

# ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS HIDROGEOLÓGICOS DE POÇOS TUBULARES PROFUNDOS DO MUNICÍPIO DE CURITIBA-PARANÁ

## STATISTICAL ANALYSIS OF HYDROGEOLOGICAL DATA OF TUBULAR WELLS CURITIBA'S MUNICIPALITY-PARANÁ

Lilian Chavez-Kus<sup>1</sup>  
Eduardo Salamuni<sup>2</sup>

### RESUMO

A área abrange o município de Curitiba, Paraná, posicionado sobre rochas da Formação Guabirota, que por sua vez está sotoposta ao Complexo Atuba, formado por granitóides deformados, gnaisses e anfibolitos, afetados por fraturas que permitem a circulação de água subterrânea e se constitui em um aquífero fraturado. O objetivo da pesquisa é reconhecer e comparar dados hidrogeológicos relativos ao aquífero por análise estatística convencional, visando identificar a distribuição geográfica e as características dos poços tubulares profundos. Foram complementados e atualizados bancos de dados hidrogeológicos previamente existentes, reunindo-se informações de 1.297 poços perfurados entre os anos de 1950 a 2001. Grande parte das sondagens foi georeferenciada em campo. A análise estatística resultou na familiarização dos dados e a detecção dos padrões de irregularidades existentes, além da determinação de tendências e agrupamentos. Constatou-se que nos últimos 10 anos houve acréscimo na realização de novas sondagens, caracterizando aumento da demanda pela utilização de água subterrânea para os diversos usos. No centro e nos bairros circunvizinhos ocorre utilização mais pronunciada da água subterrânea, seguida pelos bairros industriais e aqueles com concentração de serviços. A profundidade média dos poços tubulares é de 112 m, podendo chegar até a 390 m. As variáveis "profundidade" e "entrada d'água" são correlacionadas até os 220 m de profundidade, que se constitui a profundidade máxima verificada. O horizonte no qual a água subterrânea circula não se limita a apenas um único nível, devido às estruturas geradas pela tectônica rúptil. Embora a média geral da "vazão" seja de 3,6 m<sup>3</sup>/h, ocorrem casos de até 44 m<sup>3</sup>/h. Os valores extremos de vazão situam-se em locais onde as sondagens chegaram a estruturas, ou intersecção de estruturas, francamente favoráveis à circulação da água subterrânea. Também foi caracterizada a presença de heterogeneidade nas variáveis hidrogeológicas locais. Os resultados obtidos permitem que, em análise futura, os dados sejam homogêneos com maior facilidade através de análise estrutural e geoestatística das variáveis do aquífero fissural. O trabalho permite a espacialização dos dados hidrogeológicos de acordo com o uso do solo e a subdivisão político-administrativa do município.

*Palavras-chaves:* Município de Curitiba, poços tubulares, estatística clássica

1 Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná – Pós-Graduação. <isolde@uol.com.br>

2 Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná – Professor. <salamuni@geologia.ufpr.br>

## EXTENDED ABSTRACT

The studied area is made up solely of the municipality district of Curitiba (PR), which is almost totally positioned on the rocks of the Guaratuba Formation, in Curitiba Basin. It is placed beneath the Atuba Complex, formed by deformed granitoids, gneiss and amphibolites, affected by an intricate net of generally open fractures that give away an effective circulation of groundwater. The main objective of this research is to identify and to compare the hydrogeological data referring to the fractured aquifer of Atuba Complex, through a conventional statistical analysis. The use of the statistics sought to identify the geographic distribution and characteristics of the variables relative to the deep tubular wells of the studied area (figures 1). In the research, hydrogeological databases, examined previously by Salamuni (1981), Nogueira Filho (1997) and Salamuni (1998), were complemented, updated and reorganized. Therefore, information from 1297 tubular wells was gathered, with bore holes comprising the period from 1950 to 2001 (figure 4). Most of the bore holes were georeferenced in the field, with the aid of a GPS. Through the statistical analysis, the familiarization of the data occurred and irregularity patterns were able to be detected. Moreover, through the identification of the structure of the original data, the presence of tendencies and groupings were also detected (figures 5 and 6). It was verified that, in the last 10 years, there was a vertiginous growth in the demand for new bore holes (figure 12 and 13), demonstrating a sharp demand for the use of groundwater as a supply in the provisioning of the city of Curitiba. The main use of the groundwater occurs in the city center and surrounding neighborhoods, followed by the industrial neighborhoods where there is a notable concentration of services (figure 6). The medium depth of the tubular wells in the municipal is of 112 m, and in extreme cases it reaches 390 m (figures 10 and 11). The variable "depth" and "entrance of water" are positively correlated until 220 m, starting from the surface of the land (figures 17 until 21). Below this horizon there is no information that permits speculation. The horizon in which the groundwater circulates is not only limited to a single level, as a function of the response to a structural conditioning generated by a tectonic rupture. Although the general average of the variable drainage is of 3.6 m<sup>3</sup>/h, exceptional cases are verified of up to 44 m<sup>3</sup>/h (figures 7 until 9). This heterogeneity of the data shows that the variability of the phenomenon in the area is quite big. The extreme drainage values represent the places where the surveys reached structural alignments or where favorable structures intersected the circulation of groundwater. Through the statistical analysis of the data, the presence of a heterogeneous space pattern was confirmed in the hydrogeological variables of the area. That is a first step in the treatment of this information, which will, in the future, allow the data to be homogenized more easily through a structural and geostatistical analysis of the fractured aquifer variables. The study presents a good dimension of the spacialization of the hydrogeological data according to the use of the soil and the political-administrative subdivision of the municipal district.

*Key-words:* Curitiba municipality; tubular wells, classical statistics.

## INTRODUÇÃO

O município de Curitiba conta com cerca de 2000 sondagens para poços tubulares profundos, estando a maioria absoluta em pleno funcionamento. Deste total, as pesquisas que resultaram neste artigo levantaram informações, mais ou menos consistentes de cerca de 1297 poços. A vazão total estimada, de acordo com os dados obtidos das sondagens e a projeção da informação existente, pode chegar a pouco mais de 1,2 m<sup>3</sup>/s nos períodos de bombeamento mais intensos. Tal vazão corresponde a aproximadamente 15% do volume de água consumido no município, variando com a sazonalidade anual do consumo de água.

Um fato alarmante observado durante o início dos trabalhos de campo para a verificação do posicionamento geográfico dos poços tubulares, foi o adensamento de poços em diversas áreas da cidade de Curitiba, principalmente no centro e bairros adjacentes. Várias foram

as reclamações de proprietários de poços, principalmente em condomínios, quanto à nítida diminuição da vazão após a construção de outros poços nas vizinhanças. Apesar de se observar que a falta de manutenção dos poços tubulares também é grande responsável para a perda de qualidade do funcionamento dos mesmos. É muito provável que esteja ocorrendo interferências devido à proximidade e adensamento entre os poços de captação da água subterrânea no aquífero fraturado. Na região do bairro da Cidade Industrial, a maioria das sondagens é realizada em terrenos de grandes empresas e indústrias e, com a crescente demanda na exploração de água subterrânea, também foi constatada a diminuição na produtividade de vários poços devido à proximidade daqueles construídos nas vizinhanças já pré-existentes.

Como não há um controle rígido quanto à posição de novas sondagens para poços tubulares em Curitiba, e portanto sem a consideração das limitações físicas do aquífero, corre-se o risco de submetê-lo à super explora-

ção, fato este já citado por Riad Salamuni (informação verbal) e Nogueira Filho (1997). Com o rápido crescimento demográfico e a pressão ainda maior dada pela demanda contínua no consumo de água subterrânea, o problema da exploração acima do permitido pode ter alcançado pontualmente, como por exemplo na região central da cidade ou no bairro Alto Bigorriho, proporções ainda maiores, existindo relatos de poços desativados por se apresentarem improdutivos, após terem sido utilizados de forma normal.

Os trabalhos de sistematização das informações relativas a poços tubulares profundos no município de Curitiba, foram realizados, então, com o intuito de permitir o conhecimento do quadro atual da exploração da água subterrânea em Curitiba e, principalmente, de se proceder as análises espaciais de tais poços, bem como a dos seus dados hidrogeológicas gerais. Este trabalho mostra a análise estatística clássica destes dados, como primeiro passo para o reconhecimento da possibilidade ou não de haver interdependência entre os dados.

A geoestatística, não empregada aqui, necessita de análise inicial por meio da estatística clássica, visto

que há necessidade do entendimento de questões inerentes à distribuição espacial dos dados. A estatística clássica foi usada como auxiliar para a própria análise exploratória que se procedeu como os dados hidrogeológicos do aquífero fraturado e até então não foi feito nenhum trabalho envolvendo esta questão na área. Trabalhos anteriores (Salamuni 1981 e Nogueira Filho, 1997) analisaram a questão da localização dos poços tubulares profundos no município de Curitiba. O primeiro fez uma divisão hidrogeológica preliminar da região de Curitiba e a localização dos principais usos da água subterrânea e o segundo procurou trabalhar de forma geoestatística os dados, porém sem uma prévia divisão local.

A região analisada é dominada pelo aquífero fissural do embasamento da Bacia de Curitiba, representado pelo Complexo Atuba (Siga Jr. et al. 1995) e, portanto, sujeito ao controle estrutural da deformação rúptil, que por definição é heterogênea.

Esta característica, somada ao fato de que poços tubulares sempre estão concentrados onde há maior fomento da atividade socioeconômica e também ao fato de

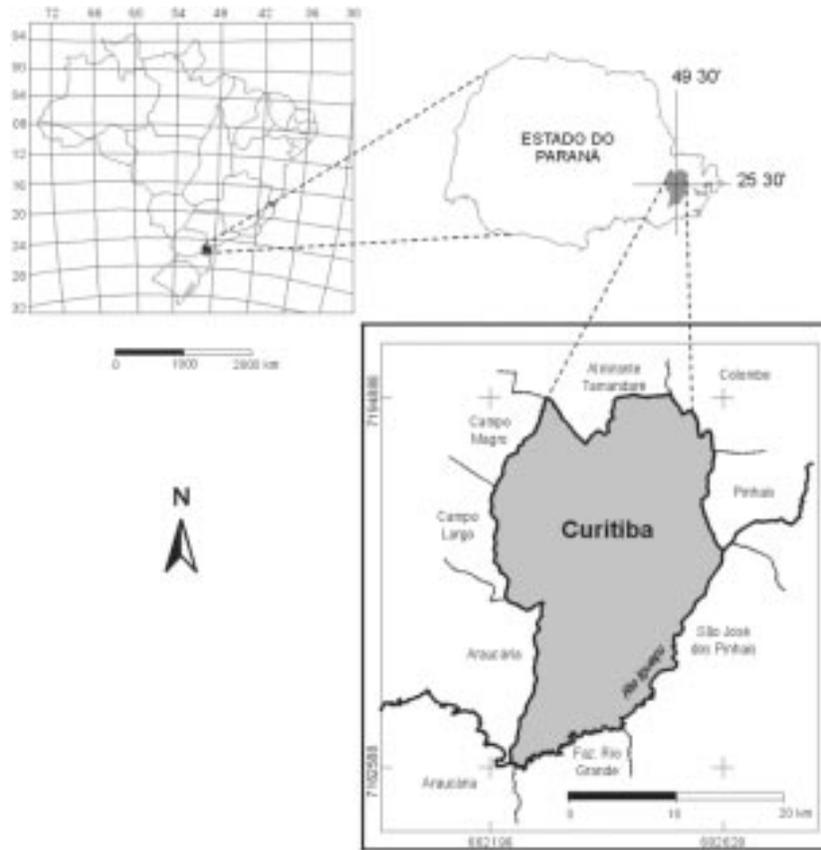


Figura 1: Mapa de localização do município de Curitiba, área onde foi realizado o trabalho. *Map of location of the municipality of Curitiba, area where the work was researched.*

que a tecnologia de sondagem evoluiu, possibilitando que sejam atingidas profundidades maiores em menos tempo, condicionaram a discrepância e a heterogeneidade dos dados utilizados neste trabalho. Tal discrepância é aqui analisada com o intuito de se obter padrões hidrogeológicos representados pelos dados existentes.

## LOCALIZAÇÃO

A área de estudo engloba a cidade de Curitiba, PR, compreendida entre as coordenadas geográficas 49°07' e 49°24'W e 25°25' e 25°40'S (figura 1). Geologicamente a região abrange a Bacia Sedimentar de Curitiba e seu embasamento, localizada na porção centro-sul do Primeiro Planalto Paranaense.

## OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é fazer uma análise estatística convencional visando reconhecer a distribuição espacial e as características das variáveis relacionadas aos poços tubulares profundos do município de Curitiba. Não é intenção nesta pesquisa realizar uma modelação hidrogeológica dos dados, mas sim reconhecer a situação espacial dos dados hidrogeológicos em uma fase que antecede a uma análise geoestatística.

A análise exploratória espacial inicial dos dados, aqui abordada, objetivou a melhoria da sistematização dos dados em função do registro ordenado das informações e pela representação gráfica que resume os resultados obtidos.

Outro aspecto importante abordado, foi o de classificar os dados em variáveis qualitativas (nominal ou ordinária) ou quantitativas (contínuas ou discretas). Essa é uma necessidade em qualquer trabalho de análise e integração de informações. Por exemplo, na construção atual de estratégias de exploração de um bem mineral a lógica matemática, onde é utilizada a variável quantitativa, tem sido cada vez mais integrada à pesquisa qualitativa (Rostirolla et al. 1996 e Rostirolla 1997). A análise qualitativa está relacionada principalmente ao conhecimento geológico a respeito do sistema controlador da ocorrência ao bem mineral (no caso do presente trabalho, a água), sendo este fator considerado como mais importante na exploração. Os dados quantitativos representam os valores numéricos das variáveis, mas a interpretação destes resultados depende do conhecimento em si do fenômeno presente.

A idéia aqui é mostrar que os dados hidro-geológicos permitem uma sistematização importante, no que diz respeito à sua espacialização. Após esta sistematização, facilmente poderão ser interpretados à luz de fe-

nômenos geológicos controladores da circulação da água subterrânea, que constitui uma tarefa que extrapola os objetivos deste trabalho.

## MÉTODOS DE TRABALHO

A utilização da estatística clássica neste trabalho segue a conceituação de Landim (1998) e tem como pressuposto:

- a) a familiarização dos próprios dados;
- b) a detecção dos padrões de irregularidades, ou seja, as discrepâncias existentes;
- c) a identificação da estrutura dos dados originais, presença de tendências ou agrupamentos.

Para se atingir o conhecimento pleno dos dados e o exposto anteriormente, a planilha de dados foi integrada ao banco de dados georeferenciados utilizando-se o programa ArcView v. 3.2®, que também pode ser normalmente visualizada pelo usuário por outros programas que aceitem o formato "dbf", a exemplo do programa Excell v.2000®.

A criação do banco de dados em ambiente de SIG a partir dos dados hidrogeológicos possibilitou que uma variada gama de informações fossem armazenadas, obtidas de atividades descritas abaixo:

- levantamento em empresas privadas de sondagem para água subterrânea, dos perfis e dados sobre os poços tubulares profundos do município de Curitiba para gerar um cadastro atualizado destas informações até o ano de 2001. Este cadastro foi montado em meio digital e pode ser lido com facilidade por meio de planilhas automáticas em formato "xls" facilitando a consulta do usuário;
- trabalhos de campo para localizar as coordenadas dos poços tubulares profundos com ajuda de GPS, do tipo Garmin Etrex (12 *Chanel*), com erro de precisão entre quatro e vinte metros. No total foram georeferenciados 628 poços tubulares.

Por uma questão de conveniência optou-se por trabalhar estatisticamente com os valores originais dos dados no programa Statistica v. 5.0®, pois o mesmo ilustra de forma mais interativa ao leitor as características básicas das variáveis.

Por princípio o conhecimento da área de estudo é fundamental para que seja possível estabelecer uma relação entre a distribuição espacial das informações e as direções de maior e menor covariância dos dados (Isaaks e Srivastava 1989). Mesmo considerando que a seleção dos dados de modo relativamente arbitrário, talvez subestime a quantidade de informações, é certo que a mesma conduz a erros menores.

Os dados coletados referentes às sondagens para água subterrânea totalizaram 1.297 casos relativos a poços tubulares profundos, sendo que deste universo 770 dados referem-se a poços perfurados entre os anos de 1950 e 1990, informações estas anteriormente adquiridas pelos professores Riad Salamuni e Eduardo Salamuni, constantes do arquivo pessoal de ambos.

Tendo a colaboração da maioria das empresas privadas de sondagens para consulta de informações, foi feita na pesquisa de Chavez-Kus (2003). A atualização deste cadastro a partir dos anos 1990 até 2001 ampliou este universo para 1297 poços tubulares profundos perfurados no município de Curitiba e arredores.

Diretamente dentro dos limites do município de Curitiba constam, neste cadastro, 867 poços considerado-se ainda a existência de pelo menos mais 200 poços, cujas informações não se obteve acesso. O total de dados analisados não é o mesmo, em cada uma das diferentes variáveis consideradas, em função de nem sempre as mesmas situações se apresentarem como estatisticamente válidas e, portanto, alguns dados foram desconsiderados devido à sua baixa consistência.

## **AQÜÍFEROS NO MUNICÍPIO DE CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA**

Na área de estudo os sistemas de aquíferos existentes são três, sendo estes representados pelas rochas do embasamento (Complexo Atuba), lentes arcoseanas da Formação Guabirotuba e os depósitos aluvionares recentes. Dentre os sistemas aquíferos acima citados, os principais são aqueles hospedados em fraturas e juntas que estruturam as rochas do embasamento. Nas rochas fraturadas do Complexo Atuba a circulação das águas nestas rochas se faz através de descontinuidades estruturais.

O presente trabalho é desenvolvido exclusivamente por meio dos dados hidrogeológicos do aquífero fissural representado pelo embasamento da Bacia de Curitiba. Os sedimentos desta bacia, sobrepostos ao embasamento, principalmente aqueles da Formação Guabirotuba, são considerados como aquíferos, com pouquíssima expressão, do ponto de vista de volume de vazão, mesmo as lentes areno-siltosas ali encontradas (Salamuni 1998). Portanto, tendo em vista a caracterização dos sedimentos da Bacia de Curitiba feita por este autor, seria mais conveniente não utilizar a denominação de aquífero para a Formação Guabirotuba, como tem sido apresentado de maneira informal já que a mesma é composta predominantemente por argilas.

Para Rosa Filho et al (1998) as águas presentes nos migmatitos e gnaisses do Complexo Atuba são apro-

priadas para consumo humano, sendo classificadas como bicarbonatadas cálcio-magnesianas, contendo teores de sólidos totais dissolvidos entre 100 mg/L e 150 mg/L, pH entre 6,5 e 7 e dureza inferior a 100 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ . No aquífero Guabirotuba a concentração média de sólidos totais dissolvidos é da ordem de 150 mg/L, dureza de 30 a 230 m/L de  $\text{CaCO}_3$  e pH varia entre 6,8 a 8,1.

Nos aquíferos aluvionares, as camadas de areias e cascalhos que preenchem a calha do rio Iguaçu, são os sedimentos que mais merecem destaque sendo favoráveis no armazenamento de águas subterrâneas.

Na região metropolitana de Curitiba, Salamuni (1981), subdividiu a área em zonas correspondentes a faixas de vazões médias, adotando como critério básico o condicionamento geológico e o número de sondagens. O autor aponta, na região correspondente ao município de Curitiba, valores de vazões médias na faixa de 2 a 5  $\text{m}^3/\text{h}$  e em segundo plano entre 3 a 8  $\text{m}^3/\text{h}$ . O zoneamento dos aquíferos foi realizado em função das litologias e estrutura das diferentes formações. Já com relação às vazões obtidas especificamente na cidade de Curitiba, Salamuni (1998) aponta algumas regiões onde foram observados poços de alta vazão no embasamento. Estas ocorrências pontuais foram verificadas próximas a alinhamentos estruturais, na porção norte do município (região do bairro de Santa Cândida), região sul e sudeste (bairro da Cidade Industrial) e região oeste (bairro Seminário, próximo ao rio Barigüi). O autor ainda comenta o fato de que em função da maior espessura dos sedimentos e do menor grau de fraturas das rochas do embasamento em relação às bordas da bacia, é de se esperar que menores vazões sejam encontradas na porção central da Bacia de Curitiba.

Porém ocorrem exceções, tais como um caso com vazão maior que 35  $\text{m}^3/\text{h}$  no centro da cidade. Para dar um panorama geral da produtividade dos poços tubulares profundos localizados em Curitiba, na figura 2 foram situados mais de 700 poços, agrupados de acordo com intervalos definidos de vazões, sobre a divisão regional do município de Curitiba, de acordo com o Instituto de Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC, 2001) e o mapa de lineamentos de relevo interpretados na área. Os lineamentos de relevo, definidos por Salamuni et al. (1999), foram utilizados em Sistema de Informação Geográfica em ambiente computacional do programa ArcView 3.2®.

## **GEOLOGIA LOCAL E ESTRUTURAL**

Na área, as rochas cristalinas aflorantes do Complexo Atuba (Siga Jr. et al. 1995) são representadas principalmente por corpos gnaissicos-graníticos, anfibolitos

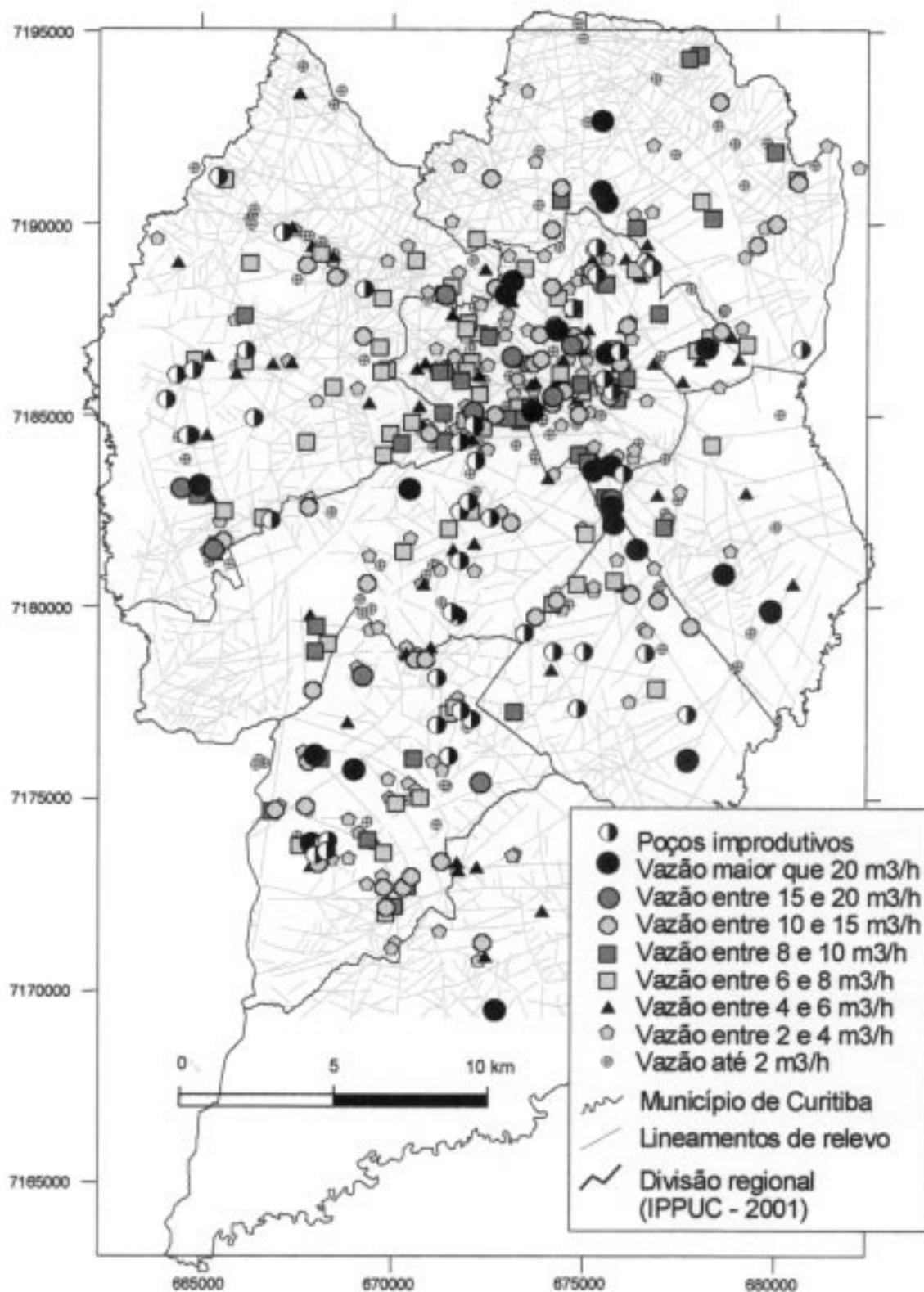


Figura 2: Distribuição dos poços tubulares profundos no município de Curitiba, com divisão dos respectivos volumes de vazão e a divisão administrativa regional da cidade. *Distribution of the tubular wells in the municipality of Curitiba, with division of the respective flow volumes and the regional administrative division of the city.*

e migmatitos indiferenciados. Na porção noroeste são observados metassedimentos justapostos sobre estas rochas cristalinas por meio de falhas. Cortando estas litologias na direção NW-SE, observam-se diques de diabásio. Sobrepostos a estes conjuntos ocorrem os sedimentos da Formação Guabirotuba, os sedimentos da Formação Tinguis e os depósitos aluvionares recentes, recobrimo as camadas sedimentares e as rochas do embasamento de forma descontínua.

Siga Jr. et al. (1995) e Salamuni et al. (2003) apontam como estruturação predominante no embasamento de Curitiba, uma foliação ( $S_n$ ) de transposição de características dúcteis nos leucogranitos, gnaisses granulíticos e gnaisses bandados migmatizados, geralmente com mergulhos altos, ora orientados para NW ora para SE. Ainda pode ser encontrada uma superfície anterior ( $S_{n-1}$ ) pouco preservada a qual tem mergulho de baixo ângulo em relação à  $S_n$ .

Os metamorfitos foram submetidos a eventos transcorrentes responsáveis pela superimposição de uma deformação mais rúptil a dúctil-rúptil, orientada subparalela à superfície  $S_n$ . A interseção entre os planos destas duas foliações ( $S_{n-1}$  e  $S_n$ ) gera lineações na rocha e também estiramento mineral posicionado em baixo ângulo de mergulho, o que indica uma tectônica de cisalhamento com componente lateral ou direcional.

A caracterização geométrica dos planos estruturais que caracterizam o aquífero fissural na área, ocorre pela superposição, no embasamento, de pelo menos dois eventos tectônicos rúpteis, havendo dificuldade em estabelecer quais as estruturas presentes são contemporâneas a uma mesma fase. Chavez-Kus (2003) apresenta a geometria mais representativa das estruturas que definem um padrão sistemático. Segundo esta autora, as falhas transcorrentes e as fraturas subverticalizadas de direções N-S e N20-30E são os planos que se mostraram mais favoráveis a circulação de água subterrânea, mais efetiva ainda na interseção destas estruturas.

## ESTRUTURA E ANÁLISE DOS DADOS

Para realizar as análises exploratórias foram selecionados 864 casos de um total de 1.297 poços localizados exclusivamente no município de Curitiba. Este universo não corresponde ao total de casos das sondagens em Curitiba, pois muitos não tiveram seus dados recuperados. Entretanto, o número de poços foi considerado suficiente para a caracterização potencial do aquífero utilizando-se a análise espacial pelo uso da estatística clássica. De acordo com os dados analisados (864 casos), o total potencial da vazão destes poços tubulares profundos é de 1,21 m<sup>3</sup>/s (4367,5 m<sup>3</sup>/h), valor que corresponde a cerca de 15% da demanda por água no município de Curitiba, o que

evidencia a importância da exploração de água do aquífero fissural. Em números aproximados é possível concluir que a média de vazão dos poços tubulares em Curitiba é da ordem de 5,05 m<sup>3</sup>/h.

Os dados hidrogeológicos foram organizados em informações qualitativas (para uma rápida identificação da variável) e informações quantitativas, ambas listadas no anexo 01. No programa Statistica® as variáveis selecionadas para os testes iniciais foram:

1. categoria: refere-se ao tipo de uso, se domiciliar, industrial, hospitalar ou associativo ou outros;
2. vazão: quantidade do volume médio extraído dos poços tubulares profundos por bombeamento sistemático;
3. profundidade: indica a metragem da perfuração do poço tubular profundo a partir da superfície do terreno;
4. data: refere-se ao ano em que o poço foi construído;
5. nível dinâmico: profundidade do nível de água durante o bombeamento;
6. nível estático: profundidade do nível de água no poço em estado de pré-bombeamento;
7. entradas d'água: correspondem aos pontos de contribuição de água subterrânea dentro do poço tubular profundo;
8. divisão regional: de acordo com o IPPUC (2001) o município de Curitiba foi dividido em oito setores regionais: Boqueirão, Portão, Pinheirinho, Matriz, Santa Felicidade, Bairro Novo, Boa Vista e Cajuru.

Foram realizados oito diferentes testes estatísticos para a determinação da correlação entre as variáveis, com o objetivo de dar um panorama geral da utilização subterrânea no município de Curitiba. Dos 864 casos, até o ano de 1980 foram perfurados 263 poços tubulares profundos e de 1980 até 2001 foram feitas mais 601 sondagens, o que demonstra o aumento substancial, nos últimos 20 anos, da exploração de água subterrânea no embasamento fraturado da Bacia de Curitiba.

## VARIÁVEL CATEGORIA (TIPOS DE USOS)

A distribuição do uso dos poços tubulares profundos varia basicamente de região para região no município, dependendo de sua vocação urbana. No centro e bairros mais próximos, o principal uso é feito por condomínios e empresas privadas correspondendo a 21,9 % do total. Na periferia e regiões mais afastadas predomina o uso industrial da água (igualmente 21,9 %). Essa distribuição pode ser melhor observada na figura 3, que divi-

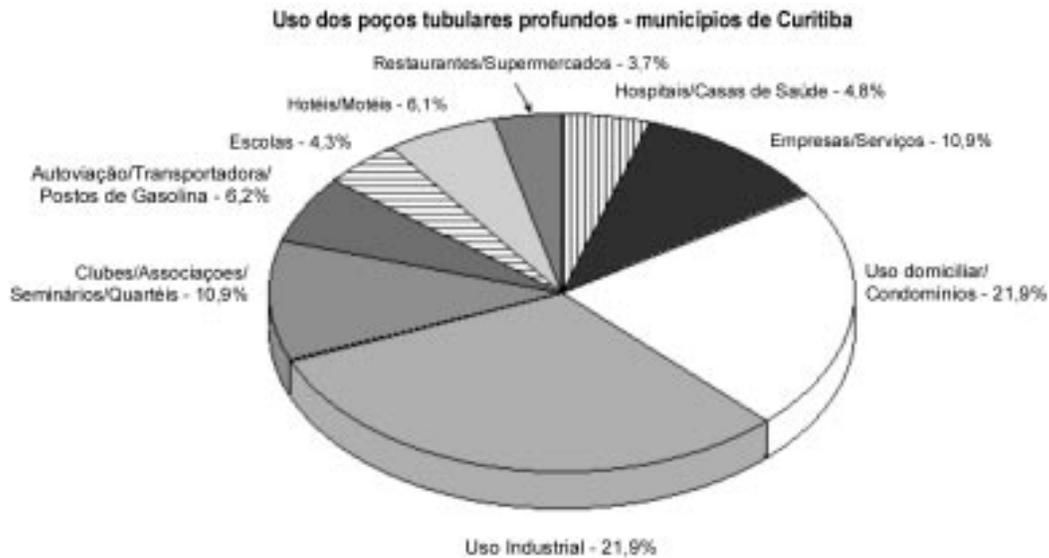


Figura 3: Gráfico de setores com a distribuição de uso dos poços tubulares profundos em Curitiba. *Sections graph with the distribution of the tubular wells use in the city of Curitiba.*

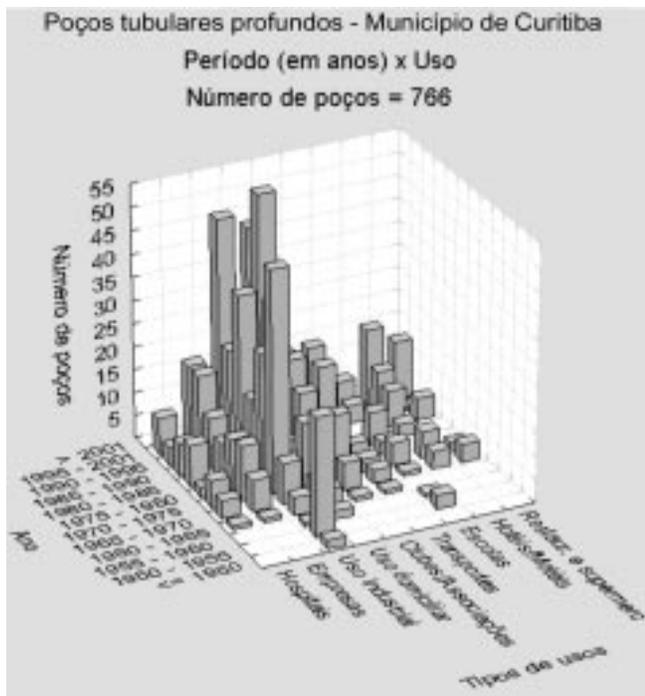


Figura 4: Gráfico trivariante que relaciona o uso e número de poços em um intervalo de tempo definido. *Trivariant graph that relates the use and number of wells in an interval of defined time.*

de o gráfico em setores que representam os usos mencionados.

No gráfico trivariante da figura 4, observa-se a relação da variável referente ao tipo de uso com um intervalo de tempo definido (em anos).

Inicialmente o que se constata é que até 1975 os principais usuários para poços profundos foram as indústrias, ocorrendo um grande pico na incidência de novas sondagens entre 1950 e 1955, e desde então uma queda na construção de poços até 1975.

A partir desta data, verifica-se um novo aumento de novas sondagens até o ano de 2001. Os condomínios, seguidos da indústria e ainda algumas empresas de serviços são os maiores usuários.

Na figura 5 é possível observar sobrepostos ao modelo digital de relevo da área, a localização dos poços tubulares profundos de Curitiba e a divisão do município de Curitiba criada pelo IPPUC (2001) em 8 setores regionais: Boqueirão, Portão, Pinheirinho, Matriz, Santa Felicidade, Bairro Novo, Boa Vista e Cajuru.

Na figura 5 verifica-se que o centro da cidade e arredores (Matriz), assim como nas áreas mais industrializadas do Pinheirinho e da Cidade Industrial de Curitiba são os locais onde ocorre o maior adensamento de poços tubulares profundos.

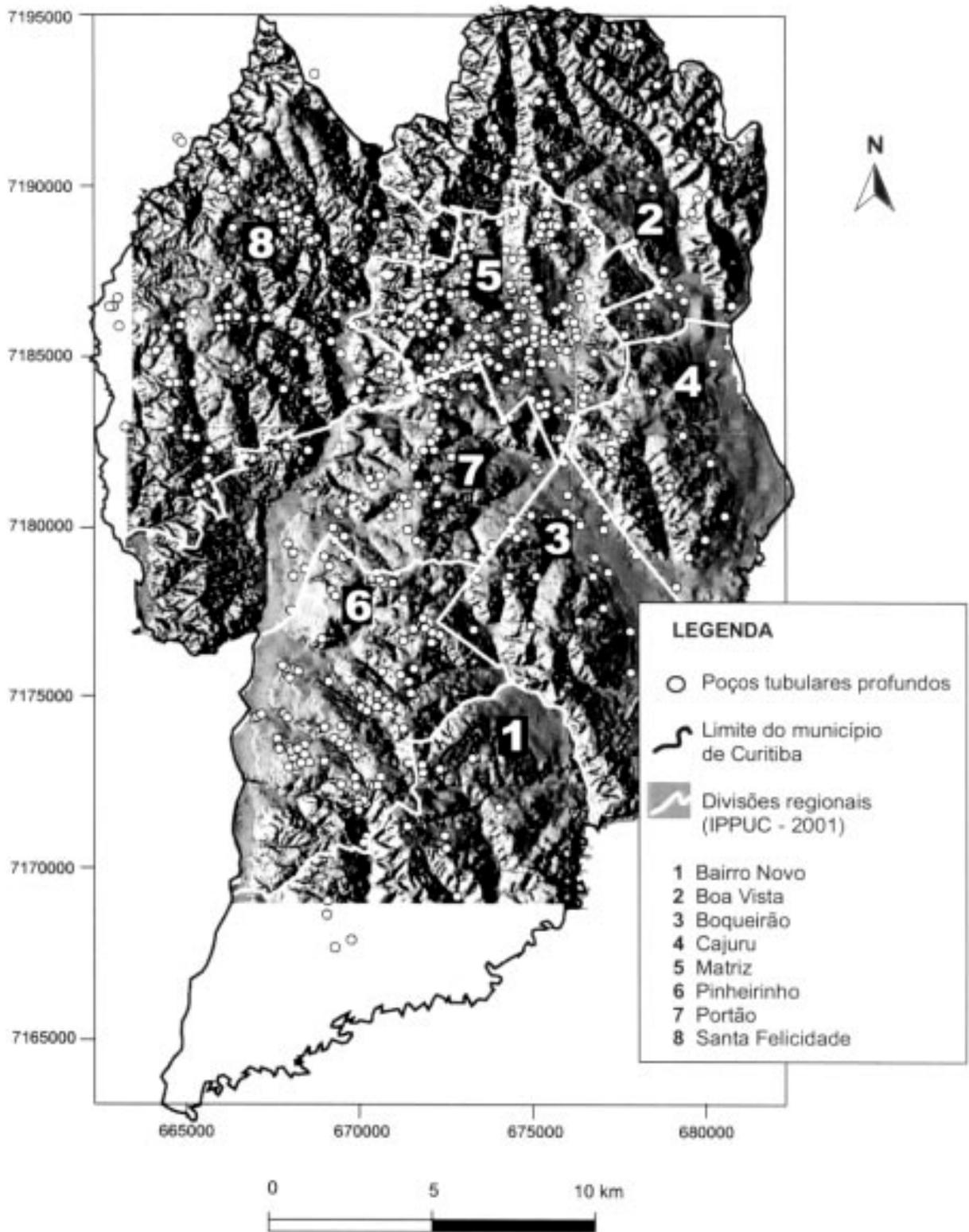


Figura 5: Poços tubulares de Curitiba e a divisão regional do município sobrepostos ao modelo digital de relevo (MDR). Tubular wells of Curitiba and the regional division of the municipality district put upon to the digital model of relief (DMR).

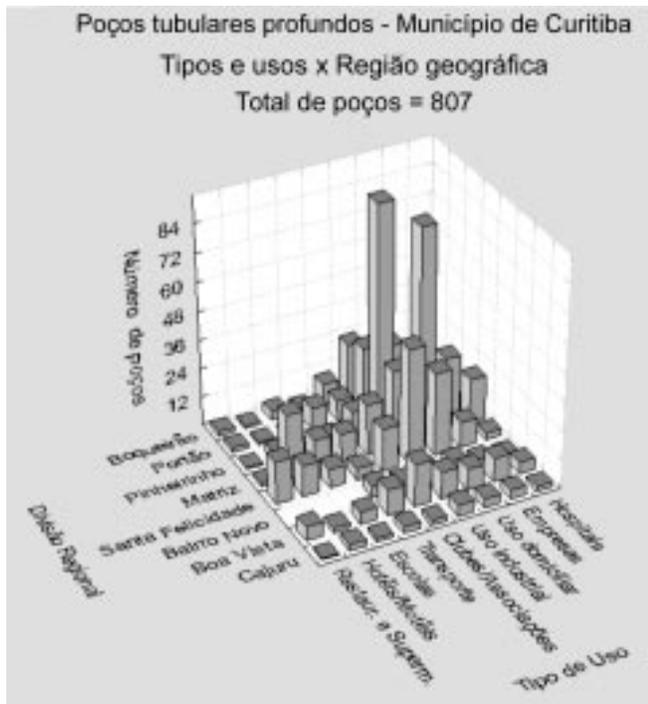


Figura 6: Usos da água subterrânea de acordo com a divisão regional de Curitiba. Uses of the groundwater in according with the regional division of Curitiba.

A figura 6 mostra por meio de histograma trivariante, o tipo de uso predominante em cada setor da cidade. O uso industrial no Pinheiro e o uso domiciliar na Matriz são as classes que mais se destacam. A terceira classe, por ordem de importância, também de grande destaque é o uso pelo setor de serviços em Santa Felicidade.

**VARIÁVEL VAZÃO (Q, M<sup>3</sup>/H)**

Os testes estatísticos mostram que o valor médio da variável vazão no município de Curitiba é de 3,6 m<sup>3</sup>/h e que cerca de 50% dos casos está entre 1,68 e 7,2 m<sup>3</sup>/h (figura 7).

O comportamento dos dados demonstra que há uma alta variabilidade entre os valores de vazão nos poços tubulares de Curitiba, existindo grande quantidade de valores longe da média, indica um alto coeficiente de curtose.

O teste bidimensional em barras da figura 8 mostra concomitantemente o número de poços e seus intervalos definidos de valores de vazão, determinando a distribuição média desta variável dentro destas classes. Verifica-se que a distribuição de valores de vazão dentro das classes é bastante assimétrica à direita mostrando que a variável tem distribuição leptocúrtica para os dados de vazão, ou seja, mais aguda e afilada em sua parte superior, diferente da normal ou gaussiana. A grande diferença de valores dos dados entre as classes também denota variabilidade nos dados.

De todos os casos existentes, 18,5% das sondagens apresentam vazão menor ou igual a 1 m<sup>3</sup>/h, 76,4% dos casos tem vazão entre 1 e 16 m<sup>3</sup>/h e a partir de 16m<sup>3</sup>/h a quantidade de poços existentes em cada classe não ultrapassa a 5%.

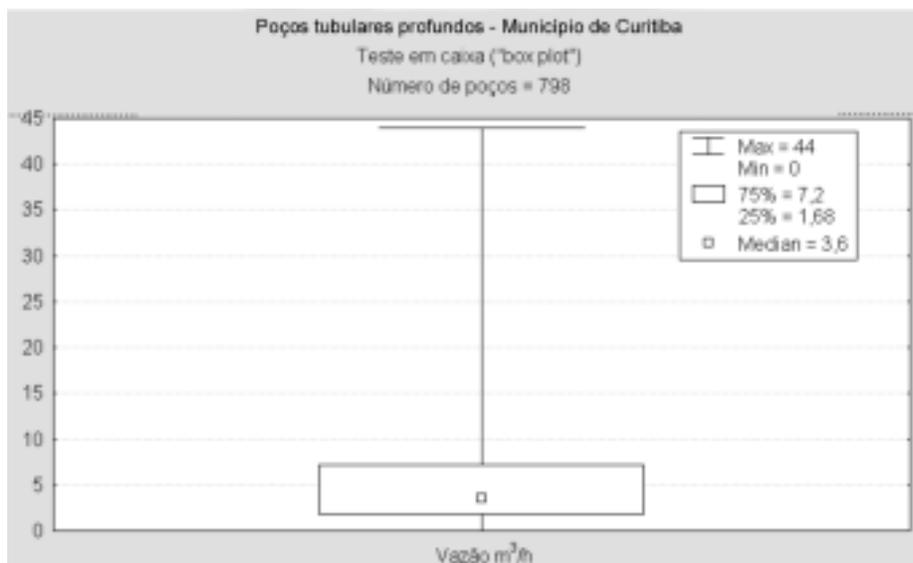


Figura 7: Gráfico em caixa para a variável vazão dos poços tubulares de Curitiba. Boxplot graphic for the variable flow of tubular wells of Curitiba.

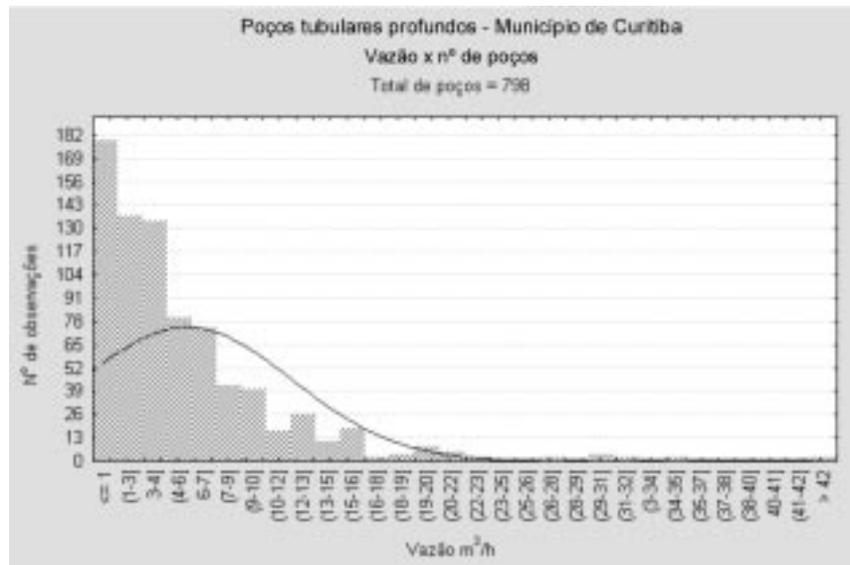


Figura 8: Histograma dos valores com a média de vazão de acordo com intervalos definidos desta variável. *Histogram of the values with the flow average in according with defined intervals of this variable.*

Já no gráfico da figura 9 são mostrados cinco intervalos, em %, contendo a variável vazão. O intervalo de 32,7% corresponde ao maior intervalo na qual as vazões variam entre 2 a 5 m<sup>3</sup>/h, enquanto que vazões superiores a 20 m<sup>3</sup>/h representam apenas 3,4% da média geral.

### VARIÁVEL PROFUNDIDADE (M)

A profundidade foi considerada uma variável quantitativa contínua que representa a quantidade de metros máxima possuía a sondagem a partir da superfície. Para este estudo foram considerados válidos 800 casos. Pelo teste em caixa (*box plot*), representado na figura 10, observa-se que a profundidade média dos poços está em torno de 112 m e que cerca de 50% dos casos estão compreendidos entre as profundidades de 88 a 150 m. O caso extremo é apresentado por sondagem que chegou aos 390 m.

No segundo teste executado, o histograma bidimensional em barras dá uma idéia geral do número de poços de acordo com as faixas de profundidade (figura 11).

### VARIÁVEL DATA (ANO) DA SONDAAGEM

Neste histograma (figura 12), que utiliza a variável data é possível visualizar a curva de crescimento de frequência acumulada dos poços tubulares existentes em Curitiba.

Cada intervalo de classe em abscissa (horizontal) corresponde na ordenada à soma das frequências dos intervalos de classe até o intervalo considerado. Foram analisados 776 casos válidos tendo sido possível obser-

var que de 1950 até 1968 (em um período de 18 anos portanto), o crescimento foi bastante lento ocorrendo apenas 52 casos registrados. De 1970 até 1978 houve um nítido aumento na demanda para novos poços, surgindo em um período de 8 anos mais de cento e cinquenta casos. Entre 1978 e 1987 houve um crescimento mais lento havendo apenas registros de cerca de cinquenta novos casos. Porém, de 1987 até 2001, ocorreu um aumento surpreendente no número de poços, chegando a 400 novos casos registrados.

A utilização de classes pode ser uma outra forma de observar o crescimento anual do número de poços como o apresentado no histograma da figura 13. Neste gráfico fica claro o aumento crescente ocorrido nos últimos anos. Isto se deve ao fato de que a demanda nas grandes cidades se dá devido ao crescimento urbano acelerado, decréscimo da qualidade e da quantidade das fontes de águas superficiais.

### VARIÁVEIS NÍVEL DINÂMICO (ND) E NÍVEL ESTÁTICO (NE)

O nível dinâmico (ND) também é considerado uma variável quantitativa contínua que mede a profundidade do nível da água em relação à superfície do terreno, após o estabelecimento da vazão de exploração da água por bombeamento sistemático, durante no mínimo 24 horas. Foram analisados 607 casos válidos. No teste de caixa (*box plot*) ilustrado na figura 14 verifica-se que a média do nível dinâmico se encontra em 58 m e que 50% dos valores estão entre 38 e 78 m.

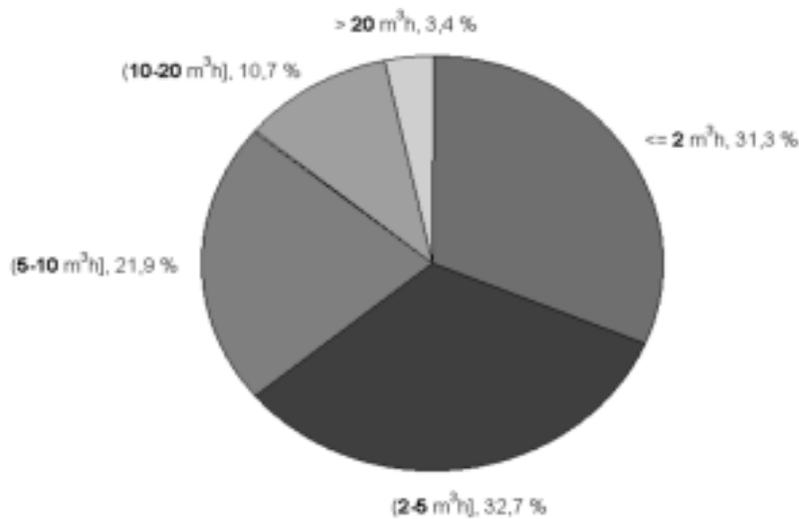


Figura 9: O gráfico mostra os intervalos com as faixas de vazão mais representativas para Curitiba, utilizando-se um universo de 798 poços. *The graphic shows the intervals with the strips of more representative flow for Curitiba, being used an universe of 798 wells.*

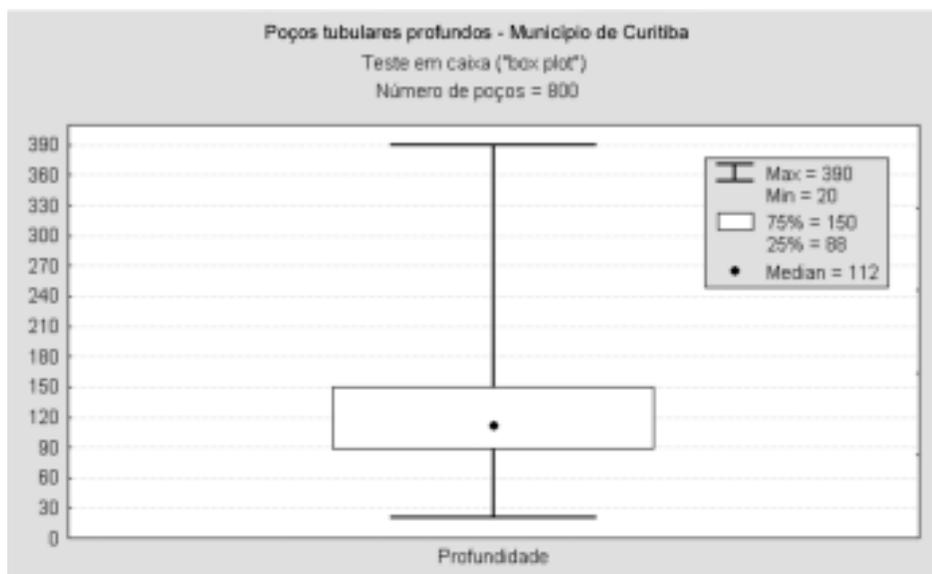


Figura 10: Teste em caixa ilustrando a profundidade média dos poços perfurados no município de Curitiba. *Boxplot graphic illustrating the medium depth of the wells in the municipal city of Curitiba.*

A variável nível estático (NE) igualmente é uma variável quantitativa contínua, a qual representa a profundidade original do nível da água a partir do nível da superfície do terreno, no momento imediatamente anterior ao início do bombeamento para exploração de água.

No teste em caixa (*box plot*), mostrado na figura 15, verifica-se que 50% dos casos estão entre o intervalo de 5 e 24 m de profundidade, com uma média em torno de 11 m.

A média do nível estático também pode ser visualizada nos histogramas em barras como o da figura 16.

### VARIÁVEL ENTRADA D'ÁGUA (EA)

O teste em caixa (*box plot*) da figura 17 ilustra a média geral de ocorrência da variável entrada d'água, em torno da profundidade de 84 m, verificando-se ainda que 50% dos casos estão entre 60 e 115 m.

O histograma da figura 18 mostra que as entradas d'água apresentam distribuição do tipo lognormal, assim como o gráfico de probabilidade (figura 19) que mostra que a grande maioria dos pontos se ajustam sobre a curva usando este tipo de coeficiente.

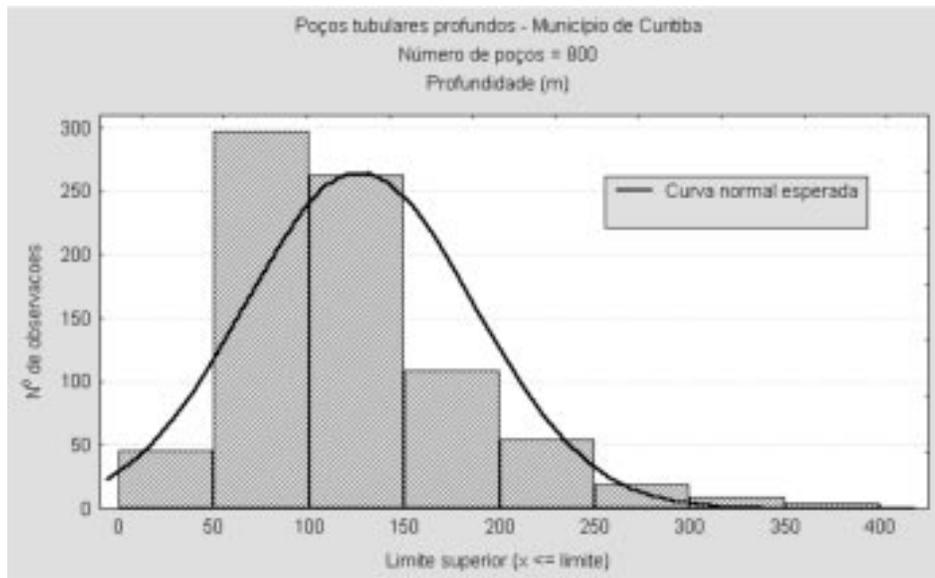


Figura 11: Histograma bidimensional ilustrando a distribuição dos poços tubulares de acordo e suas respectivas profundidades. *Bidimensional histogram illustrating the distribution of the tubular wells in according with your respective depths.*

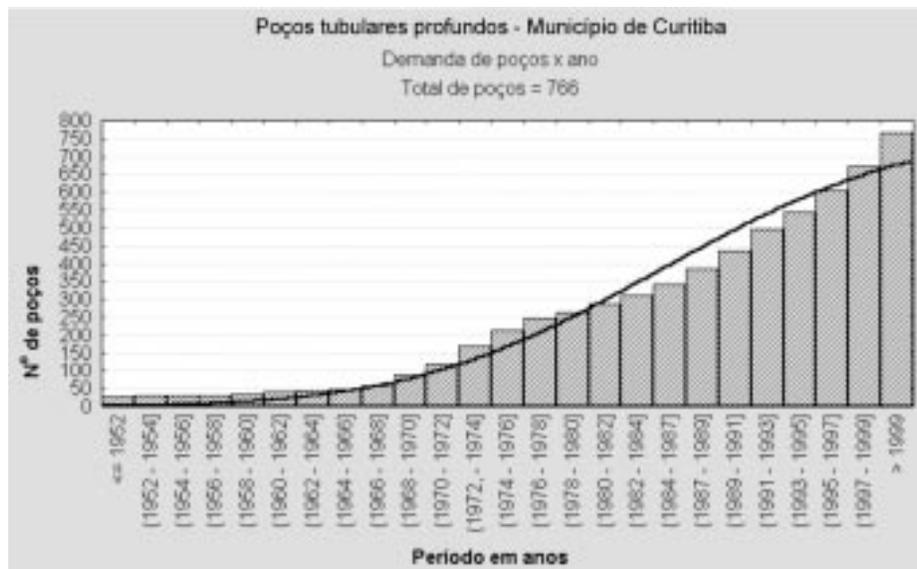


Figura 12: Curva de crescimento em histograma bidimensional de freqüência acumulada dos poços tubulares profundos na cidade de Curitiba entre os anos de 1950 até 2001. *Curves of growth in bidimensional histogram of accumulated frequency of the tubular wells in the municipality of Curitiba among the years of 1950 up to 2001.*

No gráfico do tipo scatterplot da figura 20 foram utilizadas as variáveis entrada d'água e profundidade com o objetivo de mostrar uma correlação positiva entre ambas as variáveis, evidenciada pela tendência crescente na maioria dos casos. Em meio a essa nuvem, ocorrem alguns pontos que fogem da tendência central (*outliers*), principalmente a partir de profundidades superiores a 225 m, causam ruído nos dados e mudança de trajeto da curva.

Esta correlação positiva também é verificada no

gráfico do tipo conjuntos de *box plot* (figura 21) utilizando-se as mesmas duas variáveis. Nesta figura verifica-se que as médias nos valores das entradas d'água, relativamente às profundidades, não são estacionárias mas sim tendem a aumentar gradualmente até a profundidade em torno de 240 m. A partir deste valor não é possível diferenciar um padrão distinto.

A existência de correlação entre as variáveis entrada d'água e profundidade tem importância no fato de demonstrar que a contribuição de água subterrânea no

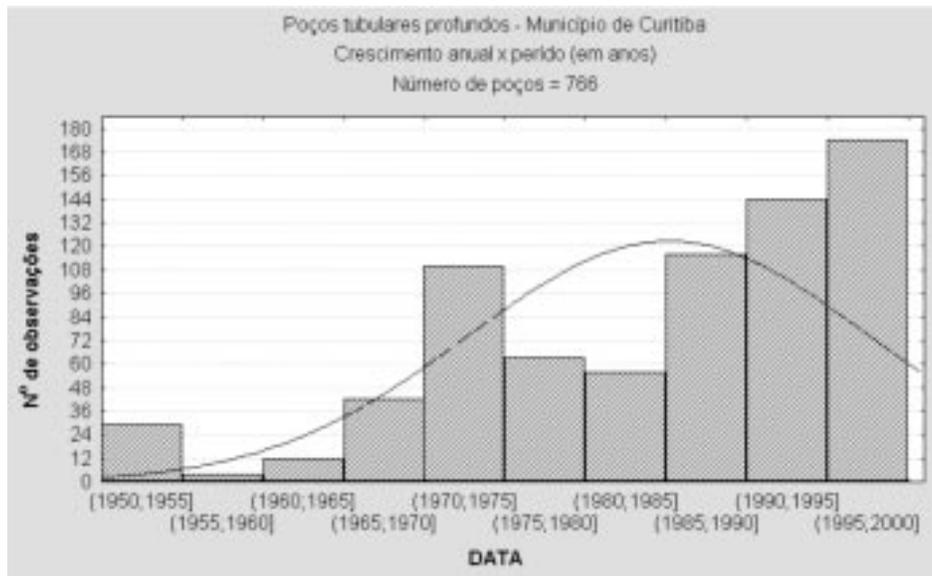


Figura 13: Histograma ilustrando a distribuição dos poços em períodos determinados (em anos). *Histogram illustrating the distribution of the wells in certain periods (in years).*

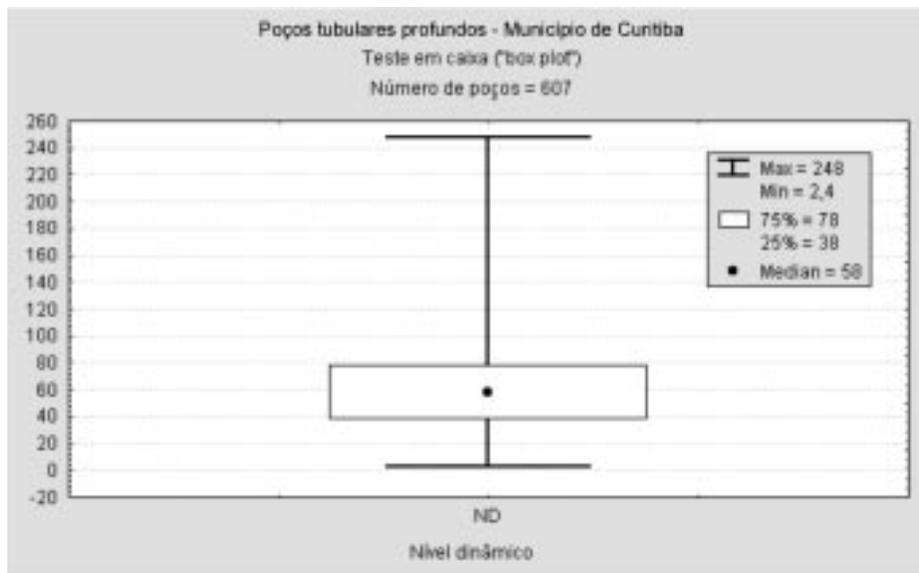


Figura 14: Teste em caixa ilustrando a profundidade média do nível dinâmico durante o bombeamento sistemático do poço. *Boxplot test illustrating the medium depth of the dynamic level during systematic well pumping.*

aqüífero fraturado do embasamento da Bacia de Curitiba não está limitada a um único horizonte em profundidade.

Cerca de 50% dos casos ocorrem até 84 m de profundidade, no entanto, de acordo com os resultados estatísticos, o comportamento da variável entrada d'água sugere que a água subterrânea neste aqüífero também está armazenada pelo menos até 220 m de profundidade. É necessário lembrar que a maior parte dos casos estudados (93%) limitam-se na profundidade de 220 m,

e, portanto, a ausência de informações em maiores profundidades não permite que sejam feitas inferências mais concretas abaixo deste horizonte.

### O PROBLEMA DA DIVISÃO REGIONAL DE CURITIBA

A divisão regional criada pelo IPPUC (2001 - ver figura 5) delimita o município de Curitiba em oito setores administrativos. É importante deixar claro que esta divi-

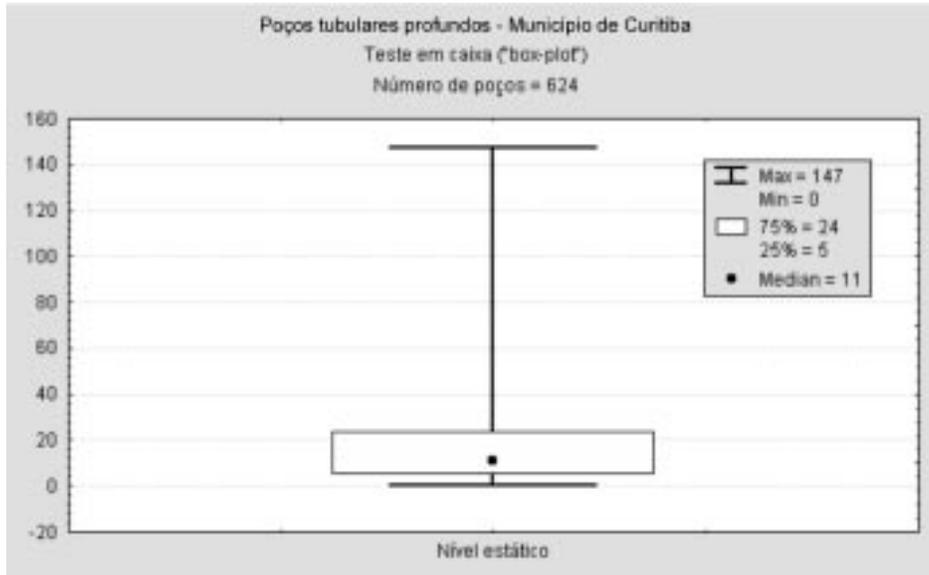


Figura 15: Teste *em caixa* ilustrando a profundidade média do nível estático. Para esta análise foram considerados 624 casos válidos. *Boxplot test illustrating the medium depth of the static level. For this analysis 624 valid cases were considered.*

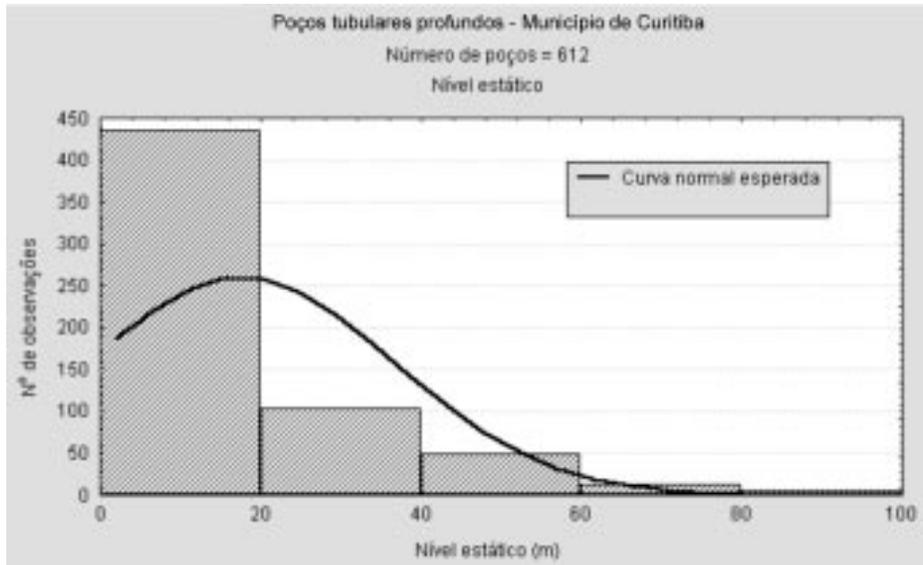


Figura 16: Histograma ilustrando a média do nível estático dos poços tubulares pré-bombeamento. *Histogram illustrating the average of the static level before pumping the well tubular.*

são é apenas política e administrativa e não tem relação com os limites físicos do aquífero. Esta setorização foi utilizada proposadamente como referencial na análise estatística exploratória, principalmente nos testes *box plot*, buscando visualizar as características e distribuição das variáveis hidrogeológicas. Tem por objetivo auxiliar no planejamento e tomada de decisões quanto ao uso dos poços tubulares dentro de cada setor na cidade, segundo o quadro atual das informações. Portanto, o quadro real das informações que se relaciona ao fenômeno

em si, que acontece no aquífero fraturado não é tratado aqui estatisticamente.

Na seqüência são apresentados separadamente os testes *box plot* com as variáveis hidrogeológicas da área utilizando-se a divisão regional do município. Salienta-se que uma discussão dos conjuntos dos dados é feita nas conclusões finais.

No teste em caixa (*box plot*) da figura 22, são mostradas as médias das vazões de acordo com a região em que os poços tubulares profundos foram perfurados. De

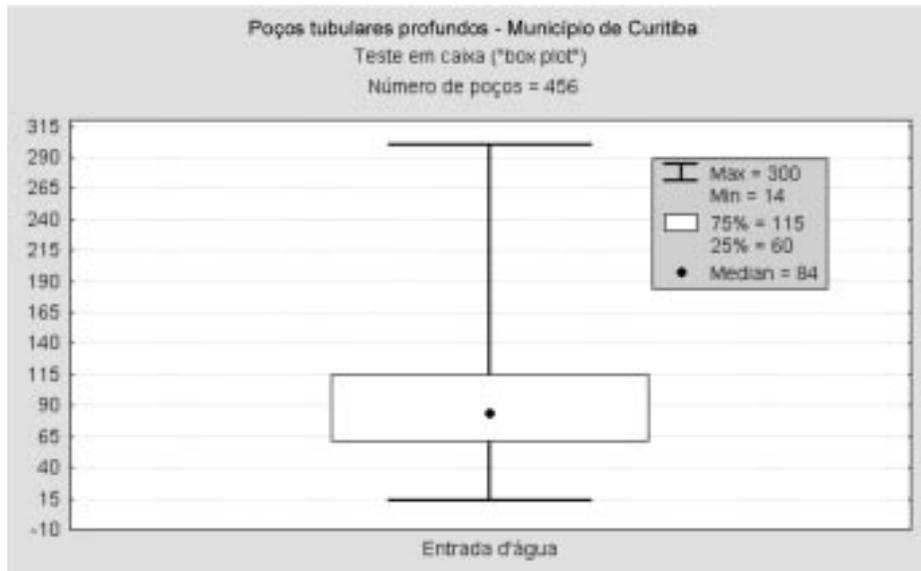


Figura 17: Teste em caixa ilustrando a média geral dos valores das entradas d'água (EA). *Boxplot test illustrating the general average of the values of water the entrances (EA).*

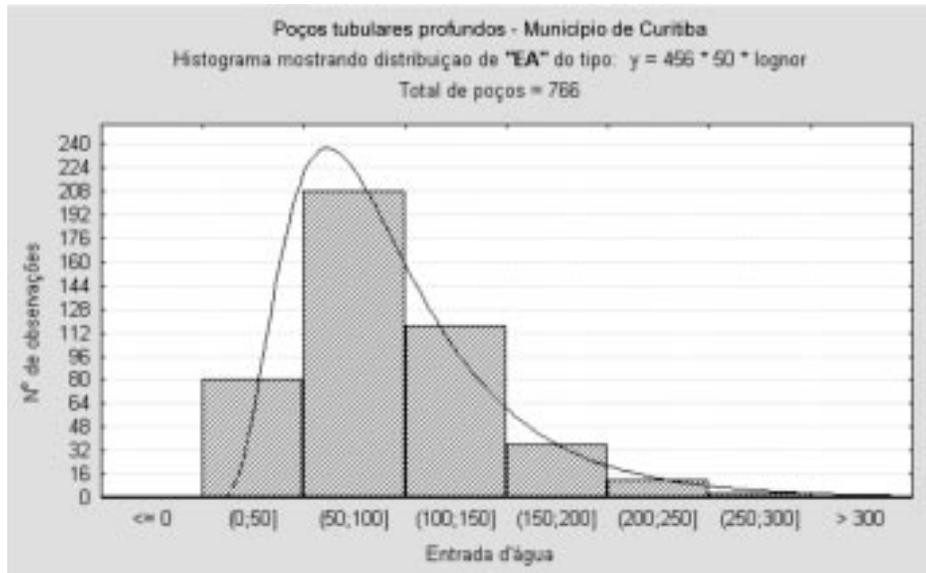


Figura 18: Histograma com a distribuição da variável entrada d'água do tipo lognormal. *Histogram with the distribution of the variable entrance of water of the lognormal type.*

uma forma geral, o valor médio verificado em todas as regiões está em torno de 4 m³/h. O símbolo em asterisco no gráfico mostra os valores extremos, estes casos podem representar duas situações discrepantes entre si:

- a) poços bastante favoráveis à exploração de água subterrânea em situação mediante a presença de alinhamento estrutural ou intersecção de planos estruturais abertos;
- b) medidas falsas devido a erros durante a coleta da informação.

No teste *box plot* da figura 23 são mostradas as profundidades médias em relação à divisão regional do municí-

pio de Curitiba. Os casos mais extremos com profundidades atingindo em torno de 400 metros ocorrem na região da Matriz e no Pinheirinho, enquanto que a média geral de limites de profundidades parece ficar entre 100 e 135 m.

Nos histogramas *box plot* das figuras 24 e 25 foram verificadas, respectivamente, as variáveis nível dinâmico e nível estático em relação à divisão regional de Curitiba.

Esta representação ilustra como as variáveis analisadas se comportam em cada setor da cidade e se pode verificar que em ambos os casos ocorrem casos extremos, principalmente, na Matriz e em Santa Felicidade.

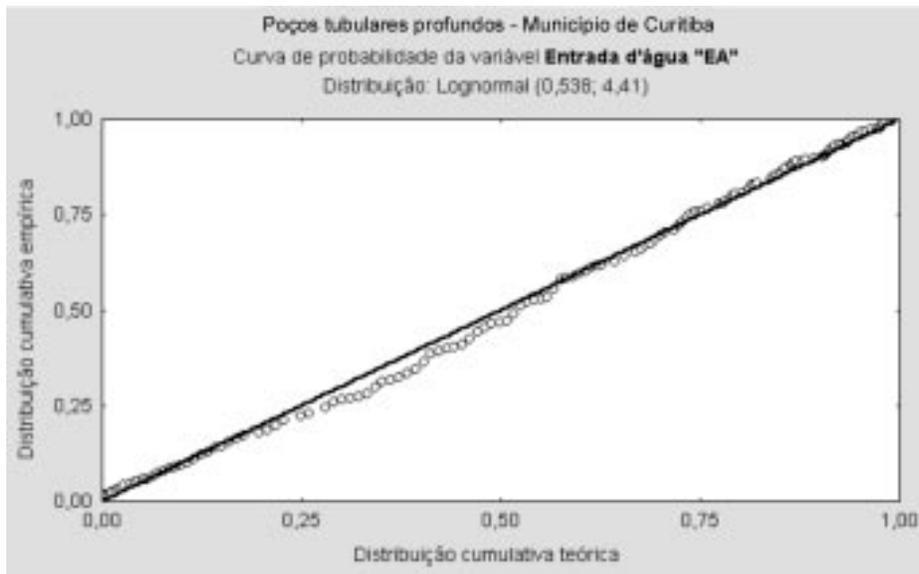


Figura 19: Gráfico de distribuição de probabilidade usando coeficiente do tipo lognormal para a variável entrada de água. *Graphic of distribution of probability using coefficient of the lognormal type for the variable water entrance.*

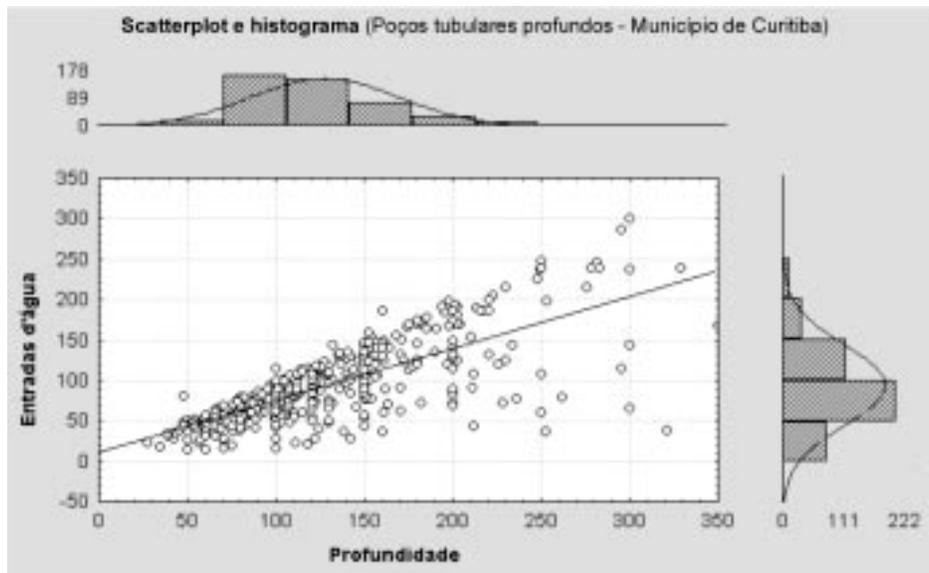


Figura 20: Gráfico do tipo *scatterplot* e respectivo histograma definindo uma correlação positiva entre as variáveis entrada d'água e profundidade. *Graphic of the scatterplot type and respective histogram defining a positive correlation between the variables water entrance and depth.*

No gráfico *box plot* da figura 26 é dada uma visão geral das entradas d'água nos diferentes setores da cidade de Curitiba. Assim como na variável profundidade, os casos *outliers* e valores extremos das entradas d'água ocorrem na região do Pinheirinho e Matriz.

O intervalo de 50 a 110 m limita as médias da variável entrada d'água dentro de todos os setores da cidade. A diferença entre as médias regionais é bastante expressiva o que denota a alta variabilidade do fenômeno, provavelmente em função das estruturas geológicas do aquífero fissural, as quais controlam o comportamento das variáveis analisadas.

É importante frisar que a divisão em setores do município é apenas administrativa já que os limites destes setores não coincidem com domínios hidrogeológicos. No entanto, os testes realizados anteriormente são de grande importância no sentido de avaliar o quadro geral do comportamento das variáveis nas diferentes regiões da cidade.

## DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

A análise estatística permite a familiarização dos dados hidrogeológicos e também o reconheci-

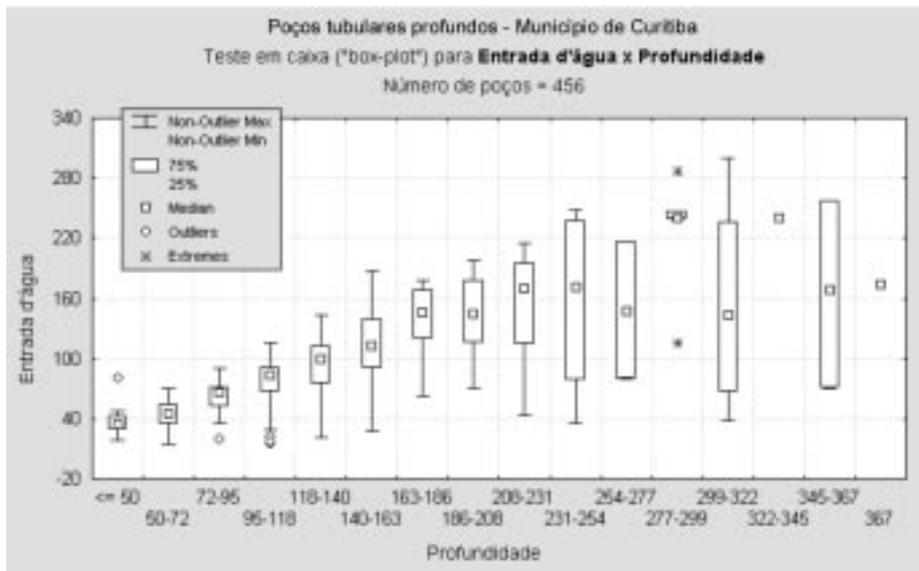


Figura 21: Médias dos valores das entradas d'água e profundidades dos poços caracterizando a correlação positiva entre ambas as variáveis. *Averages of the values of the entrances of water and depths of the wells characterizing the positive correlation among both variables.*

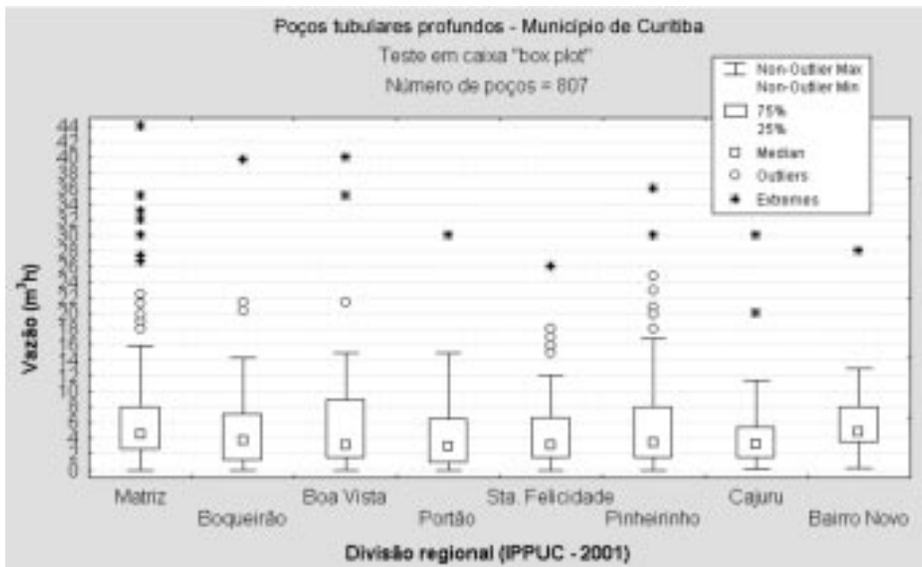


Figura 22: Teste em caixa mostrando as médias das vazões de acordo com as regiões em que os poços tubulares profundos estão localizados na cidade. *Boxplot test showing the averages of the flow in according with the areas in that the tubular wells are located in the city.*

to dos padrões de irregularidades. Foi constatado grande variabilidade nos dados da vazão dos poços tubulares profundos, ocorrendo uma distribuição diferente da normal, que somados à presença de agrupamentos, não permitem trabalhar uma análise geoestatística por uma malha regular (Chavez-Kus 2003).

Embora a média potencial das vazões no município de Curitiba seja de 4 m<sup>3</sup>/h, ocorrem diversas exceções. Dos 798 casos analisados o intervalo de 32,7% é

o mais representativo correspondendo a vazões variando entre 2 a 5 m<sup>3</sup>/h, o intervalo de 5 até 10 m<sup>3</sup>/h equivale a 21,9 %, o intervalo de 10 até 15% corresponde a 10,7% enquanto que vazões com valores superiores a 20 m<sup>3</sup>/h representam 3,4% da média geral. Casos extremos podem chegar até a 44 m<sup>3</sup>/h.

A distribuição dos poços tubulares na cidade de Curitiba é bastante irregular, localizando-se as maiores concentrações de casos junto aos condomínios no centro da cidade e bairros próximos ao centro, bem como

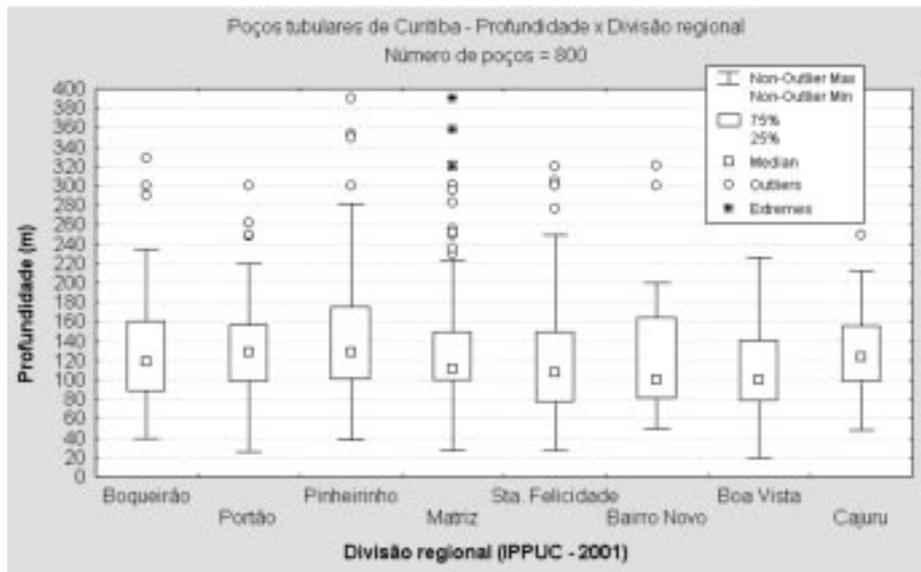


Figura 23: Teste em caixa para variável profundidade em relação às divisões administrativas do município. *Boxplot test for variable depth in relation to the administrative divisions of the municipality.*

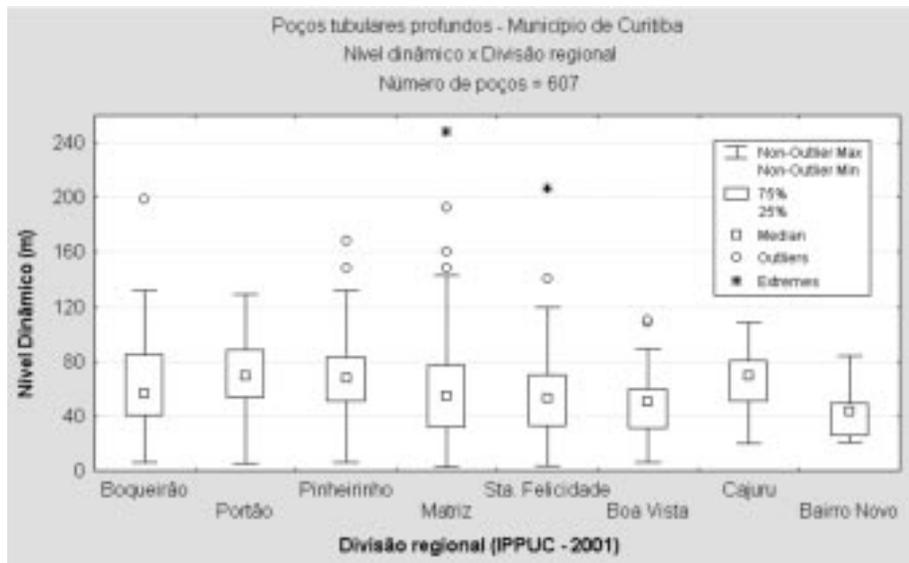


Figura 24: Teste em caixa para a variável nível dinâmico relativa à divisão regional do município. *Boxplot test for the variable dynamic level relative to the regional division of the municipality.*

em terrenos de restaurantes a exemplo dos que se situam ao longo da Av. Manoel Ribas (bairro de Santa Felicidade) e em áreas industriais como no bairro Cidade Industrial de Curitiba (CIC).

Os dados referentes a variável período (em anos) indicaram um crescimento acentuado na demanda de novas sondagens a partir dos anos 80 e, principalmente, nos últimos 10 anos. Com a evolução na tecnologia que envolve as sondagens de poços tubulares profundos, profundidades maiores são atingidas em tempo bastante mais curtos do que anteriormente se verificava até meados da década de 80.

A partir de 1985 o crescimento no número de novas sondagens de poços tem aumentado de forma acentuada. O intervalo entre os anos de 1995 e 2001 corresponde a 25% do total de poços existentes, o que demonstra uma contribuição crescente no abastecimento da cidade por meio da água subterrânea.

A curva de crescimento de frequência acumulada dos poços tubulares que representa o crescimento da demanda pelo uso dos poços tubulares a cada ano, está certamente influenciada pelo crescimento populacional da cidade e pelas dificuldades com o tratamento convencional das águas de superfície servidas na cidade.

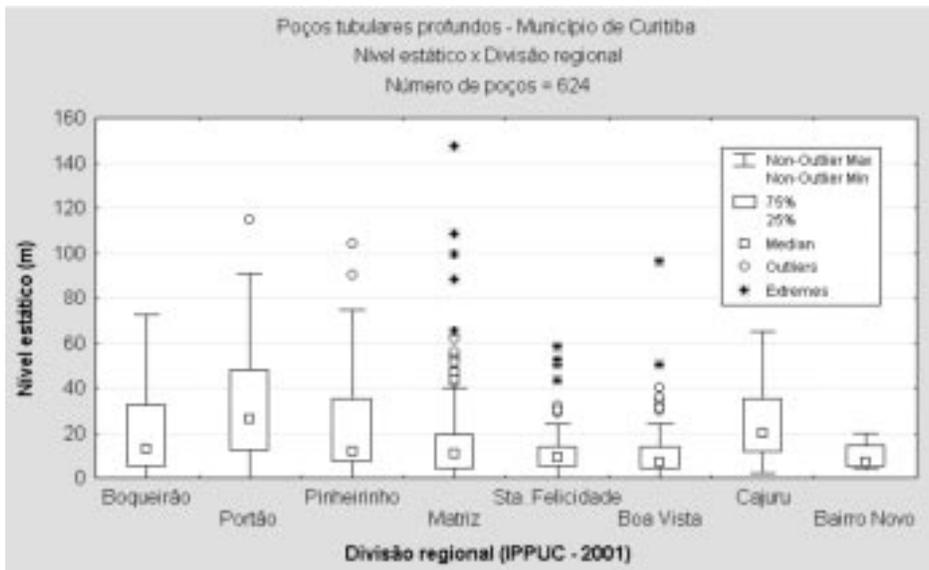


Figura 25: Teste em caixa para a variável nível estático relativa à divisão regional do município. *Boxplot test for the variable static level relative to the regional division of the municipality.*

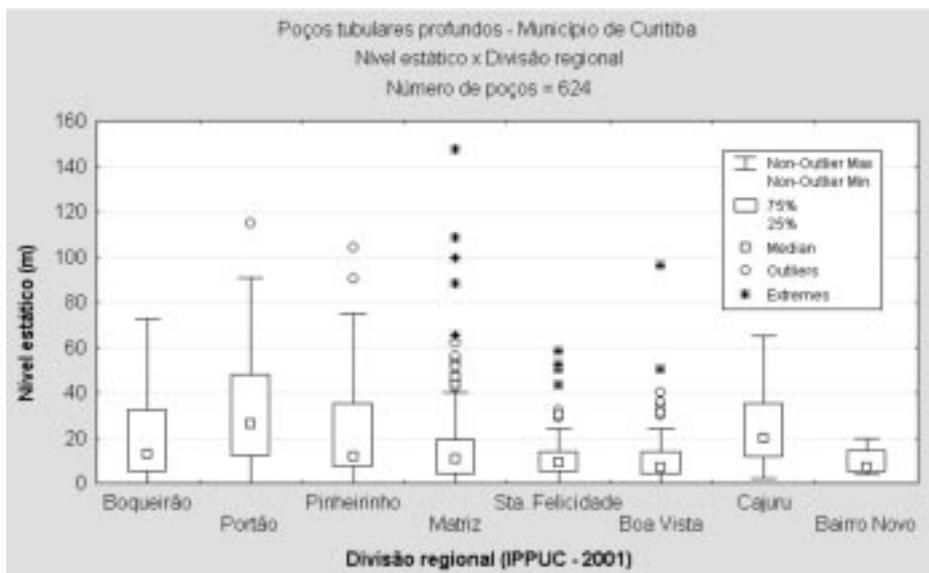


Figura 26: Gráfico que relaciona a variável entrada d'água com as divisões regionais de Curitiba (IPPUC, 2001). *Graphic that relates the variable entrance of water with the regional divisions of Curitiba (IPPUC, 2001).*

Ao serem observados os padrões de irregularidades, principalmente dos dados relacionados à variável vazão e profundidade, os dados que se mostraram muito discrepantes em relação aos demais foram analisados caso a caso e, quando inconsistentes, eliminados.

Por intermédio da análise exploratória estatística não foram observadas tendências claras entre as variáveis analisadas. No entanto, uma das observações de maior interesse é que o horizonte onde a água subterrânea circula no aquífero fraturado, não se limita apenas a profundidades específicas, sugerindo que a variabilidade

do fenômeno na área é bastante grande. Por outro lado, a média da profundidade dos poços está em torno de 112 m e a profundidade limite de até 220 m, abrange 93% dos casos estudados, portanto a falta de maiores informações abaixo deste horizonte impede que sejam feitas inferências e correlações abaixo deste nível. Apesar disso, os casos de profundidades maiores do que 220 m chegam ao número de 61 casos, podendo atingir a marca de 390 m de profundidade em um dos casos. Destes poços mais profundos, 23% apresentam vazões entre 3 e 9 m<sup>3</sup>/h e 11,5% entre 9 e 16 m<sup>3</sup>/h, existindo um caso

excepcional de um poço com vazão atingindo 36 m<sup>3</sup>/h a 300 m de profundidade.

Pode-se dizer que até o horizonte de 220 m de profundidade, limite até onde as informações são melhor conhecidas, os dados das variáveis hidrogeológicas refletem a realidade atual do aquífero fissural.

Setorialmente, existem diferenças claras, a exemplo da Matriz, onde a quantidade de casos permite inferir que as informações das variáveis hidrogeológicas, naquele local, sejam muito mais representativas do que em áreas afastadas e menos industrializadas a exemplo do bairro Novo. Isso não impede que esta situação se altere na medida que futuramente uma área passe a ser objeto alvo para novas sondagens. No entanto, o quadro atual das informações é o apresentado neste trabalho. Estas informações são históricas e servem para auxiliar o planejamento e a gestão de utilização dos poços tubulares na cidade de Curitiba.

Situações onde ocorrem casos extremos nos valores de vazão no mesmo setor, em contrapartida aos valores baixos desta variável, refletem a heterogeneidade do aquífero que está condicionado estruturalmente por uma tectônica rúptil. Valores extremos de vazão com máximos de 26 e 36 m<sup>3</sup>/h e ainda casos excepcionais como de 44 m<sup>3</sup>/h no centro da cidade chamaram bastante a

atenção nos testes *boxplot*. Refletindo-se sobre estes valores e tomando-se em conta a estruturação geológica local, é possível concluir que os locais onde foram realizadas as sondagens para os poços tubulares são dominados por alinhamentos estruturais ou intersecção de estruturais favoráveis a circulação de água subterrânea. O reconhecimento de um padrão espacial heterogêneo comprova que a homogeneização dos dados, necessita passar pela análise estrutural e geostatística das variáveis do aquífero fissural.

Segundo Chavez-Kus (2003) a análise dos dados das vazões dos poços tubulares profundos à luz de uma análise estrutural em detalhe, permite a observação da existência de poços de grande produtividade na direção de grandes vales encaixados em alinhamentos, tais como os de direção N-S.

Uma outra questão observada foi quanto ao rebaiamento do nível dinâmico, assim a diminuição na produtividade de alguns poços tubulares, principalmente nos bairros do Alto Bigorriho e Juvevê, podem ser reflexo de um impacto ambiental maior. Neste caso, sugere-se que sejam feitas novas investigações para acompanhar a diminuição e a recuperação do nível dinâmico nos locais aonde está havendo estes problemas, comparando os resultados obtidos com dados históricos como os apresentados neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- Chavez-Kus L. 2003. *Análise da tectônica rúptil em rochas do embasamento da Bacia de Curitiba com vistas à determinação de áreas favoráveis à exploração de água subterrânea*. Curitiba. 215 p. (Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná).
- IPPUC. 2001. *Curitiba Digital*. Mapa de Arruamentos de Curitiba – 2001. Mapa e Lei de Zoneamento. Curitiba, IPPUC. 1 CD-ROM.
- Isaaks E.H.; Srivastava M.R. 1989. *Applied Geostatistics*. New York, Oxford University Press, p. 551.
- Landim P.M.B. 1998. *Análise estatística de dados geológicos*. São Paulo, Ed. da Unesp, p. 226.
- Nogueira Filho J. 1997. *Bacia Hidrogeológica de Curitiba*. Curitiba. 168 p. (Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná).
- Rosa F.E.F.; Hindi E.; Giusti D.; Nadal C.A. 1998. Utilização das águas subterrâneas no abastecimento público das cidades paranaenses. *Boletim Paranaense de Geociências*, Curitiba, **46**:13-23.
- Rostirolla S.P.; Soares P.C.; Stevanato R. 1996. Alguns aspectos da análise sistêmica aplicada à exploração: sistema petrolífero versus sistema formador de minério. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, Salvador, 1996. *Anais...* Salvador, SBG.
- Rostirolla S.P. 1997. Alguns aspectos da avaliação de favorabilidade em geologia exploratória. *Revista Brasileira de Geociências*, **27**(4): 327-338.
- Salamuni R. 1981. Geologia da água subterrânea da Região Metropolitana de Curitiba. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE CURITIBA, 3, Curitiba. *Anais...* Curitiba, SBG-PR, p. 372-389.
- Salamuni E. 1998. *Tectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba (PR)*. Rio Claro. 214 p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Unesp-Rio Claro).
- Salamuni E.; Salamuni R.; Ebert H. D. 1999. Contribuição à geologia da Bacia Sedimentar de Curitiba. *Boletim Paranaense de Geociências*, Curitiba, **47**: 123-132.
- Salamuni E.; Ebert H.D.; Borges M.S.; Hasui Y.; Costa J.B.S.; Salamuni R. 2003. Tectonics and sedimentation of the Curitiba Basin. *Journal of South American Earth Sciences*, EUA, **15** (8): p. 901-910.
- Siga Junior O.; Basei M.A.S.; Reis Neto J.M.; Machiavelli A.; Harara O.M. 1995. O Complexo Atuba: um cinturão paleoproterozóico intensamente retrabalhado no neoproterozóico. São Paulo, USP, Instituto de Geociências, p. 69-98. *Boletim, Série Científica*, v. 26.