudp1, no município de Juazeiro – BA.

SampleID:	JUMudp1			
Location :	Juazeiro			
Site :	Mudubin			

Sampling Date :	04/06/93			
Geology :				
Watertype :	Ca-Mg-Cl-HCO3			
Sum of Anions (meq/l) :	12,13			
Sum of Cations (meq/l) :	13,78			
Balance :	6,4%			
Total dissolved solids :	25,9 meq/l	789,2 mg/l		
Hardness	meq/l	°f (1 °f = 10 mg/l CaCO3/l)	°g (1 °g = 10 mg/l CaO)	mg/l CaCO3
Total hardness :	13,77	68,85	38,56	688,5
Permanent hardness:	8,12	40,58	22,73	405,8
Temporary hardness:	5,65	28,27	15,83	282,7
Alkalinity :	5,65	28,27	15,83	282,7
Major ion composition :	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	0,0	0,0	0,0	0,0
K+	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela 7 – Tabela de múltiplas entradas da análise geral sobre qualidade da água subterrânea do poço JUMudp1, no município de Juazeiro – BA (continuação) .

Major ion composition :	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Ca++	148,2	3,698	7,395	27,01
Mg++	77,49	3,188	6,375	23,152
Cl-	206,12	5,814	5,814	19,293
SO4--	30,0	0,312	0,625	0,0
HCO3-	08,07	5,05	5,05	19,293
Ratios :	Comparison to Seawater			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,913	1,16	0.319	0.194
Ca/SO4	4,94	11,839	0.152	0.364
Na/Cl	0,0	0,0	0.556	0.858
Dissolved Minerals :	mg/l	mmol/l		
Carbonate (CaCo3)	19,791	0,1979		
Dolomite (CaMg(CO3)2)	586,833	3,188		
Anhydrite (CaSO4)	42,538	0,312		
SiO2 as Quartz	193,709	3,224		
or Feldspar (NaAlSi3O8)	845,865	3,228		

5 Conclusões

De acordo com os resultados podemos concluir que:

- A maioria dos municípios enquadram-se em águas de condutividade elétrica que possibilitam classificá-las entre C3 e C4, quanto a propriedade para uso como água de irrigação;

- Os município que obtiveram maior percentagem de águas impróprias para a irrigação foram Sobradinho com 80% e Juazeiro com 44,45 %;
- De acordo com a análise realizada com o Aquachem e considerando as análises geográficas realizadas com o SPRING as águas subterrâneas da bacia do Rio Salitre podem ser classificadas em carbonatadas e cloretadas;
- De acordo com a análise temporal no município de Campo Formoso, por exemplo, a condutividade elétrica das águas subterrâneas diminuíram para C1 e C2, numa análise temporal dos poços;
- Em geral, na análise temporal a condutividade elétrica das águas subterrâneas diminuíram;
- Os laudos da fornecidos pela CERB não continham análises de Na e K de forma que não foi possível determinar a RAS e o perigo de sodificação dos solos pelas águas de irrigação;

6 Referências Bibliográficas

ANDRADE, L. N. V. de. *Análise simulada na recuperação de solos afetados por sais e na resposta produtiva dos cultivos.* Piracicaba, 1998. 159p. : il (Tese de Doutorado).

ASSAD, E. D. *Geoprocessamento e análise ambiental.* In: VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Salvador, 1996, 92p.

BAGNOLD, R. A. *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes.* New York: William Morrow & Co., 1942. 265 p.

BAHIA. Secretaria de planejamento Ciência e Tecnologia. *Avaliação dos recursos hídricos das bacias hidrográficas do estado da bahia: bacia do rio Salitre.* Salvador, 1986. 1v.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. *Levantamento dos Recursos Naturais Renováveis.* Rio de Janeiro: MMN/SG/PROJETO RADAMBRASIL, 1981. Folha sd. 24 Salvador, Escala 1:1.000.000.

BRASIL. Congresso Nacional. Assembléia Nacional Constituinte. *Constituição do Brasil 1988.* Rio de Janeiro: Bloch Editores, 1988. p.112.

CÂMARA, G. & MEDEIROS, J. S. *Geoprocessamento para projetos ambientais.* In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Salvador, BA, 1996, p. 4-7,9.

CEDERSTROM, D.J. *Água subterrânea: uma introdução.* Centro de publicações técnicas da aliança, Rio de Janeiro-RJ, 1984. 280p.

W. & MELO, F. *Estudo Geoquímico Preliminar das Águas Subterrâneas do Nordeste do Brasil.* Recife, 1974. Ministério do Interior. 125p.

DOLFUS, O. *O Espaço Geográfico.* Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1991.

DREGNE, H. E. *Desertification of arid lands.* New York: Harwood Academic Publishers, 1983. 242p.

FRYREAR, D. W.; STUBBENDIECK J.; MCCULLY W. G. *Grass seedling response to wind and windblown sand.* **Crop Science**, v.113–116, p.622–625, 1973.

HILLEL, D. *Introduction to Soil Physics.* New York: Academic Press, 1982. 364p.

HOLÝ M. *Erosion and Environment.* Oxford: Pergamon Press, 1980. 225 p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAIS. *SPRING versão 3.3:* software de GIS e sensoriamento. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 1999.

MAINGUET, M. *Desertification: natural background and human mismanagement.* (2.ed.) Berlin; Heidelberg; New York; London; Paris; Tokyo; Hong Kong; Barcelona; Budapest: Springer-Verlag, 1994. 314p.

MANDOVANI, W. *Gestão ambiental do semi-árido,* ABEAS/UFPA. 1999, 30p. (Módulo 3: Curso de Especialização por Tutoria à Distância).

MINTER – Governo do Estado da Bahia. *Levantamento Hidrogeológico básico da Bacia do Rio Tucano, Vale do Itapicuru.* Salvador, 1977. 59p

PESSOA, M. Dias. *Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste.* SUDENE, Folha Nº 18. Recife, 1979. 237p.

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

SEPLANTEC [Secretaria de Planejamento Ciência e Tecnologia]. *Avaliação dos recursos hídricos das bacias hidrográficas do estado da bahia: bacia do rio Salitre.* Salvador, Governo do Estado da Bahia, Secretaria de Planejamento, Ciência e Tecnologia, v.2, TOMOS 1 e 2, 1986.

SHERIDAN, D. *Desertification of the united states,* U.S. Government Printing Office, 1981. 142 p. *Estudos Hidrológicos do Nordeste.* Ministério do Interior. Fortaleza-CE, 1981. 128p.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME *United Nations Conference on Desertification: roundup, plan of action and resolutions.* United Nations, New York, 1978.

UNEP UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME *Status of Desertification and Implementation of the United Nations Plan of Action to Combat Desertification.* UNEP, Nairobi, 1992. 88p.

USDA UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. *Soil Survey Manual,* USDA Handbook No. 18, U. S. Government Printing Office, 1993. 437 p.

VETORAZZI, C. A. *Sensoriamento remoto orbital*. Piracicaba, SP, ESALQ – Departamento de Engenharia Rural, 1992. 133p. : il. (SÉRIE DIDÁTICA Nº 002).

WATERLOO HYDROGEOLOGIC INCORPORATION. *AquaChem version demo 3.6.4*. Waterloo Hidrogeologic Inc.(WHI), 2000.

WORBOYS, M. F. *A Computing Perspective*. London, Taylor and Francis, 1995.

