



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Paulo Henrique Braga Ribeiro

**ESPACIALIZAÇÃO DA VAZÃO PRODUZIDA POR POÇOS
TUBULARES EM DIFERENTES FORMAÇÕES
HIDROGEOLÓGICAS NO NORDESTE BAIANO**

JUAZEIRO/BA

2013

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Paulo Henrique Braga Ribeiro

**ESPACIALIZAÇÃO DA VAZÃO PRODUZIDA POR POÇOS
TUBULARES EM DIFERENTES FORMAÇÕES
HIDROGEOLÓGICAS NO NORDESTE BAIANO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus de Juazeiro, como requisito da obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Gustavo Serafim
de Carvalho

Co-orientador: Prof. Dr. Marlon da Silva
Garrido

JUAZEIRO/BA

2013

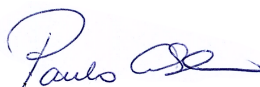
UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO


Paulo Henrique Braga Ribeiro

**ESPACIALIZAÇÃO DA VAZÃO PRODUZIDA POR POÇOS
TUBULARES EM DIFERENTES FORMAÇÕES
HIDROGEOLÓGICAS NO NORDESTE BAIANO**


Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, como requisito parcial para obtenção do título de mestre.



Paulo Gustavo Serafim de Carvalho, Prof. Dr. (Orientador)
Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF



Marlon da Silva Garrido, Prof. Dr. (Co-orientador)
Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF



Luís Fernando de Souza Magno Campeche, Prof. Dr.
Instituto Federal do Sertão Pernambucano – IF Sertão-PE



Welson Lima Simões, Pesq. Dr.
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA/ CPATSA

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre me conduz e fortalece nos momentos de maior necessidade, que não me deixa parar e me leva cada dia um pouco mais adiante;

Aos meus pais, *Seu Amâncio* e *Dona Hilda* que são mestres na arte de superar obstáculos e vislumbrar o futuro, e são minhas fontes de inspiração;

A minha querida esposa Eliane pela compreensão, quando por vezes a deixei só para administrar e apascentar o nosso "rebanho": Saulo, Davi e Judá que são nossa maior riqueza.

Aos meus orientadores, Prof. Paulo Gustavo e Prof. Marlon Garrido pelo apoio, paciência e excelência na orientação deste trabalho;

A Prof.^a Sílvia Helena Turco, pela competência, dedicação e empenho na implantação e coordenação do curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, neste campus da UNIVASF, possibilitando aos profissionais desta região a oportunidade de acesso a pesquisa e o aprimoramento nesta ciência, tão importante para o desenvolvimento do Vale do São Francisco;

Aos inesquecíveis colegas desta primeira turma do Programa de Mestrado em Engenharia Agrícola. Desejo poder sempre revê-los para realizar aquelas maravilhosas "resenhas".

"E disse ao homem: Eis que o temor do Senhor é a sabedoria, e apartar-se do mal é a inteligência."

Jó 28:28

"E disse-me: A minha graça te basta, porque o meu poder se aperfeiçoa na fraqueza. De boa vontade, pois, me gloriarei nas minhas fraquezas, para que em mim habite o poder de Cristo."

2 Coríntios 12:9

RIBEIRO, P. H. B. **Espacialização da vazão produzida por poços tubulares em diferentes formações hidrogeológicas no nordeste baiano.** 2013. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Vale do São Francisco, UNIVASF, Juazeiro-BA.

RESUMO

Os aquíferos subterrâneos são de grande importância para o abastecimento animal e doméstico da zona rural do semiárido baiano. No entanto, não é rara a ocorrência de perfurações que resultam em poços secos ou com vazões insuficientes para atendimento das demandas. Para um melhor planejamento dos recursos hídricos torna-se necessária a estimativa dos valores de vazão esperados para as localidades nas quais não haja disponibilidade de dados. A geoestatística tem-se tornado bastante utilizada nessa linha e com bons resultados em inferências e análises de variáveis climáticas e de solo. No entanto, para tal é necessário avaliar qual a melhor metodologia de interpolação a ser aplicada para garantir um mapeamento confiável da informação estudada. O objetivo deste trabalho é identificar o modelo mais eficiente para estimar a vazão produzida por poços tubulares, em duas diferentes formações hidrogeológicas, e confeccionar mapas de distribuição das vazões estimadas para auxiliar a gestão dos aquíferos. Foram utilizados os dados da vazão, profundidade, nível estático e nível dinâmico de 606 poços tubulares em uma região semiárida do nordeste baiano. A análise dos resultados foi feita utilizando-se o processo de validação cruzada e observando-se a raiz do erro médio quadrático, o coeficiente de correlação entre os valores observados e estimados, o índice de concordância e o critério de avaliação de Akaike, que demonstrou que a metodologia de espacialização da vazão para cada conjunto de poços correspondente a formação hidrogeológica específica apresentou o melhor desempenho, em comparação da espacialização utilizando-se todo conjunto amostral. E os melhores desempenhos para as amostras individualizadas ocorreram utilizando-se a modelagem por regressão linear múltipla, associando os valores estimados por interpolação pelo método do IPD aos respectivos níveis dinâmicos, em domínio cristalino e, associando os valores interpolados pelo método de kriging às respectivas profundidades de perfuração do poço, em domínio sedimentar. Indicando que o mapeamento das vazões estimadas a partir destas técnicas pode ser um instrumento capaz de aumentar a eficiência do planejamento e gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos.

Palavras-chave: Interpolação, Regressão, Geoestatística.

RIBEIRO, P. H. B. **Spatial flow produced by wells in different hydrogeological formations in northeastern Bahia**. 2013. 90f. Dissertation (Master in Agricultural Engineering), Federal University of São Francisco Valley, UNIVASF, Juazeiro-BA.

ABSTRACT

The underground aquifers are of great importance for the animals and domestic supply in rural semiarid region of Bahia. However, it is not a rare occurrence of perforations resulting in dry wells or flows insufficient to meet demand. For better planning of water resources becomes necessary to estimate the expected flow values for locations where there is data availability. Geostatistics has become widely used that line with good results on inference and analysis of climatic variables and soil. However, this requires evaluate the best interpolation methodology to be applied to ensure reliable mapping of the information studied. The objective of this paper is to identify the most efficient model for estimating the flow produced by wells in two different hydrogeological formations, and construct maps of the distribution of flows estimated to aid the management of aquifers. Data were used in the flow, depth, level static and dynamic level of 606 wells in a semiarid region of northeastern Bahia. The analysis was made using the process of cross-validation and observing the root mean square error, the correlation coefficient between the observed and predicted values, the concordance index and the evaluation criteria of Akaike, which demonstrated that the methodology of spatial flow for each set of wells corresponding to specific hydrogeological training showed the best performance, compared spatialization using whole sample set. And the best performances for the samples were individualized using the multiple linear regression modeling, associating the values estimated by interpolating the IPD method to their dynamic levels in crystalline domain and associating the values interpolated by kriging method to the respective depths well drilling in sedimentary domain. Indicating that the mapping of flows estimated from these techniques can be a tool to increase the efficiency of the planning and management of groundwater resources.

Keywords: Interpolation, Regression, Geostatistics.

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Mapa dos domínios hidrogeológicos do Estado da Bahia.....	19
Figura 2. Tipos de aquíferos quanto as características hidráulicas.....	20
Figura 3. Tipos de aquíferos de acordo com as rochas armazenadoras de água.....	22
Figura 4. Representação do semivariograma.....	31
Figura 5. Área de estudo e distribuição dos pontos amostrais da sub-amostra 1 e sub-amostra 2, localizados nas formações cristalina e sedimentar no semiárido do Estado da Bahia	40
Figura 6. Semivariograma experimental e ajuste teórico linear da vazão produzida por 336 poços tubulares em formação cristalina.....	45
Figura 7. Correlação entre a vazão produzida e a profundidade total dos poços em formação cristalina no semiárido baiano.....	46
Figura 8. Correlação entre a vazão produzida e o nível estático dos poços em formação cristalina no semiárido baiano.....	47
Figura 9. Correlação entre a vazão produzida e o respectivo nível dinâmico dos poços em formação cristalina no semiárido baiano.	47
Figura 10. Variação do coeficiente de correlação (r) entre os valores observados e estimados através do IPD e por regressão linear múltipla, de vazões produzidas por poços tubulares em formação cristalina.	51
Figura 11. Variação da raiz do erro médio quadrático entre os valores observados e estimados através do IPD e por regressão linear múltipla, de vazões produzidas por poços tubulares em formação cristalina.....	51
Figura 12. Mapa de distribuição das vazões estimadas mínima (A) e máxima (B) por meio poços tubulares em formação cristalina do nordeste semiárido da Bahia.	52
Figura 13. Semivariograma experimental e ajuste teórico linear da vazão produzida por 270 poços tubulares em formação sedimentar.	53
Figura 14. Correlação entre a vazão produzida e a profundidade total dos poços em formação sedimentar no semiárido baiano	54
Figura 15. Correlação entre a vazão produzida e o nível estático dos poços em formação sedimentar no semiárido baiano	54
Figura 16. Correlação entre a vazão produzida e o respectivo nível dinâmico dos poços em formação sedimentar no semiárido baiano.....	54

Figura 17. Variação do coeficiente de correlação (r) entre os valores observados e estimados através do IPD e Kriging, e por regressão linear múltipla, de vazões produzidas por poços tubulares em formação sedimentar	58
Figura 18. Variação da raiz do erro médio quadrático entre os valores observados e estimados através do IPD e Kriging, e por regressão linear múltipla, de vazões produzidas por poços tubulares em formação sedimentar.	58
Figura 19. Mapa de distribuição das vazões estimadas à 150m de profundidade, por meio de poços tubulares em formação sedimentar do nordeste semiárido da Bahia	59
Figura 20. Semivariograma experimental e ajuste teórico exponencial da vazão produzida por 606 poços tubulares em diferentes formações hidrogeológicas.....	60
Figura 21. Correlação entre a vazão produzida e a profundidade total dos poços em diferentes formações hidrogeológicas no semiárido baiano	61
Figura 22. Correlação entre a vazão produzida e o nível estático dos poços em diferentes formações hidrogeológicas no semiárido baiano	61
Figura 23. Correlação entre a vazão produzida e o respectivo nível dinâmico dos poços em diferentes formações hidrogeológicas no semiárido baiano.....	61
Figura 24. Comparação dos indicadores estatísticos: coeficiente de correlação (A), índice de concordância (B), REMQ (C) e AIC (D) para estimativas de vazão na formação cristalina, entre as metodologias de interpolação espacial com IPD e kriging, utilizando a sub-amostra 1, isoladamente, e a amostra completa	64
Figura 25. Comparação dos indicadores estatísticos: coeficiente de correlação (A), índice de concordância (B), REMQ (C) e AIC (D) para estimativas de vazão na formação sedimentar, entre as metodologias de interpolação espacial com IPD e kriging, utilizando a sub-amostra 2, isoladamente, e a amostra completa	64
Figura 26. Comparação dos indicadores estatísticos: coeficiente de correlação (A), e REMQ (B) para estimativas de vazão em poços tubulares em formação cristalina, através de regressão linear múltipla utilizando amostragem isolada e completa	66
Figura 27. Comparação dos indicadores estatísticos: coeficiente de correlação (A), e REMQ (B) para estimativas de vazão em poços tubulares em formação sedimentar, através de regressão linear múltipla utilizando amostragem isolada e completa	66

LISTA DE TABELAS

Páginas

Tabela 1. Parâmetros dos modelos de semivariograma isotrópicos teóricos da vazão produzida por 336 poços tubulares em formações cristalinas.....	45
Tabela 2. Indicadores estatísticos utilizados para avaliação de desempenho das estimativas por IPD e Kriging da vazão produzida por 336 poços tubulares em formações cristalinas.....	48
Tabela 3. Indicadores estatísticos utilizados para avaliação de desempenho das estimativas através de equações resultantes de regressão linear múltipla da vazão produzida por 336 poços tubulares em formações cristalinas.....	50
Tabela 4. Parâmetros dos modelos de semivariograma isotrópicos teóricos da vazão produzida por 270 poços tubulares em formações sedimentares. ..	53
Tabela 5. Indicadores estatísticos utilizados para avaliação de desempenho das estimativas por IPD e Kriging da vazão produzida por 270 poços tubulares em formações sedimentares	56
Tabela 6. Indicadores estatísticos utilizados para avaliação de desempenho das estimativas através de equações resultantes de regressão linear múltipla da vazão produzida por 270 poços tubulares em formações sedimentares	57
Tabela 7. Parâmetros dos modelos de semivariograma isotrópicos teóricos da vazão produzida por 606 poços tubulares em diferentes formações hidrogeológicas.....	60
Tabela 8. Indicadores estatísticos utilizados para avaliação de desempenho das estimativas por IPD e Kriging da vazão produzida por 606 poços tubulares em diferentes formações hidrogeológicas.....	63
Tabela 9. Indicadores estatísticos utilizados para avaliação de desempenho das estimativas através de equações resultantes da regressão linear múltipla da vazão produzida por 606 poços tubulares em diferentes formações hidrogeológicas	65
Tabela 10. Relação dos dados amostrais - Poços Tubulares	77

SUMÁRIO

	Páginas
1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1. Utilização dos recursos hídricos subterrâneos	16
2.2. Domínios hidrogeológicos	18
2.2.1. Aquífero	20
2.3. Poços tubulares.....	22
2.3.1. Completação e desenvolvimento do poço	24
2.3.2. Teste de vazão	25
2.3.3. Características gerais dos poços em formações cristalinas e sedimentares ..	26
2.4. A geoestatística	27
2.4.1. Interpolação de dados espaciais	27
2.4.2. O semivariograma.....	29
2.4.3. O método do Inverso Ponderado da Distância (IPD).....	34
2.4.4. O método de kriging.....	35
2.5. O uso da geoestatística na caracterização das águas subterrâneas.....	36
3. MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1. Localização da área de estudo.....	39
3.2. Espacialização da vazão produzida por poços tubulares	40
3.2.1. Interpolação dos dados amostrais para sub-amostra 1 e sub-amostra 2	40
3.2.2. Interpolação dos dados amostrais para amostra completa.....	41
3.2.3. Estimativas a partir de modelagem com regressão linear múltipla	42
3.3. Avaliação de desempenho das estimativas	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1. Desempenho de estimativas para sub-amostra 1 - formação cristalina	45
4.2. Desempenho das estimativas para sub-amostra 2 - formação sedimentar	53
4.3. Desempenho das estimativas para amostra completa (sub-amostras 1 e 2) .	60
5. CONCLUSÕES	67
6. REFERÊNCIAS	68
7. ANEXO	77

1. INTRODUÇÃO

A partir do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), instituído em 1969 pelo Governo Federal, com objetivo de incrementar as atividades de saneamento nos Estados, a perfuração de poços tubulares teve um significativo aumento como solução de abastecimento de água, especialmente no meio rural no Estado da Bahia. Programas Federais e Estaduais têm intensificado essas ações ao lado da iniciativa privada (ANDRADE, 2010). Na região Nordeste do Brasil, desde o início do século, a perfuração de poços tubulares vêm sendo utilizada como alternativa para suprir o abastecimento de água de pequenas comunidades e dos rebanhos. Entretanto, apenas a partir da década de 60, com a criação da SUDENE e, conseqüentemente, com o surgimento da Hidrogeologia no Brasil, os poços perfurados nessa região passaram a ter um acompanhamento técnico na locação e perfuração (CPRM/MME, 2005).

No estado da Bahia, o Sistema Aquífero Cristalino ocupa um total correspondente a 201.688 km² ou 35,5% da área do estado. Esta é a área mais crítica em termos de carências hídricas, com baixas precipitações pluviométricas e conseqüentemente maiores índices de aridez (PERH-BA, 2005). O aquífero cristalino é composto essencialmente, por granitos, gnaisses, migmatitos e granulitos, formando aquífero de natureza fissural, tendo como característica fundamental sua baixa capacidade de armazenamento e o elevado índice de salinização de suas águas, especialmente quando submetidas a condições climáticas cujas precipitações pluviométricas são inferiores a 800 mm por ano (NEGRÃO, 2008). Mesmo assim, devido à escassez de mananciais de água superficial, esses aquíferos apresentam uma importância fundamental nas zonas rurais dessas regiões, atendendo principalmente ao consumo animal e doméstico e, em menor quantidade, à dessedentação humana através dos poucos poços produtores de água doce ou via processo de dessalinização (ANDRADE, 2010).

O domínio das bacias sedimentares ocupa uma área de aproximadamente 115.081 km², correspondendo a 20% da área do Estado da Bahia onde ocorrem formações geológicas de grande porte e condições de permo-porosidade adequadas para armazenarem grandes reservas de águas subterrâneas. Apesar da grande

potencialidade destes aquíferos, localmente, podem apresentar baixas vazões, como reflexo da grande heterogeneidade, do ponto de vista estratigráfico, litológico e estrutural (MESTRINHO et. al., 2006). A Bacia Sedimentar de Tucano tem cerca de 30.000 km² de área, subdividida em 3 sub-bacias distintas: Tucano Sul, Tucano Central e Tucano Norte, totalmente inserida na Região Nordeste do estado da Bahia, sob regime climático semiárido e pobre em recursos hídricos superficiais. (PERH, 2005)

O uso atual das águas subterrâneas da Bacia de Tucano se restringe basicamente ao abastecimento humano das pequenas comunidades e sedes municipais inseridas no contexto da bacia. A possibilidade de utilização extensiva do grande volume de água armazenado na bacia, através de grandes projetos, exigirá que mais informações sejam acrescentadas aos conhecimentos atuais demandando necessariamente, investimentos na área de estudos e pesquisas de cunho hidrogeológico (NEGRÃO, 2008).

A ocorrência da água subterrânea é resultado da relação dos elementos do ciclo hidrológico, e se dá em formações geológicas denominadas aquíferos. Como a água subterrânea não pode ser detectada diretamente na superfície terrestre, a não ser quando o nível freático vem a ser exposto pela erosão, uma variedade de técnicas têm sido utilizadas para extrair informações relacionadas à sua ocorrência e potencial (RIBEIRO et. al., 2010).

Desta forma, faz-se necessário conhecer o potencial local dos aquíferos para que diretrizes de gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos sejam estabelecidas a partir de critérios técnicos, capazes de garantir a exploração sustentável deste recurso, além de auxiliar na construção de um modelo de gestão e de outorga da água subterrânea (GONÇALVES, 2009). A utilização de modelos matemáticos e modelos estatísticos têm servido como ferramenta capaz de explicar o comportamento de fenômenos que ocorrem na natureza (RAMOS et. al, 2009), dentre eles a ocorrência de água subterrânea e a vazão potencial explotável por poços tubulares, utilizando-se técnicas de interpolação espacial (RIBEIRO et. al., 2010).

Interpolação espacial é o procedimento para se estimar valores de propriedades de locais não amostrados, baseando-se em valores de dados observados em locais conhecidos (BURROUGH, 1986). Diversos trabalhos têm

utilizado métodos de interpolação espacial para efetuar estimativas e espacializar variáveis climáticas. Entretanto, deve-se atentar para necessidade de definir qual o método de interpolação mais adequado para o determinado objetivo (RIBEIRO DA SILVA et. al., 2007). A escolha do melhor método de interpolação pode variar de acordo com a natureza dos dados (contínuos ou discretos), número de amostras, arranjo utilizado, distância entre amostras, variabilidade e dependência espacial do atributo estudado, informação espacial fornecida pelo método, tempo demandado pela análise, nível teórico do analista, processamento computacional, acurácia e precisão da estimativa, dentre outros fatores (BURROUGH; MCDONNELL, 1998; KRAVCHENKO; BULLOCK, 1999; ZIMMERMAN et. al. 1999; MUELLER et. al., 2001; ANDRIOTTI, 2003; KRAVCHENKO, 2003).

Compreender a distribuição espacial de fenômenos naturais constitui-se um desafio para elucidação de questões importantes em diversas áreas do conhecimento. O avanço do conhecimento científico tem evidenciado as limitações dos métodos tradicionais da estatística no tratamento da variabilidade espacial de variáveis físico-hídricas do solo. As técnicas da estatística clássica partem do pressuposto de que todas as amostras são aleatórias e sua aplicação não envolve qualquer conhecimento da posição das mesmas ou do relacionamento entre essas posições. Já a geoestatística, tem como pressuposto que as propriedades naturais da superfície terrestre são espacialmente contínuas, necessitando-se da aplicação de preceitos importantes associados à dependência espacial das variáveis continuamente distribuídas no espaço. (CRESSIE, 1993).

O objetivo da geoestatística, segundo Vieira (2000), remete à determinação da magnitude da variabilidade espacial expressa por um semivariograma, o qual descreve a estrutura da continuidade espacial da variável. A sensibilidade dos semivariogramas para detectar a variabilidade espacial está diretamente ligada ao melhor ajuste dos dados experimentais ao modelo teórico de semivariograma (ODA, 2005), condição essencial para realização de inferências em locais não amostrados e para a correta interpretação de fenômenos que apresentam dependência espacial (ÁVILA et. al., 2010).

A variedade de interpoladores existentes gera dúvidas sobre qual método é mais apropriado, de acordo com cada contexto específico (ZIMMERMAN et. al., 1999) e há muita controvérsia sobre resultados dos trabalhos nos quais se aborda a

comparação entre métodos de interpolação (KRAVCHENKO, 2003). Estimativas acuradas de variáveis ambientais foram obtidas por meio dos métodos de interpolação pelo inverso ponderado da distância (IPD) e por krigagem (MUSA et. al., 2002), (KRAVCHENKO, 2003), (BOKEN et. al., 2004).

Em alguns estudos se constatou maior acurácia da interpolação por IPD que a krigagem (MUSA et al., 2002), enquanto em outros se verificou melhor desempenho da krigagem (KRAVCHENKO; BULLOCK, 1999; ZIMMERMAN et al., 1999) ou estimativas muito próximas entre os dois métodos, apesar da superioridade da krigagem (CONDE; YAMAMOTO, 1996; KRAVCHENKO, 2003). Também se verificou melhor desempenho da krigagem com relação ao IPD no mapeamento de propriedades de solo. Contudo, quando não foi possível obter parâmetros confiáveis nos semivariogramas, a krigagem apresentou menor acurácia.

Levando-se em consideração a importância da geostatística para realização de estimativas através de técnicas de interpolação, e das metodologias de caracterização e zoneamento do potencial de vazão explotável através de poços tubulares para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, os objetivos deste trabalho são realizar a espacialização da vazão produzida por poços tubulares através de estimativas utilizando-se os métodos de interpolação IPD e Kriging, e a modelagem por regressão linear múltipla, em uma região semiárida no nordeste do Estado da Bahia, apresentando duas diferentes formações hidrogeológicas, avaliar o desempenho das estimativas realizadas tanto para todo conjunto amostral, como para as duas sub-amostras individualizadas, correspondentes às vazões de produção nas formações hidrogeológicas cristalina e sedimentar, separadamente. E, confeccionar mapas de distribuição das vazões estimadas, a partir da metodologia de melhor desempenho, capazes de auxiliar a gestão dos aquíferos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Será apresentado a seguir, um breve histórico sobre a utilização da água subterrânea, alguns conceitos e definições sobre os domínios hidrogeológicos, aquíferos e poços tubulares. Além de uma abordagem a ciência da geoestatística, incluindo os métodos de interpolação espacial, e suas aplicações na caracterização das águas subterrâneas.

2.1. Utilização dos recursos hídricos subterrâneos

A água subterrânea é aquela que ocorre abaixo da superfície da terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas, e que sendo submetida a duas forças (de adesão e de gravidade) desempenha um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos. As águas subterrâneas cumprem uma fase do ciclo hidrológico, uma vez que constituem uma parcela da água da chuva (BORGHETTI et al., 2004).

Atualmente, tem-se uma grande procura pela água subterrânea como fonte para o abastecimento, tanto urbano quanto rural, visto que as águas superficiais se tornam cada vez mais poluídas e escassas. Outro motivo é o custo de captação e distribuição, geralmente inferior aos que são exigidos para os sistemas abastecidos por mananciais de superfície.

Foram perfurados no mundo, no período de 1970 a 1995, cerca de 300 milhões de poços que fornecem água para o abastecimento de mais de 50% da população mundial e para a irrigação de 90 milhões de hectares. Nos Estados Unidos são perfurados em média 400 mil poços por ano, que atuam na irrigação de 13 milhões de hectares e no suprimento de água para 39% dos serviços municipais e 75% da população rural (SOLLEY et. al., 1993).

De toda a água doce disponível para consumo, 96% é proveniente de água subterrânea. São elas as responsáveis pela garantia da sobrevivência de parte significativa da população mundial. Países como Arábia Saudita, Dinamarca e Malta

utilizam exclusivamente dessas águas para todo o abastecimento humano. Enquanto que na Áustria, Alemanha, Bélgica, França, Hungria, Itália, Holanda, Marrocos, Rússia e Suíça, mais de 70% da demanda por água é atendida por manancial hídrico subterrâneo (CPRM, 1997).

No Brasil, estimativas indicam a existência de pelo menos 400 mil poços. A água de poços e de fontes vem sendo utilizada intensamente para diversos fins, tais como abastecimento humano, irrigação, indústria e lazer. Cerca de 15,6% dos domicílios utilizam exclusivamente água subterrânea. Embora o uso do manancial subterrâneo seja complementar ao superficial em muitas regiões, em outras áreas do país ele representa o principal manancial hídrico. (MMA/PNRH, 2006).

Segundo Rebouças et. al. (1999), não há o devido controle da utilização das águas subterrâneas no país, o que dificulta a caracterização do seu uso. Entretanto, dados do censo do IBGE (citado por Rebouças et. al., 1999) mostraram que cerca de 61% da população é abastecida com água subterrânea, sendo 43% por poços tubulares, 12% por fontes ou nascentes e 6% por poços escavados ou cacimbões (tipo amazonas), e cerca de 90% dos rios, lagos e lagoas recebem, durante o período de seca, contribuição de águas subterrâneas, estimada em 60% das vazões afluentes. Esses dados mostram a importância da água subterrânea e a necessidade de preservá-la e utilizá-la de forma consciente para que as futuras gerações também possam usufruir desse precioso bem.

Um estudo de natureza abrangente, conduzido para desenvolver e sistematizar os conhecimentos hidrogeológicos no Nordeste Brasileiro foi realizado pela Sudene, nas décadas de 1960 a 1970. Este estudo, "Levantamento Hidrogeológico Básico do Nordeste", fez o mapeamento hidrogeológico em escala regionalizada de 1:500.000. Conquanto o esforço para o mapeamento dos mananciais subterrâneos, tenha sido importante, salvo iniciativas isoladas, o mesmo remonta a mais de 30 anos atrás. Desta iniciativa da Sudene, aos dias atuais, o conhecimento hidrogeológico no Estado da Bahia evoluiu lentamente, sem planejamento, atendendo basicamente às demandas dos anos de estiagem. Iniciativas de estudos localizados foram promovidas pela UFBA, e diagnósticos de bacias hidrográficas, foram patrocinados por órgãos públicos incluindo-se estudos hidrogeológicos. Tais estudos de bacias, cujo recorte é inadequado para estudos hidrogeológicos foram, além disso, embasados em dados secundários gerados por

empresas de perfuração de poços tubulares principalmente a Companhia de Engenharia Ambiental da Bahia - CERB, e pelo acervo produzido pela pesquisa petrolífera, especialmente nas bacias do Recôncavo e Tucano (NEGRÃO, 2008).

A CERB, empresa estatal fundada em 1971, é o principal órgão de fomento à perfuração e distribuição de água dos mananciais subterrâneos. Possui um enorme acervo de dados sobre a qualidade e quantidade dos recursos hídricos do Estado da Bahia.

A exploração das águas subterrâneas do Estado da Bahia vem sendo feita por cerca de 16.000 poços tubulares em sua grande maioria perfurados para abastecimento rural, para implantação de sistemas simplificados de abastecimento de água potável para as pequenas comunidades rurais principalmente no nordeste semiárido. Tais sistemas de abastecimento de água, geralmente de pequeno a médio porte vêm sendo construídos em grande quantidade e financiados pelo Poder Público, através de recursos do Governo Estadual e Federal.

A crescente exploração da água em todo mundo revela a importância da realização de atividades destinadas à conservação dos recursos hídricos, e as informações sobre sua disponibilidade e escassez. Assim, o estudo dos aspectos hidrogeológicos das bacias hidrográficas são ideais para a caracterização, avaliação e planejamento do uso da água subterrânea através da identificação de áreas prioritárias em termos de proteção ou exigências ambientais (RIBEIRO, et. al., 2010).

2.2. Domínios hidrogeológicos

Entende-se como domínio hidrogeológico um grupo de unidades geológicas com afinidades hidrogeológicas, tendo como base principalmente as características litológicas das rochas (BOMFIM, 2010).

No Estado da Bahia, os domínios são classificados e apresentados conforme a Figura 1.



Domínios hidrogeológicos

COBERTURAS DETRÍTICAS RASAS	BACIAS SEDIMENTARES – EXTREMO SUL	METASSEDIMENTOS
COBERTURAS DETRÍTICAS PROFUNDAS	BACIAS SEDIMENTARES – URUCUÍA	CRISTALINO – PRECIPITAÇÃO < 800MM
BACIAS SEDIMENTARES – RECÔNCAVO	CALCÁRIOS – PRECIPITAÇÃO < 800MM	CRISTALINO – PRECIPITAÇÃO > 800MM
BACIAS SEDIMENTARES – TUCANO	CALCÁRIOS – PRECIPITAÇÃO > 800MM	

Fonte: PERH-BA, 2003. MOD. GUERRA & NEGRÃO, 1996



Figura 1. Mapa dos domínios hidrogeológicos do Estado da Bahia (PERH-BA, 2005, mod. Guerra & Negrão 1996).

2.2.1. Aquífero

Aquífero é toda formação geológica (ou grupo de formações) que contém água e permite que a mesma se movimente em condições naturais e em quantidades significativas (TUCCI et. al., 2001). Vê-se, portanto, que para ser um aquífero, uma rocha ou sedimento tem que ter porosidade suficiente para armazenar água, e que estes poros ou espaços vazios tenham dimensões suficientes para permitir que a água possa passar de um lugar a outro, sob a ação de um diferencial de pressão hidrostática.

Os aquíferos podem ser classificados quanto as suas características hidráulicas, conforme Figura 2.

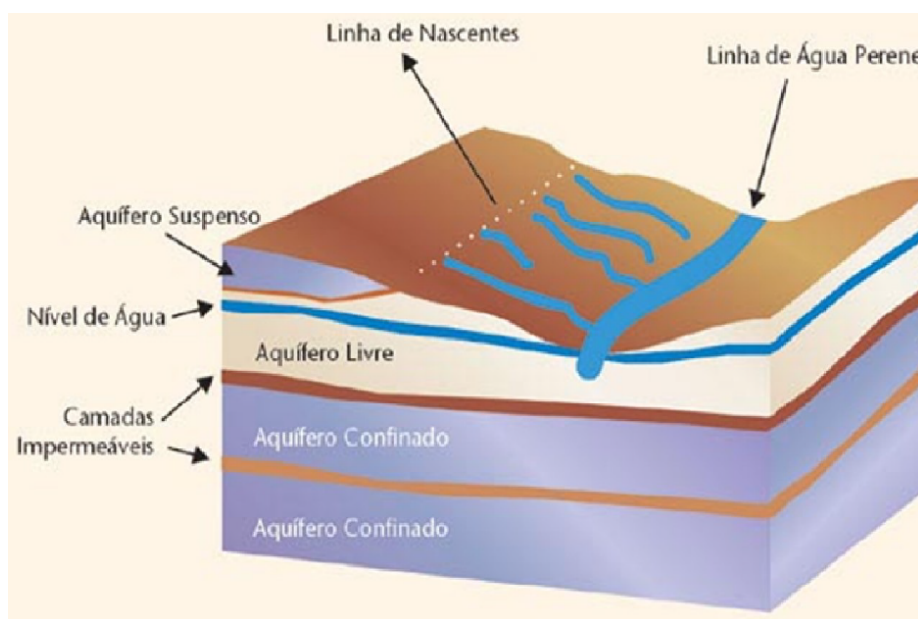


Figura 2. Tipos de aquíferos quanto as características hidráulicas (adaptado de KARMANN, 2001 apud MENESES, 2007).

Aquífero livre ou freático – é um extrato permeável, parcialmente saturado de água, cuja base é uma camada impermeável ou semipermeável. O topo é limitado pela própria superfície livre da água também chamado de superfície freática, sobre pressão atmosférica. Ele tende a ter um perfil mais ou menos semelhante ao

perfil da superfície do terreno. O lençol freático está geralmente perto da superfície, em vales de rios e a maiores profundidades em altos topográficos.

Aquífero confinado ou artesiano – é um aquífero completamente saturado de águas, cujo limite superior (teto) e inferior (piso) são estratos impermeáveis. A água desse aquífero chama-se artesianana ou confinada e sua pressão é, geralmente, mais alta que a pressão atmosférica. Por isso quando se perfura o aquífero, a água sobe para um nível bem superior, podendo até jorrar.

Aquífero suspenso – ocorre quando a água que infiltra encontra barreiras na zona não saturada que pode ser armazenadas temporariamente.

O processo por meio do qual um aquífero recebe água é chamado de recarga. A recarga natural depende fundamentalmente do regime pluviométrico (quantidade de chuvas) e do equilíbrio entre a infiltração, escoamento e evaporação da água. Sendo assim, a topografia da área, o tipo de solo e a situação da cobertura vegetal, têm papel fundamental na recarga dos aquíferos (MMA, 2007).

Os aquíferos são reabastecidos por meio de infiltração das águas na superfície do solo ou rocha. Esta infiltração ocorre em toda superfície dos aquíferos livres ou, no caso dos aquíferos confinados, nas áreas de afloramento.

As áreas de recarga direta dos aquíferos confinados geralmente estão localizadas em afloramentos de rochas sedimentares. São áreas importantes para a manutenção da qualidade e quantidade da recarga das águas subterrâneas. Portanto, conforme Ministério do Meio Ambiente (2007), “é fundamental que estas áreas sejam protegidas, evitando-se o desmatamento, o uso incorreto dos solos e a instalação de atividades potencialmente poluidoras”, portanto, seguindo estas regras não se estará comprometendo o aspecto quali-quantitativo das águas subterrâneas.

Os aquíferos podem ser classificados também de acordo com a porosidade das rochas armazenadoras, conforme Figura 3.

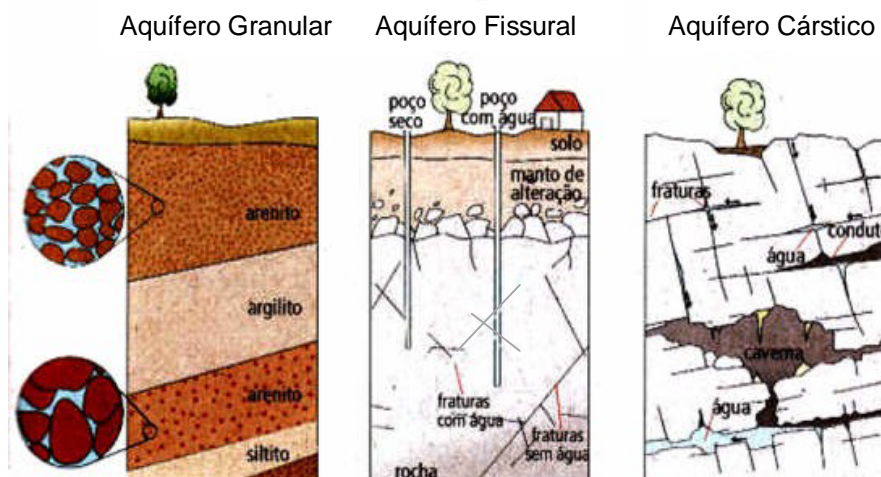


Figura 3. Tipos de aquíferos de acordo com as rochas armazenadoras de água. Fonte: Instituto Geológico de São Paulo (2008).

Granulares – aquíferos superficiais, que ocorrem em sedimentos clássicos não consolidados, tais como em depósitos aluviais de rios, que consistem fundamentalmente de areia e argila;

Fissurais – águas subterrâneas que ocorrem nas fraturas das rochas resultantes dos processos tectônicos;

Cársticos – formados por rochas carbonáticas, que no processo geológico produzem fraturas e fissuras por conta da dissolução cárstica.

Segundo Feitosa e Filho (1997) existem dois grupos de fontes hidrominerais, que podem ser classificadas como:

Fontes de surgências naturais ou de afloramentos: são aquelas onde as águas subterrâneas, por motivos geológicos, surgem espontaneamente no terreno, produzindo escoamento superficial a partir do qual é captada;

Fontes de captação artificial: são fontes de água decorrentes da perfuração de poços tubulares e cacimbões com profundidades variáveis.

2.3. Poços tubulares

Poço tubular profundo é uma estrutura hidráulica, vertical e tubular, para captação da água subterrânea diretamente do aquífero, através de perfuração

realizada por meio de máquinas perfuratrizes à percussão, rotativas e rotopneumáticas. Para construí-lo, é necessário conhecimento básico da geologia da região a fim de se projetar adequadamente o poço, possibilitando uma exploração correta, sem danos físicos e/ou bioquímicos para o aquífero, proporcionado tanto ao poço quanto ao equipamento de bombeamento melhores condições de trabalho (FEITOSA; FILHO, 1997).

Para a locação de um poço, uma investigação de geologia de superfície é, em geral menos dispendiosa, mas nem sempre seus resultados dão garantia de êxito. Uma ferramenta de grande valor, principalmente no caso de rochas cristalinas, é a fotointerpretação da área ou da região, permitindo obter informações como: (a) direção e características das estruturas geológicas; (b) contatos litológicos; e (c) rede e padrão de drenagem, permitindo inferir as condições de subsuperfície. A interpretação e conclusão dos estudos nesta fase muitas vezes é suficiente para selecionar corretamente o local exato da perfuração, levando-se em conta ainda as condições de acesso e da infra-estrutura existente (SEMADS/DRM, 2001).

No caso de persistirem dúvidas, pode-se recorrer a investigações de subsuperfície. Os métodos mais usuais são os geofísicos, que consistem em detectar as anomalias nas propriedades físicas das rochas, baseadas em medições indiretas. As interpretações dos dados apresentados em gráficos são muitas vezes difíceis, devendo ser cuidadosamente avaliadas. Os métodos mais comuns são os elétricos e os eletromagnéticos (SEMADS/DRM, 2001).

Quando um poço é perfurado numa formação de rocha consolidada, o orifício geralmente é mantido em equilíbrio, sem necessidade de revestimento, comum em regiões de rochas cristalinas (magmáticas e metamórficas), enquanto que, numa formação de areia, argilas expansivas, pedregulhos e outras formações não consolidadas, que são as rochas sedimentares que não possuem estrutura suficiente para dar estabilidade à construção, deverá ser sustentado por um revestimento ou filtro para poço, a fim de evitar seu desmoronamento ou fechamento do poço. A água, nas formações consolidadas ocorre em fraturas, fendas ou cavernas existentes nas rochas ou nos poros do arenito, enquanto nas areais e pedregulhos, está presente nos vazios formados entre as partículas adjacentes (CPRM, 1998).

A implantação de um poço tubular compreende algumas etapas complementares a perfuração, como a completação, desenvolvimento e teste de vazão ou bombeamento.

2.3.1. Completação e desenvolvimento do poço

A completação diz respeito ao ato de completar o poço, ou seja, colocar a tubulação do poço (revestimento e filtro), o cascalho (pré-filtro) e o cimento (cimentação). Esta etapa da perfuração refere-se a poços perfurados em material não consolidado e em rochas sedimentares de porosidade intergranular, nos quais são instalados filtros. Poços perfurados em rochas cristalinas (granitos, xistos, quartzitos, etc.), com porosidade de fraturas, e calcários (porosidade de canais de dissolução), são revestidos apenas na sua parte superior, onde a rocha se encontra alterada e sujeita à desmoronamentos, e, portanto, geralmente não necessitam de filtros. Com exceção de ocasiões em que a rocha cristalina se encontra intensamente fraturada, ou o calcário apresenta níveis de alteração ou de intensa dissolução, torna-se necessário revestir todo o poço (CPRM, 1998).

O desenvolvimento de um poço de água é uma das fases de conclusão. Inicia com a remoção do material mais fino do aquífero, através da desobstrução ou alargamento das passagens da água nas formações captadas, no pré filtro e nas ranhuras do filtro, de modo que a água possa penetrar mais livremente no poço. A operação de desenvolvimento é fundamental para o perfeito acabamento do poço e para assegurar o máximo da capacidade de produção. Um desenvolvimento correto corrige qualquer dano ou obstrução da formação aquífera (decorrente de um efeito marginal da perfuração), aumenta a porosidade e a permeabilidade da formação na vizinhança do poço e estabiliza a formação arenosa em torno de um poço dotado de filtro, permitindo fornecer água isenta de areia (EBARA, 2007)

Um poço pode ser desenvolvido aplicando-se as seguintes técnicas: pistoneamento, ar comprimido, superbombeamento, reversão do fluxo e jorro com alta velocidade. Junto com esses métodos devem ser utilizados agentes dispersivos, pois facilitam a desaglutinação do resíduo de perfuração e aumentam a eficácia do desenvolvimento do poço (EBARA, 2007)

Realizado o desenvolvimento do poço, é de fundamental importância para a definição da capacidade de produção e das características hidráulicas do aquífero, o teste de vazão.

2.3.2. Teste de vazão

Os testes de vazão podem ser divididos em: Teste de Aquífero e Teste de Produção.

Teste de Aquífero: tem como finalidade a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero. Consiste no bombeamento de um poço com uma vazão constante e no acompanhamento dos rebaixamentos produzidos em um ou mais poços de observação a uma distância determinada deste poço.

Teste de Produção: é o bombeamento que tem a finalidade de determinar as perdas de carga totais que ocorrem em um poço. Consiste no registro da evolução dos rebaixamentos no próprio poço bombeado. Deve ser realizado em três ou mais etapas com vazões que devem aumentar sucessivamente. Em cada etapa isolada, a vazão deve ser mantida constante. Esses testes podem ser realizados de duas maneiras distintas – testes sucessivos e testes escalonados. No teste sucessivo a bomba é desligada ao final de cada etapa e aguarda-se a recuperação do nível do poço antes do início da próxima. O teste escalonado é realizado com um bombeamento contínuo, passando de uma etapa para outra através do aumento brusco da vazão (CPRM, 1998).

Nos testes de bombeamento, além da vazão de produção do poço é também conhecido o nível estático (NE), que corresponde ao nível da água a partir da superfície antes do bombeamento no poço, utilizado para caracterização das superfícies potenciométricas dos aquíferos. E o nível dinâmico (ND), que corresponde ao nível da água a partir da superfície, na ocorrência do bombeamento para exploração da vazão de produção.

2.3.3. Características gerais dos poços em formações cristalinas e sedimentares

Segundo a publicação de Ações Emergenciais de Combate aos Efeitos da Seca, da CPRM – Serviço Geológico do Brasil / Superintendência Regional do Recife: Noções Básicas sobre Poços Tubulares (Agosto – 1998), os poços tubulares perfurados nas formações hidrogeológicas cristalinas e sedimentares apresentam as seguintes características gerais.

Em formações cristalinas:

- Poços com profundidades máximas em torno de 80 metros;
- Diâmetro mais frequente de 4" a 6";
- Perfurados com máquinas à percussão e ar comprimido;
- Dispensam revestimentos (após atingir a rocha cristalina), filtros e pré-filtros;
- Captam aquíferos fissurais;
- Geralmente tem baixas vazões (média 2 a 5m³/h)

Em formações sedimentares:

- Poços com profundidades as mais variadas, podendo atingir mais de 1.000m;
- Diâmetro variável desde 4" a 22" (mais utilizado de 4" a 8");
- Perfurados com máquinas à percussão e rotativas;
- Exigem revestimentos, filtros e pré-filtros;
- Custos elevados de material de completação;
- Pequenas a grandes vazões (até 1.000 m³/h);

Considerando que a vazão de produção dos poços tubulares é uma informação imprescindível para o planejamento e estudo de viabilidade da implantação de empreendimentos que utilizam a água subterrânea, torna-se

importante a realização de estudos de estimativa e inferência desta informação antes da realização dos trabalhos de perfuração dos poços, para evitar prejuízos financeiros e ambientais na ocorrência de poços secos ou com vazão insuficiente para finalidade pretendida. Dentre as técnicas de estimativa utilizadas destaca-se o uso da geoestatística.

2.4. A geoestatística

Geoestatística é uma ciência relativamente nova, derivada da estatística aplicada que trata de problemas referentes às variáveis regionalizadas (BICUDO; BICUDO, 2004), que são aquelas que tem comportamento espacial mostrando características intermediárias entre as variáveis verdadeiramente aleatórias e as totalmente determinísticas (LANDIM, 1998).

O termo 'geoestatística' foi dado por Matheron em seu trabalho para a solução de problemas espaciais voltados para a mineração (OLIVEIRA, 1991). Matheron foi influenciado pelos trabalhos realizado pelo engenheiro de minas Daniel G. Krige, na África do Sul, de onde surgiu o nome do método (ODRESKY, 2002).

A teoria fundamental da geoestatística é a esperança de que, na média, as amostras próximas no tempo e espaço sejam mais similares entre si do que as que estiverem distantes (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

Para uma melhor compreensão desta ciência torna-se necessário a compreensão da função semivariograma e dos processos de interpolação de dados espaciais.

2.4.1. Interpolação de dados espaciais

A interpolação, segundo Stark (1979), é o processo matemático de se achar valores intermediários entre os valores discretos de uma função. Atualmente, os processos de interpolação têm sido utilizados em muitos campos, tais como na medicina, ecologia, geologia, oceanografia, engenharia, computação, geofísica, meteorologia, agronomia, hidrologia e sistemas de informações geográficas.

Antes do advento dos computadores, a confecção de mapas que expressam formas, características da paisagem, e distribuição de recursos, era feita manualmente e consideradas uma forma altamente especializada de desenho técnico. A interpretação de mapas de isolinhas requeria certa habilidade, contudo, compreendê-los era mais fácil que aprender a arte de criá-los manualmente, uma vez que estes mapas realizam a ligação gráfica dos valores iguais, pré-definidos, na representação espacial da informação. Somente na década de 1940, após o surgimento da computação, iniciou-se a confecção de mapas de isolinhas com interpolação automática (WATSON, 1992).

Interpolação espacial, também foi definida por Burrough (1986), como o procedimento para se estimar valores de propriedades de locais não amostrados, baseando-se em valores de dados observados em locais conhecidos.

A classificação dos métodos de interpolação encontrados na literatura não é muito clara, todavia Hartkamp *et al.* (1999), fornece uma classificação didática sob diferentes pontos de vista. Os interpoladores são distinguidos em (1) globais ou locais; (2) exatos ou suavizantes; (3) determinísticos ou estocásticos.

Interpoladores globais consideram todos os pontos da área amostrada, permitindo interpolar o valor da função em qualquer ponto dentro do domínio dos dados originais, já que determinam apenas uma função que é mapeada através de toda a região. A adição ou remoção de um valor tem consequências do domínio de definição da função, ou seja, afeta todo o mapa. Há uma tendência dos algoritmos de interpolação global a gerar superfícies mais suaves, com mudanças menos bruscas. Por outro lado, os interpoladores locais são funções definidas para porções determinadas no mapa, portanto a alteração de um valor afeta localmente os pontos próximos ao mesmo.

Interpoladores exatos geralmente são utilizados quando se tem certeza dos valores dos pontos no qual a interpolação está baseada. Eles sempre honram os dados, de maneira que após o processo de interpolação não há presença de resíduos, ou seja, a predição sobre os locais amostrados vai ser igual ao próprio valor amostrado. Interpoladores suavizantes (*smoothing*), ao contrário, são utilizados quando há incerteza sobre os valores dos pontos amostrados, geralmente provenientes de locais que sofrem variações ou flutuações rápidas. Produzem

suavização das curvas da superfície gerada, fazendo com que possíveis erros presentes nos dados tendam a ser minimizados.

Interpoladores estocásticos fazem uso da teoria da probabilidade, e incorporam critérios estatísticos na determinação do peso atribuído aos pontos amostrais para o cálculo das interpolações. Interpoladores determinísticos já não fazem uso da probabilidade. Para calcular a medida de uma grandeza no espaço, eles geram uma combinação linear dos valores amostrados baseando-se apenas na geometria da distribuição espacial dos dados amostrados (SOARES, 2000).

Hartkamp *et al.* (1999), apresentam que quando os dados são abundantes e regularmente distribuídos, as metodologias de interpolação geram resultados similares. Por outro lado, quando os dados são escassos, há uma grande variação dos resultados gerados. Portanto, a questão de qual o melhor método a ser aplicado sobre um determinado conjunto de dados amostrais torna-se pertinente. Não existe teoria estatística capaz de prever qual técnica é superior (DAVIS, 1986). Issak & Srivastava (1989) afirmam que não há uma resposta simples para escolha de um interpolador espacial apropriado ou superior, e colocam ainda que isto depende de inúmeras variáveis, como por exemplo, a configuração espacial dos dados e o parâmetro a ser estudado. Childs (2004) afirma que cada método de interpolação pode ser útil para uma utilização específica, que depende principalmente do fenômeno estudado e da distribuição espacial dos pontos amostrais.

2.4.2. O semivariograma

A estimativa da dependência entre amostras vizinhas no espaço pode ser realizada através da autocorrelação que é de grande utilidade quando se está fazendo amostragem em uma direção. Quando a amostragem envolve duas direções (x,y) o instrumento mais indicado na estimativa da dependência entre amostras é o semivariograma (SILVA, 1988).

O semivariograma analisa o grau de dependência espacial entre amostras dentro de um campo experimental, além de definir parâmetros necessários para a estimativa de valores para locais não amostrados, através da técnica de krigagem (SALVIANO, 1996).

Até o início dos anos 60, a análise de dados era feita sob a hipótese de independência estatística ou distribuição espacial aleatória, para permitir o uso de métodos estatísticos clássicos como análise de variância e parâmetros como o coeficiente de variação (HARRADINE, 1949; BALL; WILLIAMS, 1968). Entretanto, este tipo de hipótese não pode ser aplicado indistintamente sem que se prove a não existência de correlação de amostras com a distância. Se provada a correlação espacial, a hipótese de independência fracassa. Um dos métodos mais antigos de se estimar a dependência no espaço ou no tempo, de amostras vizinhas é através da autocorrelação. Este método tem suas origens em análise de séries temporais e tem sido usado em Ciência do Solo (WEBSTER, 1973; WEBSTER; CUANALO, 1975; VIEIRA et al., 1983), principalmente para medições efetuadas em uma linha reta. A sua análise pode auxiliar na localização de divisas entre dois tipos de solos, ou na análise de periodicidade nos dados, através da análise espectral (VAUCLIN et al., 1982). Porém, quando as amostras forem coletadas nas duas dimensões (x ,y) do campo e for necessária para interpolação entre locais medidos a construção de mapas de isolinhas, será preciso usar uma ferramenta mais adequada para medir a dependência espacial, sendo esta ferramenta o semivariograma (VIEIRA et al., 1983). Existe um paralelismo claro entre a inferência geoestatística, que se baseia nas características de uma função de dependência espacial, o semivariograma e a inferência estatística, que não é possível a partir de uma só realização e requer conhecer a função de distribuição da variável estudada.

A função de semivariância $\gamma(h)$ que é o valor do semivariograma estimado para a distância h , é definida como sendo a esperança matemática do quadrado da diferença entre os valores de pontos no espaço, separados por uma distância h , pode ser estimado por:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N} \sum [Z_{(xi)} - Z_{(xi+h)}]^2 \quad (1)$$

Em que N é o número de pares de valores medidos $Z_{(xi)}$, $Z_{(xi+h)}$, separados por um vetor h (JOURNEL; HUIBREJTS, 1978).

O gráfico de $\gamma(h)$ versus os valores correspondentes de h , chamado semivariograma, é uma função do vetor h , e portanto, depende de ambos, magnitude e direção de h . Quando o gráfico do semivariograma é idêntico para qualquer direção de h ele é chamado isotrópico e representa uma situação bem mais simples do que quando é anisotrópico. De qualquer maneira, sob isotropia ou não, a equação (1) é a que é usada para o cálculo do semivariograma. Alguns programas de computador, como o SURFER 8.0 da Golden Software®, são utilizados para calcular o semivariograma, e simplesmente o fazem a partir daquela equação.

À medida que $\gamma(h)$ aumenta (h) também aumenta, pois é de se esperar que amostras tiradas a uma pequena distância entre si apresentem $[Z(x)-Z(x+h)]^2$ menores que aquelas tiradas a distâncias maiores (SILVA, 1988; CAMARGO, 1997). O ajuste do modelo matemático aos dados no gráfico, ou seja, a uma função, define os parâmetros do semivariograma, que são: efeito pepita (**C₀**), que é o valor de $\gamma(h)$ quando $h=0$; quando h aumenta freqüentemente, aumenta até uma distância **A**, chamada de alcance (**A**) da dependência espacial; e a partir da qual (h) neste ponto é chamado de patamar (**C+C₀**), cujo valor é aproximadamente igual à variância dos dados, se ela existe, e é obtido pela soma do efeito pepita e a variância estrutural (**C**) (Figura 4).

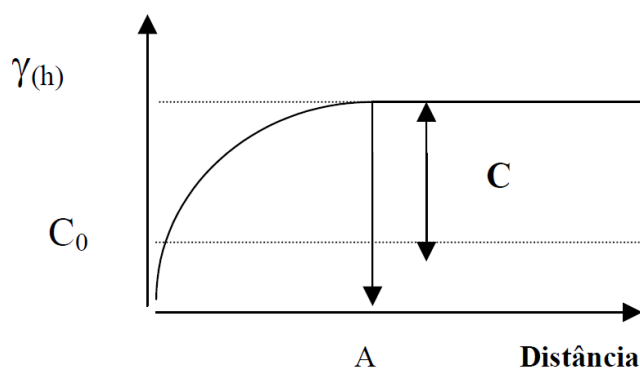


Figura 4. Representação do semivariograma.

Amostras separadas por distâncias menores do que o alcance são espacialmente dependentes, enquanto aquelas separadas por distâncias maiores,

não são, ou seja, um semivariograma igual à variância dos dados implica em variação aleatória. O alcance também é utilizado para definir o raio de ação ("*range*") máximo de interpolação por krigagem, onde os pesos utilizados na ponderação podem afetar os valores estimados (SOUZA, 1992).

No comportamento típico de um semivariograma ajustado, o valor de semivariância aumenta à medida que aumenta a distância de separação entre os pontos, até estabilizar-se, ou seja, atingir um patamar (VIEIRA, 2000). O patamar ("*sill*") é atingido quando a variância dos dados se torna constante com a distância entre as amostras. O valor de h nesse ponto é aproximadamente igual a variância total dos dados. É um parâmetro importante, pois permite a determinação da distância limite entre dependência e independência entre das amostras (SILVA, 1988).

O efeito pepita, que é um parâmetro importante do semivariograma, reflete o erro analítico, indicando uma variabilidade não explicada (ao acaso) de um ponto para o outro, que pode ser devida tanto a erros de medidas ou microvariação não detectada em função da distância de amostragem utilizada, sendo impossível quantificar a contribuição individual dos erros de medições ou da variabilidade.

Dependendo do comportamento do semivariograma para grandes valores de h , o modelo a ser usado pode ser classificado em duas categorias: a) modelo sem patamar e b) modelo com patamar.

Os modelos com patamar normalmente são ajustes que representam a estacionaridade de segunda ordem, onde a semivariância aumenta com o aumento da distância entre amostras, até atingir o patamar, onde se estabiliza (MACHADO, 1994). Já os modelos sem patamar satisfazem apenas a hipótese intrínseca, de distribuição espacial aleatória, e os semivariogramas podem ser definidos, mas não se estabilizam em nenhum patamar.

É importante notar que a maioria das variáveis de ciência do solo poderá ter um comportamento anisotrópico, isto é, mudar de maneira diferente para direções diferentes e isto depende muito da propriedade em estudo, das dimensões do campo de estudos, e do tipo de solo envolvido. No caso anisotrópico o semivariograma deve sofrer transformações antes de ser usado existindo algumas maneiras de se transformar um semivariograma anisotrópico em isotrópico (JOURNEL; HUIBREJTS, 1978; BURGESS; WEBSTER, 1980). Em geral, a precisão

da interpolação ou o tipo de hipótese satisfeita, não são afetados se, ao invés de se preocupar com escolha de método de transformação de anisotropia, apenas limitar a faixa de distância na qual se utiliza o semivariograma.

No semivariograma experimental é verificado a possibilidade da variável estudada possuir a propriedade de anisotropia que é a não homogeneidade das distribuições das variâncias em ângulos diferentes no espaço (EUGLUND; SPARKS, 1988), quando o semivariograma é isotrópico, apenas um (o unidirecional) é suficiente para descrever a variabilidade espacial da variável no campo. E havendo dependência espacial entre as amostras, podem-se interpolar valores em qualquer posição no campo de estudo, sem tendência e com variância mínima (Vieira, 2000). Ele tem como base os dados amostrais da variável regionalizada e as propriedades estruturais do semivariograma obtido a partir destes dados. Este representa a interpretação da estrutura de correlação espacial a ser utilizada nos procedimentos inferenciais da krigagem (Camargo, 1997), e a partir do levantamento deste semivariograma experimental faz-se o ajuste a uma família de modelos teóricos.

Os modelos teóricos de semivariograma são superpostos à sequência de pontos obtidos no variograma experimental, de modo que a curva que melhor se ajuste aos pontos obtidos represente a magnitude, alcance e intensidade da variabilidade espacial da variável estudada. Dentre estes modelos existentes, podemos destacar: Esférico, Exponencial, Linear e Gaussiano, representados nas equações a seguir.

a) Esférico

$$\gamma(h) = C_0 + C[1,5(h/A) - 0,5(h/A)^3] \quad (2)$$

b) Exponencial

$$\gamma(h) = C_0 + C[1 - \exp(-h/A)] \quad (3)$$

c) Linear

$$\gamma(h) = C_0 + [h(C/A)] \quad (4)$$

d) Gaussiano

$$\gamma(h) = C_0 + C[1 - \exp(-h/A)^2] \quad (5)$$

Em que: $\gamma(h)$ é a semivariância, h a distância entre medições, C_0 o efeito Pepita, C a semivariância estrutural ou espacial, A - alcance.

2.4.3. O método do Inverso Ponderado da Distância (IPD)

O método do Inverso Ponderado da Distância (IPD), é um estimador determinístico de valores não amostrais a partir de uma combinação linear de valores de pontos conhecidos, ponderados por uma função da distância. Nele, considera-se que os pontos próximos dos locais não amostrados são mais representativos do que aqueles mais afastados. Assim, a ponderação muda de acordo com a distância linear das amostras aos pontos não amostrados. A escolha do parâmetro do expoente de ponderação da distância (p) do IPD pode afetar significativamente o resultado da interpolação pois, ele representa quanto os valores amostrais mais distantes do local a ser estimado influenciam na inferência. Desta forma, os pesos são atribuídos proporcionalmente ao inverso da distância entre os valores dos pontos estimados e os amostrados, quanto maior o valor de p , menor a distância que represente influência dos valores amostrais ao local de estimação.

A equação que representa o cálculo para estimativa de valores utilizando o IPD é apresentada a seguir.

$$Ei(r) = \frac{\sum_{i=1}^n [Oi(r_i) / d(r, r_i)^p]}{\sum_{i=1}^n [1 / d(r, r_i)^p]} \quad (6)$$

Em que: $Ei(r)$ é valor estimado no vetor posição r , $Oi(r_i)$ o valor medido no vetor posição r_i , n o número total de pontos conhecidos e utilizados interpolação, $d(r, r_i)$ a distância Euclidiana entre os vetores r e r_i , e p o parâmetro de potência (expoente de ponderação).

Com relação à variação do expoente de ponderação (p) para aplicação do IPD, diversos estudos apresentam uma alteração da qualidade das estimativas (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989), (WEBER; ENGLUND, 1994), de forma que baixos valores da potência tenderam a suavizar os valores extremos, enquanto valores elevados o realçaram (CONDE; YAMAMOTO, 1996).

2.4.4. O método de kriging

O kriging ou a krigagem é um método de interpolação estocástico que utiliza geoestatística para efetuar a interpolação, o que em muitos casos representa uma grande vantagem sobre outros métodos (MAZZINI; SCHETTINI, 2009). O kriging define o grau de dependência ou correlação espacial entre as amostras através do semivariograma (CRESSIE, 1993). Uma vez modelado o semivariograma, é possível verificar o nível de anisotropia dos dados, e então definir os melhores pesos para as amostras.

O kriging pode ser um interpolador tanto exato como suavizador, este processo pode ser significativamente afetado pela estrutura e variabilidade espacial dos dados (LEENAERS et al., 1990), pela escolha do modelo do variograma, do raio pesquisado e pelo número de vizinhos próximos utilizados para a estimação. Os estudos de Weber e Englund (1994) notaram que com uma criteriosa seleção dos modelos dos variogramas e do número dos vizinhos mais próximos usados na estimação, mostraram-se significativamente melhores na precisão da estimação por kriging, tornando-se um método mais acurado do que o IPD.

Segundo Rossi et al. (1994), três características do kriging o distinguem dos outros métodos de interpolação. Primeiro, ele pode fornecer uma estimativa que é maior ou menor do que os valores da amostra, sendo que as técnicas tradicionais estão restritas a faixa de variação das amostras. Segundo, enquanto os métodos tradicionais usam distâncias Euclidianas para avaliar as amostras, o kriging tem a vantagem de usar a distância e a geometria (relação de anisotropia) entre as amostras. Terceiro, diferentemente dos métodos tradicionais, o kriging leva em conta a minimização da variância do erro esperado, por meio de um modelo empírico da continuidade espacial existente ou do grau de dependência espacial com a distância ou direção, isto é, através do variograma.

Dentre as formas mais usuais do kriging estão: a simples, ordinária, universal e intrínseca. As interpolações realizadas através do método de kriging simples é a mais comum nas estimações utilizadas na ciência do solo, conforme o descrito por Burgess e Webster (1980), Vieira et al. (1983), Journel (1986) e Alli et al. (1990).

2.5. O uso da geostatística na caracterização das águas subterrâneas

Alguns autores estudaram o mapeamento de características específicas, bem como variabilidade e dependência espacial destas nos solos, como: condutividade hidráulica dos solos (BRESLER et al., 1984; ROGOWSKI e WOLF, 1994; CIOLLARO e ROMANO, 1995; GUPTA et al., 1995), nível do lençol freático (ABOUFIRASSI e MARINO, 1983), contaminação do lençol (REYNOLDS et al., 1994), etc.

Especificamente, para as características dos aquíferos e poços tubulares, destacam-se os trabalhos de Banks e Robins (2002) que propõem que os riscos na perfuração de um poço no embasamento cristalino sejam previstos por meio da construção de curvas de distribuição da produtividade dos poços existentes em uma área. Com relação à utilização de sub-amostras fracionadas de um conjunto amostral, Vidal e Kiang (2004) no trabalho de análise geoestatística da salinidade dos aquíferos da Bacia de Taubaté que concluíram que a confecção do mapeamento de salinidade que buscou incorporar a heterogeneidade presente na bacia, produzido através da junção dos mapas krigados para cada compartimento, promoveu menores erros de estimativa, se comparado com o procedimento de interpolação para a bacia como um todo, demonstrando a importância do conhecimento geológico estrutural em estudos hidrogeológicos e hidroquímicos. E Alamy Filho e Segantini (2010) no mapeamento do sistema Aquífero Bauru – MG que concluíram que a partir da interpolação espacial de dados primários foi possível construir mapas que representam a distribuição das características geométricas e dos parâmetros hidrogeológicos do aquífero, constituindo-se numa importante ferramenta para a gestão dos aquíferos.

No entanto, é muito comum encontrar publicações de órgãos governamentais, onde são apresentados mapas temáticos sobre a vazão potencial de poços tubulares numa dada região ou bacia hidrográfica, informando sobre a metodologia de confecção através de métodos de interpolação, como o IPD e kriging, a partir de dados observados. Sem, no entanto, apresentar um esclarecimento sobre o expoente de ponderação utilizado para as estimativas quando da utilização do primeiro método, ou sem qualquer informação do modelo de semivariograma ajustado ao experimental utilizado para realização do kriging, quando este foi método aplicado.

Da mesma forma, Ribeiro et. al. (2010) no trabalho de definição de áreas potenciais para a ocorrência de água subterrânea na sub-bacia do Rio Siriri-Sergipe com o auxílio do AHP (método analítico hierárquico) utilizaram, dentre outros, mapas de distribuição da vazão produzida nos poços tubulares, confeccionados através do kriging. Porém, não apresentaram os modelos teóricos de ajuste ao semivariograma experimental e os critérios para seleção destes para realização das inferências.

Chaves-Kuz & Salamuni (2003) nos trabalhos de sistematização das informações relativas a poços tubulares numa região de aquífero fissural no município de Curitiba-PR, realizaram uma análise estatística clássica, seguindo a conceituação de Lamdim (1998), destacando como um estudo preliminar aos estudos geoestatísticos devido à necessidade do entendimento de questões inerentes à distribuição espacial dos dados, inclusive como primeiro passo para o reconhecimento da possibilidade ou não de haver interdependência entre os dados.

Mestrinho & Da Luz (2004), para realização da análise exploratória espacial e temporal dos dados de poços tubulares da Bacia do Itapicuru, no Estado da Bahia, utilizaram a técnica de interpolação por kriging para espacialização da vazão produzida. Porém, não apresentaram detalhes sobre o tipo de krigagem ou qual o semivariograma teórico utilizado no ajuste do semivariograma experimental dos dados amostrais.

Riffel e Silva (2011) apresentam o uso do kriging como melhor resultado para espacialização das análises químicas das amostras e da superfície potenciométrica no trabalho de caracterização de recursos hídricos subterrâneos no município de Santa Rosa-RS, embora não destaquem os demais métodos

comparativos e faz sugestão para realização de trabalhos futuros com análise de diversos métodos de análise estatística.

No entanto, alguns autores realizaram estudos utilizando métodos de interpolação com maior investigação das condições de autocorrelação dos dados como Bettú e Ferreira (2005) que realizaram a modelagem da superfície potenciométrica do Sistema Aquífero Caiuá - PR, utilizando as técnicas de krigagem ordinária e krigagem com tendência externa do Modelo Numérico do Terreno - MNT e concluíram que esta segunda apresentou os melhores resultados, corroborado pelos erros médios do processo de validação cruzada.

Na caracterização da variabilidade espacial de variáveis geobiofísicas nas nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Alves et. al. (2008) analisaram a estrutura e magnitude de dependência espacial da variável vazão em nascentes de água, dentre outras, por meio de metodologias de análise geoestatística de krigagem ordinária, com estudo de modelos de melhor ajuste dos semivariogramas, e do inverso ponderado da distância (IPD). Baseado na teoria de decisão utilizaram o critério de informação Akaike (AIC) para averiguar o desempenho comparativo dos métodos de interpolação por IPD e kriging, e o quadrado médio do erro da predição para avaliar a acurácia das estimativas.

3. MATERIAL E MÉTODOS¹

3.1. Localização da área de estudo

A área de estudo escolhida para realização do presente trabalho ocorreu em função da contiguidade e representatividade das áreas para as duas formações hidrogeológicas, cristalina e sedimentar, bem como a boa densidade de poços existentes com informações disponíveis.

A área está localizada no nordeste do Estado da Bahia entre as coordenadas geográficas 9°35'56,6" e 11°15'41,4" latitude sul e 38°02'05,4" e 39°48'19,1" longitude oeste de Greenwich que compreende uma área territorial de 24.030 km² sobre os domínios hidrogeológicos com predominância de rochas cristalinas e sedimentares (Figura 5), os quais, como foi visto anteriormente, apresentam características gerais bem distintas.

Esta área foi subdividida em duas áreas, contíguas, para realização dos trabalhos de espacialização, uma com predominância de rochas cristalinas e a outra com rochas sedimentares. A primeira (sub-amostra 1) localiza-se entre as coordenadas geográficas 9°35'56,6" e 10°48'41,4" latitude sul e 38°59'36,5" e 39°48'19,1" longitude oeste de Greenwich que compreende uma área territorial de 9.136 km², nesse meio aquífero, a água subterrânea encontra-se limitada aos espaços fendilhados e/ou fraturados. A segunda (sub-amostra 2) está localizada entre as coordenadas geográficas 09° 37' 50,1" e 11° 15' 43,1" latitude sul, e 38° 02' 05,4" e 39° 06' 19,4" longitude oeste de Greenwich, compreendendo uma área territorial de 14.894 km² com aquíferos sedimentares, como reservatórios de águas subterrâneas de porosidade granular ou intersticial.

A relação de todos os poços tubulares utilizados no presente trabalho encontra-se na Tabela 10 (Anexo).

¹ A citação de marcas comerciais não implica em recomendação por parte do autor.

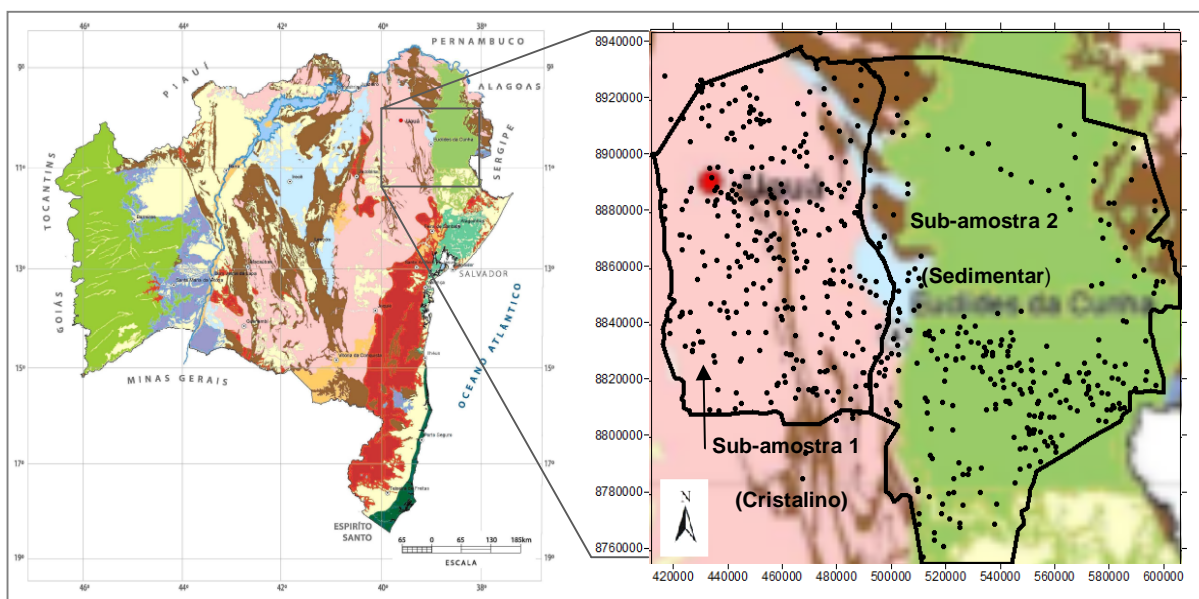


Figura 5. Área de estudo e distribuição dos pontos amostrais da sub-amostra 1 e sub-amostra 2, localizados nas formações cristalina e sedimentar no nordeste semiárido do Estado da Bahia.

3.2. Espacialização da vazão produzida por poços tubulares

3.2.1. Interpolação dos dados amostrais para sub-amostra 1 e sub-amostra 2

A sub-amostra 1 continha 336 poços tubulares e a sub-amostra 2 continha 270 poços tubulares, dos quais utilizou-se os valores do nível estático (NE), profundidade de perfuração, da vazão produzida e nível dinâmico (ND) obtidos do banco de dados da Companhia de Engenharia Ambiental do Estado da Bahia-CERB. Os poços tubulares da sub amostra 1 estão localizados nos municípios de: Cansanção, Monte Santo, Uauá, Canudos, Euclides da Cunha e Quijingue. E os poços tubulares da sub-amostra 2 estão localizados nos municípios de: Canudos, Euclides da Cunha, Jeremoabo, Antas, Banzaê, Cícero Dantas, Fátima, Heliópolis, Sítio do Quinto, Quijingue, Ribeira do Pombal e Tucano.

Realizou-se estimativas de vazão produzida através de interpolação espacial utilizando-se os métodos de inverso ponderado da distância (IPD) e de Kriging simples. Utilizou-se nas interpolações através do IPD à potência de ordem 1; 2; 3; 5 e 10.

Para realização das inferências por kriging foram observados quatro modelos de ajuste teórico ao semivariograma experimental: Esférico, Exponencial,

Linear sem patamar e Gaussiano, sendo que a escolha do melhor modelo ocorreu em função dos parâmetros: maior coeficiente de determinação (r^2) e menor soma dos quadrados dos resíduos (RSS), utilizando-se o software GS+®.

Para análise de dependência espacial da variável em estudo, tanto para os poços em rochas cristalinas quanto em rochas sedimentares utilizou-se a classificação proposta por Cambardella et. al. (1994) e adaptada por Zimback (2001), a qual estabelece os intervalos de acordo com a relação entre a semivariância estrutural e o patamar do semivariograma teórico - $C/(C_0+C)$. Considerando-se de fraca dependência espacial quando esta proporção apresentasse $\leq 0,25$, moderada quando entre 0,25 e 0,75 e forte quando $> 0,75$.

Para realização das interpolações por IPD e por kriging, para todos os dados amostrais utilizados neste trabalho, utilizou-se o software SURFER® 8.0 da *Golden Software*.

Observando-se as áreas com formações cristalina e sedimentar, foi definida para realização da espacialização da vazão produzida através das interpolações espaciais uma grade de 200 linhas x 100 colunas, para área de formação cristalina, resultando em um pixel com resolução espacial aproximada de 800m x 860m. Para a área com formação sedimentar foi definida uma grade de 250 linhas x 150 colunas, resultando em um pixel com resolução espacial aproximada de 730m x 790m.

3.2.2. Interpolação dos dados amostrais para amostra completa

Realizou-se estimativas de vazão produzida por poços tubulares através de interpolação espacial utilizando-se os métodos de inverso ponderado da distância (IPD) e de krigagem, utilizando-se todo o conjunto amostral com 606 poços, sobre as formações cristalinas e sedimentares, para observação do desempenho com relação as interpolações realizadas separadamente.

Para a realização das inferências por krigagem foram observados os mesmos modelos de ajuste teórico ao semivariograma experimental, utilizados nas interpolações das sub-amostras 1 e 2, e a escolha do melhor modelo ocorreu em função dos parâmetros: menor soma dos quadrados dos resíduos (RSS) e maior coeficiente de determinação (r^2), utilizando-se o software GS+®.

Observando-se a área de domínio do estudo, foi definida uma grade de 300 linhas x 300 colunas para realização da espacialização da vazão produzida através das interpolações espaciais, resultando em um pixel com resolução espacial aproximada de 600m x 600m.

3.2.3. Estimativas a partir de modelagem com regressão linear múltipla

Além das estimativas por interpolação espacial, foram realizadas estimativas de vazão aplicando-se equações obtidas por modelagem com regressões lineares múltiplas a partir do conjunto de dados da sub-amostra 1 e da sub-amostra 2, separadamente, e da amostra completa. Sendo a variável dependente as vazões observadas, e duas variáveis independentes. A primeira, as vazões estimadas por interpolação e a segunda os valores de nível estático, nível dinâmico ou profundidade de perfuração, das quais utilizou-se a que apresentou melhor correlação com as vazões observadas. A equação resultante da modelagem pela regressão linear múltipla apresenta-se conforme equação 7.

$$Y = \beta_0 + x_1.\beta_1 + x_2.\beta_2 \quad (7)$$

Em que: Y - vazão observada, x1 - vazão estimada por interpolação, x2 - valor de NE, ND ou profundidade do poço, e β os coeficientes da regressão.

3.3. Avaliação de desempenho das estimativas

Para avaliação do desempenho das estimativas realizadas tanto por interpolação quanto pela aplicação das equações resultantes das regressões lineares, utilizou-se o processo de validação cruzada, através da metodologia apresentada em Robinson e Metternicht (2006) e Amorim et. al. (2008) que consiste em retirar um dado do conjunto de dados amostrais e estimá-lo usando os elementos restantes da amostra. De posse dos dois valores, o estimado e o amostrado, o erro da estimação é calculado pela diferença entre eles, com a repetição do procedimento para cada local amostrado. Com base na análise dos

erros de estimação, analisou-se a eficiência dos modelos de estimativas (PIOVESAN et al., 2009).

Utilizou-se na avaliação da acurácia dos métodos de estimação o valor da raiz do erro médio quadrático (REMQ) da predição (LEGATES; MCCABE Jr., 1999), onde se considerou como a metodologia mais acurada aquela com menores valores de REMQ:

$$\text{REMQ} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{n}} \quad (8)$$

Em que: REMQ - raiz do erro médio quadrático, O_i - valor observado, E_i - valor estimado por IPD, por Krigagem ou pela equação de regressão linear, e n - número de amostras.

Entretanto, demais indicadores estatísticos foram utilizados para avaliação do desempenho das estimativas, como o coeficiente de correlação (r), que permite quantificar o grau de associação entre as duas variáveis envolvidas na análise (SCHNEIDER, 1998), tendo seu valor variando entre -1 e 1. Quanto maior o seu valor absoluto, maior o grau de associação entre os valores observados e os valores estimados. O grau de exatidão entre as variáveis envolvidas foi observado pelo índice de concordância (I_c). Este relaciona a diferença entre os valores estimados em relação aos valores observados, tendo variação compreendida entre 0 (nenhuma concordância) e 1 (concordância perfeita) (WILLMONT, 1981). Estes índices são mostrados abaixo na Equações 9 e 10.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - E)(O_i - O)}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (E_i - E)^2][\sum_{i=1}^n (O_i - O)^2]}} \quad (9)$$

$$I_c = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - O| + |O_i - O|)^2} \quad (10)$$

Em que: E_i são os valores estimados, O_i os valores observados, \bar{E} a média dos valores estimados, \bar{O} a média dos valores observados, e n o número de amostras.

Levando-se em conta a teoria da decisão, e o princípio da parcimônia para os números de variáveis do modelo também foi utilizado o critério de informação de Akaike (AIC) para avaliação do desempenho comparativo dos métodos de estimação da vazão produzida nos poços tubulares (WEBSTER; OLIVER, 2001). Considerou-se como melhor desempenho a metodologia que apresentou menores valores de AIC.

$$AIC = 2p + n \ln \left(\frac{RSS}{n} \right) \quad (11)$$

Onde: RSS é a soma de quadrado de resíduos, p o número de parâmetros do modelo estimador, e n - número de amostras.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Desempenho de estimativas para sub-amostra 1 - formação cristalina

O semivariograma experimental (Figura 6) foi ajustado utilizando-se os quatro modelos teóricos propostos. Em observação dos parâmetros dos semivariogramas isotrópicos dos modelos teóricos (Tabela 1) foi escolhido o modelo linear para realização das interpolações por kriging, em função da apresentação de melhor coeficiente de determinação (r^2) que indica quanto dos pontos do semivariograma experimental encontram-se na curva do modelo teórico.

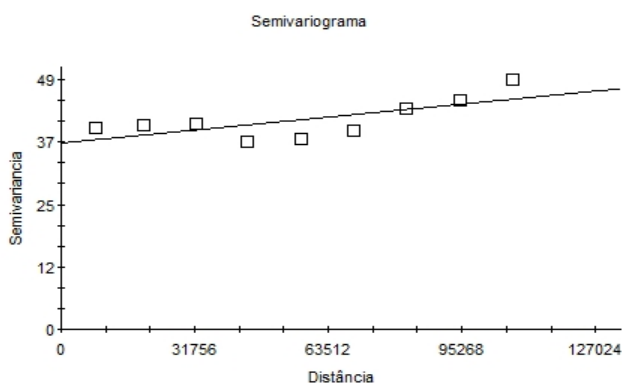


Figura 6. Semivariograma experimental e ajuste teórico linear sem patamar da vazão produzida por 336 poços tubulares em formação cristalina.

Tabela 1. Parâmetros dos modelos de semivariograma isotrópicos teóricos da vazão produzida por 336 poços tubulares em formação cristalina.

Modelo	Efeito Pepita Co	Patama r Co + C	C/(Co + C)	r^2	RSS
Esférico	6,60	41,52	0,841	0,02	120
Exponencial	10,56	41,53	0,748	0,02	120
Linear sem patamar	36,70	45,36	0,191	0,49	314
Gaussiano	8,20	41,52	0,803	0,02	120

O modelo teórico linear sem patamar, utilizado para as inferências por kriging, embora indique uma capacidade infinita de dispersão ou que a densidade de pontos amostrados não foi suficiente para definir a estacionaridade, proporcionou menores erros de estimação por interpolação em comparação aos demais modelos.

Na interpolações utilizando-se o método do IPD a aplicação de expoente superior ao valor 10 observou-se uma estabilização dos valores de vazão estimados. A partir dos gráficos de correlação (Figuras 7; 8 e 9) entre a vazão produzida e os valores de profundidade total, NE e ND, respectivamente, observou-se uma melhor correlação existente entre o ND e a vazão produzida, a qual é inversamente proporcional de acordo com a Figura 9. Este aspecto pode estar relacionado com a diminuição do número de falhas/fissuras à medida que aumenta a profundidade pelo efeito da pressão litostática, e conseqüentemente de menor probabilidade de produção de água pela interceptação da perfuração do poço. Esta é uma característica da zona intermediária, alterada e fissurada das formações hidrogeológicas cristalinas, cuja gênese é atribuída à descompressão e aos processos de alteração (LACHASSAGNE et. al., 2001).

Trabalhos de Davis e Turk (1964) e Banks (1992) citados por Fernandes (2006) se dedicaram à definição do melhor intervalo de profundidade ou da profundidade máxima que um poço deve atingir para obter boa produtividade em terrenos cristalinos. A maior parte desses trabalhos conclui que há tendência de diminuição da produtividade dos poços com o aumento da profundidade, devido ao fechamento das fraturas pelos efeitos da pressão litostática.

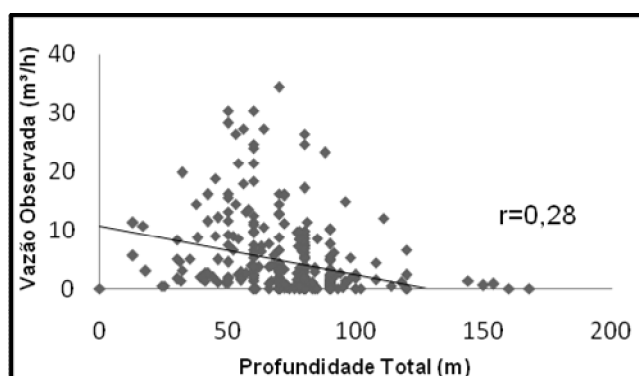


Figura 7. Correlação entre a vazão produzida e a profundidade total dos poços em formação cristalina no semiárido baiano.

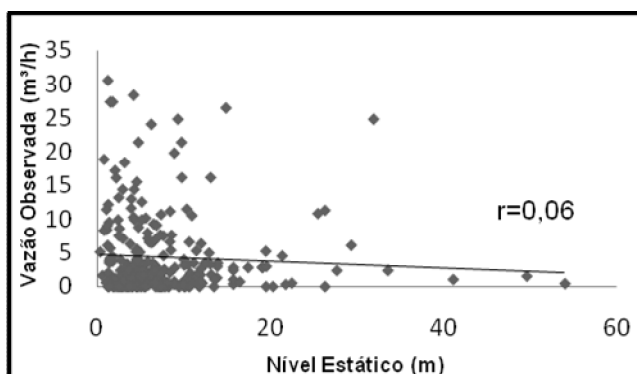


Figura 8. Correlação entre a vazão produzida e o nível estático dos poços em formação cristalina no semiárido baiano.

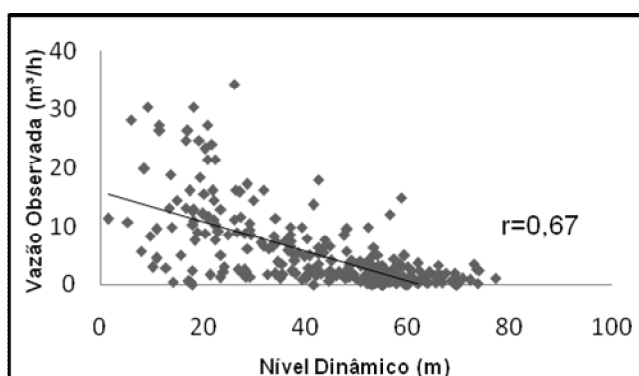


Figura 9. Correlação entre a vazão produzida e o respectivo nível dinâmico dos poços em formação cristalina no semiárido baiano.

A partir destes resultados, as equações resultantes da regressão linear múltipla para estimativa da vazão produzida por poços tubulares em formações cristalinas estão descritas abaixo:

$$Q_{est} = 13,6642 + 0,389.Q_{ipd_2} - 0,2403.ND \quad (12)$$

$$Q_{est} = 14,5063 + 0,249.Q_{krig} - 0,2459.ND \quad (13)$$

Em que: Q_{est} é a vazão estimada pela regressão linear múltipla, Q_{ipd_2} a vazão estimada pelo IPD com expoente de ponderação de melhor desempenho ($p=2$), Q_{krig} a vazão estimada por krigagem, e ND o nível dinâmico.

Através das comparações de estimativa de vazões produzidas nos poços entre os métodos de interpolação IPD e kriging utilizados (Tabela 2), constatou-se que as estimativas através do IPD para valores diferentes de expoente de

ponderação não apresentaram grande variação da raiz do erro médio quadrático (REMQ). Entretanto, as estimativas por IPD com expoente $p=1$, $p=2$ e $p=3$ superaram as estimativas realizadas pelo interpolador kriging. Para os coeficientes de correlação entre as estimativas e os valores medidos, novamente o IPD com expoente $p=2$ obteve melhor resultado que o kriging. Como visto na Tabela 1 os valores do efeito pepita (C_0) estão distantes de zero, o que reduz a exatidão das estimativas por meio da krigagem de valores em locais não medidos, uma vez que o C_0 representa o componente da variabilidade espacial que não pode ser relacionado com uma causa específica (variabilidade ao acaso), ou seja, quanto menor a variação ao acaso, mais exata é a estimativa (VIEIRA, 2000). Desta forma, o índice de concordância (I_c) apresentou-se próximo a 0,50 em todas as interpolações, exceto para o expoente de ponderação $p=1$. Neste último caso, obteve-se um índice de concordância inferior aos demais ($I_c = 0,30$).

As estimativas do IPD com expoente de ponderação igual a 1 resultaram no menor valor de critério de avaliação de Akaike ($AIC=1220$). No entanto, estas estimativas apresentaram-se com maior afastamento dos valores estimados em relação aos observados, ou seja, menor exatidão, conforme já descrito acima através do índice de concordância, corroborando para escolha do IPD com $p=2$ como melhor desempenho nas estimativas de vazão produzida nos poços, sua utilização na realização da regressão linear múltipla e, a partir da Equação 5, a construção do mapa de distribuição da vazão estimada, que caracteriza o potencial de vazão explotável através de poços tubulares na área em estudo.

Tabela 2. Indicadores estatísticos utilizados para avaliação de desempenho das estimativas por IPD e Kriging da vazão produzida por 336 poços tubulares em formação cristalina.

Indicadores	Observada	Estimativa por interpolação espacial					
		IPD($p=1$)	IPD($p=2$)	IPD($p=3$)	IPD($p=5$)	IPD($p=10$)	KRIGING
Vazão Média (m^3/h)	4,52	4,47	4,38	4,34	4,33	4,29	4,46
REMQ	-	6,13	6,14	6,43	6,86	7,26	6,69
Coefficiente Correlação (r)	-	0,26	0,31	0,29	0,26	0,22	0,25
I_c	-	0,30	0,48	0,52	0,52	0,50	0,51
AIC	-	1220	1222	1252	1296	1334	1279

REMQ - raiz do erro médio quadrático; I_c - índice de concordância; AIC - avaliação do critério de Akaike.

Alves, et. al. (2008), comparando as estimativas da vazão de nascentes perenes entre o IPD com expoente igual a 2 e a krigagem ordinária com ajuste através do modelo exponencial, ressaltando que o semivariograma experimental apresentou estrutura de dependência espacial bem definida, conferiram às estimativas da krigagem uma maior exatidão e confiabilidade quando comparadas às do IPD, com base no AIC e no quadrado médio do erro das estimativas. Entretanto, foi constatado através destes indicadores que não houve uma expressiva superioridade da krigagem, pois para o AIC, por exemplo, a redução foi de apenas 0,34% com relação ao IPD.

No presente trabalho, o semivariograma experimental não apresentou boa definição de dependência espacial para nenhum dos modelos de ajustes teóricos, que contribuiu para melhor desempenho do IPD cujo valor de AIC para as estimativas com expoente igual 2 apresentou-se 4,46% menor com relação ao calculado para as estimativas através da krigagem simples.

Os valores estimados através das equações resultantes das regressões lineares múltiplas, utilizando-se valores de nível dinâmico e valores de vazão gerados pela interpolação, tanto pelo método de IPD (com as variações do expoente de ponderação) quanto por kriging, não apresentaram grande variação dos indicadores estatísticos: raiz do erro médio quadrático (REMQ), coeficiente de correlação (r) e índice de concordância (I_c) quando associados aos valores medidos, Tabela 3. No entanto, o desempenho destas estimativas apresentou-se bastante superior às estimativas por simples interpolação, registrando-se uma redução em média de 27% do REMQ, e uma melhor correlação entre os dados estimados e observados, apresentando $r=0,70$ após a regressão linear múltipla contra $r=0,30$ para os valores estimados apenas por interpolação utilizando o IPD ($p=2$). Ademais, registrou-se um aumento de 55% para o Índice de Concordância, apresentando-se nesta última metodologia na ordem de 0,80, em utilização de praticamente todos os dados dos interpoladores estudados, além da redução na ordem de 17% para o AIC.

Tabela 3. Indicadores estatísticos utilizados para avaliação de desempenho das estimativas através de equações resultantes de regressão linear múltipla da vazão produzida por 336 poços tubulares em formação cristalina.

	Observada	Estimativa através da regressão linear múltipla					
		Valores de x1					
		Qipd1	Qipd2	Qipd3	Qipd5	Qipd10	Qkrig
Vazão Média (m ³ /h)	4,52	4,67	4,66	4,66	4,65	4,65	4,66
REMQ	-	4,52	4,51	4,54	4,57	4,60	4,55
Coef. Coorelação (r)	-	0,70	0,70	0,70	0,69	0,69	0,70
lc	-	0,80	0,80	0,79	0,79	0,79	0,79
AIC	-	1018	1017	1021	1025	1030	1022

REMQ - raiz do erro médio quadrático; lc - índice de concordância; AIC - avaliação do critério de Akaike; Qipd - vazões estimadas por IPD (com variação do expoente de ponderação); Qkrig - vazão estimada por kriging.

Mello e Silva (2009), Viola et. al. (2010) desenvolveram, por regressão linear múltipla, modelos estatísticos para predição da precipitação média mensal, anual e para período seco no Estado de Minas Gerais, em função da latitude, longitude e altitude locais. Os modelos apresentaram desempenho comparável com os demais interpoladores avaliados na maioria dos períodos estudados. No entanto, para avaliação deste trabalho não foram encontradas publicações com registro de utilização de valores estimados por interpoladores como uma das variáveis da modelagem por regressão linear múltipla.

Observa-se nas Figuras 10 e 11 com a comparação das estimativas pelas metodologias utilizadas através de indicadores estatísticos, a ocorrência de um aumento bastante significativo do valor do coeficiente de correlação (r) e uma diminuição do valor da raiz do erro médio quadrático (REMQ) quando a estimativa é feita pela regressão linear múltipla. Esta técnica apresentou o melhor desempenho para estimativa das vazões produzidas por poços tubulares em formação hidrogeológica cristalina.

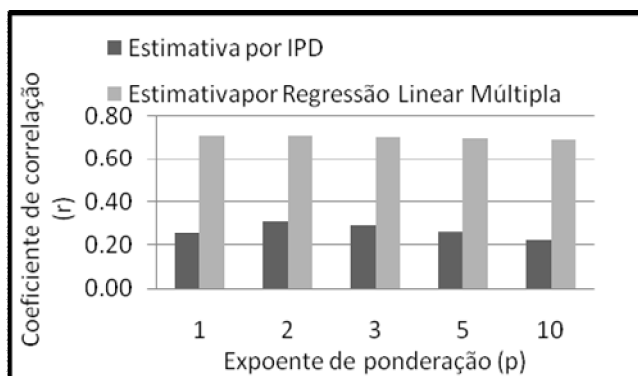


Figura 10. Variação do coeficiente de correlação (r) entre os valores observados e estimados através do IPD e por regressão linear múltipla, de vazões produzidas por poços tubulares em formação cristalina.

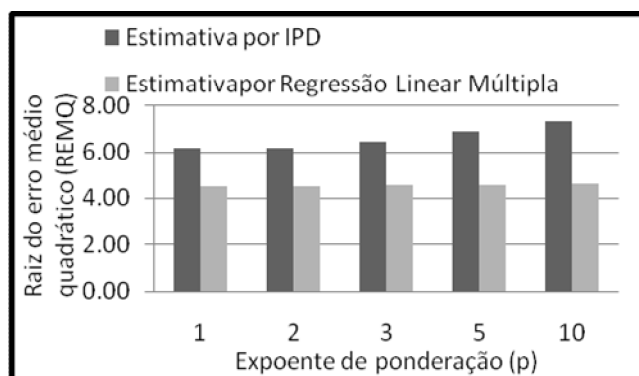


Figura 11. Variação da raiz do erro médio quadrático entre os valores observados e estimados através de IPD e por regressão linear múltipla, de vazões produzidas por poços tubulares em formação cristalina.

Considerando o melhor desempenho das estimativas através da metodologia utilizando a regressão linear múltipla, realizou-se a confecção dos mapas de distribuição da vazão estimada por poços tubulares, a partir da grade resultante com a aplicação da equação 12 (em cada pixel da área), onde foram atribuídos para ND os valores mínimo e máximo desta variável observados no conjunto amostral, cujos mapas produzidos caracterizam as vazões estimadas máximas e mínimas, respectivamente, na região em estudo, conforme Figura 12.

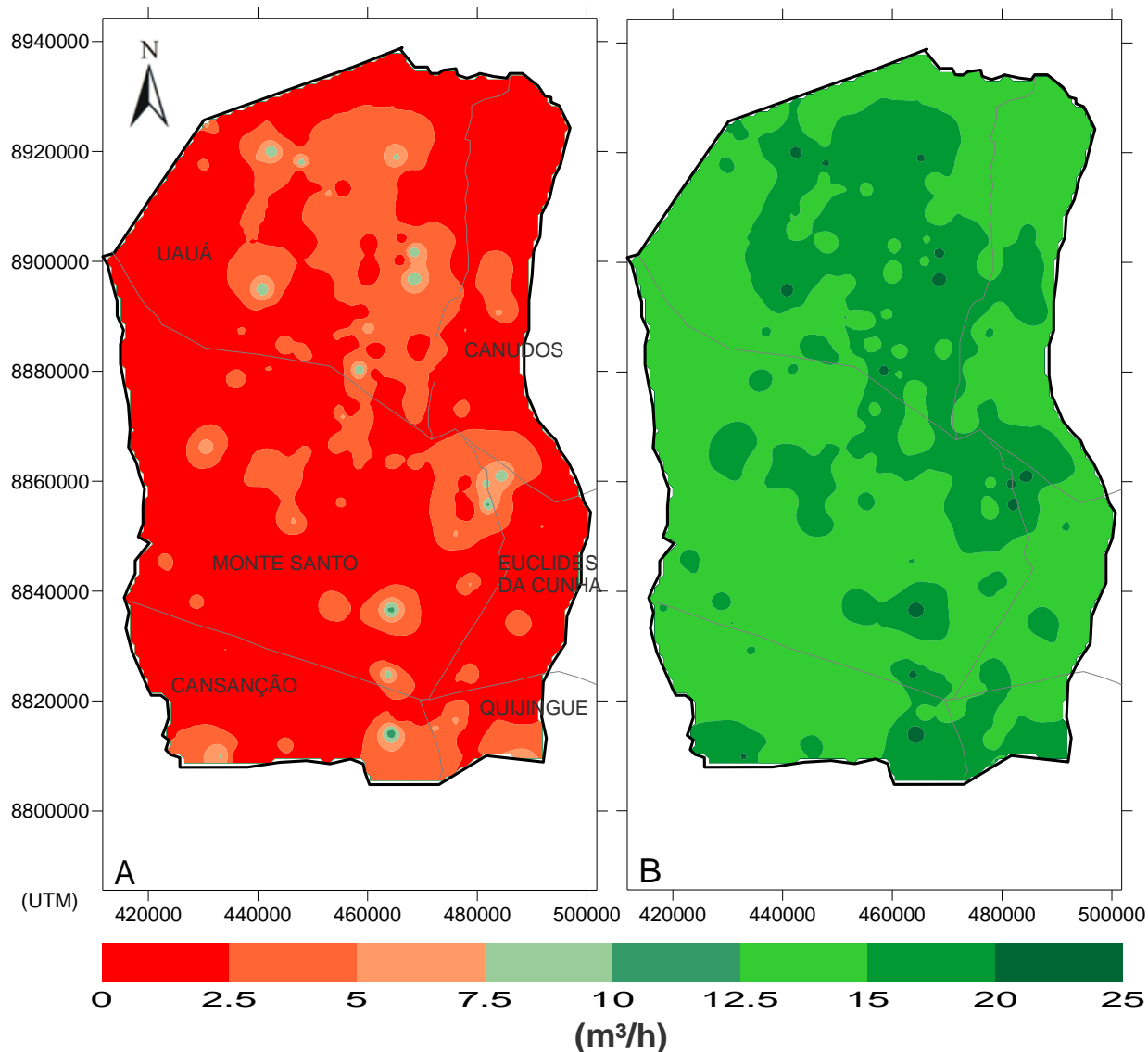


Figura 12. Mapa de distribuição das vazões estimadas mínima (A) e máxima (B), por meio de poços tubulares em formação cristalina do nordeste semiárido da Bahia.

Para confecção do mapa apresentado na Figura 12, poderia ser utilizado na equação resultante da regressão linear múltipla os valores de ND interpolados a partir da amostra. No entanto, foi realizada uma avaliação desta interpolação, através da validação cruzada, e constatou-se um mau desempenho das estimativas dos valores de nível dinâmico. Tanto por IPD, para o qual se registrou um baixo coeficiente de correlação ($r < 0,19$) entre os valores observados e estimados, quanto pelo método de kriging, cujo modelo de semivariograma de melhor ajuste teórico foi o exponencial, em que as estimativas apresentaram um desempenho ainda pior, com $r = 0,15$. A ocorrência de uma moderada dependência espacial, de acordo com a

classificação proposta por Zimback (2001) para esta variável pode ser constatada através da proporção da estrutura espacial e o patamar ($C / Co + C$) de valor igual a 0,68 e o baixíssimo coeficiente de determinação (r^2) do ajuste teórico exponencial ao semivariograma experimental próximo a 0,03 não se configurando como ajuste adequado para obtenção boas inferências na interpolação por kriging.

4.2. Desempenho das estimativas para sub-amostra 2 - formação sedimentar

Após o ajuste do semivariograma experimental (Figura 13) e observação dos parâmetros dos semivariogramas isotrópicos dos modelos teóricos (Tabela 4), foi escolhido o modelo esférico para realização das interpolações por krigagem simples, em função da apresentação do menor valor de RSS que determina o ajuste do modelo teórico ao semivariograma experimental.

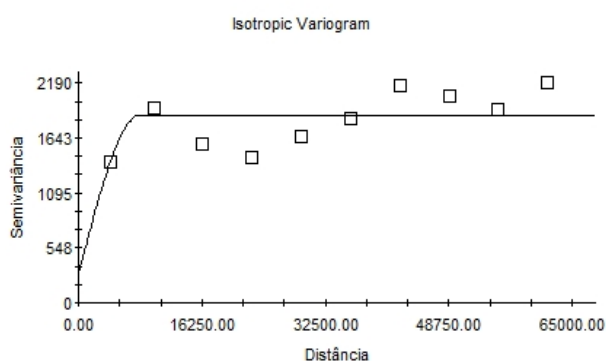


Figura 13. Semivariograma experimental e ajuste teórico esférico da vazão produzida por 270 poços tubulares em formação sedimentar.

Tabela 4. Parâmetros dos modelos de semivariograma isotrópicos teóricos da vazão produzida por 270 poços tubulares em formação sedimentar.

Modelo	Efeito Pepita Co	Patamar Co + C	C/(Co + C)	Alcance A	r^2	RSS
Esférico	277,0	1851,0	0,848	8100,0	0,34	444743
Exponencial	466,0	1862,0	0,726	3800,0	0,32	458269
Linear	1466,0	2098,0	0,321	-	0,54	1646000
Gaussiano	334,0	1850,0	0,817	6600,0	0,34	445072

A partir dos gráficos de correlação (Figuras 14; 15 e 16) entre a vazão produzida e os valores de profundidade total, NE e ND, respectivamente, observou-

se uma melhor correlação existente entre a profundidade e a vazão produzida, a qual é diretamente proporcional de acordo com a Figura 14. Este resultado corrobora com o trabalho de Mestrinho e Luz (2004) que concluiu que as maiores vazões registradas estão associadas a poços profundos no domínio das bacias sedimentares.

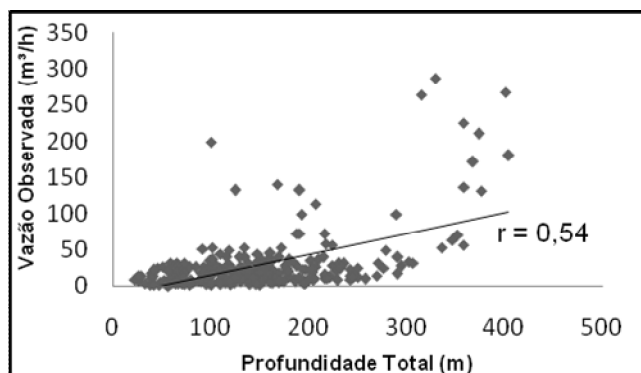


Figura 14. Correlação entre a vazão produzida e a profundidade total dos poços em formação sedimentar no semiárido baiano.

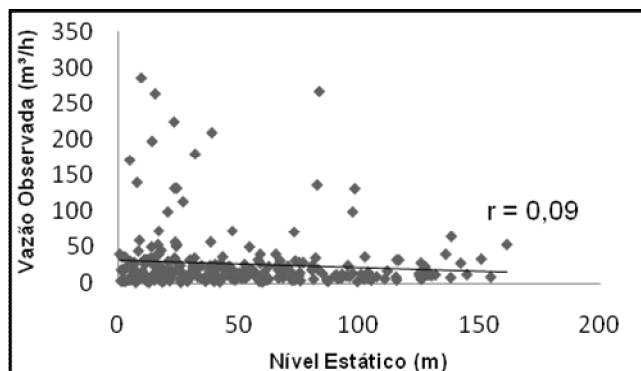


Figura 15. Correlação entre a vazão produzida e o nível estático dos poços em formação sedimentar no semiárido baiano.

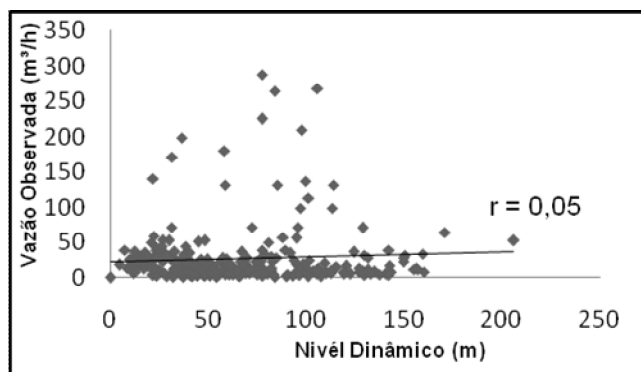


Figura 16. Correlação entre a vazão produzida e o respectivo nível dinâmico dos poços em formação sedimentar no semiárido baiano.

As equações resultantes da regressão linear múltipla para estimativa da vazão produzida por poços tubulares em formações sedimentares estão descritas abaixo:

$$Q_{est} = -24,385 + 0,623.Q_{ipd_3} + 0,228.P \quad (14)$$

$$Q_{est} = -24,633 + 0,672.Q_{krig} + 0,225.P \quad (15)$$

Em que: Q_{est} é a vazão estimada pela regressão linear múltipla, Q_{ipd_3} a vazão estimada pelo IPD com expoente de ponderação de melhor desempenho ($p=3$), Q_{krig} a vazão estimada por krigagem, e P a profundidade do poço.

Através das comparações de estimativa de vazões produzidas nos poços entre os métodos de interpolação IPD e Kriging utilizados (Tabela 5), constatou-se que as estimativas através do IPD para valores diferentes de expoente de ponderação não apresentaram uma grande variação da raiz do erro médio quadrático (REM_Q). Entretanto, com base neste indicador, a estimativa pelo interpolador kriging superou as estimativas realizadas por IPD para todos os expoentes utilizados. Para os coeficientes de correlação entre as estimativas e os valores medidos, o IPD com expoente $p=5$ obteve melhor desempenho juntamente com o kriging. Desta forma, o índice de concordância (I_c) apresentou-se próximo a 0,75 em todas as interpolações, exceto para o expoente de ponderação $p=1$. Neste último caso, obteve-se um índice de concordância inferior aos demais ($I_c = 0,54$).

Com apresentação do menor valor para o critério de avaliação de Akaike ($AIC=1975$), menor valor da REM_Q e com menor afastamento dos valores estimados em relação aos observados, ou seja, maior exatidão observada através do índice de concordância, nas estimativas por kriging, utilizou-se estas estimativas para a realização da regressão linear múltipla e, a partir da Equação 15, a construção do mapa de distribuição da vazão estimada, que caracteriza o potencial de vazão explotável através de poços tubulares na área em estudo.

Tabela 5. Indicadores estatísticos utilizados para avaliação de desempenho das estimativas por IPD e Kriging da vazão produzida por 270 poços tubulares em formação sedimentar.

	Observada	Estimativa por interpolação espacial					
		IPD(p=1)	IPD(p=2)	IPD(p=3)	IPD(p=5)	IPD(p=10)	KRIGING
Vazão Média (m ³ /h)	27,33	28,90	29,25	29,23	28,78	28,27	28,22
REMQ	-	37,26	34,79	34,78	35,63	36,70	33,90
Coef. Correlação (r)	-	0,47	0,57	0,60	0,61	0,60	0,61
Ic	-	0,54	0,71	0,75	0,76	0,76	0,75
AIC	-	2028	1990	1989	2003	2020	1975

REMQ - raiz do erro médio quadrático; Ic - índice de concordância; AIC - avaliação do critério de Akaike;

De forma diferente ao que foi observado para a sub-amostra 1, para a sub-amostra 2 o semivariograma experimental apresentou uma boa definição de dependência espacial para o modelo de ajuste teórico esférico, com forte dependência espacial de acordo com a classificação proposta por Zimback (2001), constatada através da proporção da estrutura espacial e o patamar ($C / C_0 + C$) de valor igual a 0,848 que contribuiu para o melhor desempenho da krigagem em relação ao IPD, apesar disto, o coeficiente de determinação do ajuste ($r^2=0,27$) indicou que poucos pontos do semivariograma experimental encontraram-se na curva do modelo teórico, conferindo as estimativas por kriging um valor de AIC apenas de 1,4% menor que o calculado para as estimativas através do IPD com melhor coeficiente de correlação ($p=5$).

Os valores estimados através das equações resultantes das regressões lineares múltiplas, utilizando-se valores de profundidade do poço e valores de vazão gerados pela interpolação, tanto pelo método de IPD (com as variações do expoente de ponderação) quanto por kriging, não apresentaram grande variação dos indicadores estatísticos: raiz do erro médio quadrático (REMQ), coeficiente de correlação (r) e índice de concordância (Ic) quando associados aos valores medidos (Tabela 6). No entanto, o desempenho destas estimativas apresentou-se bastante superior às estimativas por simples interpolação, registrando-se uma redução em média de 17% do REMQ, e uma melhor correlação entre os dados estimados e observados, apresentando $r=0,74$ após a regressão linear múltipla contra $r=0,61$ para os valores estimados apenas por interpolação utilizando o método de kriging.

Ademais, registrou-se um aumento de 11% para o Índice de Concordância, apresentando-se nesta última metodologia na ordem de 0,83, em utilização de praticamente todos os dados dos interpoladores estudados, além da redução na ordem de 5% para o AIC.

Tabela 6. Indicadores estatísticos utilizados para avaliação de desempenho das estimativas através de equações resultantes de regressão linear múltipla da vazão produzida por 270 poços tubulares em formação sedimentar.

	Observada	Estimativa através da regressão linear múltipla					
		Valores de x1					
		Qipd1	Qipd2	Qipd3	Qipd5	Qipd10	Qkrig
Vazão Média (m ³ /h)	27,33	28,50	28,09	27,92	27,81	27,75	27,88
REMQ	-	30,10	28,59	28,42	28,73	29,08	28,26
Coef. Coorelação (r)	-	0,70	0,73	0,74	0,73	0,72	0,74
Ic	-	0,79	0,83	0,83	0,82	0,82	0,83
AIC	-	1910	1882	1878	1884	1891	1875

REMQ - raiz do erro médio quadrático; Ic - índice de concordância; AIC - avaliação do critério de Akaike; Qipd - vazões estimadas por IPD (com variação do expoente de ponderação); Qkrig - vazão estimada por kriging.

As Figuras 17 e 18 ilustram por meio dos indicadores estatísticos a comparação das estimativas realizadas. Pode-se observar nestas figura um aumento do valor do coeficiente de correlação (r) e uma diminuição do valor da raiz do erro médio quadrático (REMQ) quando a estimativa é feita pela regressão linear múltipla. Indicando que esta última promove um aprimoramento da espacialização gerada por simples interpolação, que considera apenas o arranjo espacial dos dados, minimizando os erros referentes às diferentes condições de profundidade que foram observadas as vazões dos poços amostrados e, conseqüentemente, do julgo desigual na utilização destes valores sob condições distintas, para realização das inferências em locais a serem estimados.

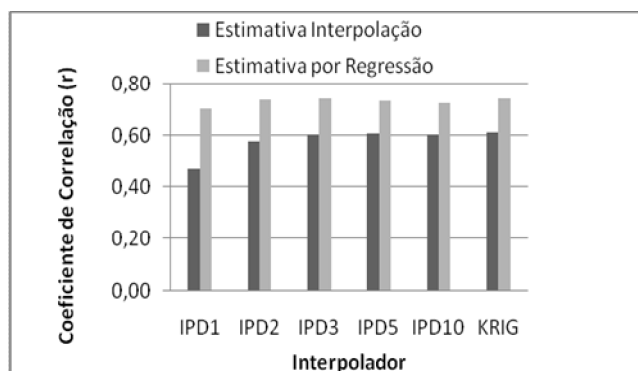


Figura 17. Variação do coeficiente de correlação (r) entre os valores observados e estimados através do IPD e Kriging, e por regressão linear múltipla, de vazões produzidas por poços tubulares em formação sedimentar.

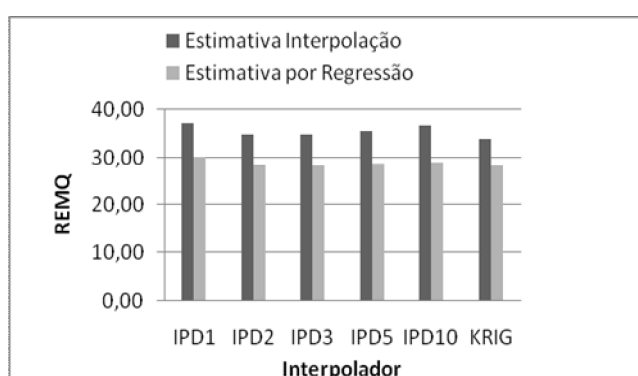


Figura 18. Variação da raiz do erro médio quadrático entre os valores observados e estimados através do IPD e Kriging, e por regressão linear múltipla, de vazões produzidas por poços tubulares em formação sedimentar.

Observando-se o melhor desempenho das estimativas através da metodologia utilizando a regressão linear múltipla, realizou-se a confecção do mapa de distribuição da vazão estimada por poços tubulares, a partir da grade resultante com a aplicação da equação 15 (em cada pixel da área), onde foi atribuído para a profundidade o valor médio observado no conjunto amostral ($P=150,00m$), cujo mapa produzido caracteriza a vazão prevista para exploração a esta profundidade na região em estudo, conforme Figura 19. Desta forma, esta metodologia torna-se interessante, uma vez que permite a caracterização das vazões potenciais a diferentes profundidades específicas, as quais podem ser definidas em função, por exemplo, do tipo e capacidade da máquina perfuratriz que se dispõe para realização das perfurações dos poços.

Considerando o grau de incerteza de obtenção de vazões que sejam suficientes para implantação de empreendimentos que dependam da exploração de poços tubulares, o mapeamento e comparação das vazões potenciais, como este

apresentado na Figura 19, torna-se uma ferramenta importante para realização do planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos, tanto para busca da sustentabilidade desta exploração através de análise de viabilidade dos empreendimentos nos processos de outorga de uso da água dos aquíferos, quanto com otimização da alocação de recursos financeiros na execução de obras de infraestrutura hídrica, direcionando-se na medida do possível a realização das futuras perfurações para as áreas de maior vazão potencial, caracterizadas em um zoneamento que tenha sido submetido a vários critérios de avaliação da eficiência das técnicas de espacialização.

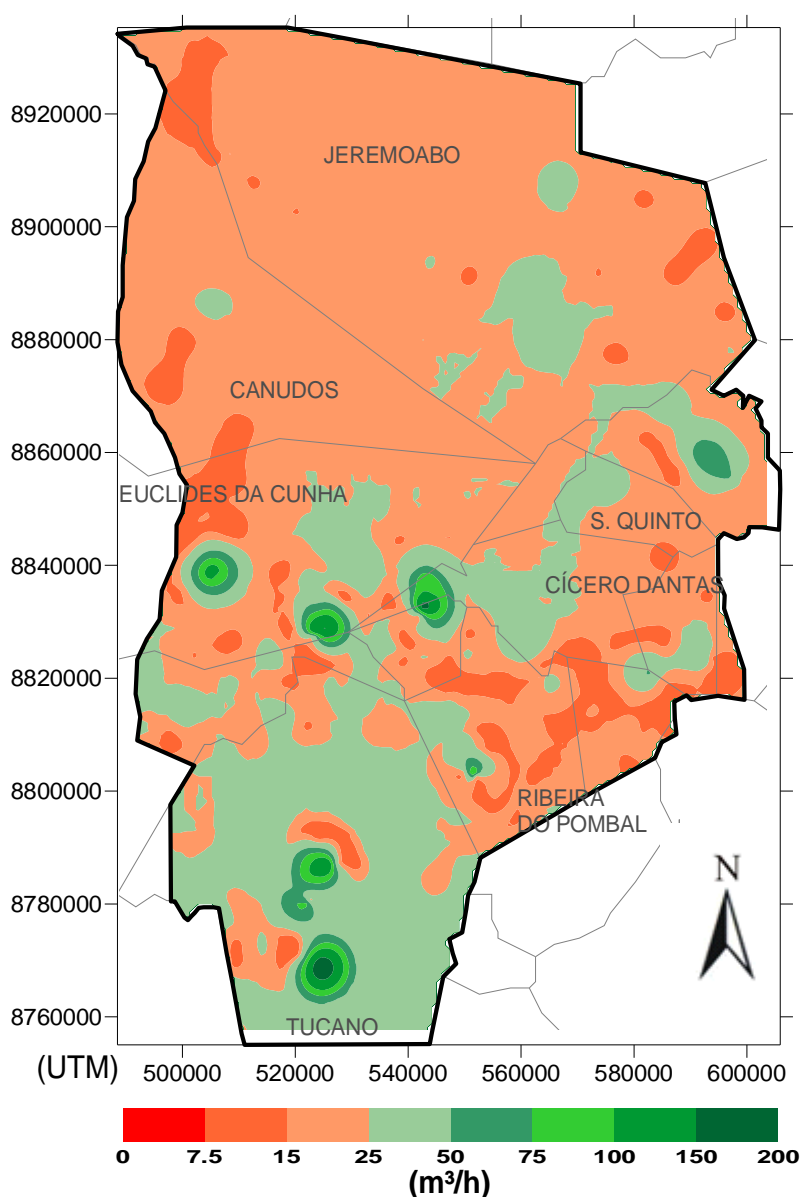


Figura 19. Mapa de distribuição das vazões estimadas à profundidade de 150m, por meio de poços tubulares em formação sedimentar do nordeste semiárido da Bahia.

4.3. Desempenho das estimativas para amostra completa (sub-amostras 1 e 2)

Avaliando os dados de toda área amostral, que compreende as duas formações hidrogeológicas foi realizado o ajuste do semivariograma experimental (Figura 20) e observação dos parâmetros dos semivariogramas isotrópicos dos modelos teóricos (Tabela 7). Foi escolhido o modelo exponencial para realização das interpolações por krigagem simples, em função da apresentação do menor valor de RSS que determina o ajuste do modelo teórico ao semivariograma experimental.

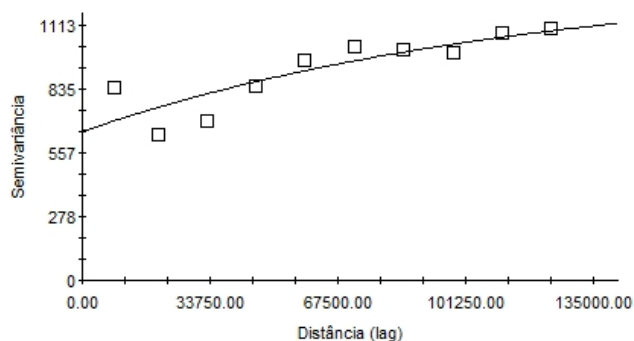


Figura 20. Semivariograma experimental e ajuste teórico exponencial da vazão produzida por 606 poços tubulares em diferentes formações hidrogeológicas.

Tabela 7. Parâmetros dos modelos de semivariograma isotrópicos teóricos da vazão produzida por 606 poços tubulares em diferentes formações hidrogeológicas.

Modelo	Efeito Pepita Co	Patamar Co + C	C/(Co + C)	Alcance A	r ²	RSS
Esférico	131,00	930,00	0,859	11800,0	0,03	220910
Exponencial	651,00	1330,00	0,511	118200,0	0,75	57970
Linear	688,94	1126,96	0,389	123751,5	0,76	747980
Gaussiano	156,00	929,00	0,832	9900,0	0,03	220906

A partir dos gráficos de correlação (Figuras 21; 22 e 23) entre a vazão produzida e os valores de profundidade total, NE e ND, respectivamente, observou-se uma melhor correlação existente entre a profundidade e a vazão produzida, a qual é diretamente proporcional de acordo com a Figura 21.

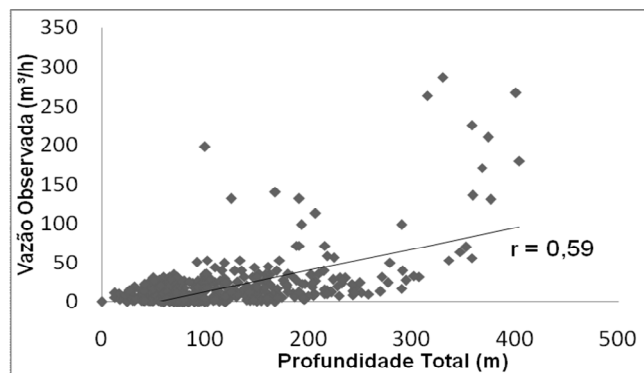


Figura 21. Correlação entre a vazão produzida e a profundidade total dos poços em diferentes formações hidrogeológicas no semiárido baiano.

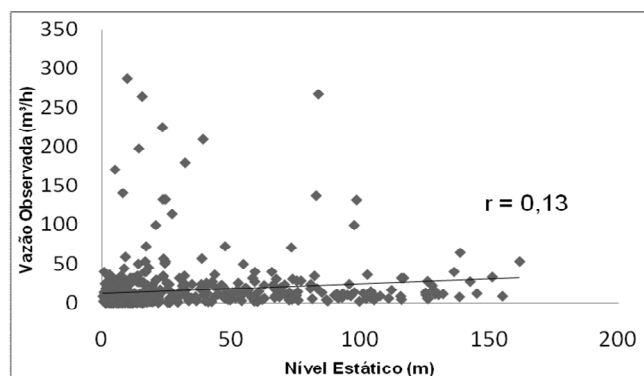


Figura 22. Correlação entre a vazão produzida e o nível estático dos poços em diferentes formações hidrogeológicas no semiárido baiano.

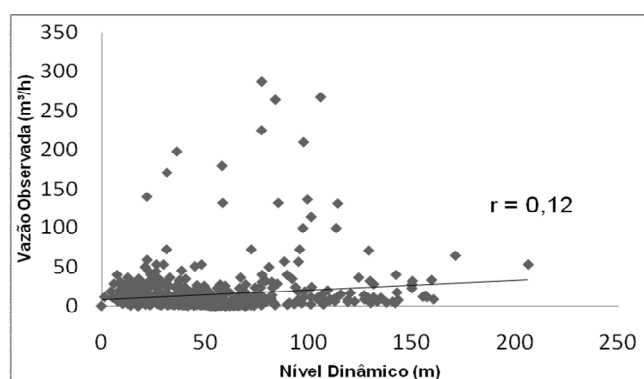


Figura 23. Correlação entre a vazão produzida e o respectivo nível dinâmico dos poços em diferentes formações hidrogeológicas no semiárido baiano.

As equações resultantes da regressão linear múltipla para estimativa da vazão produzida por poços tubulares para a amostra completa, em diferentes formações hidrogeológicas, estão descritas abaixo:

$$Q_{est} = -13,134 + 0,594.Q_{ipd_3} + 0,176.P \quad (16)$$

$$Q_{est} = -13,073 + 0,588.Q_{krig} + 0,178.P \quad (17)$$

Em que: Q_{est} é a vazão estimada pela regressão linear múltipla, Q_{ipd_3} a vazão estimada pelo IPD com expoente de ponderação de melhor desempenho ($p=3$), Q_{krig} a vazão estimada por krigagem, e P a profundidade do poço.

Para realização da avaliação de desempenho entre as metodologias de espacialização utilizando a amostra completa e as sub-amostras, separadamente, torna-se necessária a realização dos cálculos dos indicadores estatísticos utilizando as estimativas de vazão espacializada para amostra completa com a divisão em dois grupos correspondentes a cada formação hidrogeológica (Tabela 8).

Através das comparações de estimativa de vazões produzidas nos poços entre os métodos de interpolação IPD e kriging utilizados, para a sub-amostra 1 e para a amostra completa constatou-se que as estimativas através do IPD com expoente igual 2 apresentou melhor desempenho para ambas as metodologias aplicadas à formação hidrogeológica cristalina. Constatando-se, porém, uma pequena redução de desempenho na utilização da amostra completa (Figura 24) com leve decréscimo do coeficiente de correlação entre os dados observados e estimados e do índice concordância (Figuras 24-A e 24-B), e leve acréscimo do REMQ e AIC (Figuras 24-C e 24-D).

No entanto, observou-se que nas estimativas para vazão por poços na formação sedimentar utilizando a amostra completa, ocorreu um pequeno aumento no desempenho. Inclusive com IPD apresentando melhor desempenho, diferentemente das estimativas utilizando apenas a sub-amostra 2 (formação sedimentar) que apresentou maior eficiência as inferências por krigagem. Apesar de não apresentar grande diferença entre as duas metodologias, para o coeficiente de correlação e o índice de concordância, entre os dados observados e estimados (Figuras 25-A e 25-B), a ocorrência de melhor desempenho para metodologia utilizando a amostra completa é evidenciada pelo decréscimo do REMQ e do AIC (Figuras 25-C e 25-D) que pode ser explicado pelo fato das estimativas nesta metodologia não ocorrer a superestimação registrada na amostragem isolada (sub-amostra 2) observada através da comparação entre a vazão média dos dados

amostrais e as vazões médias para os valores estimados pelos interpoladores (Tabela 5). Tendo em vista que, na amostragem completa os valores mais baixos de vazão da amostragem em formação cristalina promovem interferência nas estimativas por interpolação dos valores na formação sedimentar.

Tabela 8. Indicadores estatísticos utilizados para avaliação de desempenho das estimativas por IPD e Kriging da vazão produzida por 606 poços tubulares em diferentes formações hidrogeológicas.

	Observada	Estimativa por interpolação espacial					
		IPD(p=1)	IPD(p=2)	IPD(p=3)	IPD(p=5)	IPD(p=10)	KRIGING
Formação Cristalina							
Vazão Média (m ³ /h)	4,52	5,29	4,72	4,48	4,39	4,34	4,47
REMQ	-	6,49	6,32	6,51	6,95	7,42	6,75
Coef. Correlação (r)	-	0,19	0,27	0,27	0,25	0,21	0,24
Ic	-	0,39	0,48	0,51	0,51	0,49	0,51
AIC	-	1259	1241	1261	1305	1349	1285
Formação Sedimentar							
Vazão Média (m ³ /h)	27,33	27,61	28,49	28,75	28,50	28,06	27,99
REMQ	-	34,15	31,92	32,00	32,87	33,88	32,19
Coef. Correlação (r)	-	0,48	0,58	0,60	0,61	0,60	0,60
Ic	-	0,54	0,71	0,76	0,77	0,76	0,75
AIC	-	1909	1872	1874	1888	1904	1877

REMQ - raiz do erro médio quadrático; Ic - índice de concordância; AIC - avaliação do critério de Akaike;

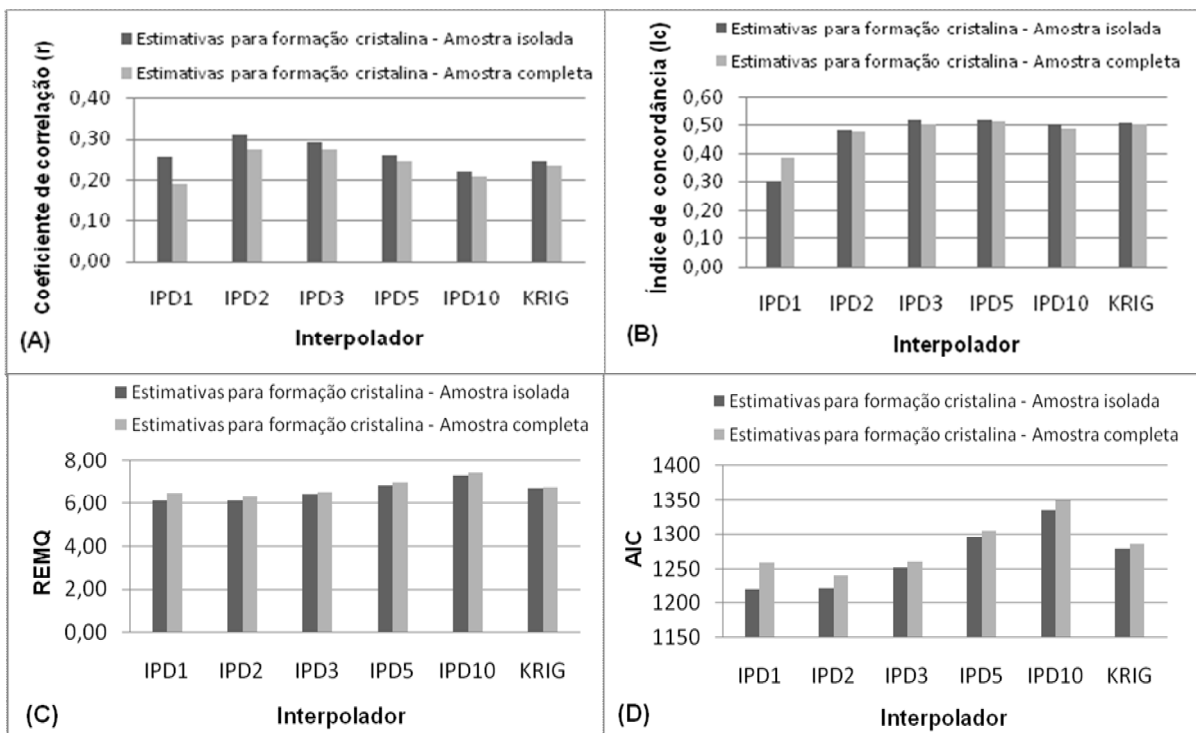


Figura 24. Comparação dos indicadores estatísticos: coeficiente de correlação (A), índice de concordância (B), REMQ (C) e AIC (D) para estimativas de vazão na formação cristalina, entre as metodologias de interpolação espacial com IPD e kriging, utilizando a sub-amostra 1, isoladamente, e a amostra completa.

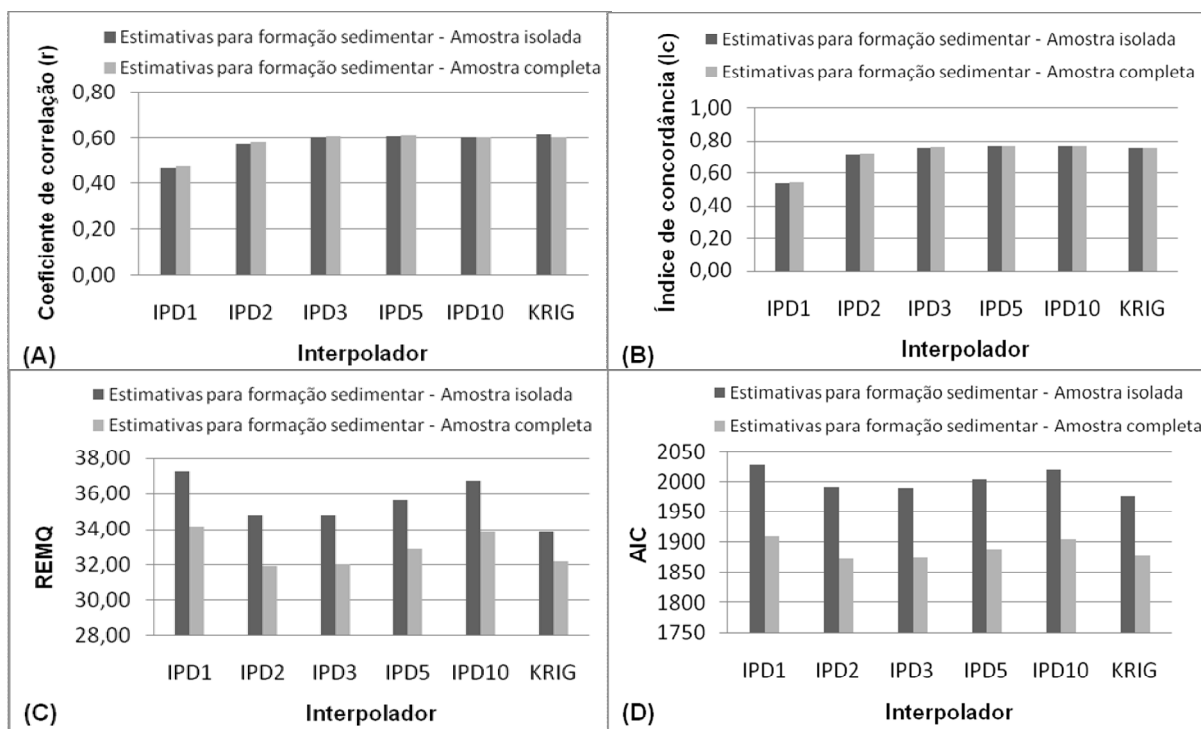


Figura 25. Comparação dos indicadores estatísticos: coeficiente de correlação (A), índice de concordância (B), REMQ (C) e AIC (D) para estimativas de vazão na formação sedimentar, entre as metodologias de interpolação espacial com IPD e kriging, utilizando a sub-amostra 2, isoladamente, e a amostra completa.

Na Tabela 9 são apresentados os indicadores estatísticos calculados a partir das estimativas de vazão utilizando a amostra completa, através das equações resultantes da regressão linear múltipla, tendo como variáveis os valores de profundidade do poço e das vazões geradas pela interpolação (melhor correlação do conjunto amostral), tanto pelo método de IPD quanto por kriging. Esta metodologia apresentou uma acentuada redução no desempenho para as estimativas na formação cristalina, comparando-se a estimativas utilizando a sub-amostra 1, isoladamente, observando-se os indicadores estatísticos coeficiente de correlação (r) e raiz do erro médio quadrático (REMQ) (Figuras 26-A e 26-B).

Tabela 9. Indicadores estatísticos utilizados para avaliação de desempenho das estimativas através de equações resultantes da regressão linear múltipla da vazão produzida por 606 poços tubulares em diferentes formações hidrogeológicas.

	Observada	Estimativa através de Regressão Linear Múltipla					
		Valores de x1					
		Qipd1	Qipd2	Qipd3	Qipd5	Qipd10	Qkrig
Formação Cristalina							
Vazão Média (m ³ /h)	4,52	2,32	2,66	3,12	3,57	3,90	3,30
REMQ	-	7,80	7,56	7,53	7,59	7,72	7,58
Coef. Correlação (r)	-	-0,13	-0,07	-0,06	-0,07	-0,09	-0,07
Ic	-	0,30	0,32	0,32	0,31	0,30	0,31
AIC	-	1382	1361	1358	1364	1375	1363
Formação Sedimentar							
Vazão Média (m ³ /h)	27,33	31,48	30,68	29,89	29,22	28,76	29,69
REMQ	-	29,54	27,35	26,87	26,96	27,17	26,96
Coef. Correlação (r)	-	0,68	0,72	0,73	0,72	0,72	0,73
Ic	-	0,72	0,79	0,81	0,81	0,80	0,80
AIC	-	1830	1789	1779	1781	1785	1781

REMQ - raiz do erro médio quadrático; Ic - índice de concordância; AIC - avaliação do critério de Akaike; Qipd - vazões estimadas por IPD (com variação do expoente de ponderação); Qkrig - vazão estimada por kriging.

O mau desempenho das estimativas por regressão linear múltipla pode ser explicado pela baixa correlação da variável profundidade de perfuração do poço com

a vazão produzida correspondente, para a formação cristalina, como foi analisado no item 4.1. Diferentemente, para a formação sedimentar esta correlação considerando a amostragem completa foi ainda melhor que a apresentada para a sub-amostra 2 (sedimentar), o que conferiu uma significativa redução REMQ, e praticamente manteve-se o índice de correlação na comparação entre as duas metodologias (Figura 27-A e 27-B). Desta forma, as estimativas através de regressão linear múltipla utilizando a amostragem que contemplam as duas diferentes formações hidrogeológicas estudadas apresenta-se ineficiente. Pois, as melhores correlações entre a vazão produzida e uma outra variável, que possibilitam o aumento de desempenho com relação ao processo de simples interpolação, são distintas para cada regime hidrogeológico.

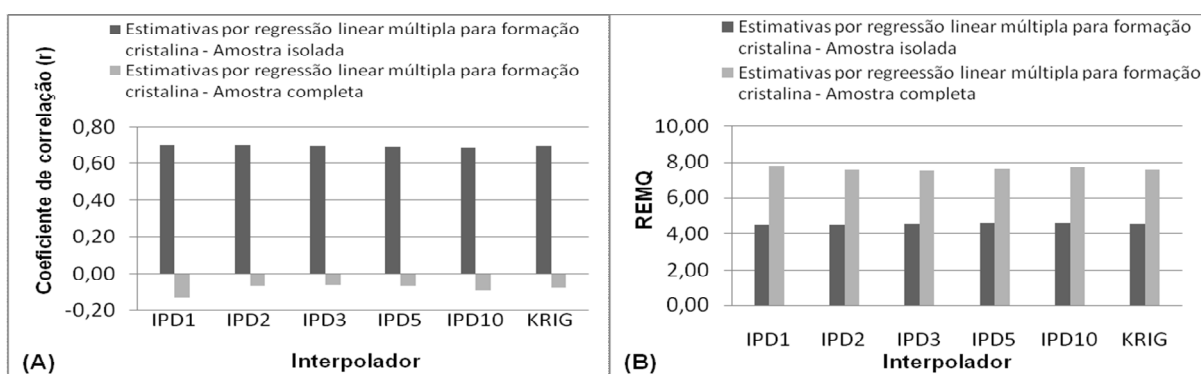


Figura 26. Comparação dos indicadores estatísticos: coeficiente de correlação (A), e REMQ (B) para estimativas de vazão em poços tubulares em formação cristalina, através de regressão linear múltipla utilizando amostragem isolada e completa.

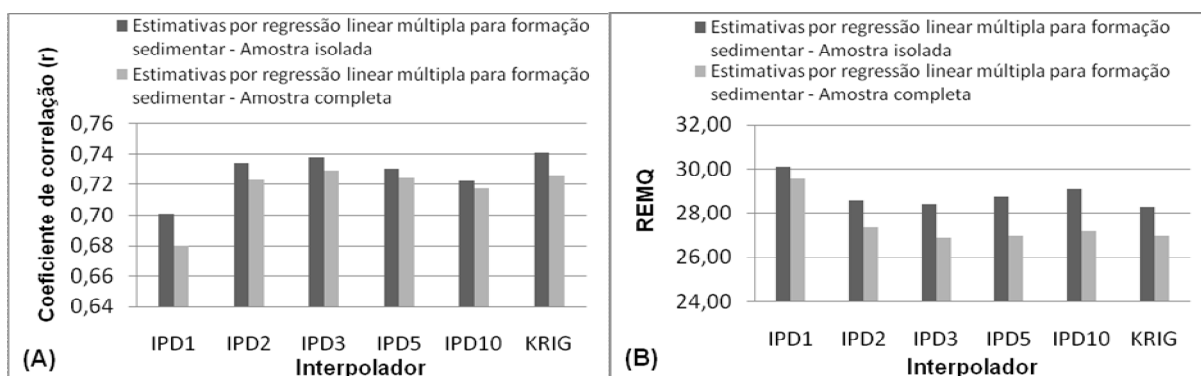


Figura 27. Comparação dos indicadores estatísticos: coeficiente de correlação (A), e REMQ (B) para estimativas de vazão em poços tubulares em formação sedimentar, através de regressão linear múltipla utilizando amostragem isolada e completa.

5. CONCLUSÕES

A metodologia de espacialização das vazões produzidas por poços tubulares para cada sub-amostra, separadamente, correspondente a formação hidrogeológica cristalina e sedimentar, apresentou melhor desempenho que a utilização de todo o conjunto amostral.

A espacialização da vazão produzida por poços tubulares utilizando-se a modelagem por regressão linear múltipla apresentou melhor desempenho que as estimativas apenas por interpolação.

O mapeamento que caracteriza as vazões estimadas, exploráveis por meio de poços tubulares, após avaliação das técnicas de espacialização pode ser um instrumento capaz de auxiliar as atividades de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos.

6. REFERÊNCIAS

ABOUFIRASSI, M.; MARINO, M. A. Kriging of water levels in the Souss Aquifer, Morocco. **Mathematical Geology**, v. 15, p. 537-550, 1983.

ALLI, M. M.; NOWATZKI, E. A.; MYERS, D. E. Probabilistic analysis of collapsing soil by indicator kriging. **Mathematical Geology**, v. 22, p. 15-38, 1990.

ALAMY FILHO, J. E.; SEGANTINI, M DE O. Mapeamento do sistema aquífero bauru subjacente à cidade de Araguari-MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16, 2010, **Anais...** São Paulo, Brasil - eISSN 2179-9784, 2010.

ALVES, M. C.; BOTELHO, S. A.; PINTO, L. V. A.; POZZA, E. A.; OLIVEIRA, M. S. DE.; FERREIRA, E.; ANDRADE, H. Variabilidade espacial de variáveis geobiofísicas nas nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 527-535, 2008.

AMORIM, R. C. et. al. Avaliação do desempenho de métodos de espacialização da precipitação pluvial para o estado de Alagoas. **Acta Scientiarum Technology**, v. 30, n. 1, p. 87-91. 2008

ANDRADE, J. B. M. **Fatores influentes no Potencial e Processos de Salinização dos Aquíferos Fraturados Cristalinos do Alto da Bacia do Rio Vaza-Barris, Região de Uauá, Bahia, Brasil**. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências/UFBA, 2010.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. São Leopoldo: UNISINOS, 2003. 165p.

ÁVILA, L. F.; MELLO C. R.; SILVA, A. M. Continuidade e distribuição espacial da umidade do solo em bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1257-1266, 2010.

BALL, D.F.; WILLIAMS, W. M. Variability of soil chemical properties in two uncultivated brown earths. **Soil Science Society of America Journal**, 19:379-391. 1968.

BANKS, D.; ROBINS, N. An introduction to Groundwater in crystalline bedrock. Norges geologiske undersøkelse. Trondheim: **Geological Survey of Norway**, 2002. 64p.

BETTÚ, D. F.; FERREIRA, F. J. F. Modelos da superfície potenciométrica do sistema aquífero caiuí no noroeste do estado do paraná: Comparação entre krigagem ordinária e krigagem com tendência externa do modelo numérico do terreno. **Águas Subterrâneas**, v. 19, n. 2, p.55-66, 2005.

BICUDO, C. E. DE M.; BICUDO, D. DE C. **Amostragem em limnologia**. Rima, São Carlos, 2004. 371p.

BOKEN, V. K. et. al. Agricultural water use estimation using geospatial modeling and a geographic information system. **Agricultural Water Management**, v. 67, n. 3, p. 185-189, 2004.

BOMFIM, L. F. C. Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil em ambiente SIG: concepção e metodologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16, 2010, **Anais...** São Paulo, Brasil - eISSN 2179-9784. 2010.

BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. **Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul**. Ed. dos Autores, Curitiba, 2004. 214p.

BRESLER, E.; DAGAN, G.; WAGENET, R.J.; LAUFER, A. Statistical analysis of salinity and texture effects on spatial variability of soil hydraulic conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, p. 16-25, 1984.

BURGESS, T. M.; WEBSTER, R. 1980. Optimal interpolation and asaritmik mapping of soil properties. I. The semivariograma and punctual kriging. **Soil Science Society of America Journal**, v. 31, p. 315-331, 1980.

BURROUGH, P. A. **Principals of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Oxford, Clarendon Press, 1986. 194p.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. Oxford: Oxford University Press, 1998. 333p.

CAMARGO, E.C.G. **Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geoestatísticos (krigeagem) no sistema de processamento de informações georreferenciadas (Spring)**. 123f. Dissertação (Mestrado) - São José dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997.

CAMBARDELLA, C. A. et. al. Fieldscale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CHAVEZ-KUS, L. ; SALAMUNI, E. Análise estatística de dados hidrogeológicos de poços tubulares profundos do município de Curitiba-Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, Editora UFPR, n. 53, p. 59-79, 2003.

CHILDS, C. **Interpolating Surfaces in ArcGis Spatial Analyst**. ArcUser, July-September. 32-35, 2004.

CIOLLARO, G., ROMANO, N. Spatial variability of the hydraulic properties of a volcanic soil. **Geoderma**, v. 65, p. 263-282, 1995.

CONDE, R. P.; YAMAMOTO, J. K. Avaliação de reservas por métodos computacionais: um estudo de caso na mina de Canoas 2 (PR). **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 35-42, 1996.

CPRM/Ministério de Minas e Energia -Serviço Geológico do Brasil. 1998. **Noções básicas sobre poços tubulares**. Brasília, 21p.

CPRM/Ministério de Minas e Energia -Serviço Geológico do Brasil. 2005. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea - Diagnóstico do Município de Tucano**. Salvador, 35p.

CRESSIE, N. A. C. **Statistic for spatial data**. New York: J. Wiley, 1993. 900p.

DAVIS, J. C. **Statistics and Data Analysis in Geology**. Second Edition. John Wiley and Sons Inc., New York, 1986. 646p.

EBARA - Indústria mecânicas e comércio. **Bombas submersas: dimensionamento e aplicações**. CT 208-04-07. São Paulo, 2007. 30p.

ENGLUND, E. J., SPARKS, A. Geo-EAS. **Users's guide**. USEMS, Las Vegas, 1988. sp.

FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. E. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID UFPE. 1997.

GONÇALVES, T. D.; ROIG, H. L.; CAMPOS, J. E. G. Sistema de informação geográfica como ferramenta de apoio à outorga dos recursos hídricos subterrâneos no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 39, n. 1, p. 169-180. 2009.

HARRADINE, F. F. The variability of soil properties in relation to stage of profile development. **Soil Science Society of America Journal**. Proc., 14:302-31. 1949.

HARTKAMP, A. D.; DE BEURS, K; STEIN, A.; WHITE, J. W. **Interpolation Techniques for Climate Variables**. NRG-GIS Series 99-01. Mexico, D. F.: CIMMIT, 1999. 34p.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied Geostatistics**. New York: Oxford University Press, 561p. 1989.

JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, CH.J. **Mining geostatistics**. London, Academic Press, 1978. 600 pp.

JOURNEL, A.G. Constrained interpolation and qualitative information - The soft kriging approach. **Mathematical geology**, v. 18, p. 269-285, 1986.

KRAVCHENKO, A. N.; BULLOCK, D. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties. **Agronomy Journal**, v. 91, n. 3, p. 393-400, 1999.

KRAVCHENKO, A. N.; BULLOCK, D. A comparative study of interpolation methods. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, n. 5, p. 1564-1571, 2003.

KRAVCHENKO, A. N. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation Methods. **Soil Science Society of America Journal**, v.67, n.5, p.1564-1571, 2003

LACHASSAGNE, P. et al. Exploitation of high-yields in hard-rock aquifers: Downscaling methodology combining GIS and multicriteria analysis to delineate field prospecting zones. **Ground Water**, v. 39, n. 4, p. 568-581, 2001.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo, Ed. UNESP, 1998. 226p.

LEENAERS, H.; OHX, J. P.; BURROUGH, P. A. Comparison of spatial prediction methods for mapping floodplain soil pollution. **Catena**, v. 17, p. 535-550, 1990.

LEGATES, D. R.; McCABE Jr., G. J. Evaluating the use of "good-ness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. **Water Resources Research**, v. 35, n. 1, p. 233-241, 1999.

MACHADO, R.V. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos em uma hidrosequência de solos bem à muito mal drenados**, 88f. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1994.

MAZZINI, P. L. F. & SCHETTINI, C. A. F. Avaliação de Metodologias de Interpolação Espacial Aplicadas a Dados Hidrográficos Costeiros Quase-Sinóticos. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.** 13(1): 53-64, 2009.

MELLO, C. R. de; SILVA, A. M. Modelagem da precipitação mensal, anual e do período seco no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 1, p. 68-74, 2009.

MENESES, L. F. de. **Avaliação da Vulnerabilidade dos Aquíferos Livres no Município de João Pessoa/PB Através do Modelo DRASTIC**. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Escola de Engenharia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.

MESTRINHO, S. S. P.; LUZ, J. A. G. Análise exploratória espacial e temporal dos dados de poços tubulares da Bacia do Rio Itapicuru, Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13, 2004, **Anais...** São Paulo, Brasil - eISSN 2179-9784. 2004.

MESTRINHO, S. S. P.; LUZ, J. A. G. da.; PORCIÚNCULA, D. C. L. da. Análise da vulnerabilidade intrínseca das águas subterrâneas na Bacia do Rio Itapicuru, Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 14, 2006, **Anais...** São Paulo, Brasil - eISSN 2179-9784. 2006.

MMA-MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE; SRH-SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. **PNRH-Plano Nacional de Recursos Hídricos: síntese executiva**. Brasília, ISBN 85-7738-013-0, 2006. 135p.

MMA-MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Águas subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido**. Brasília, 2007. 38p.

MULLER, T. G.; PIERCE, F. J.; SCHABENBERGER, O; WARNCKE, D. D. Map quality for site-specific fertility management. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 5, p. 1547-1558, 2001.

MUSA, I. S. et. al. Spatial correlation between radon (^{222}Rn) in groundwater and bedrock uranium (^{238}U): GIS and geostatistical analyses. **Journal of Spatial Hydrology**, v. 2, n. 2, p. 1-10, 2002.

NEGRÃO, F. I. **Hidrogeologia do Estado da Bahia: qualidade, potencialidade, disponibilidade, vulnerabilidade e grau de poluição**. 194 f. Tese (Doutorado) - Instituto Universitario de Xeoloxía Isidro Parga Pondal, Espanha/Conv. UFBA, 2008.

ODA, M. L. et. al. **Aplicação de métodos geoestatísticos para identificação de dependência espacial na análise de dados de um ensaio de espaçamento florestal em delineamento sistemático tipo leque**. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Piracicaba: ESALQ/USP, 2005.

ODA, M. L. et. al. Aplicação de métodos geoestatísticos para identificação de dependência espacial na análise de dados de um ensaio de espaçamento florestal em delineamento sistemático tipo leque. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 499-509, 2008.

ODRESKY, L. L. R. **Evolução sedimentar e batimétrica da Baía de Antonina, PR**. 95f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná - UFPR, 2002.

OLIVEIRA, M. S. de. **Planos amostrais para variáveis espaciais utilizando geoestatística**. 100f. Tese (Mestrado) - Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 1991.

PIOVESAN, P.; ARAUJO, L. B.; DIAS, C. T. S. Validação cruzada com correção de autovalores e regressão isotônica nos modelos de efeitos principais aditivos e interação multiplicativa. **Ciencia Rural** [online], vol. 39, n. 4, p. 1018-1023. Epub 24-Abr-2008. ISSN 0103-8478, 2009.

RAMOS, C. M. C. et. al. Análise Temporal da Variação da Temperatura Utilizando-se a Geoestatística. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, **Anais...** Natal, Brasil, INPE, p. 347-353. 2009.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras Ed., 1999. 717p.

REYNOLDS, W.D., JONG, R., VIEIRA, S.R., CLEMENTE, R.S. **Methodology for predicting agrochemical contamination of ground water resources**. Soil Quality evaluation program technical Report 4, Canadá, 1994. 51p.

RIBEIRO, D. D. M.; ROCHA, W. J. S.F.; GARCIA, A. J. V. Definição de áreas potenciais para a ocorrência de água subterrânea na sub-bacia do rio siriri-sergipe com o auxílio do ahp (método analítico hierárquico). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16, 2010, **Anais...** São Paulo, Brasil - eISSN 2179-9784, 2010.

RIBEIRO DA SILVA, K. et. al. Avaliação de interpoladores para a espacialização de variáveis climáticas na bacia do rio Itapemirim-ES. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, **Anais...** Florianópolis, INPE, p. 3.141-3.146. 2007.

RIFFEL, E. S.; SILVA, J. L. S. DA. Caracterização dos recursos hídricos subterrâneos no município de Santa Rosa-RS. **Revista do Departamento de Geografia**, USP, v. 22, p. 3-28, 2011.

ROBINSON, T. P.; METTERNICHT, G. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 50, n. 2, p. 97-108, 2006.

ROGOWSKI, A. S. & WOLF, J. K. Incorporating variability into soil map unit delineations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 163-174, 1994.

SALVIANO, A. A. C. **Variabilidade de atributos de solo e de crotalaria juncea em solo degradado do município de Piracicaba-SP**. 91f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1996.

SCHNEIDER, P. R.. **Análise de Regressão Aplicada à Engenharia Florestal**. 2. ed. Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1998. 236 p.

SEMA - SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DA BAHIA; SRH - SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS. **Plano Estadual de Recursos Hídricos da Bahia - PERH-BA**, Sinopse Ilustrada, Salvador, 39p., 2005.

SEMADS - SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO RIO DE JANEIRO; DRM - DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS. **Poços tubulares e outras captações de águas subterrâneas - orientação aos usuários.** Rio de Janeiro, 2001. 70 p.

SILVA, A. P. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo.** 105f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz/USP). Piracicaba, 1988.

SOARES, A. **Geoestatística Aplicada às Ciências da Terra e do Ambiente.** Ist Press. Portugal, 2000. 206p.

SOLLEY, W. B.; PIERCE, R. P.; PERLMAN, H. A. Estimated use of water in the United States in 1990. U. S., **Geol. Survey**, Circular 1081, 1993.

SOUZA, L. S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo.** Porto Alegre, 162f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992.

STARK, P. **Introdução aos métodos numéricos;** tradução de João Bosco Pitombeira de Carvalho. Interciência, Rio de Janeiro, 1979. 426p.

TUCCI, C. E. M. (organizador). **Hidrologia: ciência e aplicação**, 2ª ed., Porto Alegre, Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001. 943p.

VAUCLIN, M.; VIEIRA, S. R.; BERNARD, R.; HATFIELD, J. L. Spatial variability of two transects of a bare soil. **Water Res. Res.**, 18:1677-1986, 1982.

VIDAL, A. C.; KIANG, C. Análise geoestatística da salinidade dos aquíferos da Bacia de Taubaté. **Revista Brasileira de Geociências**, V. 34,p. 109-116. 2004.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, T. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v. 51, p. 1-75, 1983.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 1, p. 1-54, 2000.

VIOLA, M. R. et. al. Métodos de interpolação espacial para mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 9, p. 970-978, 2010.

WATSON, D. F. **Contoring: A Guide To The Analysis And Display Of Spatial Data**. Volume 10 of Computer Methods in the Geosciences. Pergamon Press, Oxford, 1992. 321p.

WEBER, D.; ENGLUND, E. Evaluation and comparison of spatial interpolators II. **Mathematical Geology**, v. 26, n. 5, p. 589-603, 1994.

WEBSTER, R. Automatic soil boundary location for transect data. **Mathematical Geology**, v. 5, p. 27-37, 1973.

WEBSTER, R.; CUANALO DE LA CERDA, H. E. Soil transect correlograms of north Oxfordshire and their interpretation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 6, p. 176-194, 1975.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 114f. Tese de Livre Docência (Livre-Docência em Levantamento do solo e fotopedologia), FCA/UNESP, 2001.

ZIMMERMAN, D.; PAVLIK, C.; RUGGLES, A.; ARMSTRONG, M. P. An experimental comparison of ordinary and universal kriging and inverse distance weighting. **Mathematical Geology**, v. 31, n. 4, p. 375-390, 1999.

7. ANEXO

Tabela 10. Relação dos dados amostrais - Poços Tubulares

Município	Localidade	Longitude (UTM)	Latitude (UTM)	Vazão m³/h	Profundidade (m)	ND (m)	NE (m)
SUB-AMOSTRA 1 - FORMAÇÕES CRISTALINAS							
CANSANÇÃO	ALAGADIÇO	470780	8816270	4,42	70,00	52,64	10,67
CANSANÇÃO	ANGICO	458047	8819518	0,00	78,00	-	-
CANSANÇÃO	ASSENT. BELO MONTE ASSENT. NOVA ESPERANÇA	468155	8794529	12,00	111,00	56,52	53,24
CANSANÇÃO	BARROCA	442742	8815935	0,00	100,00	-	-
CANSANÇÃO	CAETANOS CALDEIRÃO DOS VAQUEIROS	444177	8827515	0,00	90,00	-	-
CANSANÇÃO	CARIAÇÁ	469293	8817009	3,97	68,00	50,57	14,17
CANSANÇÃO	CEDRO	455289	8812814	0,00	70,00	-	-
CANSANÇÃO	DEIXA AÍ	465760	8817315	1,26	70,00	55,00	2,96
CANSANÇÃO	DEIXA AÍ	479382	8806391	0,00	80,00	59,69	2,96
CANSANÇÃO	GADO BRAVO	433032	8809957	18,85	45,00	13,65	1,56
CANSANÇÃO	JATOBÁ	444782	8812124	6,58	52,00	31,93	2,45
CANSANÇÃO	JUNCO DA LAJE NOVA	426667	8830854	0,00	78,00	-	1,36
CANSANÇÃO	JUNCO DA LAJE NOVA	426699	8831009	2,00	39,00	28,01	1,36
CANSANÇÃO	LAJE COMPRIDA	434296	8829067	5,65	13,00	7,94	6,30
CANSANÇÃO	LAJE NOVA	424081	8832640	0,00	74,00	-	-
CANSANÇÃO	LAJEDO	430434	8834212	5,38	80,00	37,46	9,05
CANSANÇÃO	LAJEDO - G I	429428	8834089	0,56	90,00	60,56	11,14
CANSANÇÃO	MONTEIRO DE CIMA - G I NOSSA SENHORA DAS GRAÇAS	436465	8809721	2,09	90,00	64,25	16,34
CANSANÇÃO	NOVO ACORDO	464342	8814152	30,45	60,00	18,26	8,35
CANSANÇÃO	PAU DE COLHER - G I	435000	8826912	0,37	84,00	66,77	2,79
CANSANÇÃO	SERRA DO MEIO	460595	8819676	2,38	60,00	48,68	12,69
CANSANÇÃO	SÍTIO DAS FLORES	454005	8816107	1,40	90,00	47,59	1,76
CANSANÇÃO	TAMANDUÁ	442445	8810306	3,74	66,00	52,60	7,84
CANSANÇÃO	TANQUE DA GAMELEIRA	457862	8818932	0,00	80,00	-	-
CANSANÇÃO	TANQUE DA GAMELEIRA	457655	8818810	0,00	80,00	-	-
MONTE SANTO	ACARU	459965	8863163	4,52	50,00	10,93	8,27
MONTE SANTO	ACARU - G I	458321	8864211	11,16	72,00	22,26	9,41
MONTE SANTO	ALTO ALEGRE ASSENT. BARRA - STO	427154	8833221	1,62	77,00	66,00	1,40
MONTE SANTO	ANTÔNIO ASSENT. BARRA - STO	422964	8872290	3,31	70,00	52,24	10,00
MONTE SANTO	ANTÔNIO ASSENT. FAZ.	422230	8872377	0,00	80,00	-	10,00
MONTE SANTO	ABANDONADA	455025	8856003	6,09	80,00	32,97	3,43
MONTE SANTO	ASSENT. SANTA LUZIA BARREIRA PEDRA	452532	8853512	0,00	80,00	-	-
MONTE SANTO	VERMELHA - G I BARREIRA DOS JARDINS -	446545	8852795	13,20	50,00	13,45	0,78
MONTE SANTO	G I	458699	8860032	3,47	80,00	35,55	6,00

MONTE SANTO	BEBEDOURO - G I	444123	8860874	8,60	85,00	29,45	3,62
MONTE SANTO	BELOS CAMPOS - G I	450109	8863371	0,62	80,00	44,70	5,54
MONTE SANTO	BOA VISTA - G I	431136	8861183	4,95	90,00	40,95	1,50
MONTE SANTO	BOM SUCESSO - FAZ. SERRA - G II	475280	8855315	8,42	80,00	47,69	2,90
MONTE SANTO	BOM SUCESSO - G I	478258	8854975	0,00	80,00	-	-
MONTE SANTO	BOM SUCESSO DA PEDRA BRANCA	477316	8854885	2,53	41,00	28,16	10,73
MONTE SANTO	BOQUEIRÃO	467885	8860407	0,68	80,00	52,71	3,51
MONTE SANTO	CAÇUCAR UM	449027	8854767	3,02	70,00	60,00	6,83
MONTE SANTO	CALDEIRÃO DE AREIA	460439	8822219	0,54	80,00	61,68	-
MONTE SANTO	CAMPO GRANDE (FAZ.)	443146	8862775	11,48	42,00	21,23	10,81
MONTE SANTO	CURRAL FALSO	473596	8823559	4,03	60,00	45,22	2,69
MONTE SANTO	DESTERRO DOIS	428807	8837869	7,30	77,50	37,26	4,27
MONTE SANTO	DESTERRO UM FAZENDA ATRÁS DA SERRA	465705	8872755	2,80	55,00	40,77	1,78
MONTE SANTO	FAZENDA BAIIXAS	453295	8847741	0,00	70,00	-	-
MONTE SANTO	FAZENDA MARIA PRETA	464684	8863908	7,12	63,00	31,45	2,85
MONTE SANTO	FAZENDA MUNDU NOVO	425937	8844553	3,49	80,00	73,00	21,35
MONTE SANTO	FAZENDA PERIPERI	440242	8857451	0,50	80,00	14,17	8,42
MONTE SANTO	FAZENDA POÇO	442072	8837032	2,16	40,00	24,05	10,60
MONTE SANTO	FAZENDA POÇO	481540	8859587	21,38	60,00	22,43	3,47
MONTE SANTO	FAZENDA SANTANA	423047	8844889	8,78	70,00	28,27	4,48
MONTE SANTO	FAZENDA VELHA	461418	8846524	0,77	80,00	54,88	29,32
MONTE SANTO	FELICIANO - G I	442694	8844684	0,00	80,00	-	-
MONTE SANTO	FLORES	435944	8878917	9,28	50,00	29,11	2,48
MONTE SANTO	FURTUOSO	462991	8829663	4,75	90,00	39,86	13,92
MONTE SANTO	GAMELEIRA	451250	8831307	1,29	70,00	59,42	2,56
MONTE SANTO	IPOEIRA	440171	8860735	11,47	81,00	21,02	9,89
MONTE SANTO	JACURICI	418293	8837072	5,11	35,00	23,56	12,90
MONTE SANTO	JENIPAPO DE CIMA	453528	8837359	11,62	50,00	27,46	1,10
MONTE SANTO	JUNCO DOS PEIXINHOS	430524	8866246	16,16	70,00	26,35	4,75
MONTE SANTO	JUNCO DOS PEIXINHOS JUREMA DA CACHOEIRA - G I	435753	8863127	1,10	46,00	35,20	4,75
MONTE SANTO	JUREMA DA ENGORDA	464808	8827907	0,00	93,00	-	-
MONTE SANTO	JUREMA DA ENGORDA	467095	8827180	1,98	80,00	52,61	6,75
MONTE SANTO	LAGOA BONITA	439275	8872012	1,94	44,00	42,00	11,00
MONTE SANTO	LAGOA DAS PEDRAS	463751	8824865	24,01	60,00	21,79	10,33
MONTE SANTO	LAGOA FORMOSA	443475	8868945	3,22	70,00	55,10	4,55
MONTE SANTO	LAGOA GRANDE	439289	8845076	0,00	76,00	-	-
MONTE SANTO	LAJE DO BEZERRA	433198	8847863	2,01	70,00	40,66	19,07
MONTE SANTO	LAJE DOS VEADOS - G I	439621	8842832	0,00	80,00	-	-
MONTE SANTO	LAJE GRANDE	447250	8864318	8,70	38,00	20,55	2,96
MONTE SANTO	LAJEDO - G I	467647	8846065	0,43	84,00	62,23	11,15
MONTE SANTO	LAJINHA	476502	8844657	0,00	90,00	-	-
MONTE SANTO	MANDASSAIA	478748	8841065	13,17	57,00	16,64	4,75
MONTE SANTO	MANDASSAIA	478117	8835326	1,36	60,00	48,73	4,75
MONTE SANTO	MANDASSAIA	479843	8839562	1,26	80,00	66,79	4,75
MONTE SANTO	MARAVILHA	461251	8830115	0,00	60,00	60,00	3,50

MONTE SANTO	MARAVILHA	462345	8829596	3,41	80,00	58,60	3,50
MONTE SANTO	MARIA DE LIMA - G I	475984	8850495	12,98	70,00	23,56	6,50
MONTE SANTO	MARRUAIS - G I	473706	8836606	0,00	80,00	-	-
MONTE SANTO	MONTE ALEGRE	416610	8882249	2,53	42,00	26,99	3,95
MONTE SANTO	MULUNGU - G I	457895	8845834	0,00	66,00	-	-
MONTE SANTO	MUQUÉM	455338	8867735	8,31	78,00	34,06	0,35
MONTE SANTO	MUQUÉM - LAGOINHA - G I OITEIRO - BARRISTRADO - G I	454825	8866816	7,48	80,00	36,13	3,91
MONTE SANTO	PAREDÃO DO LOU - G I	456471	8864054	1,29	80,00	58,29	13,09
MONTE SANTO	PAREDÃO DO LOU - G I	422846	8881191	1,30	96,00	63,17	4,08
MONTE SANTO	PAREDÃO DO LOU - G II	424363	8884179	0,84	96,00	56,20	4,62
MONTE SANTO	PAU D'ARCO - G I	438068	8848237	1,76	90,00	35,68	10,74
MONTE SANTO	PAUS VERDES	460441	8848911	0,54	25,00	17,33	5,94
MONTE SANTO	PEDRA BRANCA PEDRA BRANCA - QUIXABA - G II	478189	8859828	1,47	55,00	46,09	6,23
MONTE SANTO	PEDRA DO DÓRIA - G I	477212	8863266	7,12	80,00	34,50	10,47
MONTE SANTO	PEDRA DO DÓRIA - G I	418468	8841805	0,00	90,00	-	-
MONTE SANTO	PEDRA DO DÓRIA - G II	417281	8843615	1,41	90,00	52,35	3,53
MONTE SANTO	PEDRA VERMELHA	459716	8842066	1,72	50,00	28,30	7,00
MONTE SANTO	PENEDO	428408	8856290	0,00	80,00	55,00	-
MONTE SANTO	PILARES - G I	423031	8866916	0,26	90,00	53,70	10,94
MONTE SANTO	PINGO	450248	8873533	3,42	84,00	52,78	2,82
MONTE SANTO	POÇO D'ANTAS	467194	8849968	0,00	61,00	-	-
MONTE SANTO	PRAÇA	416554	8877859	0,25	80,00	61,99	4,40
MONTE SANTO	QUEIMADA GRANDE - G I	422994	8844115	5,53	90,00	38,69	4,68
MONTE SANTO	SACO FUNDO SACO FUNDO - SANTA RITA - G III	455399	8871881	15,51	50,00	20,33	7,54
MONTE SANTO	SACO FUNDO - SÃO PEDRO DE CIMA - G I	456460	8872678	0,00	80,00	-	-
MONTE SANTO	SACO TRISTE OU BREJO	458500	8870845	9,00	52,00	18,88	3,94
MONTE SANTO	SAGO TRISTE OU BREJO	454065	8870342	0,00	0,00	55,00	-
MONTE SANTO	SAGUIM - G I	421934	8843283	0,67	90,00	56,05	7,74
MONTE SANTO	SALGADO SANTA ROSA DOS BURACOS - G II	464285	8836575	28,28	50,00	6,05	2,46
MONTE SANTO	SANTA ROSA SANTA ROSA DOS BURACOS	449957	8870282	1,36	90,00	57,88	0,79
MONTE SANTO	SANTA ROSA SANTA ROSA DOS BURACOS	449464	8870281	0,00	60,00	-	-
MONTE SANTO	SANTA ROSA SANTA ROSA DOS BURACOS	451465	8872948	0,00	70,00	-	-
MONTE SANTO	SANTO ANTÔNIO DO RIO SANTO ANTÔNIO DA SOLEDADE	425551	8871521	0,86	80,00	53,19	3,31
MONTE SANTO	SOLEDADE	465028	8859331	4,57	31,30	11,00	2,29
MONTE SANTO	SEDE	463334	8845995	7,52	50,20	18,45	4,70
MONTE SANTO	SEDE	460532	8846335	1,29	31,70	28,51	4,70
MONTE SANTO	SEDE	463334	8846304	2,19	56,00	28,51	4,70
MONTE SANTO	SERRA GRANDE	468518	8862862	6,33	63,00	42,71	5,83
MONTE SANTO	SERRINHA - G I	459047	8843259	0,48	90,00	56,43	1,23
MONTE SANTO	SÍTIO DO ÂNGELO	446065	8865787	1,06	49,00	40,29	1,70
MONTE SANTO	SÍTIO DO ÂNGELO - G II	448323	8864596	9,10	80,00	23,06	3,08
MONTE SANTO	SOLEDADE	464167	8866175	2,54	57,00	41,74	8,20
MONTE SANTO	SOLEDADE - G I	463825	8868728	0,00	80,00	-	-
MONTE SANTO	TOCAS - G I	436585	8845525	1,47	90,00	66,56	6,42

MONTE SANTO	UMBURANA BRAVA - G I	446574	8847753	2,34	100,00	60,76	20,28
MONTE SANTO	VÁRZEA DOS BOIS - SÃO JOSÉ - G II	447291	8837526	0,36	80,00	55,73	11,62
UAUÁ	ALGODÕES	471781	8933052	2,80	70,00	53,88	4,56
UAUÁ	ALGODÕES	467376	8915137	2,40	54,40	45,00	4,56
UAUÁ	ALTO	466084	8900331	1,00	118,00	70,73	7,22
UAUÁ	ANGICO	433662	8892612	0,00	70,00	-	-
UAUÁ	ARRAIAL - G II	461191	8883774	1,22	80,00	52,40	3,18
UAUÁ	ASSENTAMENTO FAZ. POCINHO	468455	8896894	24,76	80,00	19,28	1,16
UAUÁ	ASSENTAMENTO FAZ. RETIRO	425879	8887776	2,98	70,00	52,37	4,19
UAUÁ	ASSENTAMENTO FAZ. RETIRO	426063	8889004	0,00	80,00	55,00	4,19
UAUÁ	ASSENT. PEDRA GRANDE - COMUNITÁRIA	439392	8906410	5,11	80,00	54,19	5,53
UAUÁ	ASSENTAMENTO QUEIMADA DO LOYOLA	447906	8917967	26,40	80,00	17,08	5,04
UAUÁ	ASSOCIAÇÃO COMUNITÁRIA DE BONITO	416503	8928878	0,46	80,00	55,00	7,70
UAUÁ	BAIXA FUNDA	430411	8924705	21,38	54,00	20,97	7,64
UAUÁ	BAIXA FUNDA	429880	8927192	0,79	90,00	72,31	7,64
UAUÁ	BARRA DA FORTUNA	474167	8910200	4,17	70,00	49,13	7,38
UAUÁ	BARRIGUDA	451816	8930754	0,82	80,00	54,46	5,67
UAUÁ	BELA VISTA DOIS	451748	8915119	9,90	80,00	52,27	11,98
UAUÁ	BELA VISTA UM	437956	8925946	1,76	60,00	49,53	12,10
UAUÁ	BELDROEGA	416629	8887999	3,05	32,00	24,14	10,93
UAUÁ	BENDEGÓ DAS PEDRAS	469562	8883970	1,91	80,00	64,39	6,84
UAUÁ	CAITITU - G I	467417	8905462	6,60	120,00	37,14	6,43
UAUÁ	CAITITUS	466410	8904112	2,88	80,00	58,89	4,10
UAUÁ	CALADINHO	436959	8887300	7,52	60,00	36,31	4,48
UAUÁ	CALADINHO	429671	8927490	2,23	100,00	57,16	4,48
UAUÁ	CALDEIRÃO DA SERRA	432792	8918197	0,00	84,00	69,67	15,70
UAUÁ	CALDEIRÃO DA SERRA	432737	8918318	0,36	90,00	69,67	15,70
UAUÁ	CALDEIRÃO DA SERRA	429887	8923222	0,00	160,00	69,67	15,70
UAUÁ	CALDEIRÃO DA SERRA	430140	8923223	0,00	168,00	69,67	15,70
UAUÁ	CALDEIRÃO DE CIMA	459904	8898301	0,46	72,00	54,14	4,60
UAUÁ	CALDEIRÃO DE CIMA - G II	455639	8899280	14,40	53,00	22,10	2,09
UAUÁ	CALDEIRÃO DOS LALAUS	430359	8917573	7,66	66,00	43,90	9,31
UAUÁ	CALDEIRÃOZINHO	423150	8913656	1,47	70,00	60,70	13,86
UAUÁ	CALDEIRÃOZINHO 01 - G I	418764	8913436	7,61	90,00	22,39	5,05
UAUÁ	CALDEIRÃOZINHO DOIS	448446	8877864	1,32	60,00	45,20	4,49
UAUÁ	CAMPOS NOVOS	461443	8936481	0,00	90,00	-	-
UAUÁ	CARRO QUEBRADO	446164	8924665	0,00	60,00	-	-
UAUÁ	CARRO QUEBRADO - JOSIAS - G I	445462	8924266	1,80	80,00	51,81	9,73
UAUÁ	CONVENIENCIA	455192	8888621	0,00	70,00	55,00	-
UAUÁ	CURUNDUNDUM	469562	8923033	11,30	13,00	1,57	1,50
UAUÁ	CURUNDUNDUN - G III	475046	8924176	0,00	90,00	-	-
UAUÁ	DESTERRO	464794	8874379	3,23	90,00	51,84	2,40
UAUÁ	ESCONDIDO	432751	8910943	1,29	67,00	58,40	13,15
UAUÁ	FAZENDA ALAGOINHA - G I	444304	8885045	10,28	90,00	18,04	5,30

UAUÁ	FAZENDA ALAGOINHA - G II	442713	8886425	2,28	92,00	37,39	11,63
UAUÁ	FAZENDA BARNABE	449751	8884500	1,00	90,00	54,41	6,45
UAUÁ	FAZENDA CANGALHA - G I	443585	8875579	1,62	80,00	40,32	19,05
UAUÁ	FAZENDA COMUNIDADE DOS PADEIROS	447602	8915976	1,87	90,00	56,64	2,51
UAUÁ	FAZENDA LAGOINHA	435792	8896453	8,60	54,00	24,96	7,60
UAUÁ	FAZENDA LAPÃO	437369	8916513	0,00	70,00	-	-
UAUÁ	FAZENDA RECANTO TRICOLOR	442386	8919993	26,40	53,00	11,61	8,84
UAUÁ	FAZENDA RIACHO DO CAPIM	468418	8901715	24,75	60,00	16,68	1,80
UAUÁ	FAZENDA SALGADA	465303	8880771	9,90	80,00	37,15	2,70
UAUÁ	FAZENDA SÃO BENTO	451291	8913029	2,05	50,00	48,00	4,25
UAUÁ	FAZENDA SÃO BENTO	451566	8911924	12,16	46,00	20,06	4,25
UAUÁ	FAZENDA SERRA GRANDE	428578	8925586	3,34	90,00	48,66	7,27
UAUÁ	FAZENDA VELHA	473507	8944231	1,83	100,00	43,17	6,86
UAUÁ	FIDELES	459113	8890284	2,80	70,00	57,28	8,57
UAUÁ	HOTEL VAZA BARRIS	447486	8912692	1,29	70,00	57,70	4,40
UAUÁ	JUNCO	460987	8879627	2,98	18,00	10,20	6,72
UAUÁ	LAGOA DA PEDRA - G I	443306	8878929	1,65	90,00	35,45	4,52
UAUÁ	LAGOA DA PEDRA - G II	442022	8880398	6,09	91,50	28,80	7,15
UAUÁ	LAGOA DAS CANAS	452135	8896567	3,16	60,00	50,91	10,17
UAUÁ	LAGOA DE JOÃO FERREIRA	453898	8880205	0,82	154,00	70,00	26,29
UAUÁ	LAGOA DE JOÃO FERREIRA	453954	8879309	1,83	55,00	34,15	26,29
UAUÁ	LAGOA DO PIRES	446089	8893031	0,50	72,00	60,05	4,19
UAUÁ	LAGOA DO PIRES	440848	8894836	30,45	50,00	9,17	4,19
UAUÁ	LAGOA DO PIRES	447087	8893066	1,58	80,00	58,08	4,19
UAUÁ	LAGOA DO QUELE	440765	8885250	0,43	114,00	54,70	7,05
UAUÁ	LAGOA DO SERROTE	430125	8913614	0,00	90,00	-	-
UAUÁ	LOGRADOURO	441187	8908625	2,34	90,00	74,01	0,60
UAUÁ	LOGRADOURO DE BAIXO - G I	440825	8908591	10,15	90,00	22,56	6,44
UAUÁ	LOGRADOURO DE BAIXO - G II	440825	8908591	0,00	90,00	-	-
UAUÁ	LOGRADOURO DO BARÃO	445175	8910599	1,98	80,00	67,51	4,53
UAUÁ	MARIA PRETA	454800	8913155	0,32	80,00	63,93	14,86
UAUÁ	MARRUAS	430162	8923168	9,54	77,00	48,19	31,90
UAUÁ	MUCUNGUELO	452783	8912478	16,16	72,00	31,87	4,32
UAUÁ	OLHOS D'ÁGUA	474962	8918736	0,43	24,00	17,66	1,27
UAUÁ	OLHOS D'ÁGUA	472178	8931294	0,00	84,00	55,00	1,27
UAUÁ	OLHOS D'ÁGUA - G II	476883	8915608	0,00	120,00	-	-
UAUÁ	PAPAGAIO	448639	8896164	3,67	62,00	49,36	5,57
UAUÁ	PAREDÃO DO DÃO	449191	8916620	7,92	80,00	40,45	8,95
UAUÁ	PAREDÃO DO VIEIRA	441406	8888203	3,49	78,00	51,43	3,92
UAUÁ	PAU DE MADEIRA	464211	8876933	1,47	70,00	53,89	19,52
UAUÁ	PEDRA DA ONÇA	442071	8890504	1,85	98,00	38,17	6,03
UAUÁ	PEDRA GRANDE	439360	8906410	6,49	60,00	33,60	1,20
UAUÁ	POÇO DO VIEIRA	439667	8886475	0,93	80,00	66,00	10,04
UAUÁ	POÇO DO VIEIRA	439548	8885524	1,58	70,00	42,04	10,04

UAUÁ	POÇOS DOS CAVALOS	468292	8908260	0,75	90,00	57,46	5,03
UAUÁ	POROEM (FAZ.)	433568	8925938	2,26	60,00	41,75	22,46
UAUÁ	PRAÇA (FAZ.)	448409	8903594	2,62	77,00	55,72	1,23
UAUÁ	QUEIMADAS	450172	8913271	1,71	40,00	32,65	2,75
UAUÁ	QUEIMADAS DOS						
UAUÁ	PADEIROS	447756	8915612	1,94	80,00	69,36	3,17
UAUÁ	QUIXABA	432099	8884471	3,60	80,00	62,13	3,39
UAUÁ	RIACHINHO DO CARATACÁ	464186	8902142	8,33	30,00	9,79	5,21
UAUÁ	RIACHO DAS PEDRAS	477595	8899610	1,04	50,00	48,00	5,60
UAUÁ	RIACHO DO JUAZEIRO	465244	8918971	19,80	32,00	8,59	3,98
UAUÁ	RIO DO RANCHO	483869	8890547	14,40	70,00	29,98	3,38
UAUÁ	SALGADINHO	460036	8887830	17,20	80,00	28,63	5,46
UAUÁ	SANTANA	425788	8905622	1,54	80,00	65,37	1,38
UAUÁ	SÃO PAULO - G I	448744	8883670	9,90	60,00	13,99	9,76
UAUÁ	SERRA DA CANABRAVA	430106	8923742	2,81	70,00	55,05	54,00
UAUÁ	SERRA DO SOBRADO	443957	8889744	0,00	70,00	-	-
UAUÁ	SERROTE DA ONÇA	458522	8880266	27,28	64,00	20,99	13,47
UAUÁ	SÍTIO AVELINO	450370	8920834	6,58	70,00	44,81	5,82
UAUÁ	SÍTIO AVELINO	447714	8921870	2,37	79,00	62,27	5,82
UAUÁ	SÍTIO BOA UNIÃO	440107	8918884	12,77	70,00	18,26	12,46
UAUÁ	SÍTIO CARIRI	460348	8903034	3,31	72,00	54,31	4,96
UAUÁ	SÍTIO DO FÉLIX	435386	8884201	0,00	70,00	55,00	6,26
UAUÁ	SÍTIO DO FÉLIX	435747	8884777	0,00	80,00	55,00	6,26
UAUÁ	SÍTIO DO FÉLIX	434688	8882718	0,72	80,00	63,46	6,26
UAUÁ	SÍTIO DO FÉLIX	435747	8884777	0,00	102,00	55,00	6,26
UAUÁ	SÍTIO DO MEIO - ANGICO -						
UAUÁ	G II	432954	8895983	0,72	90,00	62,31	3,03
UAUÁ	SÍTIO TOMAZ	455776	8885946	1,29	41,00	29,31	6,62
UAUÁ	SÍTIO TOMAZ-BARRA DO						
UAUÁ	RIO SÍTIO - G IV	455556	8886653	12,56	60,00	17,90	3,11
UAUÁ	SÍTIO TOMAZ - LAGOINHA -						
UAUÁ	G III	456533	8885272	0,75	80,00	55,85	11,91
UAUÁ	SÍTIO TOMAZ - RUINHA - G						
UAUÁ	II	454102	8884075	5,29	80,00	42,75	11,70
UAUÁ	SONHEM DE BAIXO	434865	8887915	3,85	80,00	49,01	5,02
UAUÁ	SONHEM DE CIMA	435618	8889354	0,00	60,00	-	-
UAUÁ	TAMANDUÁ (FAZ.)	455672	8899313	6,28	79,00	53,46	6,97
UAUÁ	TERRA NOVA	467873	8873586	11,44	60,00	34,23	8,90
UAUÁ	TESTA BRANCA	440935	8894836	16,12	50,00	17,52	2,93
UAUÁ	TOCAS - G I	442046	8906382	1,03	90,00	49,78	2,05
UAUÁ	VÁRZEA (FAZ)	442115	8883814	3,92	59,00	50,97	49,59
CANUDOS	ALTO DAS TRÊS LAGOAS	481252	8885880	3,34	70,00	66,00	5,15
CANUDOS	ATANÁZIO	473165	8872087	0,72	80,00	68,60	17,41
CANUDOS	CACHOEIRA (FAZ.)	476254	8888331	0,25	70,00	52,73	11,80
CANUDOS	CALUMBI DO TERTO	482533	8888280	0,36	80,00	64,22	1,51
CANUDOS	CANUDOS VELHO	484618	8905783	5,22	98,00	53,74	10,61
CANUDOS	ESTACA ZERO	487555	8879061	2,62	94,00	73,47	33,55
CANUDOS	FAZENDA JUÁ (PAULO) *	476329	8874665	0,00	83,00	-	-
CANUDOS	JOÃO GRANDE / APRIGIO	497229	8871599	0,57	150,00	51,00	13,06
CANUDOS	MANDACARU	501798	8914841	0,00	85,00	41,72	7,80

CANUDOS	MALHADA DA ARUEIRA	487478	8911069	1,67	30,00	21,35	9,48
CANUDOS	PEDRO VELHO	493514	8882501	8,60	78,00	37,11	11,32
CANUDOS	RIO DO SOTURNO	495499	8868227	4,93	46,00	59,47	10,58
CANUDOS	SÃO BENTO	487433	8882289	0,00	80,00	17,91	8,90
CANUDOS	SIMPLÍCIO	486839	8920279	0,68	80,00	62,13	13,81
CANUDOS	SÍTIO DO DINHO	472335	8882833	9,90	78,00	39,34	5,14
CANUDOS	SÍTIO DO TOMÁS	482594	8875620	0,00	80,00	53,01	11,97
CANUDOS	BENDEGÓ	482824	8898319	9,00	45,00	26,70	11,44
CANUDOS	CALUMBI - G I	480395	8889804	2,09	60,00	46,60	1,40
CANUDOS	CALUMBI DO TERÇO - G II	482555	8888302	0,70	90,00	68,89	1,97
CANUDOS	FAZENDA BARRIGUDA - G I	491900	8895315	0,66	73,00	60,00	3,80
CANUDOS	FAZENDA PENEDO - CACHOEIRA - G I	477536	8887414	5,82	60,00	36,68	1,07
CANUDOS	FAZENDA SIMPLÍCIO - BAIXAS - G II	488514	8930971	0,31	95,00	65,64	2,19
CANUDOS	FAZENDA SIMPLÍCIO - G I	486444	8920312	0,26	90,00	73,74	13,57
CANUDOS	POÇO DO JUÁ OU JUÁ	476789	8873991	10,70	17,00	5,37	2,70
CANUDOS	QUEIMADA DO JERÔNIMO	478883	8927981	3,50	60,00	42,54	12,44
CANUDOS	RIO DO SOTURNO	495071	8869333	0,34	73,00	59,47	10,58
CANUDOS	RIO DO VIGARIO	474126	8890353	10,54	64,00	29,12	5,93
CANUDOS	SÃO BENTO SÍTIO DO DINHO - LAGOA DO MOTA - G II	486853	8880199	2,37	120,00	17,91	8,90
CANUDOS	SÍTIO DO TOMÁS	474045	8881364	2,42	79,00	60,81	19,46
CANUDOS	SÍTIO DO TOMÁS	482407	8875985	1,46	80,00	53,01	11,97
CANUDOS	SÍTIO DO TOMÁS - G I	481169	8877001	0,65	72,00	55,51	7,23
CANUDOS	UMBUZEIRÃO - G I	486218	8880287	1,61	108,00	66,86	1,03
CANUDOS	CARRO QUEIMADO	488274	8925531	0,00	120,00	-	-
CANUDOS	FAZENDA CAIPAN - G I	480538	8909308	0,00	120,00	-	-
CANUDOS	SÃO BENTO - G I	486218	8880287	0,00	80,00	-	-
EUCLIDES DA CUNHA	ALECRIM	495076	8839966	0,00	80,00	-	-
EUCLIDES DA CUNHA	BEIRA DA SERRA UM	484520	8854215	5,36	60,00	43,55	2,17
EUCLIDES DA CUNHA	CEDRO	498720	8843836	0,00	90,00	-	-
EUCLIDES DA CUNHA	CEDRO	498238	8842244	0,00	80,00	-	-
EUCLIDES DA CUNHA	CONTENDAS	483671	8844230	0,00	70,00	-	-
EUCLIDES DA CUNHA	CURRAL FALSO	489482	8844730	1,90	70,00	54,75	1,15
EUCLIDES DA CUNHA	FAZENDA BOM SUCESSO FAZENDA NOVO	477370	8855836	1,18	70,00	23,37	8,40
EUCLIDES DA CUNHA	HORIZONTE (AUGUSTO) * FAZENDA SÍTIO (VICENTE)	489906	8856152	1,04	83,00	77,32	16,45
EUCLIDES DA CUNHA	* FAZENDA UMBUZEIRO (DURVAL) *	488692	8853199	1,26	70,00	54,20	8,13
EUCLIDES DA CUNHA	KM 17 - BR 116	487957	8857412	0,00	60,00	-	-
EUCLIDES DA CUNHA	LAGOA DO TANQUE	494219	8855534	0,21	70,00	57,95	21,75
EUCLIDES DA CUNHA	MANDACARU	496106	8826919	0,00	78,00	-	-
EUCLIDES DA CUNHA	MANDACARU	473438	8830248	4,35	108,00	57,43	7,37
EUCLIDES DA CUNHA	MARIA PRETA DOIS	476090	8824014	6,62	70,00	43,89	1,39
EUCLIDES DA CUNHA	MARIA PRETA UM	475270	8823593	0,00	70,00	-	-
EUCLIDES DA CUNHA	MORRINHOS	482001	8855751	27,28	56,00	11,44	10,91
EUCLIDES DA CUNHA	OITEIRO	491790	8851796	5,65	68,00	48,14	27,66
EUCLIDES DA CUNHA	POÇO	481594	8859399	18,39	60,00	19,50	3,61

EUCLIDES DA CUNHA	PONTA DA SERRA	494561	8839291	0,00	70,00	-	-
EUCLIDES DA CUNHA	RIO SECO	493524	8828577	0,18	72,00	52,14	5,50
EUCLIDES DA CUNHA	RUILÂNDIA	485472	8829216	0,82	70,00	39,30	5,40
EUCLIDES DA CUNHA	RUILÂNDIA	485625	8829061	3,81	60,00	34,58	5,40
EUCLIDES DA CUNHA	SERRA DA MÃE INÁCIA	489093	8831340	5,07	30,00	15,64	5,53
EUCLIDES DA CUNHA	ZUMBI	495045	8823071	0,00	70,00	-	-
EUCLIDES DA CUNHA	CONTENDAS OU DERBA - GI	484372	8843556	0,54	73,00	56,95	10,65
EUCLIDES DA CUNHA	LAGOA DO CUPAN	478517	8825099	6,88	80,00	34,06	8,50
EUCLIDES DA CUNHA	MALHADA GRANDE - G I	487483	8833971	10,84	60,00	18,23	-
EUCLIDES DA CUNHA	POÇO - GI	484484	8860937	23,29	88,00	20,36	19,49
EUCLIDES DA CUNHA	POÇÕES	498206	8828600	0,90	70,00	59,46	1,37
EUCLIDES DA CUNHA	RIACHO D'ÁGUA - G I	484162	8847581	1,57	80,00	65,69	7,34
EUCLIDES DA CUNHA	RUILÂNDIA - PANCADA - G I	482649	8830099	1,59	80,00	57,50	-
EUCLIDES DA CUNHA	SANTO ANTÔNIO - G I	493914	8850868	1,43	144,00	45,00	41,10
EUCLIDES DA CUNHA	ROÇA DE CIMA - G I	499519	8829827	0,00	100,00	-	-
EUCLIDES DA CUNHA	TATU	497419	8824276	4,03	67,00	38,01	7,19
QUIJINGUE	ALGODOES	494228	8818713	14,40	37,50	15,02	9,94
QUIJINGUE	BOA VISTA	472298	8815262	14,94	96,00	58,74	2,45
QUIJINGUE	BOA VISTA - MALHADINHA - G II	471779	8817535	2,02	80,00	-	-
QUIJINGUE	GARROTE	484843	8813704	9,54	60,00	10,91	8,38
QUIJINGUE	JUREMA	485423	8807162	34,41	70,00	26,21	7,37
QUIJINGUE	JUREMA - FAZENDA VELHA - G I	485514	8808360	11,12	72,00	26,17	1,79
QUIJINGUE	LAGOA DA EMA	486603	8818312	0,43	76,00	55,00	-
QUIJINGUE	LAGOA DA EMA - SALGADINHO - G II	489245	8823350	2,83	84,00	57,52	3,16
QUIJINGUE	LAGOINHA DAS PEDRAS	476003	8816432	13,65	58,00	41,56	3,75
QUIJINGUE	MALHADINHA DE CARIACÁ	471354	8817657	0,00	120,00	-	-
QUIJINGUE	PEDRENTO (FAZ.)	490249	8818774	0,79	66,00	55,00	-
QUIJINGUE	QUEIMADAS	497023	8822215	18,00	56,00	42,62	4,62
QUIJINGUE	QUIJINGUE VELHO - G I	488125	8808975	15,84	72,00	27,33	4,93
QUIJINGUE	SALGADINHO	489579	8823073	0,00	80,00	-	-
QUIJINGUE	SEDE	478161	8813393	0,79	72,00	60,78	6,66
QUIJINGUE	SEDE	480594	8808726	2,84	70,00	12,81	6,66
QUIJINGUE	LAGOA DO MATO - OLÍMPIO - G II	480043	8816312	0,47	78,00	55,22	25,48

SUB-AMOSTRA 2 - FORMAÇÕES SEDIMENTARES

CANUDOS	ÁREA IRRIGADA SETOR I	500186	8908760	19,80	120,00	39,80	6,62
CANUDOS	CIPÓ	512218	8920677	16,84	150,00	59,24	52,34
CANUDOS	FAZENDA CACIMBA	505753	8890462	17,60	90,00	16,77	6,61
CANUDOS	IPUEIRA	505632	8887045	34,41	202,50	27,69	23,63
CANUDOS	MANDACARU	501525	8921077	2,14	120,00	41,72	7,80
CANUDOS	MATA BURRO	504024	8907632	17,20	148,00	58,64	20,43
CANUDOS	PEDRA BRANCA	505123	8929767	4,55	80,00	58,68	5,24
CANUDOS	RASO	500274	8879527	4,37	48,00	35,97	15,14
CANUDOS	RETIRO DO RIO DO SOTURNO	496900	8871754	1,10	47,50	37,33	12,78
CANUDOS	SOMBRIO	505417	8912176	6,01	53,00	47,08	5,55

EUCLIDES DA CUNHA	ARIBICE ASSENTAMENTO	524135	8832494	72,00	188,50	31,50	17,00
EUCLIDES DA CUNHA	VARZINHA	510611	8864632	1,65	150,00	89,88	42,37
EUCLIDES DA CUNHA	BAIXA DO INCHU OU BAIXA DO EXU	507968	8845615	5,83	57,00	39,23	36,49
EUCLIDES DA CUNHA	BAIXA DO INCHU OU BAIXA DO EXU	509938	8846820	2,60	101,00	78,00	36,49
EUCLIDES DA CUNHA	BAIXAS	502528	8844787	6,44	27,00	12,00	11,90
EUCLIDES DA CUNHA	BAIXAS	502036	8841813	31,68	59,50	13,17	11,90
EUCLIDES DA CUNHA	BANANEIRAS	513678	8838062	16,12	127,00	52,33	39,23
EUCLIDES DA CUNHA	BARRA DO TANQUE	510400	8854007	6,94	70,00	52,02	49,70
EUCLIDES DA CUNHA	BARREIRO DO MEIO	509112	8826575	1,42	78,00	54,22	13,00
EUCLIDES DA CUNHA	BREJINHO	515077	8835330	13,20	146,50	58,71	31,03
EUCLIDES DA CUNHA	CAATINGA GRANDE	530301	8839864	52,77	172,00	26,65	16,70
EUCLIDES DA CUNHA	CATENDE AZUL	516562	8827954	18,00	165,00	95,10	80,60
EUCLIDES DA CUNHA	CURRALINHO FAZENDA CAJAZEIRAS (JAIME) *	538765	8844312	6,80	196,00	94,58	92,92
EUCLIDES DA CUNHA	FAZENDA TIJOLOS	519844	8829092	6,87	172,51	69,37	66,77
EUCLIDES DA CUNHA	JUAZEIRO	505835	8855843	6,58	150,00	38,14	36,11
EUCLIDES DA CUNHA	JUNCO	528994	8833994	1,58	38,00	28,64	18,40
EUCLIDES DA CUNHA	LAGOA ANDADA	502155	8824022	8,67	68,00	42,79	18,50
EUCLIDES DA CUNHA	LAGOA DA VARGEM LAGOA DO CRU - PROJETO TUCANO	526353	8843063	50,50	92,00	45,20	24,30
EUCLIDES DA CUNHA	LAGOA DO CRU UM	523366	8828017	180,00	404,28	58,31	32,13
EUCLIDES DA CUNHA	LAGOA DO CRU UM	523366	8827884	23,97	110,00	40,35	34,80
EUCLIDES DA CUNHA	LAGOA DOS GUEDES	513590	8836492	26,38	93,00	30,77	15,27
EUCLIDES DA CUNHA	LAGOA FUNDA	502035	8833022	16,84	98,00	51,67	39,90
EUCLIDES DA CUNHA	MESTRE CAMPO	523865	8837282	52,80	102,00	30,00	24,50
EUCLIDES DA CUNHA	MURITI	526896	8837623	26,39	67,00	22,55	14,27
EUCLIDES DA CUNHA	PORTEIRAS	500514	8835389	12,16	62,00	35,48	31,25
EUCLIDES DA CUNHA	QUEIMADA DO RASO	502275	8829462	18,43	204,00	98,24	83,22
EUCLIDES DA CUNHA	SANTO ANTÔNIO	497264	8848071	2,01	140,00	107,35	60,19
EUCLIDES DA CUNHA	SEDE	506533	8838340	140,00	168,00	22,00	8,00
EUCLIDES DA CUNHA	SEDE	525795	8828656	225,00	358,23	77,39	23,35
EUCLIDES DA CUNHA	SEDE	512102	8837145	31,68	66,00	18,97	12,50
EUCLIDES DA CUNHA	SEDE	512003	8836868	23,97	46,00	12,30	5,00
EUCLIDES DA CUNHA	SEDE	512069	8836957	7,12	53,00	32,21	27,81
EUCLIDES DA CUNHA	SEDE	505865	8838396	198,00	100,00	36,45	14,20
EUCLIDES DA CUNHA	SEDE	505898	8838374	131,97	125,00	58,66	23,58
EUCLIDES DA CUNHA	SEDE	512036	8837012	28,26	67,00	16,23	6,86
EUCLIDES DA CUNHA	SERRA BRANCA DOIS	506230	8858574	7,13	119,00	95,52	53,15
EUCLIDES DA CUNHA	SERRA BRANCA UM	509766	8856616	5,79	153,50	112,79	91,48
EUCLIDES DA CUNHA	SERRA BRANCA UM	508278	8860332	2,23	120,00	90,02	58,90
EUCLIDES DA CUNHA	SERRA VERMELHA DOIS	531729	8833715	22,60	197,00	55,98	46,06
EUCLIDES DA CUNHA	SERRA VERMELHA UM	514430	8831239	15,22	110,56	50,51	31,88
EUCLIDES DA CUNHA	SOARES	524742	8839559	10,04	92,00	43,22	39,52
EUCLIDES DA CUNHA	TERRA BRANCA	518537	8838093	4,03	124,00	90,95	86,85
EUCLIDES DA CUNHA	VÁRZEA DO BR. OU CAPÃO	502430	8845926	7,92	80,00	38,29	21,71
JEREMOABO	ADRIANA	564440	8885307	25,56	131,00	26,82	6,32

JEREMOABO	AGUA BRANCA	543719	8893874	26,40	51,00	9,88	5,94
JEREMOABO	FAZENDA CACHOEIRA	576379	8877477	2,47	55,00	44,38	40,00
JEREMOABO	ALVORADA OU PEBA	579333	8876033	10,15	63,50	23,48	16,53
JEREMOABO	ASSENTAMENTO CARITÁ	577099	8871272	27,32	188,00	69,74	59,10
JEREMOABO	BAIXA DA MATA	561526	8911263	16,85	111,40	51,81	20,20
JEREMOABO	BARROCA	562279	8890032	36,00	210,00	67,28	43,59
JEREMOABO	BOA VISTA	573888	8891525	7,84	60,00	37,30	36,20
JEREMOABO	BREJO GRANDE	551080	8891222	4,88	82,00	60,92	4,39
JEREMOABO	CABEÇA DO BOI	513003	8907719	8,42	23,00	12,75	7,97
JEREMOABO	CALDEIRÃO OU RASO	592709	8896856	2,37	96,00	51,04	2,86
JEREMOABO	CARNAÍBA	557410	8887928	29,33	119,00	15,61	5,32
JEREMOABO	CARURU	579525	8883585	21,99	58,00	20,47	17,73
JEREMOABO	COELHOS	581743	8904866	5,94	130,00	62,70	12,03
JEREMOABO	ESTALEIRO DE CIMA	567141	8899610	23,97	277,00	101,60	95,64
JEREMOABO	FAZENDA NOVA INCOZEIRA - CANTINHO - G II	574744	8897417	11,01	218,00	131,49	128,93
JEREMOABO	JASMINEIRO	529444	8901230	16,16	39,00	13,41	10,22
JEREMOABO	JASMINEIRO	581388	8883514	19,80	228,00	109,30	69,07
JEREMOABO	LAGOA DO MATO	596358	8884130	3,78	64,00	44,71	3,35
JEREMOABO	LAJE	539918	8895747	11,00	27,00	12,91	6,16
JEREMOABO	MALHADA VERMELHA	535268	8904597	10,54	206,00	97,75	68,00
JEREMOABO	MARI	520313	8902652	9,20	40,00	22,36	9,48
JEREMOABO	MONTE ALEGRE	588614	8903191	13,64	41,00	10,58	7,82
JEREMOABO	PAU D' AGUA	566641	8907904	39,60	291,00	142,35	136,30
JEREMOABO	PEDRA DE DENTRO	596207	8880901	22,60	72,00	26,95	17,61
JEREMOABO	RIACHO DE SÃO JOSÉ	588026	8873492	22,00	42,00	10,72	5,09
JEREMOABO	SANTANA	587643	8891738	3,38	33,00	21,84	11,71
JEREMOABO	SEDE	565189	8881159	56,25	358,00	95,21	23,81
JEREMOABO	TARRACHIL	525729	8903411	13,20	29,00	12,42	10,59
ANTAS	BOA VISTA	576845	8855029	31,68	307,00	150,31	116,80
ANTAS	ENTRONCAMENTO	573043	8853954	31,68	271,00	129,84	115,93
ANTAS	MARI	585822	8841463	2,78	71,00	66,00	28,96
BANZAE	ARAÇÁS	544500	8819150	4,39	110,00	50,43	48,80
BANZAE	BAIXÃO	547394	8823867	5,86	108,00	67,35	62,80
BANZAE	BAIXÃO CAMPO DO BRITO - PROJ TUCANO-FASE I	546370	8826456	30,46	236,00	77,68	67,42
BANZAE	543063	8832664	267,20	401,00	105,93	83,72	
BANZAE	GAMELEIRA	535767	8834143	10,00	185,00	105,77	95,00
BANZAE	JUÁ	537578	8819214	29,30	100,00	25,66	20,87
BANZAE	MARIA PRETA	533642	8832210	10,15	216,00	129,00	125,37
BANZAE	MATINHA NOVO PAU FERRO - QUEIMADA GRANDE	542358	8829126	39,60	169,00	77,64	65,68
BANZAE	533054	8823608	45,00	161,00	38,75	18,00	
BANZAE	PAU BRANCO PAU BRANCO - PROJ TUCANO	534252	8829445	27,28	176,00	57,42	42,68
BANZAE	534461	8830672	14,14	218,40	106,45	75,70	
BANZAE	PAU FERRO	536026	8820940	13,20	100,00	32,60	27,00
BANZAE	PEDRA FURADA PEDRA FURADA - PROJ TUCANO -FASE I	539934	8832822	23,29	178,00	74,30	66,22
BANZAE	539693	8832944	28,28	224,00	83,23	76,97	

BANZAE	PIAUÍ	541010	8817949	11,98	180,00	105,88	93,21
BANZAE	SALGADO	532388	8825090	34,52	163,00	18,05	13,80
BANZAE	SEDE	542306	8830884	9,64	150,00	78,94	75,26
BANZAE	SÍTIO DO SALGADO	529621	8825093	26,40	207,00	46,21	6,88
BANZAE	TAMBURIL	533333	8829258	10,98	144,00	78,13	71,83
BANZAE	TAMBURIL	536735	8829254	23,29	204,00	82,69	70,65
BANZAE	TAMBURIL - PROJ TUCANO - FASE I	536835	8830183	30,46	231,00	82,27	73,75
CICERO DANTAS	BETÂNIA	540330	8834878	52,81	335,73	206,28	161,70
CICERO DANTAS	DUQUE DE CAXIAS FAZENDA PONTAIS (JOSÉ CARVALHO) *	584936	8841609	3,96	114,50	83,25	19,30
CICERO DANTAS	ILHA JUÁ - PROJ TUCANO - FASE I	575726	8829378	11,80	251,00	155,38	145,08
CICERO DANTAS	ILHA JUÁ - PROJ TUCANO - FASE I	578127	8826918	5,47	169,00	140,77	126,26
CICERO DANTAS	RODEADOR	543376	8837694	131,20	376,20	114,22	98,50
CICERO DANTAS	RODEADOR	547249	8845064	8,42	243,00	160,50	155,00
CICERO DANTAS	SACO S. J. FORTALEZA -PROJ TUCANO-FASE I	570644	8826779	7,56	229,54	143,37	138,36
CICERO DANTAS	SACO S. J. FORTALEZA -PROJ TUCANO-FASE I	544105	8834752	136,46	359,04	99,54	82,85
CICERO DANTAS	SEDE	563982	8820899	17,20	246,00	142,83	128,30
CICERO DANTAS	SEDE	563587	8820159	9,54	258,06	104,00	90,00
CICERO DANTAS	SEDE	563434	8820159	8,78	205,00	105,50	96,30
CICERO DANTAS	SERRA GRANDE	575859	8834940	16,48	290,30	120,36	112,04
CICERO DANTAS	TUBARÃO	556499	8832699	32,97	302,00	159,55	151,05
CICERO DANTAS	VACA BRAVA	584913	8819371	13,64	113,00	52,79	23,24
FATIMA	ALDEIA	596790	8818820	2,92	40,50	24,00	1,85
FATIMA	ALTO DO NUNES	581581	8825616	12,99	242,70	114,80	85,08
FATIMA	CARUARU	593070	8834499	6,08	186,50	70,90	51,60
FATIMA	SEDE	585565	8826126	3,74	60,00	54,64	3,54
FATIMA	SEDE	593314	8823684	56,55	224,52	88,40	38,60
FATIMA	SEDE	593336	8823684	11,98	222,00	73,17	40,65
FATIMA	SEDE	583036	8821012	70,54	352,55	129,16	73,26
FATIMA	TÁBUA	589218	8817547	5,53	110,00	80,00	48,00
FATIMA	UMBUZEIRO	593087	8820489	7,45	163,00	76,86	68,65
HELIPOLIS	ANTAS	581033	8811552	10,54	150,00	68,73	54,37
HELIPOLIS	BARREIRA DO TUBARÃO	575893	8806311	21,40	100,00	49,24	43,23
HELIPOLIS	BENDO	563727	8813281	9,10	138,00	57,86	52,40
HELIPOLIS	BOA SORTE	579283	8815824	12,00	70,00	25,00	14,70
HELIPOLIS	CAJAZEIRA	581524	8810788	6,20	60,00	38,60	20,00
HELIPOLIS	CAJAZEIRA	580122	8810138	26,38	115,00	31,80	16,00
HELIPOLIS	CALUMBI	571972	8818483	2,08	73,80	66,30	60,10
HELIPOLIS	CAMBOATA	575254	8818786	9,39	150,00	82,00	57,60
HELIPOLIS	CAMBOATA	572090	8817344	9,65	67,00	59,00	51,00
HELIPOLIS	CUBANZÊ	583342	8812221	5,53	90,00	50,14	17,08
HELIPOLIS	FARMACIA	572005	8823304	2,44	110,00	93,20	87,35
HELIPOLIS	FAZENDA VELAME	578286	8805720	5,51	61,17	36,11	12,18
HELIPOLIS	JIBOIA	578843	8810020	14,40	72,15	22,51	16,10
HELIPOLIS	MANDACARU	576757	8816051	3,23	64,00	48,45	28,75
HELIPOLIS	MASSARANDUBA	580510	8821195	39,60	215,00	89,70	59,16

HELIOPOLIS	PINDOBAL	585012	8810923	3,51	99,00	47,97	26,81
HELIOPOLIS	PORTEIRAS	573380	8812034	6,23	97,00	63,25	58,57
HELIOPOLIS	QUEIMADA DO MIGUEL	571080	8815566	3,50	66,60	47,60	19,00
HELIOPOLIS	SACO GRANDE	571249	8822941	11,31	127,00	101,26	90,90
HELIOPOLIS	SAPÉ	565074	8819880	36,00	180,00	124,34	102,70
HELIOPOLIS	SERROTA	572805	8814092	13,20	70,00	37,00	31,00
HELIOPOLIS	TANQUE NOVO	583765	8810561	13,86	135,00	76,70	50,40
HELIOPOLIS	TIJUCO	568548	8823278	2,10	146,60	101,18	99,60
HELIOPOLIS	VIUVEIRA	570204	8820146	8,78	167,00	110,45	107,60
SITIO DO QUINTO	BELEM	599237	8855548	23,29	232,00	76,90	32,35
SITIO DO QUINTO	BOQUEIRÃO LAGOA DO LIMOEIRO OU FAROFA	588752	8857423	13,21	270,00	156,57	125,22
SITIO DO QUINTO	QUEIMADA DE DENTRO	592371	8859713	99,00	290,00	113,47	97,60
SITIO DO QUINTO	QUEIMADA DE DENTRO	596922	8854150	32,97	184,00	37,90	23,60
SITIO DO QUINTO	RASINHO	596181	8851476	14,94	216,00	115,71	103,98
SITIO DO QUINTO	SERRINHA	585514	8867538	39,60	116,00	24,40	17,00
SITIO DO QUINTO	TINGUI	596981	8855654	72,00	216,14	72,42	47,61
SITIO DO QUINTO	TINGUI	582918	8863054	6,33	88,00	78,60	47,32
QUIJINGUE	ASSENTAMENTO PARAÍSO	519291	8820275	3,24	196,00	41,01	21,54
QUIJINGUE	LAGOA VERMELHA	498512	8808455	3,27	80,00	55,13	1,24
QUIJINGUE	MACETÉ	502825	8811434	18,39	65,00	4,51	1,47
QUIJINGUE	SACO DO CEDRO	519476	8824513	18,39	179,00	60,04	55,17
QUIJINGUE	SANTA RITA	497996	8810175	5,25	70,00	27,26	21,80
QUIJINGUE	SANTA RITA	501458	8812571	39,60	135,00	7,61	0,79
QUIJINGUE	TABUA	512787	8813029	18,00	142,00	38,37	17,70
QUIJINGUE	TANQUE DO RUMO	512150	8813982	18,00	148,00	60,59	44,78
RIBEIRA DO POMBAL	ABOBORA	565178	8810603	7,99	205,00	119,12	105,22
RIBEIRA DO POMBAL	ARAPUÁ	557988	8815439	8,31	205,00	127,14	115,60
RIBEIRA DO POMBAL	AREIAL ASSENTAMENTO DO VERÍSSIMO	556087	8823121	13,65	221,50	126,93	97,67
RIBEIRA DO POMBAL	BAIXA DA BERLENGA	538057	8811843	10,27	218,50	135,06	130,29
RIBEIRA DO POMBAL	BAIXA DA BERLENGA	546802	8789041	21,99	104,30	39,41	31,12
RIBEIRA DO POMBAL	BAIXA DAS ANTAS	567970	8809676	6,76	160,00	110,27	103,96
RIBEIRA DO POMBAL	BAIXA DO CAMAMU	545669	8825962	11,62	95,00	54,30	51,30
RIBEIRA DO POMBAL	BARRO VERMELHO	556893	8797073	5,72	174,50	122,32	110,93
RIBEIRA DO POMBAL	BARROÇÃO	550942	8816372	14,30	150,00	49,00	48,30
RIBEIRA DO POMBAL	BARROÇÃO	550700	8817447	4,32	98,00	62,85	62,00
RIBEIRA DO POMBAL	BARROÇÃO	550700	8817447	22,60	162,50	76,03	62,74
RIBEIRA DO POMBAL	BOCA DA MATA	558143	8800142	7,81	200,00	67,22	43,62
RIBEIRA DO POMBAL	BODÓ	559895	8794764	8,80	123,70	66,25	59,06
RIBEIRA DO POMBAL	CAJAZEIRAS	554390	8807428	3,49	196,00	96,80	75,90
RIBEIRA DO POMBAL	CANTO (FAZ.) CENTRO DE	551530	8824080	22,50	242,00	150,01	127,77
RIBEIRA DO POMBAL	ABASTECIMENTO	550251	8801476	25,52	78,50	27,02	11,23
RIBEIRA DO POMBAL	COVA DO CAMARÃO	534380	8810127	16,48	170,00	62,25	56,57
RIBEIRA DO POMBAL	CURRAL FALSO	546903	8817330	9,28	95,00	43,19	19,70
RIBEIRA DO POMBAL	CURRALINHO	555863	8798580	10,84	60,00	34,09	30,73
RIBEIRA DO POMBAL	EBDA (ANTIGA EPABA)	549677	8803443	16,50	145,50	39,34	32,40

RIBEIRA DO POMBAL	ESCOLA AGROTECNICA DOIS (SEDE)	550405	8802796	23,97	98,00	35,56	25,97
RIBEIRA DO POMBAL	ESCOLA AGROTECNICA UM (SEDE)	551861	8801811	15,51	95,20	42,20	39,30
RIBEIRA DO POMBAL	ESPINHEIRO	557913	8807361	6,33	130,00	41,16	34,60
RIBEIRA DO POMBAL	EZEQUIEL	558899	8798175	14,40	129,00	67,27	60,68
RIBEIRA DO POMBAL	FAZENDA ARACAJU	550139	8808049	49,68	118,50	21,15	14,00
RIBEIRA DO POMBAL	FAZENDA COVA *	544784	8800286	27,70	233,00	131,60	126,00
RIBEIRA DO POMBAL	FAZENDA PINTO	562213	8800780	22,60	194,00	66,70	46,46
RIBEIRA DO POMBAL	FAZENDA PINTO	562213	8800811	3,78	197,00	141,98	72,40
RIBEIRA DO POMBAL	FAZENDA PONTINHA FAZENDA POUSO ALEGRE (JOSÉ HÉLIO) *	540558	8820471	23,29	99,50	50,00	-
RIBEIRA DO POMBAL	GAMELA	561476	8812515	23,97	250,00	93,75	80,80
RIBEIRA DO POMBAL	JENIPAPO	546721	8795860	25,52	158,00	59,78	52,69
RIBEIRA DO POMBAL	JOÃO DO ALTO L. DO CÍCERO - PROJ TUCANO - FASE I	554351	8802176	18,00	93,00	44,80	37,86
RIBEIRA DO POMBAL	LAGOA GRANDE	542812	8825167	20,30	140,00	45,35	40,00
RIBEIRA DO POMBAL	LOGRADOURO	559959	8796822	9,07	166,00	112,60	105,43
RIBEIRA DO POMBAL	MARAVILHA	559219	8807266	13,50	158,00	82,40	72,48
RIBEIRA DO POMBAL	MARCAÇÃO	543693	8825074	19,29	148,50	60,60	55,65
RIBEIRA DO POMBAL	MOCO	564319	8822154	3,86	163,50	130,12	105,30
RIBEIRA DO POMBAL	NOVA ESPERANÇA	553640	8812866	18,00	158,00	69,46	66,67
RIBEIRA DO POMBAL	NOVA ESPERANÇA NR - RIBEIRA DO POMBAL (CERB)	553426	8812098	9,00	122,00	71,40	67,10
RIBEIRA DO POMBAL	OLHO D'ÁGUA PARQUE DE EXPOSICAO AGROPECUARIA	549859	8803289	8,60	66,00	40,00	33,15
RIBEIRA DO POMBAL	OLHO D'ÁGUA PARQUE DE EXPOSICAO AGROPECUARIA	552488	8795514	15,84	100,00	10,40	2,00
RIBEIRA DO POMBAL	PEDRAS	550191	8802213	11,98	63,00	33,01	29,45
RIBEIRA DO POMBAL	PEDRAS DE EUCLIDES	551196	8824173	34,41	158,50	92,10	82,21
RIBEIRA DO POMBAL	PIQUES	554364	8791641	11,30	124,00	74,33	70,51
RIBEIRA DO POMBAL	POÇO DAS VARAS	559964	8816633	11,30	245,00	157,32	132,00
RIBEIRA DO POMBAL	POÇO UM	536076	8834144	5,29	194,00	119,15	81,35
RIBEIRA DO POMBAL	POÇO UM	542675	8812943	39,60	129,00	23,92	16,49
RIBEIRA DO POMBAL	POÇO UM	542977	8812113	25,52	85,00	32,62	25,05
RIBEIRA DO POMBAL	QUEIMADA GRANDE	551889	8819780	5,50	119,00	106,02	102,29
RIBEIRA DO POMBAL	QUEIMADINHA	551050	8827613	4,39	160,00	137,74	115,90
RIBEIRA DO POMBAL	RASO DA MARCAÇÃO	548786	8796441	28,28	158,30	84,99	75,35
RIBEIRA DO POMBAL	SACAO	539801	8823389	4,50	100,00	74,90	73,50
RIBEIRA DO POMBAL	SACO TRISTE	552166	8802732	17,56	99,00	43,31	31,20
RIBEIRA DO POMBAL	SEDE	551923	8803009	171,00	368,00	31,69	4,96
RIBEIRA DO POMBAL	TAPERA	550416	8789988	18,85	73,00	18,90	2,50
RIBEIRA DO POMBAL	TOCAIA	552174	8807770	24,01	132,00	20,01	16,52
RIBEIRA DO POMBAL	UMBUZEIRO	547569	8815701	29,30	105,00	31,30	20,92
RIBEIRA DO POMBAL	UMINS	554665	8808595	6,60	120,00	60,00	58,00
RIBEIRA DO POMBAL	VERÍSSIMO	537751	8810430	16,48	111,00	52,59	48,23
TUCANO	ARAPUA ASSENT. BEIRA RIO - FAZ CAMPINHOS	509646	8769201	5,68	65,00	40,00	26,00
TUCANO	ASSENTAMENTO MUNDO NOVO	527679	8787036	25,54	152,00	49,71	40,38
TUCANO	NOVO	518620	8761426	24,30	122,00	58,79	31,60

TUCANO	ASSENTAMENTO MURITY	518588	8812474	36,00	152,00	33,08	1,80
TUCANO	ASSENTAMENTO SANTA VIRGÍNIA	515468	8766219	17,20	102,00	68,23	22,50
TUCANO	ASSENT. SÃO JOSÉ DO MARIMBÁ	515255	8763516	31,68	146,00	37,75	29,92
TUCANO	BARRA DO MACETÉ BOQUEIRÃO OU	509346	8782163	16,16	73,00	18,81	-
TUCANO	BOQUEIRÃO DO SACO CABRITO OU BAIXA DO CABRITO	532659	8789335	27,28	294,40	150,00	142,50
TUCANO	CABRITO	514843	8792573	31,68	73,00	18,65	10,97
TUCANO	CAJUEIRO	514423	8803139	31,68	150,00	79,44	58,30
TUCANO	CALDAS DO JORRO	520603	8780284	99,00	193,00	97,35	20,75
TUCANO	CALDAS DO JORRO	522697	8780651	18,00	150,00	49,39	25,19
TUCANO	CALDAS DO JORRO	522579	8785289	131,97	191,00	85,49	24,51
TUCANO	CANABRAVA UM	512664	8809036	11,00	72,00	71,00	45,00
TUCANO	FAZENDA ALAGOINHAS FAZ. CAMPINHOS - PROJ. DE IRRIGAÇÃO	522172	8811611	5,61	170,00	133,32	126,00
TUCANO	FAZENDA ALAGOINHAS FAZ. CAMPINHOS - PROJ. DE IRRIGAÇÃO	526040	8786822	210,00	374,00	97,70	39,08
TUCANO	FAZENDA GRAVATA FAZ. PAI MIGUEL-PROJ. NORTE DE ARACI	522044	8802827	49,50	279,00	80,96	54,70
TUCANO	NORTE DE ARACI	524782	8769654	263,98	315,00	84,05	15,50
TUCANO	FAZENDA PAU DE RATOS FAZ. UMBURANA-PROJ. NORTE DE ARACI	511371	8757744	23,97	120,00	46,63	38,43
TUCANO	NORTE DE ARACI	524781	8768302	287,02	330,00	77,48	9,72
TUCANO	GRENGUENHEM	532438	8780735	58,60	218,00	22,10	9,00
TUCANO	IPUPU	537583	8769396	34,41	99,60	40,69	31,85
TUCANO	JORRINHO	518447	8776599	31,68	138,00	28,80	11,02
TUCANO	LAGOA CAVADA	518202	8772944	0,00	57,00	0,00	-
TUCANO	LAGOA CAVADA - G I	509890	8773163	4,47	63,00	42,34	26,74
TUCANO	OITEIRO	524283	8791308	9,31	132,00	64,95	52,40
TUCANO	OLHOS D'ÁGUA	538137	8776244	43,99	148,00	22,87	-
TUCANO	OLHOS D'ÁGUA OLHOS D'ÁGUA DA SERRA DOIS	544913	8783792	12,50	125,00	17,00	-
TUCANO	PARQUE BALNEÁRIO- CALDAS DO JORRO	521083	8770977	13,89	27,00	8,38	-
TUCANO	PÉ DE SERRA	522393	8780405	113,11	207,00	101,40	27,10
TUCANO	PÉ DE SERRA	513781	8793587	36,00	101,50	12,79	2,92
TUCANO	PEDRA GRANDE UM	525819	8776134	43,92	110,00	26,50	8,50
TUCANO	POÇÃO Pousada CALDAS DO JORRO	508497	8785111	52,80	134,00	48,39	-
TUCANO	JORRO	522576	8780712	12,34	143,00	46,40	15,30
TUCANO	RIACHO DOS BOIS	510643	8757283	1,05	42,00	31,89	7,33
TUCANO	RUA NOVA	509619	8781057	20,84	57,00	17,48	3,23
TUCANO	TIRIRICA	532438	8780735	72,00	191,00	95,78	-
TUCANO	TUCANO DE FORA-BURACO DO VENTO	528136	8788817	12,16	191,00	105,97	101,10
TUCANO	VISTA BELA	513654	8778997	21,38	179,00	38,95	4,60