

Análise da Distribuição Espacial de Parâmetros de Qualidade das Águas Subterrâneas para Irrigação no Semi-árido do Estado de Sergipe

Marcus Aurélio Soares Cruz, Ronaldo Souza Resende, Julio Roberto Araújo de Amorim

Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju/SE

mascruz@cpatc.embrapa.br, ronaldo@cpatc.embrapa.br, jramorim@cpatc.embrapa.br

Recebido: 13/12/08 - revisado: 28/10/09 - aceito: 07/06/10

RESUMO

A região semi-árida do Estado de Sergipe apresenta intensa busca por águas subterrâneas extraídas por poços tubulares públicos e privados, com predominância de uso para abastecimento doméstico, desidratação de animais e irrigação. A ausência de informações organizadas sobre quantidade e qualidade das águas retiradas tem contribuído para a degradação deste recurso natural e gerado estagnação de atividades econômicas, dentre estas a agricultura irrigada, ainda muito incipiente nesta região e restrita a pequenas áreas familiares. A utilização das águas subterrâneas para fins agrícolas exige cuidados devido aos possíveis impactos relacionados às características físico-químicas da água de irrigação, que podem afetar o solo, as culturas, os sistemas de distribuição e os mananciais hídricos locais. Este estudo objetivou caracterizar a distribuição espacial de variáveis de qualidade da água de 252 poços tubulares, utilizando técnicas de geoprocessamento, que funcionem como indicadores dos potenciais riscos do uso deste recurso para irrigação. A qualidade da água de poços tubulares nesta região mostrou-se regular de um modo geral, com concentrações elevadas de sais, principalmente na sua porção centro-noroeste, o que resultou na classificação de aproximadamente 75% das amostras com algum tipo de restrição para uso em irrigação.

Palavras-Chave – qualidade da água, semi-árido, irrigação, krigagem.

INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos subterrâneos constituem-se em reserva estratégica de água para suprimento das demandas atuais e futuras, uma vez que representam uma quantidade cerca de 100 vezes maior que as águas superficiais no mundo (Borghetti et. al, 2004). A importância desta fonte ganha realce quando há predominância de escassez hídrica, como em algumas regiões no Nordeste brasileiro, conhecidas como Semi-árido nordestino, que apresentam volumes anuais precipitados consideráveis, da ordem de 400 a 800 mm, no entanto com alta irregularidade de distribuição no tempo, provocando longas estiagens, com o ressecamento dos leitos de muitos rios e reduções drásticas nas lâminas d'água de reservatórios (Rebouças, 1997).

O Semi-árido nordestino abrange parcialmente o Estado de Sergipe, constituindo uma região com intensa busca por águas subterrâneas através de poços tubulares públicos e privados, com predominância de uso para abastecimento doméstico, desidratação de animais e irrigação (Bomfim et al.,

2002). A gestão dos recursos hídricos explotados no Estado, enfrenta ainda grandes dificuldades, principalmente decorrentes da ausência de informações organizadas sobre quantidade e qualidade das águas retiradas, potenciais de exploração e usos múltiplos realizados. Este cenário contribui para a degradação deste recurso natural e gera estagnação de atividades econômicas, dentre estas a agricultura irrigada, ainda muito incipiente nesta região e restrita a pequenas áreas familiares, pois é estimado que apenas 16% dos poços do Estado tenham suas águas utilizadas para este fim (Bomfim et al., 2002). Por outro lado, havendo um incentivo ao uso das águas subterrâneas para fins agrícolas, processos de gestão mais eficientes serão demandados.

Uma ferramenta para auxílio ao processo decisório em políticas de gestão de recursos hídricos são os Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Os SIGs constituem-se em um conjunto harmônico composto por uma base de dados, um ou mais softwares que permitem a manipulação de informações e uma interface gráfica para acesso do usuário (Câmara & Queiroz, 2008). Através dos SIGs é possível a manipulação de atributos georeferenciados de for-

ma rápida, com a produção de mapas, gráficos e planilhas que possibilitem, por exemplo, a análise do comportamento espacial de variáveis indicadoras da qualidade da água ao longo de uma determinada região de interesse.

Este estudo objetiva caracterizar a distribuição espacial de alguns parâmetros de qualidade da água subterrânea que funcionem como indicadores dos potenciais riscos do uso deste recurso para irrigação na região semi-árida do Estado de Sergipe por meio de técnicas de geoprocessamento.

ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E IRRIGAÇÃO

A utilização das águas subterrâneas para fins agrícolas exige uma série de cuidados, principalmente relacionados aos impactos decorrentes das características físico-químicas da água de irrigação, que podem afetar o solo, as culturas, os sistemas de distribuição e os próprios mananciais hídricos locais (Ayers & Westcot, 1994). Neste aspecto, faz-se necessário um diagnóstico dos riscos potenciais associados à qualidade da água que poderão acarretar problemas relacionados, principalmente, à degradação dos solos pela salinização, às perdas de produtividade de culturas por toxicidade e ao entupimento dos sistemas de irrigação localizada, se não forem adotadas medidas de correção ou mitigação (Ayers e Westcot, 1994). Segundo Bot et al. (2000), estima-se que cerca de 400 milhões de hectares irrigados no mundo apresentem problemas associados a elevados teores de sais.

A composição físico-química das águas subterrâneas está intrinsecamente relacionada com a litologia do subsolo de extração, acrescendo-se ainda as influências decorrentes da forma de armazenamento, seja por aquíferos livres, confinados ou fraturados, e do clima predominante local (Cruz e Melo, 1969). A presença de sais na água subterrânea, por exemplo, está diretamente associada ao tipo de substrato com o qual esta tem contato e com a sua capacidade de dissolução. Aquíferos fraturados apresentam geralmente águas explotadas com maiores teores de sais que os granulares resultado dos maiores períodos de contato, da falta de circulação das águas e dos tipos de rocha predominantes (Bomfim et al., 2002).

A avaliação da adequação de determinada água para irrigação pode ser realizada a partir dos critérios definidos pela Organização das Nações U-

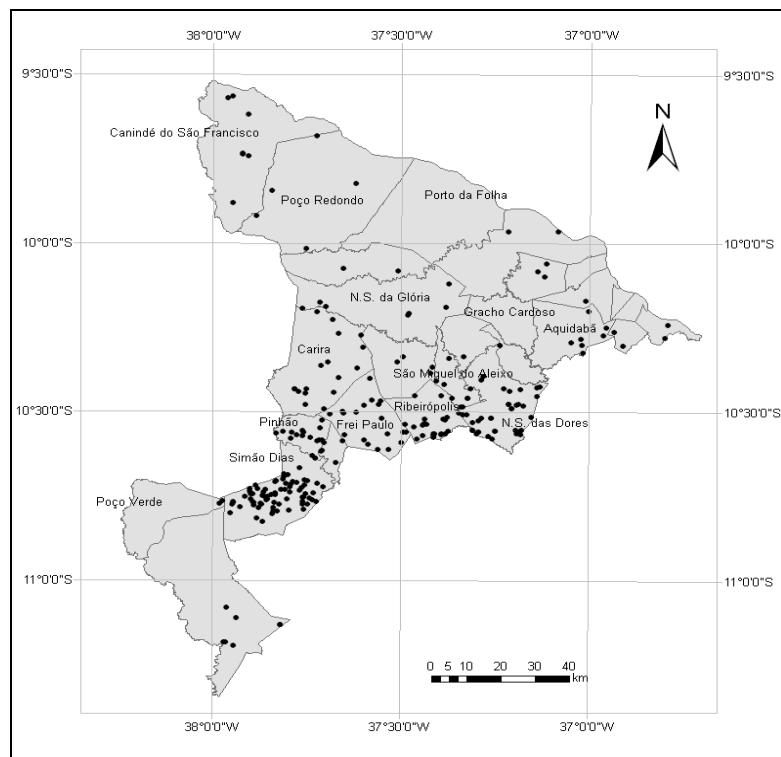
nidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO). Segundo Kovda et al. (1973), esta avaliação deve considerar os riscos de salinização, sodificação e alcalinização por carbonatos para o solo; aspectos tóxicos em relação a cloreto e sódio para as plantas e danos ao sistema de irrigação pela alta concentração de sais de baixa solubilidade.

A salinização dos solos por águas de irrigação representa um risco às culturas principalmente devido à perda de rendimentos por redução da disponibilidade de água para a planta (Ayers e Westcot, 1994). A FAO recomenda para a avaliação do risco por excesso de sais na água de irrigação, a consideração de valores limites para condutividade elétrica (CE) e para sais dissolvidos totais (SDT).

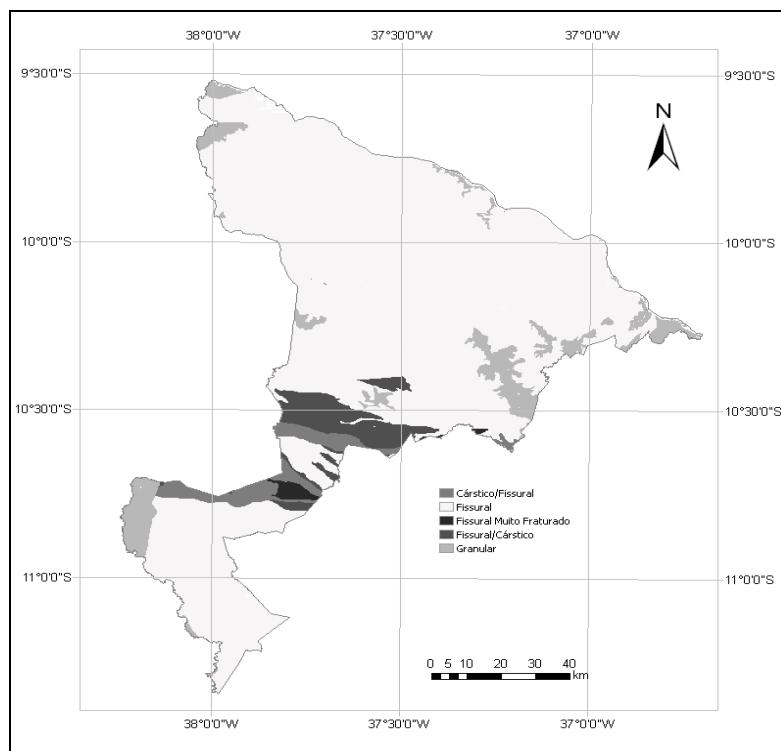
Os riscos decorrentes da aplicação de água por sistemas de irrigação considerando os efeitos sobre a permeabilidade do solo, chamado sodicidade, têm sido avaliados através da determinação da razão de adsorção de sódio (RAS) da água, visto que esta pode ser relacionada com a RAS do solo uma vez que se atinja o equilíbrio dinâmico (Andrade Junior et al., 2006). A FAO recomenda a associação de RAS e condutividade elétrica da água para avaliação do risco de redução da permeabilidade do solo, uma vez que quanto maior a salinidade da água menor será o efeito dispersante do sódio, pois os sais atuam no solo de maneira oposta ao sódio, ou seja, os sais presentes na solução do solo têm efeito floculante, aumentando a infiltração (Ayers e Westcot, 1994).

A toxicidade de alguns íons sobre as culturas reflete-se no acúmulo destes nas folhas durante o processo de transpiração da planta, provocando danos, com redução de rendimentos. Sódio e cloreto são os principais íons tóxicos mais comumente contidos nas águas de irrigação. Logicamente, este risco está associado à sensibilidade da cultura irrigada e ao tipo de irrigação utilizada, uma vez que quanto maior o contato da água com a planta, como, por exemplo, em sistemas por aspersão, maior a possibilidade de verificação dos efeitos (Ayers e Westcot, 1994).

A possibilidade de obstrução de sistemas de irrigação localizada está diretamente associada a concentrações elevadas de sedimentos, substâncias químicas e organismos biológicos contidos frequentemente nas águas de irrigação, que podem se depositar nos pequenos orifícios de distribuição da água ao longo do tempo (Ayers e Westcot, 1994). A FAO apresenta limites para diversos elementos destes tipos, destacando-se sólidos em suspensão, pH, ferro e populações bacterianas.



(a)



(b)

Figura 1 - Região de estudo: (a) municípios da região semi-árida do Estado de Sergipe e distribuição espacial dos poços tubulares levantados (b) unidades aquíferas predominantes.

Tabela 1 - Classes de restrição ao uso da água para irrigação.

Risco	Variáveis	Classes de restrição		
		Nenhuma	Moderada	Severa
Salinização	CE (dS m^{-1})	< 0,7	0,7 a 3,0	> 3,0
	RAS ($\text{mmol}_\text{c L}^{-1}$) ^½	Condutovidade Elétrica (dS m^{-1})		
Sodificação	0 a 3	> 0,7	0,7 a 0,2	< 0,2
	3 a 6	> 1,2	1,2 a 0,3	< 0,3
	6 a 12	> 1,9	1,9 a 0,5	< 0,5
	12 a 20	> 2,9	2,9 a 1,3	< 1,3
Toxicidade às culturas para irrigação por aspersão	20 a 40	> 5,0	5,0 a 2,9	< 2,9
	Na ($\text{mmol}_\text{c L}^{-1}$)	< 3,0	> 3,0	
Obstrução de sistemas de irrigação localizada	Cl ($\text{mmol}_\text{c L}^{-1}$)	< 3,0	> 3,0	
	pH	< 7,0	7,0 a 8,0	> 8,0
	Fe (mg L^{-1})	< 0,1	0,1 a 1,5	> 1,5

Fonte: Adaptado de Ayers & Wescot (1994)

Tabela 2 - Descritores estatísticos calculados para as variáveis de qualidade das águas subterrâneas na região semi-árida do Estado de Sergipe.

	CE (dS.m^{-1})	Ca^{++} ($\text{mmol}_\text{c L}^{-1}$)	Mg^{++} ($\text{mmol}_\text{c L}^{-1}$)	Na^+ ($\text{mmol}_\text{c L}^{-1}$)	Cl^- ($\text{mmol}_\text{c L}^{-1}$)	RAS ($\text{mmol}_\text{c L}^{-1}$) ^½	pH	Fe^{++} (mg.L^{-1})
Número de obs.	249	251	251	251	252	251	252	187
Mínimo	0,05	0,02	0,04	0,29	0,34	0,37	4,70	0,00
Máximo	32,33	116,37	160,70	208,80	382,38	36,64	9,02	15,24
Média	4,11	9,90	12,69	25,75	41,86	6,83	7,54	0,37
Mediana	1,89	4,46	4,32	10,03	14,43	4,64	7,65	0,01
Desvio-padrão	5,93	15,76	23,73	41,77	68,44	6,53	0,65	1,27
Coef. de variação	144%	159%	187%	162%	163%	96%	9%	346%

MATERIAL E MÉTODOS

A região do Estado de Sergipe inserida no Semi-árido do Nordeste brasileiro abrange cerca de 50% de sua área territorial total, totalizando aproximadamente 11 mil km^2 , sendo composta por 27 municípios localizados na faixa noroeste-sudoeste do Estado. Dentre os municípios desta região, destacam-se Tobias Barreto, Simão Dias, Propriá, Nossa Senhora da Glória, Poço Redondo, Porto da Folha e Nossa Senhora das Dores, que apresentam populações acima de 20 mil habitantes (Sergipe, 2004).

Foram levantadas nos cadastros da Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe – COHIDRO e da Superintendência de Recursos Hídricos – SRH, órgão vinculado à Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Sergipe – SEMARH, informações de 252 poços tubulares. Estas informações contemplam dados de identificação dos poços, coordenadas

geográficas, variáveis qualitativas e quantitativas (Resende et. al, 2007). A Figura 1(a) apresenta a localização da região de estudo no Estado de Sergipe, bem como a distribuição espacial dos poços levantados.

As variáveis selecionadas para o estudo foram: Condutovidade Elétrica, pH, Ferro total, Sódio, Cloreto, Cálcio e Magnésio, estes dois últimos para a determinação da Razão de Adsorção de Sódio (RAS). Estes dados, acrescidos das informações de identificação e localização geográfica dos poços, foram organizados em um banco de dados no formato DBASE gerenciado pelo software ArcView® (ESRI, 2008). Realizou-se, inicialmente, uma análise exploratória dos dados com a determinação de medidas estatísticas básicas de tendência central e dispersão.

A análise final dos resultados solicita também o conhecimento da litologia e tipos predominantes dos aquíferos da região. A Figura 1(b) apresenta a distribuição das unidades aquíferas classifi-

cadas em função de suas características litológicas e de circulação de água, onde se verifica a predominância de formações cristalinas do tipo fissural, onde a circulação da água é restrita às fraturas. Há também pequenos fragmentos de litologia calcária e sedimentar, onde pode ocorrer a circulação mais intensa de volumes armazenados (Sergipe, 2004).

Na avaliação das restrições de uso das águas provenientes dos poços selecionados para fins agrícolas por irrigação, conforme mencionado anteriormente, utilizou-se critérios definidos em Ayers & Westcot (1994). A Tabela 1 resume os limites considerados para cada variável de qualidade medida.

A FAO estabelece três classes de restrição ao uso da água para irrigação: 1 – nenhuma restrição; 2 – restrição moderada e 3 – restrição severa. Estas classes representam os graus de risco de uso da água a partir da consideração de não serem tomadas medidas de prevenção dos efeitos negativos previstos. Considerando-se os limites de classes apresentados, foram elaborados mapas de espacialização para as variáveis de qualidade por krigagem ordinária a partir da geração de semivariogramas e avaliação de modelos matemáticos, buscando melhores ajustes de efeito pepita, patamar e alcance, avaliados pela minimização dos erros médios padronizados com a utilização do software ArcView®, buscando identificar o comportamento espacial da qualidade das águas subterrâneas e associá-lo às características dos aquíferos existentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise exploratória realizada sobre os dados coletados forneceu os resultados apresentados na Tabela 2. Pode-se observar que algumas variáveis não foram obtidas em todos os poços, apenas pH e cloreto estavam presentes nas análises disponíveis para toda a base de dados levantada. Excetuando-se pH, que possui naturalmente um campo de variação menor, as demais variáveis apresentaram coeficientes de variação elevados. Isto reflete a variabilidade espacial dos valores de concentração das variáveis, possível resultado da ocorrência de poços em diferentes formações aquíferas. Parte desta variabilidade pode também ser resultado das diferentes épocas de coleta e realização de análises das amostras de água, aspecto que pode representar alta relevância, uma vez que a água subterrânea pode apresentar alterações em diferentes períodos do ano. No entanto, o estudo também busca avaliar o potencial de geração de informação confiável a partir dos da-

dos disponíveis. Observa-se que a variável ferro total apresentou um coeficiente de variação muito superior aos demais, o que pode refletir a necessidade de uma amostra maior, uma vez que esta variável apresentou menor número de observações. Alerta-se, aqui, também para o fato da cobertura espacial dos poços disponíveis não ser favorável a uma perfeita caracterização de toda a região, com elevadas densidades de poços por área em alguns municípios, como Simão Dias e Nossa Senhora das Dores e, por sua vez, ausência de pontos de amostra em outros, como em Porto da Folha, Poço Verde e Graccho Cardoso.

A avaliação das freqüências das variáveis, segundo as classes de restrição, possibilita uma visualização do estado de risco associado à qualidade das águas subterrâneas para o uso em irrigação. A Tabela 3 apresenta as porcentagens de ocorrência de amostras para cada variável nas classes de restrição relacionadas a cada risco.

Tabela 3 - Freqüências das variáveis segundo classes de restrição de uso da água para irrigação (%).

Risco	Variáveis	Frequências nas Classes de restrição (%)		
		Nenhuma	Moderada	Severa
Salinização	CE	26,5	37,3	36,1
Sodificação	RAS x CE	64,5	26,7	8,8
Toxicidade às culturas para irrigação por aspersão	Na ⁺	22,3		77,7
	Cl ⁻	22,6		77,4
Obstrução de sistemas de irrigação localizada	pH	15,1	61,9	23,0
	Fe ⁺⁺	58,8	31,0	10,2

Observa-se que, avaliando-se o risco de salinização a partir dos valores de CE, mais de 73% das amostras apresentaram alguma restrição, estas divididas aproximadamente de forma igual entre moderada e severa. Para os riscos associados à sodificação, considerando-se o efeito combinado entre RAS e CE, o comportamento foi mais favorável, com cerca de 36% das amostras apresentando alguma restrição ao uso da água para irrigação, e a grande maioria destas ocorrendo no grupo de restrição moderada apenas, exigindo cuidados adequados no uso.

Para a toxicidade por sódio e cloreto, verificou-se muita semelhança entre os números, com valores em torno de 77 a 78% incidentes nas classes com restrição, uma vez que a classificação considerada não faz distinção entre moderada e severa. Este resultado alerta para a necessidade de medidas preventivas no uso das águas para algumas culturas por risco de danos por toxicidade, principalmente para aquelas mais sensíveis, como as frutíferas (Amorim et al., 2007).

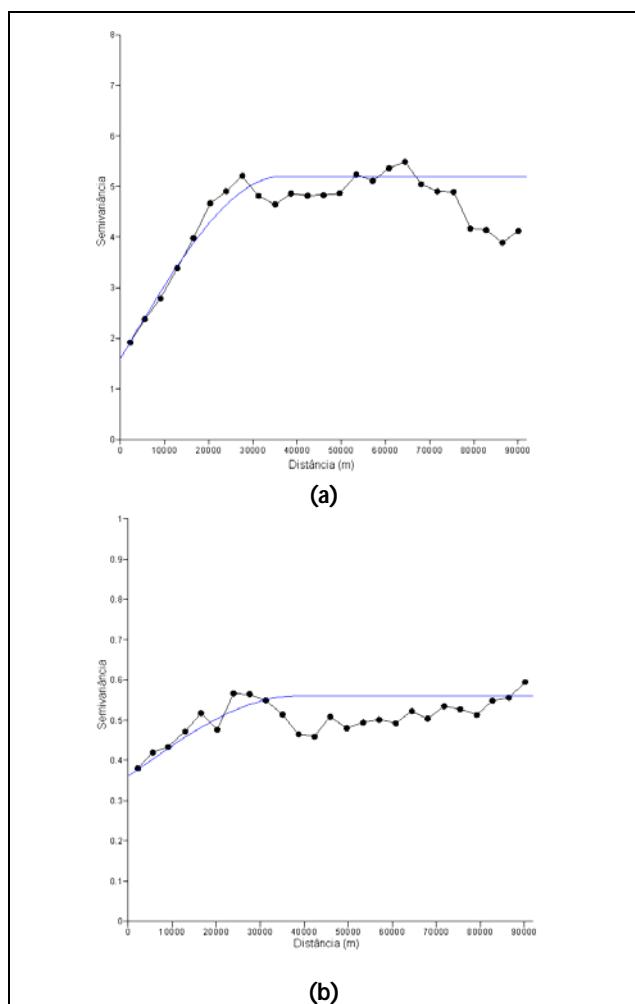


Figura 2 – Exemplos de semivariogramas ajustados para variáveis avaliadas: (a) ferro total e (b) pH.

As variáveis avaliadas para o potencial de entupimento de sistemas de irrigação localizada foram pH e ferro total. O pH se mostrou com valores rela-

tivamente elevados, apresentando cerca de 85% das amostras com restrição de uso, com aproximadamente 62% do tipo moderada. Para ferro total, apesar do reduzido tamanho da amostra, verifica-se que a maioria das amostras (cerca de 59%) não apresentam restrição de uso. No entanto, estes números são indicadores da necessidade da adoção de medidas preventivas de manutenção dos sistemas de irrigação localizada, de forma a aumentar a sua vida útil e garantir o fornecimento da quantidade de água que as culturas necessitem.

A análise da distribuição das variáveis indicadoras segundo as classes de restrição definidas possibilitou o conhecimento geral da qualidade das águas explotadas na região, no entanto não permitiu a identificação das possíveis causas para estas concentrações, bem como não distribuiu espacialmente este cenário. Assim, foi realizada a confecção de mapas interpolados por krigagem ordinária para a espacialização das variáveis classificadas segundo os riscos avaliados. Foram verificadas variações nos valores de alcance dos semivariogramas ajustados, considerando a anisotropia, com distâncias de variaram de 35 a 45 km, conforme mostram os exemplos da Figura 2, ou seja, neste intervalo os modelos são capazes de explicar a dependência espacial. Assim, pode-se produzir informação interpolada com certo grau de confiabilidade em áreas não cobertas pela amostragem. A Tabela 4 apresenta os valores dos parâmetros dos modelos ajustados para cada variável e a Figura 3 apresenta os mapas gerados.

Tabela 4 – Parâmetros dos modelos de dependência espacial ajustados às variáveis avaliadas

Var.	Tipo	Efeito pepita*	Patamar*	Alcance (m)
CE	Esférico	0,54	3,20	41.500
RAS	Esférico	0,31	0,78	39.600
Na	Esférico	0,55	1,86	36.200
CI	Esférico	0,76	2,34	35.300
pH	Esférico	0,36	0,56	35.800
Fe	Esférico	1,62	5,10	36.400

* Unidade correspondente ao quadrado da unidade de medição de cada variável (semivariância)

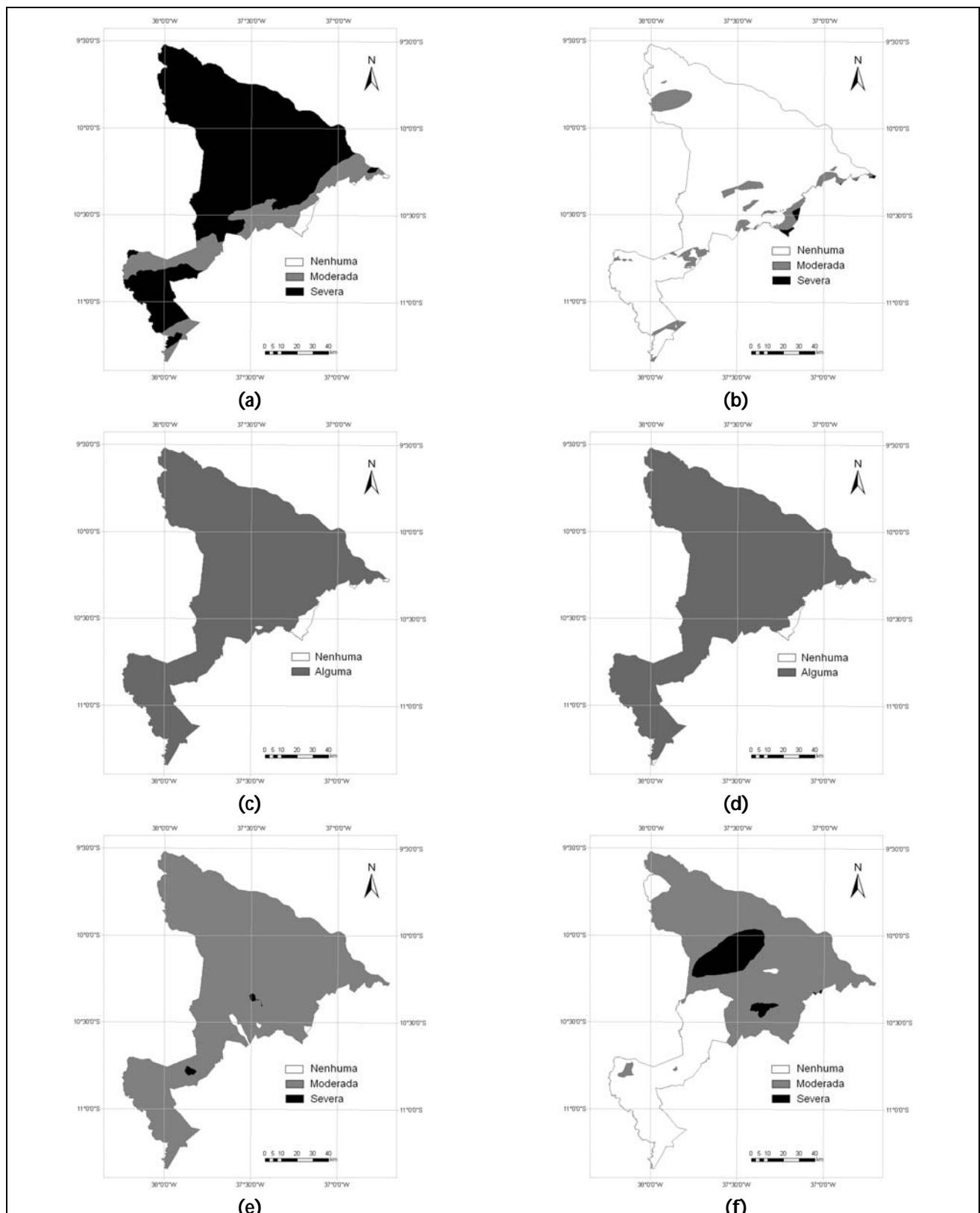


Figura 3 - Mapas de distribuição espacial dos poços por classes de restrição ao uso das águas subterrâneas em relação à salinidade (a), sodicidade (b), sódio (c), cloreto (d), pH (e) e ferro total (f) na região semi-árida do Estado de Sergipe

Considerando-se os riscos de salinização dos solos, verifica-se pela Figura 3(a) que a maior incidência de águas com restrição de uso situou-se nas porções noroeste da região, com melhoria gradual à medida que se dirige no sentido interior-litoral do Estado. Os Municípios de Ribeirópolis e Nossa Senhora das Dores concentraram a maioria dos poços com águas classificadas como sem restrição de uso na irrigação devido à salinidade. A maioria dos poços com restrição severa ao uso concentrou-se nos Municípios de Carira, Pinhão, Canindé do São Francisco e Poço Redondo. Com restrição moderada, foram registrados poços, principalmente, nos Municípios de Simão Dias, Frei Paulo e Aquidabã. As regiões com maiores concentrações salinas coincidiram com as formações do tipo cristalino, onde predominam fissuras para o armazenamento das águas, promovendo um contato mais longo com o substrato do aquífero devido à pouca circulação. Verificou-se ainda uma redução gradual no teor de sais à medida que ocorre a transição das formações fissurais para granulares, que são mais predominantes do centro para o litoral do Estado.

A Figura 3(b) apresenta o comportamento espacial da combinação RAS x CE para avaliação dos riscos de sodicidade. Verifica-se claramente que o comportamento é diverso daquele obtido para a salinidade, uma vez que o excesso de outros sais pode contribuir para a redução do risco de problemas de infiltração dos solos por ação do sódio trocável. Tal fenômeno foi também verificado em Andrade Junior et al. (2006). Observou-se, portanto, uma predominância de áreas com águas sem restrição de uso quanto à sodicidade na porção centro-nordeste da região, com aumento gradual do risco na direção centro-litoral e uma concentração de restrição moderada ao noroeste. Os Municípios de Nossa Senhora das Dores e Ribeirópolis apresentaram, dentre os amostrados, as maiores concentrações de poços com restrição ao uso para as suas águas segundo este risco.

Os riscos associados à toxicidade dos íons sódio e cloreto na água de irrigação para as culturas têm a sua distribuição espacial apresentada nas Figuras 3(c) e 3(d). Verifica-se que o comportamento espacial das restrições foi bastante similar entre as duas variáveis, com regiões de restrição ao uso predominantes em toda a região. As áreas sem restrição ao uso em relação à toxicidade concentraram-se nas regiões com substratos granulares, que realmente tendem a possuir águas menos salinas. Os Municípios de Nossa Senhora das Dores, Ribeirópolis e São Miguel do Aleixo apresentaram a maioria dos poços sem restrição ao uso quanto à toxicidade por sódio e

cloreto. O Município de Simão Dias, que concentra a maioria dos poços amostrados, apresentou condições de restrição ao uso mais desfavoráveis para sódio que para cloreto.

Os riscos associados à obstrução de sistemas de irrigação localizada, com base na variável pH, têm a sua distribuição espacial ilustrada pela Figura 3(e). Verifica-se uma predominância de áreas com restrição moderada ao uso para irrigação, distribuindo-se sobre o aquífero do tipo fissural e que as ocorrências de restrições do tipo "severa" concentraram-se nas áreas de influência de aquíferos cársticos, que possibilitam, pela sua constituição, a presença elevada de carbonatos na água, aumentando o pH. Poços sem restrição ao uso concentraram-se ao longo da faixa de transição para formações subterrâneas granulares, predominante nos Municípios de Pinhão, Frei Paulo e Ribeirópolis. Para ferro, verifica-se pela Figura 3(f), que os poços com restrição de uso concentraram-se na porção centro-norte, com algumas grandes "ilhas" de restrição do tipo severa no centro da região. Observa-se, por exemplo, que os Municípios de Nossa Senhora da Glória, Ribeirópolis, São Miguel do Aleixo e Aquidabã apresentaram concentrações de poços com algum tipo de restrição, enquanto em Simão Dias e Pinhão a maioria dos poços amostrados não possuem risco quanto ao uso das águas para irrigação considerando-se as concentrações de ferro total. Como já mencionado anteriormente, esta variável suscita novos estudos, pois apresentou o menor número de observações e uma distribuição espacial com muitos agrupamentos de poços.

CONCLUSÕES

O estudo realizado permitiu uma caracterização da qualidade das águas subterrâneas no sertão sergipano relativamente a variáveis importantes para o uso da água na irrigação de culturas.

A qualidade da água de poços tubulares apresentou concentrações elevadas de sais, principalmente na sua porção centro-noroeste, o que resultou na classificação de aproximadamente 75%, em média, das amostras com algum tipo de restrição para uso em irrigação.

Os valores obtidos para as variáveis indicadoras da qualidade da água e sua distribuição espacial refletiram de forma adequada as características litológicas e de circulação de água dos aquíferos predominantes na região.

Deve-se ressaltar as limitações da abordagem utilizada, que pretendeu avaliar o potencial de utilização de dados secundários na caracterização da qualidade média da água subterrânea e estimar a sua distribuição espacial em uma região predominantemente cristalina do estado de Sergipe.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, J. R. A. de.; RESENDE, R. S.; HOLANDA, J. S. de; FERNANDES, P. D. Qualidade da água na agricultura irrigada. In: ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÁES, F. O. M. (Eds.). **Uso e manejo de irrigação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. cap. 6. p. 255-316.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SILVA, E. F. F.; BASTOS, E. A.; MELO, F. B.; LEAL, C. M. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no Semi-árido piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 873-880, 2006.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **Water Quality for agriculture**. 3rd. ed. Rome: FAO, 1994. 174 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 29).
- BORGHETTI, M.R.B.; BORGHETTI, J.R.; FILHO, E.F.R. **Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul**. Curitiba: Fundação Roberto Marinho/Itaipu Binacional, 2004.
- BOMFIM, L.F.C.; da COSTA, I.V.G; BENVENUTI, S.M.P. **Projeto cadastro da infra-estrutura hídrica do Nordeste: Estado de Sergipe**. Aracaju, SE, CPRM, 2002.
- BOT, A.; NACHTERGAELE, F.; YOUNG, A. **Land resource potential and constraints at regional and country levels**. Rome: FAO, 2000. (FAO. World Soil Resources Report, 90.)
- CÂMARA, G.; QUEIROZ, G.R. Arquitetura de sistemas de informações geográficas. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. **Introdução à ciência da geoinformação**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 4 jul. 2008.
- CRUZ, W.B.; MELO, F.A.C.F. de. Zoneamento químico e salinização das águas subterrâneas do Nordeste do Brasil. **Boletim de Recursos Naturais**, Recife, v.7, n.1/4, p.7-40, 1969.
- ESRI. **ArcGIS desktop help. v. 9.1**. Disponível em: <<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.1/index.cfm>>. Acesso em: 20 jun. 2008.
- KOVDA, V. A.; YARON, B.; SHALHEVET, Y. Quality of irrigation water. In: KOVDA, V.A.; BERG, C. Van Den; HAGAN, R.M. (Eds.). **International source book on irrigation, drainage and salinity**. London: HUTCHINSON/ FAO/UNESCO, 1973. cap. 7. p.177-205.
- REBOUCAS, A. da C. Água na Região Nordeste: desperdício e escassez. **Revista do Instituto Estudos Avançados**, São Paulo, v. 11, n. 29, p. 127-154, jan./abr. 1997.
- RESENDE, R.S.; CRUZ, M.A.S.; AMORIM, J.R.A. **Atlas de qualidade das águas subterrâneas no estado de Sergipe com fins de irrigação**. Aracaju. Embrapa Tabuleiros Costeiros. 2007.
- SERGIPE. Secretaria de Estado do Planejamento e da Ciência e Tecnologia. Superintendência de Recursos Hídricos. **Atlas digital sobre recursos hídricos**. Aracaju: SEPLANTEC/SRH, 2004. 1 CD-ROM.
- Analysis Of The Spatial Distribution of Ground Water Quality Parameters For Irrigation In The Semi-Arid Region of Sergipe State**
- ABSTRACT**
- The semi-arid region in Sergipe State is characterized by intensive extraction of groundwater from public and private wells. This water is used for domestic supply, animal drinking and irrigation. The lack of organized data in terms of water volumes and water quality has contributed to water resources degradation and the stagnation of local economic activities, for instance, irrigated crops, restricted to small family areas. Preventive actions are necessary to use groundwater for irrigation. This is related to physical and chemical water characteristics that may have an impact on soil, crops, irrigation systems and local water resources. This study aimed to describe groundwater quality spatial distribution in the semi-arid region of Sergipe State using data from 252 deep wells and to analyze potential risks of groundwater use for crop irrigation using GIS. Generally the results showed regular quality of measured variables of water extracted from deep wells with high concentrations of salts, mainly in the center-northwest area of the State. These quality variables showed that about 75% of the water samples present some kind of restriction for use in crop irrigation.
- Key-words:** water quality, semi-arid, irrigation, kriging.