

AVALIAÇÃO DOS VALORES DE TRANSMISSIVIDADE DO AQUÍFERO SEDIMENTAR NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA (SP), COM BASE NA CAPACIDADE ESPECÍFICA OBTIDA EM TESTES DE BOMBEAMENTO

Mara A. Iritani¹; Seiju Hassuda²; João Carlos Simanke de Souza³ & Aldo da Cunha Rebouças⁴

Resumo - Neste trabalho objetivou-se determinar o coeficiente de correlação entre a capacidade específica (Q/s) e a transmissividade (T) dos poços no município de Caçapava.

Cadastrou-se 20 poços com informações do teste de bombeamento, os quais foram interpretados pelos métodos de Theis, Cooper-Jacob e Neuman. Os poços exploram, em geral, o aquífero sedimentar constituído por sedimentos da Bacia Sedimentar de Taubaté.

Dada as características hidrogeológicas, o aquífero foi considerado predominantemente livre, utilizando-se os valores de transmissividade calculados pelo método de Neuman para a correlação com Q/s. Os valores de transmissividade variaram entre $5,59 \times 10^{-6}$ e $1,36 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ e a condutividade hidráulica variou entre $2,41 \times 10^{-7}$ e $3,10 \times 10^{-5} \text{ m/s}$, sendo cerca de 3 a 4 vezes menores que os valores obtidos pelos outros métodos.

A correlação logarítmica entre Q/s e a transmissividade mostrou um coeficiente de correlação de 94,4%, apresentando melhor resultado na estimativa dos parâmetros hidráulicos do que a correlação linear ou a reta teórica.

Na área estudada, a distribuição da condutividade hidráulica mostrou menores valores na porção sudeste da área e maiores valores na porção central do município. Entretanto, esta correlação deve ser utilizada com critério para situações específicas.

¹ Instituto Geológico (IG-SMA); Av. Miguel Stéfano, 3900; São Paulo (SP); 04301-903; Tel: (11) 5585-9994 ramal 2049; Fax: (11) 276-8721 ramal 2075; E-mail: mara.iritani@igeologico.sp.gov.br

² **TECNOHIDRO Projetos Ambientais; Rua Botucatu, 407 C 3, Vila Mariana; São Paulo (SP); 04023-061; Tel: (11)573-7174; Fax: (11) 573-7174; E-mail: tecnohidro@sti.com.br**

³ Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP); Rua Padre João Manuel, 755 8º Andar; São Paulo (SP); 01411-001; Tel: (11) 883-4261; Fax: (11) 3064-1787; E-mail: jsimanke@sabesp.com.br

⁴ Universidade de São Paulo (USP); Rua Eduardo da Silva Magalhães, 510; São Paulo (SP); 05324-000; Tel: (11) 3768-42862; Fax: (11) 3768-4032; E-mail: aldocr@mandic.com.br

INTRODUÇÃO

Entre os principais parâmetros para a avaliação da produtividade e reserva de um aquífero estão a transmissividade e a condutividade hidráulica. A obtenção deste parâmetro muitas vezes é dificultada quando não são recuperadas as planilhas do teste de bombeamento com os dados de rebaixamento e tempo.

Algumas vezes, é necessário conhecer a distribuição espacial dos parâmetros hidráulicos para uma avaliação mais acurada da unidade aquífera, como por exemplo, na aplicação da modelação matemática, como foi o caso neste estudo desenvolvido no município de Caçapava, no Estado de São Paulo.

Um parâmetro muitas vezes disponível é a capacidade específica, obtida a partir dos resultados finais de um teste de bombeamento.

Para complementar os dados de condutividade hidráulica existentes, calculados a partir da interpretação dos testes de bombeamento, determinou-se a correlação da transmissividade e da capacidade específica de forma a possibilitar uma estimativa deste parâmetro e enriquecer a avaliação da sua variação espacial.

Este trabalho, de análise da correlação entre a transmissividade e a capacidade específica, foi uma das etapas de um projeto mais amplo, de definição das áreas de proteção e das zonas de contribuição de poços de abastecimento utilizando a técnica da modelação matemática (Iritani, 1998). Este projeto maior foi desenvolvido em parceria pelo Instituto Geológico (IG), a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) e a Waterloo Hydrogeologic Inc. (WHI) e contou com suporte financeiro da Canadian International Development Agency (CIDA) e do Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal (MMA).

Neste trabalho, aqui apresentado, é abordada então, apenas uma parte do projeto desenvolvido, enfocando a determinação dos parâmetros hidráulicos a partir da interpretação de testes de bombeamento e da correlação entre a transmissividade obtida e a capacidade específica, de forma a subsidiar a avaliação da produtividade e da reserva explorável do aquífero sedimentar.

A ÁREA DE ESTUDO E OS DADOS LEVANTADOS

A área estudada foi o município de Caçapava, localizado na porção leste do Estado de São Paulo, a 110 km da capital paulista, como mostra a Figura 1. O município possui

378 km² e é cortado, em sua porção média, pelo rio Paraíba do Sul que corre na direção SW-NE.

A ocupação urbana predomina na porção central do município, concentrando-se ao sul do rio Paraíba. Da mesma forma, a maior parte dos poços existentes também concentra-se a sul do rio e ao longo da rodovia Presidente Dutra, como mostra a Figura 2.

Até 1997, foram cadastrados um total de 98 poços no município, dos quais 63 encontrava-se em funcionamento. Os dados dos poços foram obtidos junto à SABESP, ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), à Prefeitura Municipal e às empresas de perfuração.

No município de Caçapava existem dois tipos de aquíferos: o cristalino e o sedimentar. Entretanto, a maior parte dos poços com informação de produtividade explora o aquífero sedimentar. Apenas alguns poços exploram conjuntamente os aquíferos sedimentar e cristalino.

O aquífero cristalino é representado pelo Embasamento Cristalino, constituído principalmente por gnaisses, migmatitos, xistos e granitos. Esta unidade aflora nas porções sudeste e noroeste, sendo que o topo do Embasamento Cristalino mergulha no sentido à porção central do município.

O aquífero sedimentar, sobreposto ao aquífero cristalino, é composto por rochas sedimentares com caráter lenticular, com granulação variando de fina a grosseira, formado pelas formações Resende, Tremembé e Pindamonhangaba. A Formação Resende, basal, e predominante na área estudada é mais arenosa em relação às outras formações, favorecendo a circulação da água subterrânea.

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS HIDRÁULICOS A PARTIR DOS TESTES DE VAZÃO

No cadastramento dos poços profundos do município puderam ser resgatados os dados do teste de vazão de 29 poços. Estes testes foram executados após o término do poço, com a finalidade de dimensionar o equipamento e o regime de exploração, sendo que as medidas de rebaixamento foram efetuadas no próprio poço. Entretanto, segundo Kruseman & Ridder (1979), estes dados podem ser utilizados para uma avaliação geral das características hidráulicas do aquífero.

Os testes foram conduzidos pela própria empresa de perfuração, com tempo de bombeamento, em geral de 24 horas, mantendo-se a vazão, na medida do possível, constante. Os testes de vazão escalonada e recuperação mostraram irregularidades nas

medidas e tempo curto de monitoramento, dificultando sua utilização. Assim sendo, foram utilizados apenas, os dados dos testes de vazão, na fase de rebaixamento.

Considerando as características litológicas do aquífero, onde predominam intercalações de sedimentos finos e grosseiros, assumiu-se que o aquífero apresentaria um comportamento livre a semi-confinado. Entretanto, a configuração das curvas de tempo x rebaixamento mostraram, por vezes, uma tendência a um comportamento de aquífero livre, enquanto que em outros casos, as curvas adaptaram-se melhor à curva de Theis, para aquífero confinado. Assim, o método de Hantush, para aquífero semi-confinado, não foi utilizado na interpretação dos testes de bombeamento. Portanto, supõe-se aqui, que o aquífero tenha um comportamento, em geral, livre a localmente confinado, apesar do tempo de bombeamento dos testes não ter sido suficiente para a confirmação destas características.

Para a interpretação destes testes de vazão utilizou-se um aplicativo matemático denominado AQUIFER TEST, desenvolvido por Waterloo Hydrogeologic Inc., que permite a avaliação por diferentes métodos, inclusive Theis, Cooper-Jacob e Neuman, os quais foram considerados neste trabalho. Como as medidas de rebaixamento foram efetuadas dentro do próprio poço, adotou-se como distância do ponto de observação o valor de 0,10 m, valor próximo ao raio da maioria dos poços.

As curvas de tempo e rebaixamento mostraram que o período do teste de bombeamento foi curto para uma boa caracterização do comportamento do aquífero. Algumas curvas mostraram uma tendência de aquífero com comportamento livre, mostrando uma leve elevação dos pontos na parte final da curva, o que levou a interpretação do teste de bombeamento pelo método de Neuman. As demais curvas foram interpretadas pelos métodos de Theis e Cooper-Jacob, por serem mais adequados para esta situação (Figura 3).

Os valores de transmissividade obtidos pelos métodos de Theis e Cooper-Jacob mostraram-se, em geral, próximos, muitas vezes com valores semelhantes. A comparação entre as transmissividades calculadas por estes métodos mostraram que alguns valores obtidos pelo método de Cooper-Jacob são maiores que aqueles calculados pelo método de Theis. Esta mesma característica foi observada por Lee & Lee (1999). Esta diferença pode ser explicada pela influência das características construtivas e do material próximo ao poço, como mostrado por Butler (1990), onde as soluções de Theis e Cooper-Jacob fornecem resultados diferentes em sistemas heterogêneos pois cada metodologia enfatiza uma fase do teste de bombeamento.

Considerando um aquífero heterogêneo, com fluxo radial, Butler (1988) mostrou que a mudança do rebaixamento em uma porção do aquífero, a um dado tempo durante um teste de bombeamento, é controlada pelo material da área circular ao redor do poço. Esta área anelar que ele considera como responsável pela maior contribuição de fluxo, aumenta, afastando-se cada vez mais do poço a medida que o teste de bombeamento avança. Assim, a etapa inicial do teste de bombeamento reflete as características hidráulicas da porção do aquífero próxima ao poço e, sofrendo, também, influência das condições construtivas, como do material de preenchimento entre a perfuração e o revestimento, da perda de carga existente no próprio poço e da eficiência do desenvolvimento do poço.

As medidas efetuadas após longo período de tempo refletem, por sua vez, as características de uma porção maior do aquífero, compreendida dentro da zona de influência. Como o raio do cone de depressão é grande, o teste reflete menor influência do material ao redor do poço. Segundo Butler (1990), aquíferos livres terão o mesmo tipo de comportamento que o aquífero confinado, entretanto, os efeitos do material próximo ao poço serão sentidos por um intervalo de tempo maior.

Este tipo de influência reflete-se nos parâmetros hidráulicos calculados pelos métodos de Theis e Cooper-Jacob. No método de Theis, o valor utilizado é o rebaixamento total, onde é considerada a influência de toda a área compreendida no cone de depressão final, principalmente do material próximo ao poço. No método de Cooper-Jacob, o valor utilizado é a diferença de rebaixamento (Δs), considerando-se principalmente a reta formada pelos dados medidos a um período de tempo mais longo do teste de bombeamento, quando o raio do cone de depressão é grande, refletindo melhor as características do material longe do poço. Quando há uma diferença marcante do material próximo ao poço e afastado deste, há um reflexo na configuração dos dados de tempo e rebaixamento analisados pelo método de Cooper-Jacob.

Entretanto, neste estudo, os dados plotados em escala semilogarítmica apresentam boa configuração, mostrando nas porções finais, pouca variação em relação à reta (Figura 3), refletindo que, apesar do aquífero se caracterizar pelas intercalações lenticulares, tem um comportamento uniforme, considerando-se o fluxo horizontal em todo o pacote sedimentar.

A variação das transmissividades encontradas por estes dois métodos variaram entre $3,16 \times 10^{-5}$ e $7,08 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (método de Cooper-Jacob), e entre $3,24 \times 10^{-5}$ e $3,06 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (método de Theis), mostrando concordância entre os valores calculados. As transmissividades e condutividades hidráulicas apresentam menores valores na porção

sul e sudeste do município, enquanto na porção central, estes parâmetros mostram-se uma a duas ordens de grandeza maiores, indicando a melhor produtividade do aquífero nesta região.

Os métodos de Theis e Cooper-Jacob não atentam para a resposta de drenagem atrasada, onde a água é liberada do aquífero pelo efeito da gravidade, com a existência da componente vertical de fluxo. Este comportamento faz com que a curva de dados de tempo x rebaixamento tenha um formato mais achatado na porção intermediária da curva, após decorrido um certo tempo do início do bombeamento, quando o efeito da compressão do aquífero e a expansão da água não tenham mais influência na liberação da água para o poço. Em seguida, os valores de tempo x rebaixamento voltam a seguir o formato da curva de Theis, e a componente de fluxo volta a ser horizontal, como no primeiro segmento da curva de dados.

O intervalo de tempo desta porção achatada da curva de dados é diretamente proporcional à distância de observação (r) e inversamente proporcional à espessura do aquífero (b) (Xiang 1996). Dessa forma, para os testes considerados, este valor é pequeno (inferior a 0,005), indicando que a porção achatada da curva será longa, o que explica a razão dos dados dos testes não mostrarem o último segmento da curva, que indica um comportamento de aquífero livre.

Entre os testes de bombeamento cadastrados, 20 deles puderam ser interpretados pelo método de Neuman, os quais mostraram valores menores de transmissividade e condutividade hidráulica que aqueles obtidos pelos outros métodos. Os parâmetros calculados a partir dos métodos de Theis e Cooper-Jacob são superestimados em relação ao método de Neuman pois não consideram o efeito da drenagem do aquífero. Esta mesma diferença foi obtida por Xiang (1996), o qual concluiu que o método de Neuman representa melhor as características de um aquífero livre, mesmo que as curvas de tempo x rebaixamento não tenham o formato em 'S', devido ao curto tempo do teste.

Os valores de transmissividade obtidos pelo método de Neuman variaram entre $5,59 \times 10^{-6}$ e $1,36 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, enquanto a condutividade hidráulica variou no intervalo de $2,41 \times 10^{-7}$ a $3,1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$, mostrando-se, em média, 3 a 4 vezes inferiores aos valores obtidos pelos outros métodos. Entretanto, a disposição espacial destes parâmetros mostrou-se semelhante, com os valores mais baixos ocorrendo nas porções sul e sudeste do município.

Para a estimativa do coeficiente de armazenamento é necessária a medida do rebaixamento em poços de observação, dessa forma, os dados dos testes monitorados

no próprio poço induzem em grandes erros nos valores calculados de coeficiente de armazenamento (Xiang 1996), não sendo portanto definidos neste estudo.

RELAÇÃO DA TRANSMISSIVIDADE E A CAPACIDADE ESPECÍFICA – RETA TEÓRICA

Com base na equação de Theis para fluxo em estado não estacionário, pode-se notar a relação entre a capacidade específica e a transmissividade, a qual pode ser útil nas investigações hidrogeológicas onde apenas um dos valores seja conhecido.

$$T = \frac{1}{4\pi} \frac{Q}{s} W(u)$$

Onde:

T = transmissividade

Q = vazão bombeada

s = rebaixamento

W(u) = função do poço

Segundo Theis et al. (1963), a capacidade específica não pode ser considerada o critério único para a determinação da transmissividade, pois este parâmetro depende de outros fatores como o diâmetro e profundidade do poço, comprimento dos filtros e a eficiência do desenvolvimento do poço. Entretanto, estes autores afirmam a viabilidade de estimativa da transmissividade a partir da capacidade específica, ou vice-versa.

Theis et al. (op. cit.) calcularam a relação da capacidade específica com a transmissividade a partir da simplificação da equação original de Theis, para estado transiente de fluxo.

Mas esta relação pode, também, ser calculada pela equação utilizada no método de Cooper-Jacob (Driscoll, 1986).

$$T = \frac{2,3 Q}{4\pi s} \log \frac{2,25 T t}{r^2 S}$$

Onde:

T = transmissividade

Q = vazão bombeada

s = rebaixamento

t = tempo

S = coeficiente de armazenamento

r = raio de observação

$W(u)$ = função do poço

Observa-se que a transmissividade é diretamente proporcional à capacidade específica, onde grandes mudanças em Q/s implicam em grandes variações de T . A transmissividade é, também, diretamente proporcional ao $\log t$, $\log 1/r^2$ e $\log 1/S$. Entretanto, como estão em termo logarítmico, sua influência como multiplicador é pouco significativa. Assim, assumindo-se valores estimados de raio de observação (r), coeficiente de armazenamento (S), transmissividade (T) e tempo (t), pode-se calcular a relação entre a transmissividade e a capacidade específica.

Driscoll (1986) calculou esta relação como $T = 2000Q/s$ para aquíferos confinados e $T = 1500Q/s$ para aquíferos livres, considerando unidades americanas de medida e adotando um raio de 0,5 pés, durante o tempo de 1 dia, $T = 30.000 \text{ gpd/pés}$, $S = 1 \times 10^{-3}$ e $S_y = 7,5 \times 10^{-2}$.

Considerando unidades métricas e assumindo-se um tempo de 1 dia, para um raio de observação de 0,1 m, $T = 200 \text{ m}^2/\text{d}$ e $S = 1 \times 10^{-3}$, a relação obtida para a reta teórica é $T = 1,4Q/s$. Se considerar um aquífero livre, com $S_y = 0,075$, esta relação da reta teórica fica $T = 1,06Q/s$.

A comparação das retas teóricas com os dados de transmissividade obtidos nos testes de bombeamento, ilustrada na Figura 4 mostrou que os pontos, principalmente calculados pelo método de Theis, aproximam-se melhor da reta teórica calculada para aquífero livre ($T = 1,06Q/s$). Neste gráfico estão plotadas as retas teóricas e as transmissividades obtidas pelos testes de bombeamento, interpretados pelos métodos de Theis, Cooper-Jacob e Neuman. Os valores calculados pelo método de Neuman são cerca de três vezes menor que aqueles calculados pelos demais métodos devido ao efeito da drenagem por gravidade e estes dados estão abaixo da reta teórica calculada para aquíferos livres.

CORRELAÇÃO EMPÍRICA ENTRE A TRANSMISSIVIDADE E A CAPACIDADE ESPECÍFICA

Apesar do uso freqüente da reta teórica definida com base nas equações de Theis e Cooper-Jacob, Razack & Huntley (1991) mostraram que a capacidade específica e a transmissividade apresentam uma melhor correlação através de uma análise empírica.

A capacidade específica e os valores de transmissividade calculados através dos testes de bombeamento mostraram uma boa correlação, superior a 89%, sendo que,

considerando os valores de T obtidos na interpretação pelo método de Theis, esta correlação foi superior, de 93% (Tabela 1).

Concordando com os resultados do estudo de Razack & Huntley (1991), a correlação do logaritmo destes parâmetros mostrou-se melhor que a correlação linear, com um coeficiente superior a 94% (Tabela 1).

Tabela 1 - Coeficiente de correlação entre a capacidade específica dos poços e a transmissividade calculada pela interpretação dos testes de bombeamento.

Método de determinação da transmissividade através do teste de bombeamento	Coeficiente de correlação entre Q/s x T (%)	Coeficiente de correlação entre log Q/s x log T (%)
Theis	93	98
Cooper-Jacob	89	96
Neuman	89	94

Este fato mostra que a correlação empírica dos dados de Q/s e transmissividade, proposta por Razack & Huntley (1991), é a melhor forma de estimar os valores de T para os poços que não possuem a planilha do teste de bombeamento, uma vez que as retas teóricas não apresentam boa representatividade dos dados obtidos como mostra a Figura 4. Observa-se, ainda, que os dados em escala bilogárítmica apresentam uma melhor correlação, como mostra a Tabela 1.

Dada as características litológicas e o comportamento da maioria das curvas de tempo x rebaixamento dos testes de bombeamento, o aquífero foi considerado predominantemente livre, eventualmente confinado. Dessa forma, escolheu-se os valores de transmissividade calculados pelo método de Neuman, somando as informações de um total de 20 testes de bombeamento, para determinar a correlação com os valores de capacidade específica. A equação de correlação obtida entre estes dados foi $T = 0,8685 Q/s^{1,1123}$, mostrando um coeficiente de correlação de 94,4% (Figura 5). Hughson et al. (1996) mostraram que, para menos de 30 pares de dados de Q/s x T, a regressão loglinear é a metodologia mais apropriada para estimativas de transmissividade em locais sem informação, permitindo, em seguida, uma melhor interpolação espacial para a definição das linhas de isotransmissividade.

Calculando-se as transmissividades dos demais poços por esta relação empírica, os valores variaram entre $1,42 \times 10^{-6}$ a $2,75 \times 10^{-3}$ m²/s e a condutividade hidráulica ficou

entre $2,98 \times 10^{-8}$ a $1,5 \times 10^{-4}$ m/s, sendo que os menores valores, inferiores a 5×10^{-6} m/s, são encontrados na porção sul e sudeste do município. Valores de condutividade hidráulica superiores a 1×10^{-5} m/s predominam na porção centro-sul do município, indicando uma melhor produtividade do aquífero, refletindo-se na existência de poços de maior produtividade.

Corroborando este fato, têm-se nesta região central do município, poços com vazões superiores a $50 \text{ m}^3/\text{h}$, muitos dos quais utilizados para abastecimento público.

A Figura 6 ilustra esta distribuição da condutividade hidráulica, sendo que foram utilizados os valores calculados pela interpretação do teste de bombeamento. Somente para os poços que não apresentaram as planilhas do teste, utilizou-se a estimativa da condutividade hidráulica a partir da equação de correlação entre a transmissividade e a capacidade específica. Cabe ressaltar que estas condutividades hidráulicas referem-se ao Aquífero Sedimentar, representado predominantemente pela Formação Resende, uma vez que a maior parte dos poços possui filtro atravessando esta unidade. Alguns poços, como no bairro de Guamirim, exploram conjuntamente o aquífero cristalino, onde o valor de condutividade hidráulica reflete estas duas unidades.

A análise destes dados permite a identificação de áreas com melhores parâmetros hidráulicos, que refletem na melhor produtividade dos poços. Este tipo de avaliação, associado à geometria do aquífero e aos tipos litológicos, pode subsidiar o planejamento do uso e o cálculo de reservas de água.

CONCLUSÕES

A relação entre a capacidade específica e a transmissividade pode ser observada pela equação de Theis, entretanto, a reta teórica calculada pela simplificação desta equação pode não apresentar boa representatividade dos dados reais.

Com base no estudo de Razack & Huntley (1991), foi conduzido neste trabalho, a avaliação da correlação empírica destes dois parâmetros, mostrando melhor resultado que a reta teórica calculada a partir da equação de Theis.

Os valores de transmissividade utilizados na correlação foram obtidos a partir da interpretação dos testes de bombeamento pelo método de Neuman, uma vez que as características hidrogeológicas do aquífero indicam um comportamento livre.

A correlação logarítmica dos parâmetros de transmissividade e capacidade específica mostrou um coeficiente superior (94%) à correlação linear (89%), resultando na equação $T = 0,8685 Q/s^{1,1123}$.

Calculando-se as condutividades hidráulicas a partir da equação de correlação, de forma a complementar os dados de condutividade hidráulica calculados a partir da interpretação dos testes de bombeamento, foi possível identificar a ocorrência de valores mais elevados, superiores a 5×10^{-6} m/s, na porção central do município, onde ocorrem os poços mais produtivos, com vazões superiores a 50 m³/h.

O zoneamento destas áreas com melhores parâmetros hidráulicos permite identificar as regiões com maior probabilidade de melhores vazões para futuros poços a serem perfurados.

Este tipo de informação pode vir a subsidiar medidas de proteção do aquífero e, mesmo, destinar áreas a serem reservadas para exploração de poços para abastecimento público. Além disso, a determinação dos parâmetros hidráulicos é uma das bases para o cálculo das reservas subterrâneas necessárias ao planejamento do uso da água.

Esta equação de correlação é específica para cada situação, variando de acordo com a geologia e hidrogeologia do local estudado. A equação de correlação deve ser determinada utilizando-se valores de transmissividade calculados a partir de testes de bombeamento de poços existentes na área de interesse, de forma a estimar e complementar os valores em regiões deficientes de dados.

Dessa forma, este método deve ser utilizado com critério em situações específicas para auxiliar na complementação de análise de dados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração das empresas de perfuração da região, em especial a antiga Hidrogesp de São José dos Campos, pelo fornecimento de dados dos testes de bombeamento e também ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) por permitir a consulta ao cadastro de poços do Estado de São Paulo.

Cabe também um agradecimento à Waterloo Hydrogeologic Inc. por permitir a utilização do programa AquiferTest para a interpretação dos dados.

BIBLIOGRAFIA

- BUTLER, J. J. 1988. Pumping tests in nonuniform aquifers – the radially symmetric case. *Journal of Hydrology*, 101 (1-4): 15 – 30.
- BUTLER, J. J. 1990. The role of pumping tests in site characterization: some theoretical considerations. *Ground Water*, 28 (3): 394 – 402.
- DAWSON, K. J. & ISTOK, J. D. 1991. *Aquifer testing. Design and analysis of pumping and slug tests*. Lewis Publishers, Flórida, EUA. 344 p.

- DRISCOLL, F. G. 1989. *Groundwater and wells*. Johnson Filtration Systems Inc., Minnesota, EUA, 2^a ed., 1089 p.
- HUGHSON, L.; HUNTLEY, D.; RAZACK, M. 1996. Cokriging limited transmissivity data using widely sampled specific capacity from pump tests in an alluvial aquifer. *Ground Water*, 34 (1): 12 - 18 p.
- IRITANI, M. A. 1998. *Modelação matemática tridimensional para a proteção das captações de água subterrânea*. (Tese de Doutorado, IGc/USP, inédita). 200 p.
- KRUSEMAN, G. P. & RIDDER, N. A. 1979. *Analysis and evaluation of pumping test data*. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Holanda. Bulletin 11, 200p.
- LEE, J. & LEE, K. 1999. Analysis of the quality of parameter estimates from repeated pumping and slug tests in a fractured porous aquifer system in Wonju, Korea. *Ground Water*, 37 (5): 692 – 700.
- NEUMAN, S. P. 1974. Effect of partial penetration on flow in unconfined aquifers considering delayed gravity response. *Water Resource Research*, 10 (2): p. 303 – 312.
- NEUMAN, S. P. 1975. Analysis of pumping test data from anisotropic unconfined aquifers considering delayed gravity response. *Water Resources Research*, 11 (2): p. 329 – 342.
- RAZACK, M. & HUNTLEY, D. 1991. Assessing transmissivity from specific capacity in a large and heterogeneous alluvial aquifer. *Ground Water*, 29 (6): 856 - 861.
- THEIS, C. V.; RUSSEL, H. B.; MEYER, R. R. 1963. Estimating the transmissibility of aquifers from the specific capacity of wells. Methods of Determining Permeability, Transmissibility and Drawdown. U. S. Geological Survey, *Water Supply Paper*, 1536-I, p. 331-341.
- WHI - WATERLOO HYDROGEOLOGIC INC. sem data. *Aquifer Test. User's manual*. Waterloo Hydrogeologic Inc., Waterloo, Canadá. 176 p.
- XIANG, J. 1996. Evaluation of hydraulic conductivity of Carson County Well Field, Amarillo, Texas. *Ground Water*, 34 (6): 1042- 1049.

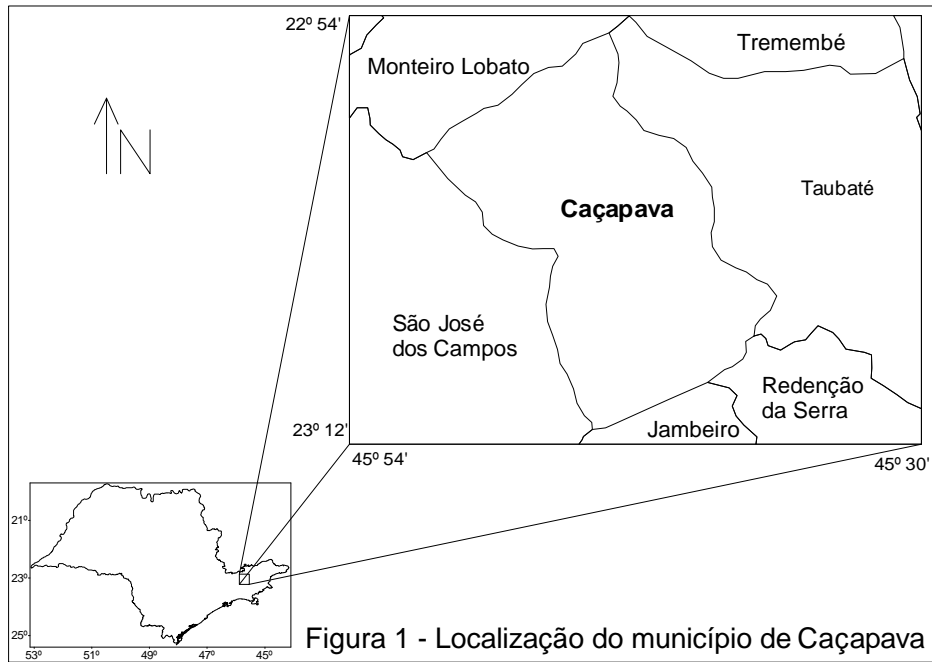
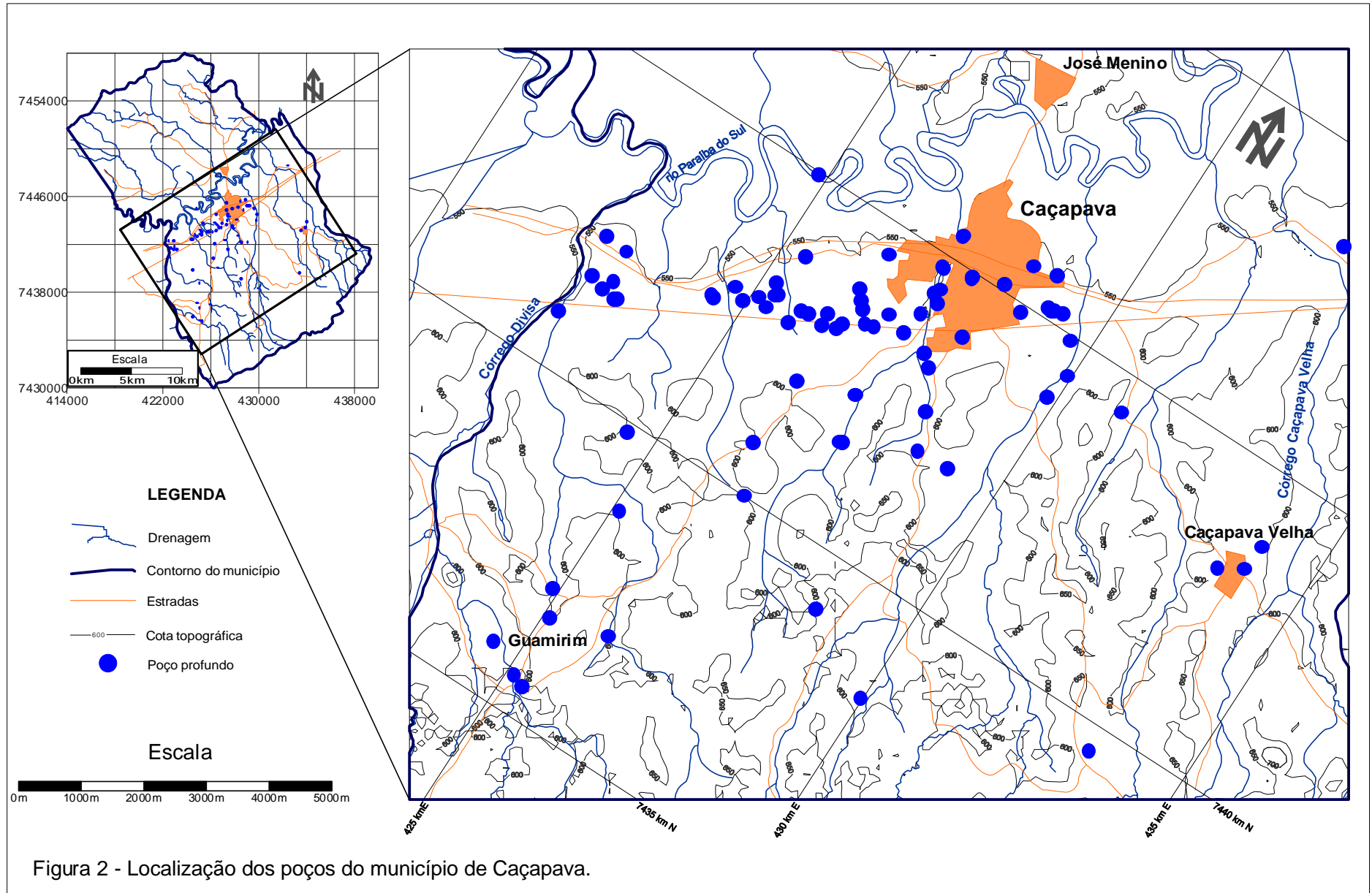


Figura 1 - Localização do município de Caçapava



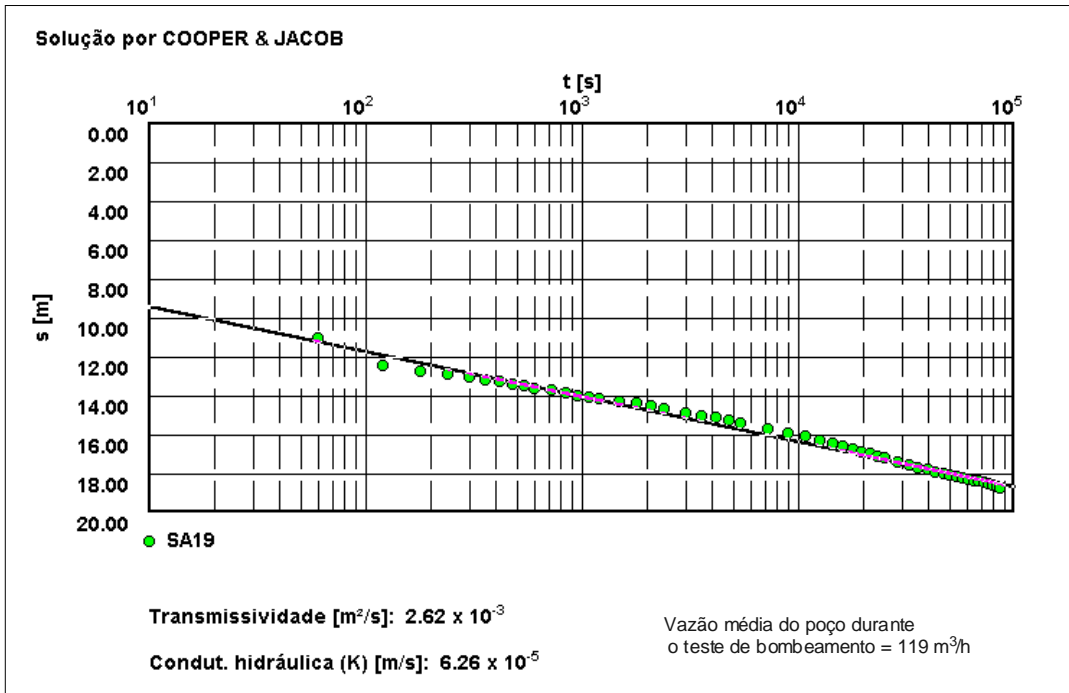
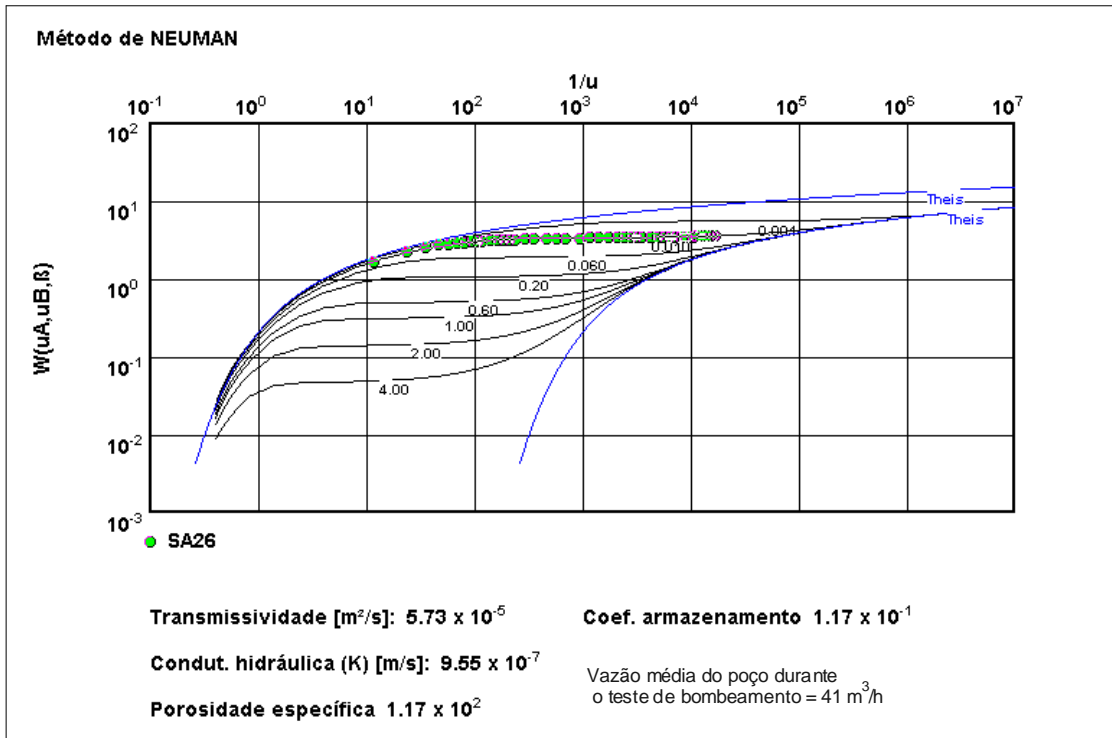
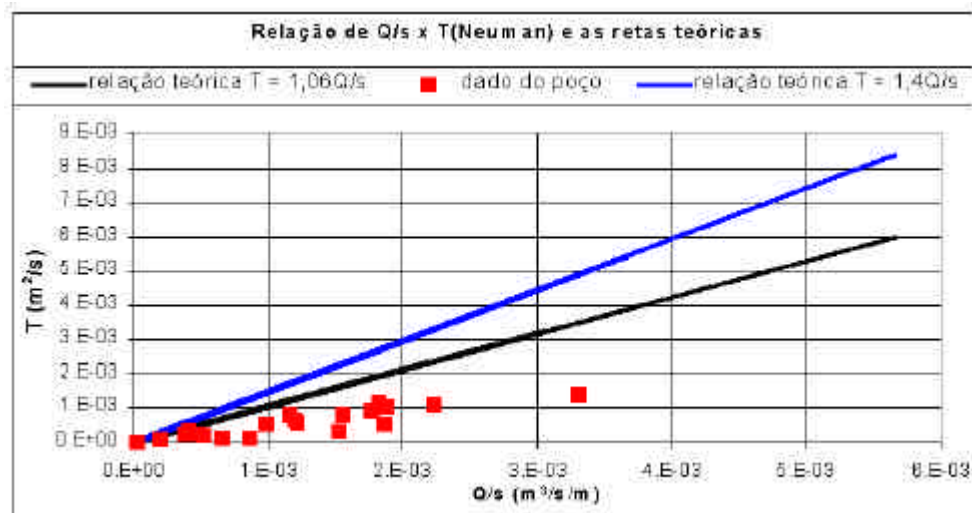
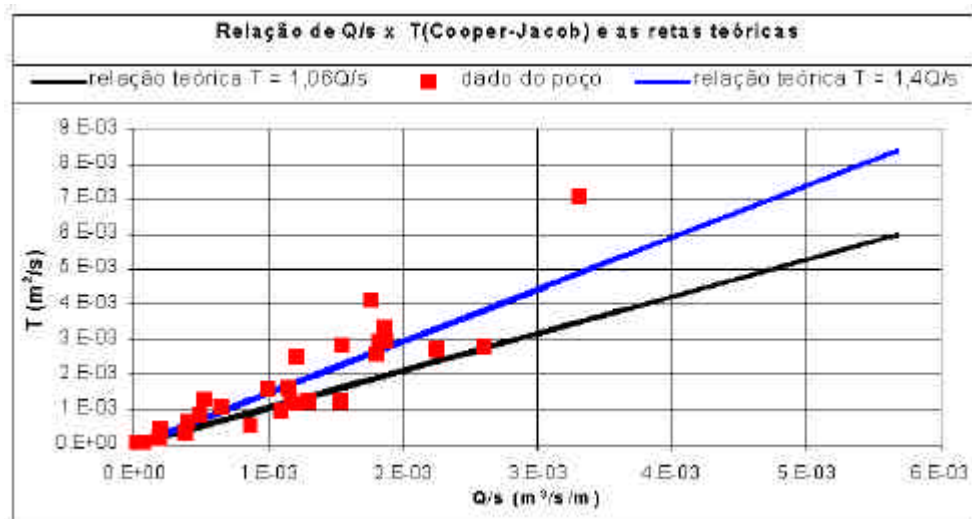
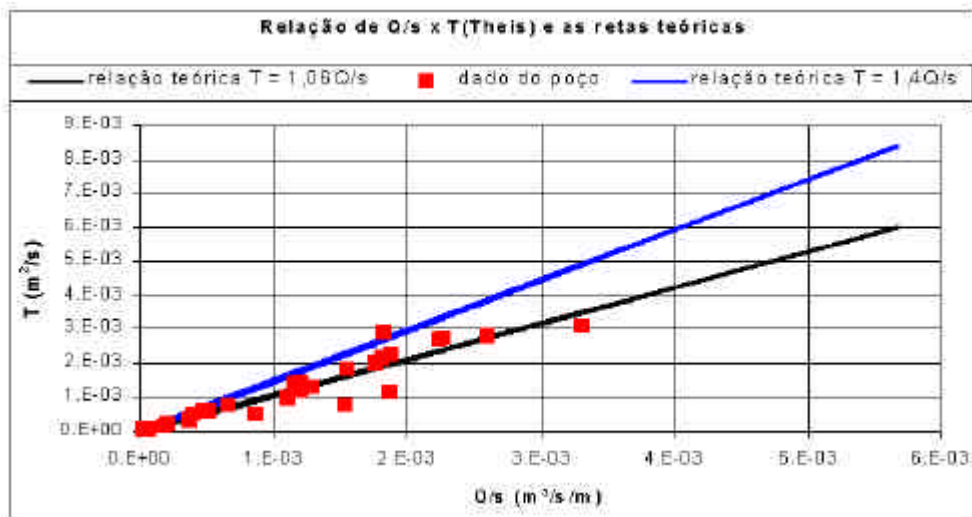
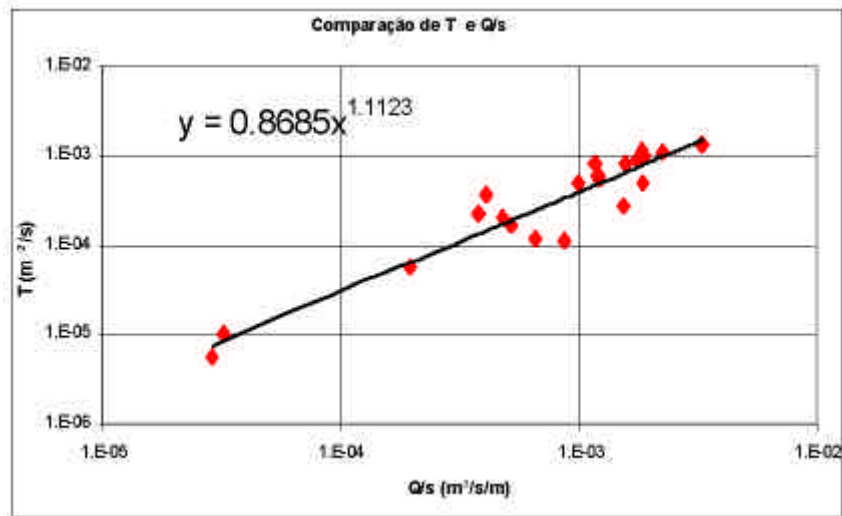


Figura 3 - Interpretação dos testes de bombeamento pelo método de Neuman e Cooper-Jacob utilizando o programa AquiferTest



Q/s = capacidade específica
 Transmissividade (T) calculada pelos métodos de Theis, Cooper-Jacob e Neuman
 Retas teóricas para aquíferos livre (T=1,06 Q/s) e confinado (T=1,4Q/s)

Figura 4 - Relação dos dados de capacidade específica e transmissividade com as retas teóricas para aquíferos livre e confinado



- Q/s = capacidade específica
- Transmissividade (T) calculada a partir dos testes de bombeamento interpretados pelo método de Neuman
- reta de correlação: $T = 0,8685 Q/s^{1,1123}$

Figura 5 - Correlação da capacidade específica com a transmissividade obtida a partir dos testes de bombeamento calculados pelo método de Neuman

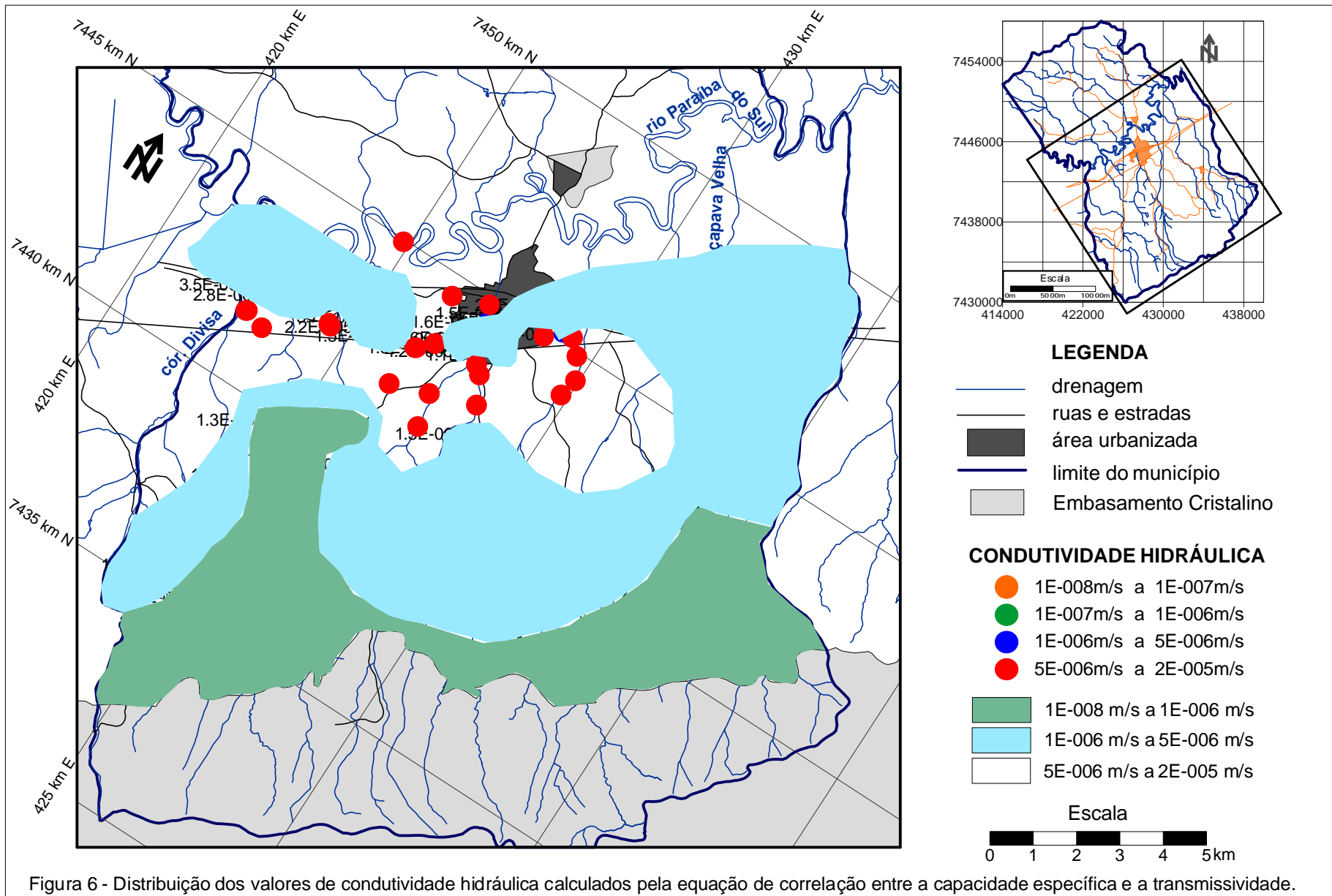


Figura 6 - Distribuição dos valores de condutividade hidráulica calculados pela equação de correlação entre a capacidade específica e a transmissividade.

