

AVALIAÇÃO DE DADOS DE POÇOS DA BACIA DO PARANÁ NA CIDADE DE RONDONÓPOLIS-MT, USANDO ESTATÍSTICA.

Alterêdo Oliveira Cutrim¹

ABSTRACT At this research was done an statistic evaluation of data of wells production that exploit the Furnas Aquifer and Transição Furnas Ponta Grossa Aquifer, at Rondonópolis city, Brazil. The results show that the main aquifer of the area is Furnas, producing discharges between 3 and 250 m³/h, specific capacity of 0.3 to 28 m³/h/m. The stand deviation, the variance and the coefficient of variation shows that at free Furnas the discharge presents greater dispersion than the confined Furnas. The greater values of specific capacity suggest that the correspondents discharge can be elevated. The Aquifer Transição Furnas Ponta Grossa produces discharges between 3 and 14 m³/h, specific capacity of 0.11 to 0.29 m³/h/m, indicating that part of the discharges are over dimensioned and that this aquifer is to lower than Furnas Aquifer. The stand deviation, the variance and the coefficient of variation suggests that there is a grand dispersion of these parameters. The Furnas Aquifer can to produce volumes of water to supply grand demands, liked the public supply and the Transição Furnas Ponta Grossa Aquifer can attend small demands, like the majority of the particulars uses.

RESUMO Nesta pesquisa foi usada estatística para avaliar dados de produção de poços que exploram os Aquíferos Furnas e Transição Furnas Ponta Grossa, na cidade de Rondonópolis. Os resultados mostram que o principal aquífero da área é o Furnas, produzindo vazões entre 3 e 250 m³/h, capacidade específica de 0,3 a 28 m³/h/m. O desvio padrão, a variância e o coeficiente de variação mostram que no Furnas livre a vazão apresenta maior dispersão do que no Furnas confinado. Os maiores valores de capacidade específica sugerem que as vazões correspondentes podem ser elevadas. O Aquífero Transição Furnas Ponta Grossa produz vazões entre 3 e 14 m³/h, capacidade específica de 0,11 a 0,29 m³/h/m, indicando que parte dessas vazões estão superdimensionadas e que este aquífero é muito inferior ao Aquífero Furnas. O desvio padrão, a variância e o coeficiente de variação sugerem que há uma grande dispersão destes parâmetros. O Aquífero Furnas pode produzir volumes de água para suprir o abastecimento público e o Aquífero Transição Furnas Ponta Grossa pode atender demandas como as da maioria dos usos particulares.

Palavras-chave: Aquífero Furnas, dados de poços, avaliação estatística.

¹ Departamento de Geologia Geral, Universidade Federal de Mato Grosso -UFMT . Instituto de Ciências Exatas e da Terra – ICET, Av. Fernando Correa da Costa, S/N-Coxipó, 78060-900 – Cuiabá-MT, Fone: (065xxx) 615-8751 Fax: (065) 615-8752, E-mail– alteredo@ufmt.br

INTRODUÇÃO

Estudo de avaliação de dados de produção de poços fornece informações importantes, tanto sobre o aquífero explorado quanto sobre o dimensionamento da vazão dos poços. Esse tipo de estudo é muito comum em áreas com grande concentração de poços, como é o caso de muitos centros urbanos, onde via de regra pouco se conhece sobre o processo de exploração e sobre os aquíferos.

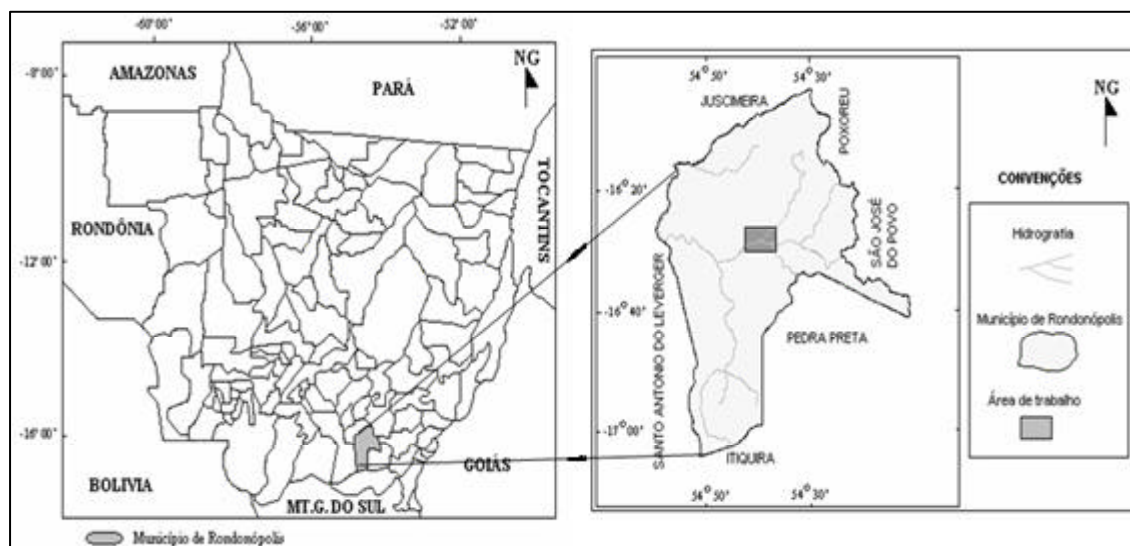
Uma das maneiras mais eficiente de se realizar esse estudo é através da aplicação da estatística, pois permite avaliar em termos quantitativos, a vazão de poços com relação à capacidade específica e classificar os aquíferos em termos de produtividade. Desse modo, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o dimensionamento da vazão dos poços e classificar os aquíferos da Bacia do Paraná na cidade de Rondonópolis, com aplicação de estatística a dados de poços dessa cidade.

A cidade de Rondonópolis localizada no sudeste do estado de Mato Grosso (figura 1), tem uma população de aproximadamente 140.000 hab, é o terceiro maior centro urbano do estado e destaca-se pelo grande desenvolvimento agropecuário e agroindustrial.

Nessa cidade a água subterrânea supre em torno 53% do abastecimento público e do comércio, 100% das demandas da indústria, lazer, hospitais, chácaras e irrigação de pomares e hortaliças, e 10% de residências com poços particulares (Cutrim & Rebouças, 2005).

O Aquífero Furnas é constituído por arenitos médios a grossos, intercalados por lâminas de argilas e siltes. Os arenitos quartzosos são mais abundantes e apresentam coloração variando de cinza esbranquiçado a rósea. O Aquífero Transição Furnas Ponta Grossa é caracterizada pela interdigitação de finas camadas de arenitos de textura fina a muito fina, siltitos e folhelhos sílticos com bastante mica (Ruiz et al., inédito).

Figura 1 - Localização da área de estudo.



METODOLOGIA

O estudo estatístico empregado neste trabalho envolveu a média, a mediana, as medidas de dispersão em torno da média (variância, desvio padrão e coeficiente de variação), os modelos probabilísticos contínuos (distribuições normal e lognormal) e o coeficiente de correlação (Fonseca & Martins, 1982).

Essas estatísticas foram aplicadas a dados de poços que exploram os Aquíferos Furnas e Transição Furnas Ponta Grossa na cidade de Rondonópolis. Os dados compreendem profundidade, vazão e capacidade específica. A determinação dessas estatísticas em cada conjunto de dados foi realizado através o Sistema GeoVisual (Yamamoto, 2002).

RESULTADOS E DISCUSÕES

Aquífero Furnas

Os dados dos poços que exploram o Aquífero Furnas foram divididos em dois grupos: ocorrência livre e ocorrência confinada e assim procedida a avaliação estatística.

Ocorrência Livre

Este grupo é constituído por 61 poços, cujos resultados estatísticos estão apresentados nas figuras de 2 a 9 e na tabela 1.

Nas figuras 2 e 3 e na tabela 1, observa-se que a profundidade máxima é 240 m, a mínima 50 m, a média 110 m, a mediana 98,8 m, o desvio padrão 38,5, a variância 1482 e o coeficiente de variação 0,35. Constata-se na figura 3 que 54% dos poços têm profundidades de 50 m a 100 m, 26% têm profundidades de 101 m a 150 m, 19% têm profundidades de 151 m a 200 m e o restante, 1%, têm profundidades de 201 m a 240 metros. Esta maior concentração de profundidades de 50 m a 150 m contribuiu para os baixos valores do coeficiente de variação e do desvio padrão, e para a média próxima de 100 metros. Os poucos valores maiores do que 150 m contribuíram para que estes dados tenham uma distribuição de probabilidade lognormal (figura 3).

Figura 2 – Histograma de profundidade de poços do Aquífero Furnas livre.

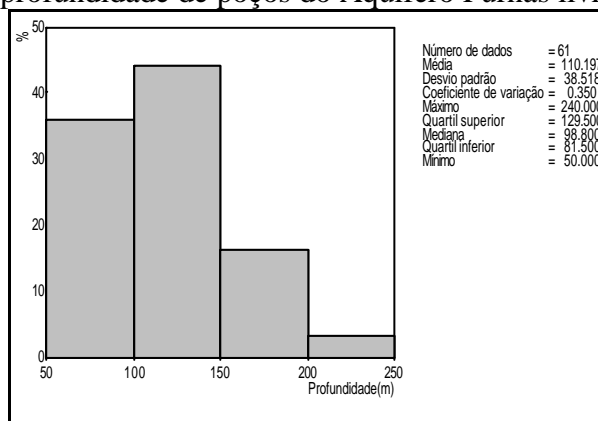
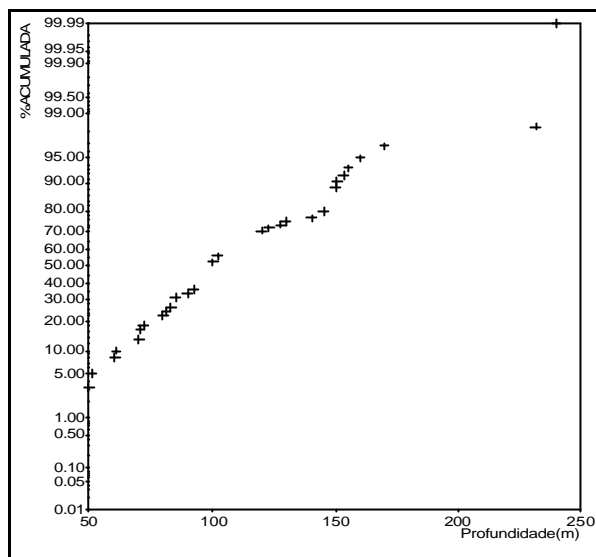


Figura 3 – Curva acumulada probabilidade aritmética de profundidade de poços do Aquífero Furnas livre.



Nas figuras 4 e 5 e na tabela 1 vê-se que a vazão máxima é 240 m³/h, a mínima é 4 m³/h, a média é 29,4 m³/h, a mediana é 12,6 m³/h, o desvio padrão é 44, a variância é 1936 e o coeficiente de variação é 1,5. Observa-se que as vazões de 4 a 10 m³/h correspondem a 10%, de 10,1 m³/h a 20 m³/h equivalem a 49%, de 20,1 m³/h a 30 m³/h correspondem a 18%, de 30,1 m³/h a 40 m³/h equivalem a 12%, de 40,1 m³/h a 50 m³/h correspondem a 3%, e o restante 8% está distribuído igualmente para os intervalos 90 m³/h a 100 m³/h, 110 m³/h a 120 m³/h, 160 m³/h a 170 m³/h, 210 m³/h a 220 m³/h e 230 m³/h a 240 m³/h. Os valores elevados do desvio padrão, da variância e do coeficiente de variação, e a grande diferença entre o máximo e a média são decorrentes da grande diferença entre poucos valores muito elevados em comparação com a grande maioria dos dados. Este comportamento pode ser constatado nas figuras 4 e 5, cuja função de distribuição de probabilidade dos dados é lognormal (figura 5).

Figura 4 – Histograma de vazão de poços do Aquífero Furnas livre.

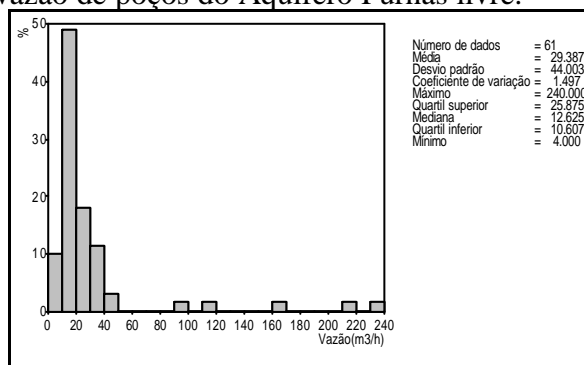
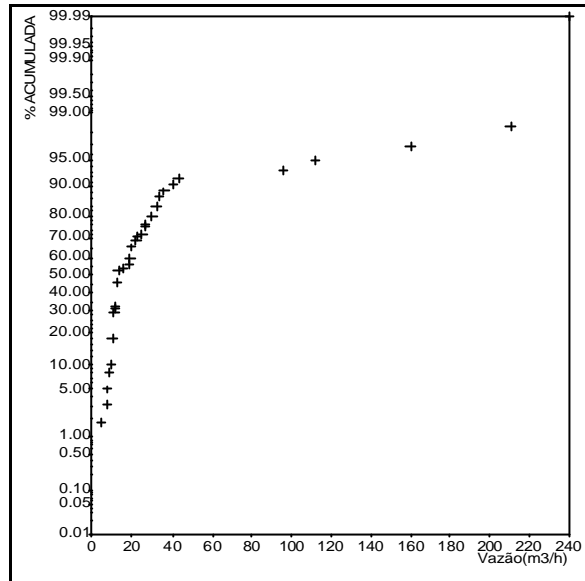


Figura 5 – Curva acumulada probabilidade aritmética de vazão de poços do Aquífero Furnas livre.



Nas figuras 6 e 7 e na tabela 1 a capacidade específica variou de $0,3 \text{ m}^3/\text{h/m}$ a $28 \text{ m}^3/\text{h/m}$, com média de $2,98 \text{ m}^3/\text{h/m}$, mediana de $1,63 \text{ m}^3/\text{h/m}$, desvio padrão de $4,43$, variância de $19,53$ e coeficiente de variação de $1,48$. Observa-se que em torno de 49% dos valores variam de $0,3 \text{ m}^3/\text{h/m}$ a $2 \text{ m}^3/\text{h/m}$, 32% de $2,1 \text{ m}^3/\text{h/m}$ a $3 \text{ m}^3/\text{h/m}$, 5% de $3,1 \text{ m}^3/\text{h/m}$ a $5 \text{ m}^3/\text{h/m}$, 5% de $5,1 \text{ m}^3/\text{h/m}$ a $7 \text{ m}^3/\text{h/m}$, 6% de $7,1 \text{ m}^3/\text{h/m}$ a $8 \text{ m}^3/\text{h/m}$, e os 3% restantes estão distribuídos igualmente nos intervalos de $20 \text{ m}^3/\text{h/m}$ a $21 \text{ m}^3/\text{h/m}$ e de $26 \text{ m}^3/\text{h/m}$ a $28 \text{ m}^3/\text{h/m}$. Os valores elevados do desvio padrão e do coeficiente de variação são decorrentes, principalmente, de poucos dados com valores muito maiores que o restante do conjunto de dados, o que faz com que a função de distribuição de probabilidade seja lognormal (figura 7).

Figura 6 – Histograma de capacidade específica de poços do Aquífero Furnas livre.

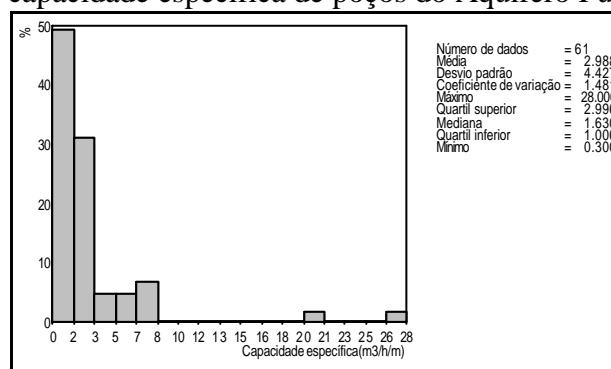
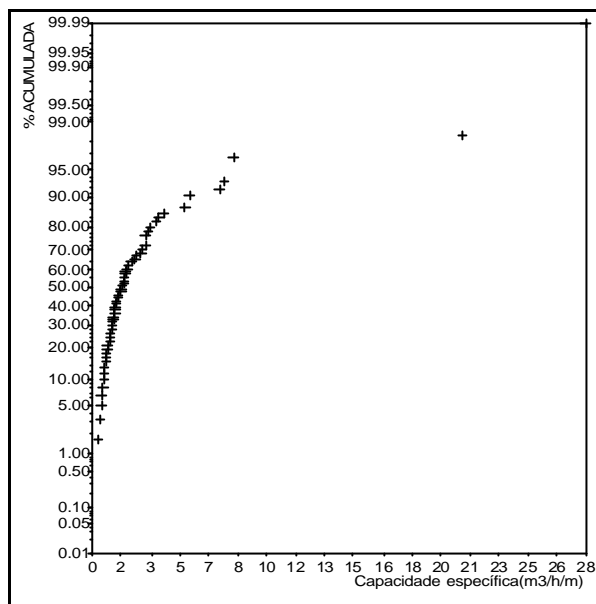


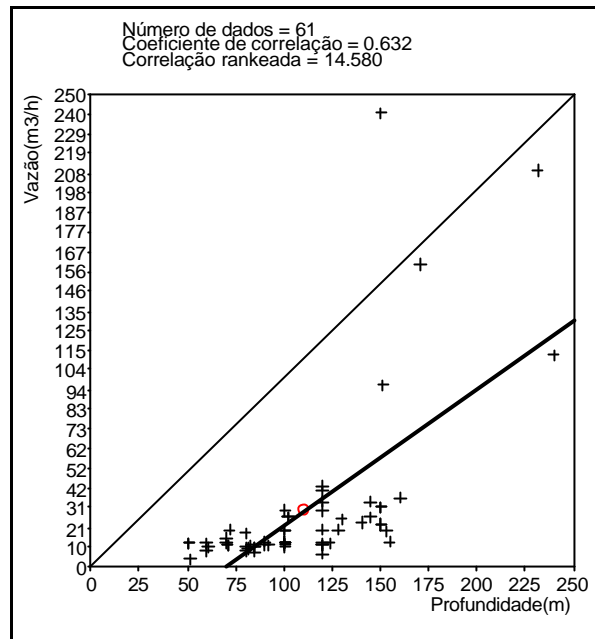
Figura 7 – Curva acumulada probabilidade aritmética de capacidade específica de poços do Aquífero Furnas livre.



A figura 8 mostra a correlação entre a profundidade e a vazão dos poços. O coeficiente de correlação de 0,63 indica que há uma correlação relativamente alta entre estes parâmetros, embora que para algumas profundidades distintas haja vazões muito similares, e também ocorrem vazões diferentes para a mesma profundidade. Observa-se na figura 8 que os dados estão situados muito distantes da bissetriz, com exceção de apenas dois valores, o que indica uma grande dispersão dos poucos valores muito altos dos demais dados. Isto significa que através da reta dos mínimos quadrados ajustada aos dados (figura 8), os valores mais elevados seriam subestimados e os valores menores superestimados. Observa-se que mais de 60% das vazões até $10 \text{ m}^3/\text{h}$ estão vinculadas às profundidades de 50 m a 100 m, e também que existem vazões superiores a estas para este mesmo intervalo de profundidade. Para profundidades de 101 m a 150 m as vazões oscilam entre $10,1 \text{ m}^3/\text{h}$ e $240 \text{ m}^3/\text{h}$, sendo que apenas dois valores estão acima de $100 \text{ m}^3/\text{h}$, e o restante abaixo de $50 \text{ m}^3/\text{h}$. Na faixa de profundidades de 151 m a 200 m as vazões variam de $15 \text{ m}^3/\text{h}$ a $160 \text{ m}^3/\text{h}$, com apenas um valor maior do que $30 \text{ m}^3/\text{h}$. Nas profundidades de 201 m até 250 m, existem dois poços, cujas vazões são respectivamente de $210 \text{ m}^3/\text{h}$ e $115 \text{ m}^3/\text{h}$.

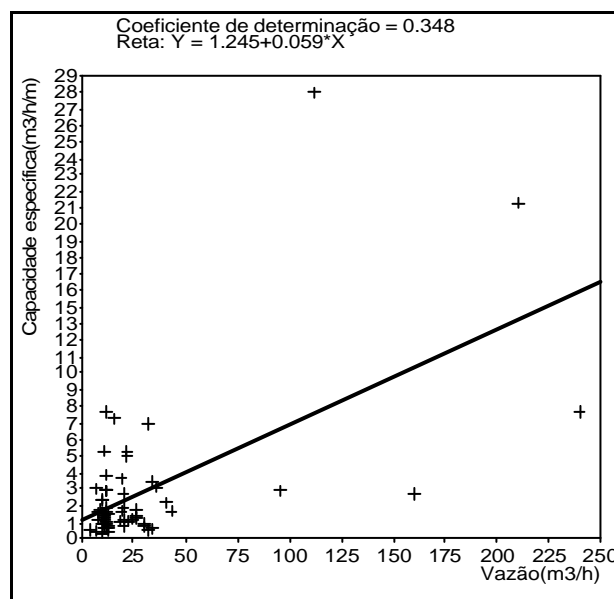
A grande variedade de vazão por profundidade está relacionada, principalmente, à grande variação de profundidade dos poços e provavelmente a diferença de capacidade das bombas instaladas nos poços.

Figura 8 – Dispersão e correlação entre vazão e profundidade de poços do Aquífero Furnas livre.



A figura 9 apresenta a correlação entre a vazão e a capacidade específica. A correlação de 0,56 sugere uma boa correlação, porém esse valor é devido muito mais aos poucos valores elevados da capacidade específica referentes às suas elevadas vazões do que devido à maioria do conjunto de dados. Isto pode ser notado na faixa de vazões até 50 m³/h, onde os valores variam para uma mesma vazão, ou seja a correlação nesse intervalo é relativamente baixa. Este comportamento da capacidade específica com relação à vazão indica que a grande maioria dos poços está subdimensionado, pois uma grande parte deles pode produzir maiores vazões com capacidade específica mais reduzida.

Figura 9 – Correlação entre vazão e capacidade específica de poços do Aquífero Furnas livre.



Estes resultados indicam que nesse tipo de ocorrência o Aquífero Furnas pode produzir vazões superiores às já mencionadas, bastando para isso que os poços penetrem mais na zona saturada do aquífero e as vazões sejam dimensionadas de acordo com os critérios técnicos específicos. Essa análise mostra que o Aquífero Furnas têm condições de fornecer grandes volumes de água para complementar o abastecimento público e atender os vários tipos de usos da cidade.

Tabela 1 - Estatística de dados de poços do Aquífero Furnas livre.

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	D. Padrão	Variância	C. Variação
Profundidade (m)	240	50	110	98,8	38,5	1482	0,35
Vazão (m ³ /h)	240	4	29,4	12,62	44	1936	1,49
Cap. Esp. (m ³ /h/m)	28	0,3	2,98	1,63	4,42	19,53	1,48

Furnas Confinado

Este grupo é constituído por 66 poços, cujos resultados estatísticos estão apresentados nas figuras de 10 a 18 e na tabela 2.

Nas figuras 10 e 11 e na tabela 2 observa-se que a profundidade máxima é 550 m, a mínima 50 m, a média 137 m, a mediana 108 m, o desvio padrão 79,4, a variância 6304 e o coeficiente de variação 0,58. Vê-se nas figuras 10 e 11 que 18% dos poços têm profundidades de 50 m a 100 m, 58% têm profundidades de 101 m a 150 m, 23% de 151 m a 200 m, e o restante 1%, têm profundidades de 201 m a 550 metros. Esta maior concentração de profundidades de 101 m a 150 m é responsável pelos baixos valores do coeficiente de variação e do desvio padrão, e da média próxima de 150 metros. As poucas profundidades (1%) muito maiores que o restante do conjunto de dados contribuiram para que os dados tenham uma função de distribuição de probabilidade lognormal (figura 11).

Figura 10 – Histograma de profundidade de poços do Aquífero Furnas confinado.

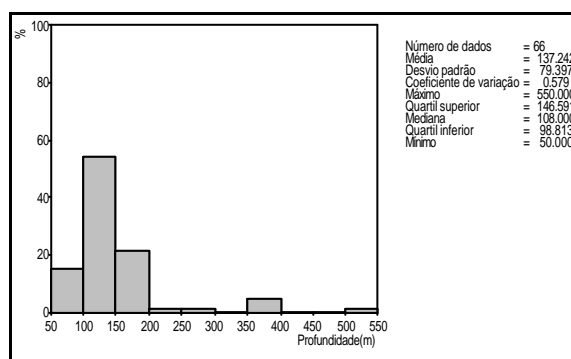
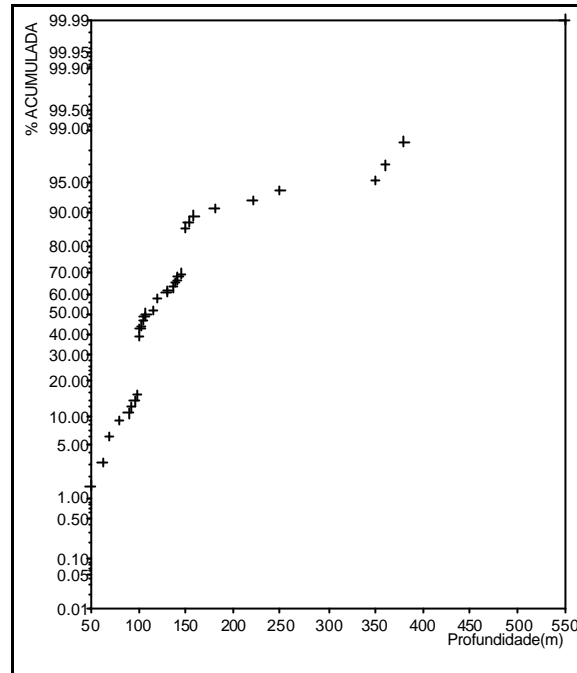


Figura 11 – Curva acumulada probabilidade aritmética de profundidade de poços do Aquífero Furnas confinado.



Nas figuras 12 e 13 e na tabela 2 vê-se que a vazão máxima é 250 m³/h, a mínima é 6 m³/h, a média é 26 m³/h, a mediana é 13 m³/h, o desvio padrão é 39,3, a variância é 1528 e o coeficiente de variação é 1,5. Observa-se que as vazões de 6 m³/h a 10 m³/h correspondem a 22%, de 10,1 m³/h a 20 m³/h equivalem a 50%, de 20,1 m³/h a 30 m³/h correspondem a 12%, de 30,1 m³/h a 40 m³/h equivalem a 4%, de 40,1 m³/h a 60 m³/h correspondem a 1%, de 60 m³/h a 70 m³/h equivalem a 4%, e os demais 7% estão distribuídos igualmente nos intervalos de 70 m³/h a 90 m³/h, de 200 m³/h a 210 m³/h e 250 m³/h. Os valores altos do desvio padrão, da variância e do coeficiente de variação, e a grande diferença entre o máximo e a média são decorrentes da grande diferença entre poucos valores muito elevados em comparação com a grande maioria dos dados. Esta característica pode ser vista na figura 13, cuja função de distribuição de probabilidade dos dados é lognormal.

Figura 12 – Histograma de vazão de poços do Aquífero Furnas confinado.

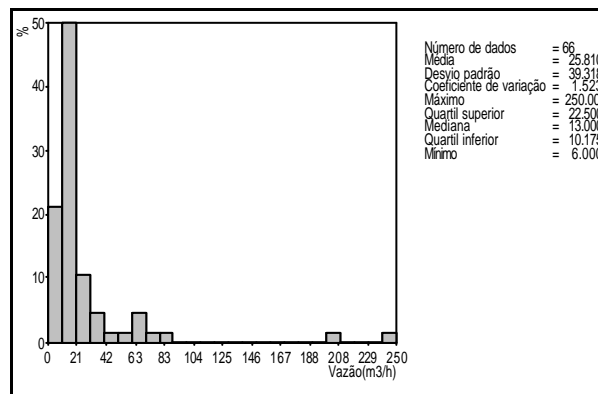
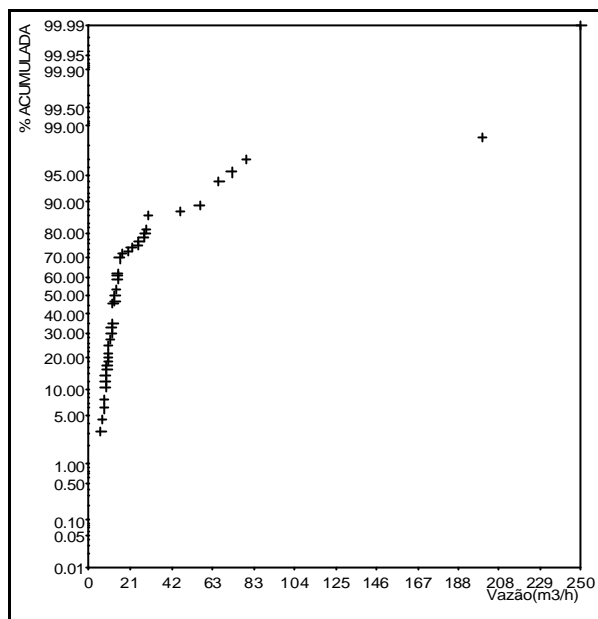


Figura 13 – Curva acumulada probabilidade aritmética de vazão de poços do Aquífero Furnas confinado.



Nas figuras 14 e 15 e na tabela 2 nota-se que a capacidade específica variou de $0,37 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ a $8,3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, com média de $1,97 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, mediana de $1,48 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, desvio padrão de $1,64$, variância de $2,7$ e coeficiente de variação de $0,83$. Verifica-se que em torno de 18% dos valores variam de $0,37 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ a $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, 30% de $0,51 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ a $1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, 25% de $1,1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ a $2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, 14% de $2,1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ a $3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, 7% de $3,1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ a $4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, e os 6% restantes estão distribuídos igualmente nos intervalos de $5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ a $5,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e de $6,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ a $8 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Os quatro valores mais elevados, são responsáveis pelos valores relativamente altos do desvio padrão, da variância e do coeficiente de variação, e ainda contribuíram para que os dados tenham uma função de distribuição de probabilidade lognormal (figura 15).

Figura 14 – Histograma de capacidade específica de poços do Aquífero Furnas confinado.

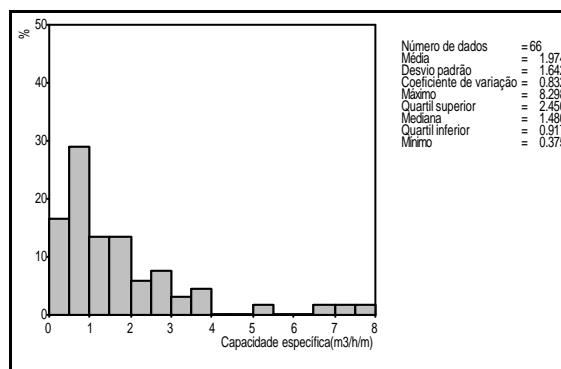
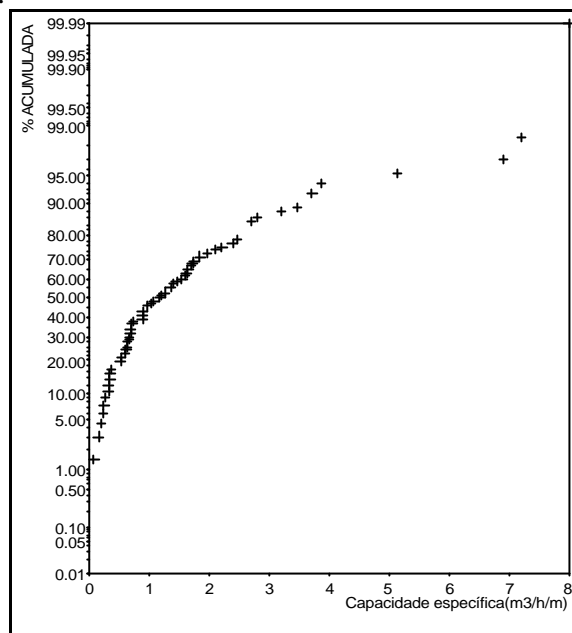


Figura 15 – Curva acumulada probabilidade aritmética de capacidade específica de poços do Aquífero Furnas confinado.



A figura 16 mostra a dispersão e a correlação entre a profundidade e a vazão dos poços. O coeficiente de correlação de 0,63 mostra que há uma correlação relativamente alta entre estes parâmetros, embora que para algumas profundidades distintas haja vazões muito similares, e também ocorrem vazões diferentes para a mesma profundidade. Observa-se que a reta dos mínimos quadrados ajustada aos dados (figura 17), a qual leva em consideração a média dos dados, subestima os valores maiores e superestima os valores menores. Este comportamento é devido aos poucos valores maiores de vazão que nem sempre estão relacionados às maiores profundidades, conforme pode ser evidenciado na dispersão dos dados, onde na vizinhança da bissetriz ocorre apenas um valor e os demais bem deslocados dela (figura 16).

A figura 17 mostra que na faixa de profundidades entre 50 m e 100 m ocorrem vazões de até 25 m³/h, nas profundidades de 101 m a 150 m as vazões variam entre 6 m³/h e 85 m³/h, nas profundidades de 151 m a 200 m as vazões oscilam de 7 m³/h a 70 m³/h, nas profundidades de 200 m a 250 m existem duas vazões, uma em torno 7 m³/h e a outro de 250 m³/h, nas profundidades de 350 m a 400 m existem três vazões entre 30 m³/h e 70 m³/h e na profundidade de 550 m ocorre uma vazão de 200 m³/h. Esse comportamento um tanto aleatório da vazão com relação à profundidade pode ser devido à diferença de penetração dos poços na zona saturada do aquífero e a diferença de capacidade das bombas instaladas nos poços.

Figura 16 – Dispersão e correlação entre vazão e profundidade de poços do Aquífero Furnas confinado.

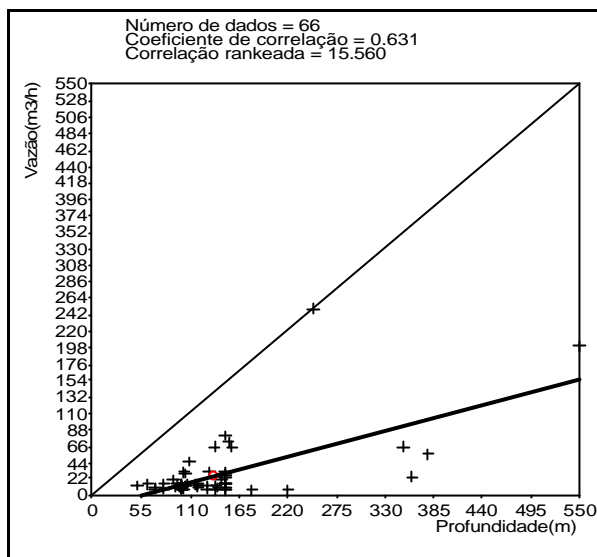
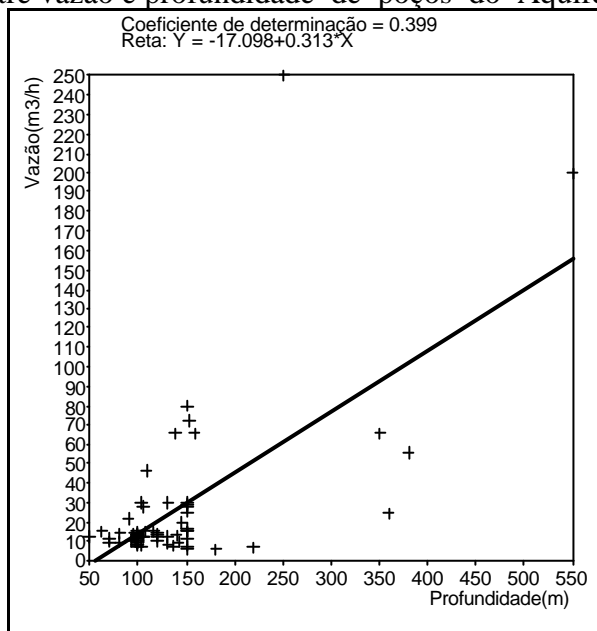
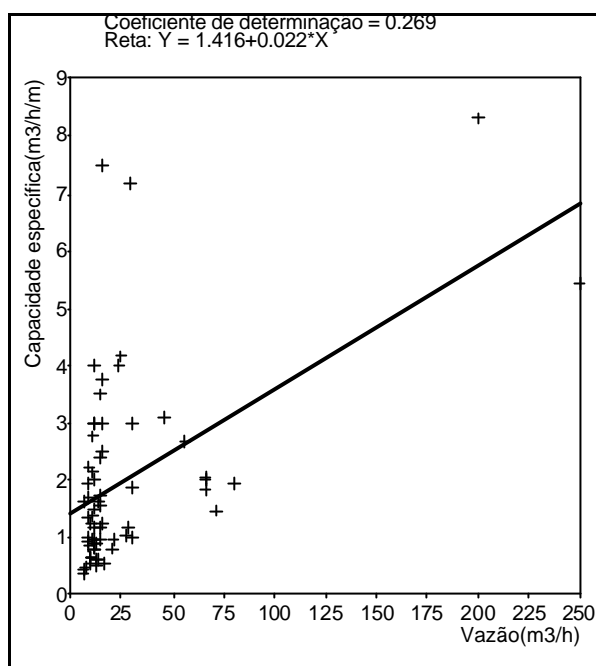


Figura 17 – Correlação entre vazão e profundidade de poços do Aquífero Furnas confinado.



A figura 18 mostra a correlação entre a vazão e a capacidade específica, cujo valor de 0,52 sugere uma boa correlação, no entanto, observa-se que para uma mesma vazão existem vários valores de capacidade específica, principalmente na faixa de vazão de 6 m³/h a 30 m³/h. Além disso, os dois valores de capacidade específica relacionados às duas maiores vazões tiveram uma grande contribuição para esta correlação. Este comportamento pode ser constatado através da reta dos mínimos quadrados ajustada aos dados, ela mostra que os dados localizados acima dela são subestimados e abaixo dela são superestimados. Este comportamento da capacidade específica com relação à vazão sugere que a grande maioria dos poços está sub-dimensionado, pois eles podem produzir maiores vazões com capacidade específica menor.

Figura 18 – Correlação entre vazão e capacidade específica de poços do Aquífero Furnas confinado.



Os resultados desta avaliação indicam que neste tipo de ocorrência podem ser produzidas vazões maiores, basta que os poços penetrem mais na zona saturado do aquífero e as vazões sejam dimensionadas de acordo com os critérios técnicos específicos. Esta análise mostra que o Aquífero Furnas tem condições de fornecer grandes volumes de água para complementar o abastecimento público e atender os vários tipos de usos de água da cidade.

Tabela 2 - Estatística de dados de poços do Aquífero Furnas confinado.

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	D. Padrão	Variância	Coef. Variação
Prof. (m)	550	50	137	108	79,4	6304	0,58
Vazão (m³/h)	250	6	25,8	13	39,3	1528	1,52
Cap. Esp. (m³/h/m)	8,3	0,38	1,97	1,48	1,64	2,69	0,83

A tabela 3 apresenta os dados estatísticos dos parâmetros dos poços do Aquífero Furnas livre e confinado. A dispersão da profundidade de poços no Furnas livre é menor do que no Furnas confinado, pois a variância, o desvio padrão e o coeficiente de variação do primeiro é menor do que do último. A vazão no Furnas livre apresenta maior dispersão do que no Furnas confinado, visto que a variância, o desvio padrão e o coeficiente de variação do primeiro são maiores do que os do segundo. A capacidade específica do Furnas livre apresenta maior dispersão do que no Furnas confinado, uma vez que a variância, o desvio padrão e o coeficiente de variação do primeiro são maiores do que os do segundo. A vazão e a profundidade dos poços apresentam correlação igual

tanto para o Furnas livre quanto para o confinado, no entanto, a correlação entre a vazão e capacidade específica no Furnas livre é um pouco maior do que no Furnas confinado, mostrando que as vazões dos poços no livre estão melhores dimensionadas do que no confinado.

Tabela 3 – Dados estatísticos dos parâmetros dos poços do Aquífero Furnas livre e Confinado.

Parâmetro estatístico	Profundidade (m)		Vazão (m ³ /h)		Capacidade específica (m ³ /h/m)	
	Livre	Confinado	Livre	Confinado	Livre	Confinado
Máximo	240	550	240	250	28	8,3
Mínimo	50	50	4	6	0,3	0,38
Média	110	137	29,4	25,8	2,98	1,97
Mediana	99	108	12,62	13	1,63	1,48
Variância	1482	6304	1936	1528	19,53	2,69
Desvio padrão	38,5	79,4	44	39,3	4,42	1,64
Coef. de Variação	0,35	0,58	1,49	1,52	1,48	0,83
Coef. de correlação	0,63*	0,63*	-----	-----	0,56**	0,52**

* Profundidade x vazão ** Vazão x capacidade específica

Aquífero Transição Furnas Ponta Grossa

Neste aquífero foram analisados os dados de produção de 11 poços, cujos resultados estatísticos estão apresentados nas figuras 19 a 26 e na tabela 4.

Nas figuras 19 e 20 e na tabela 4 verifica-se que a profundidade variou de 60 m a 180 m, com média de 115 m, mediana de 108 m, desvio padrão de 35, variância de 1225 e o coeficiente de variação de 0,3. Observa-se que 19% das profundidades oscilaram de 59 m a 100 m, 58% variaram de 100 m a 139 m e 23% variaram de 140 m a 180 metros. Os valores do desvio padrão, da variância e do coeficiente de variação, mostram a boa distribuição dos dados com relação à média. Além disso, como a diferença entre a média e a mediana é positiva, então a função de distribuição de probabilidade dos dados é lognormal (figura 20).

Figura 19 – Histograma de profundidade de poços do Aquífero Transição Furnas Ponta Grossa.

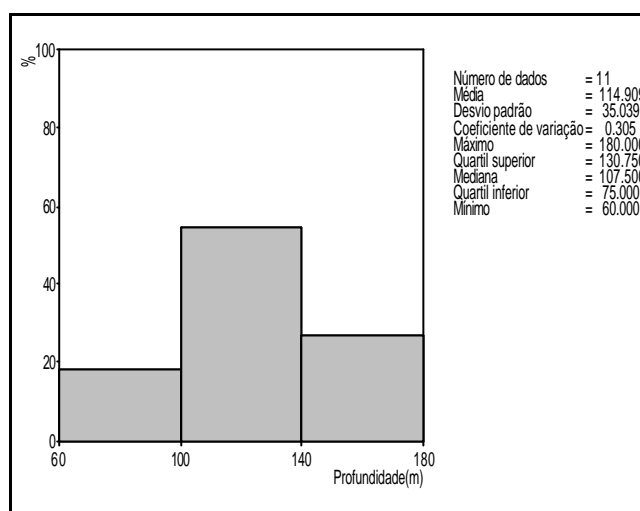
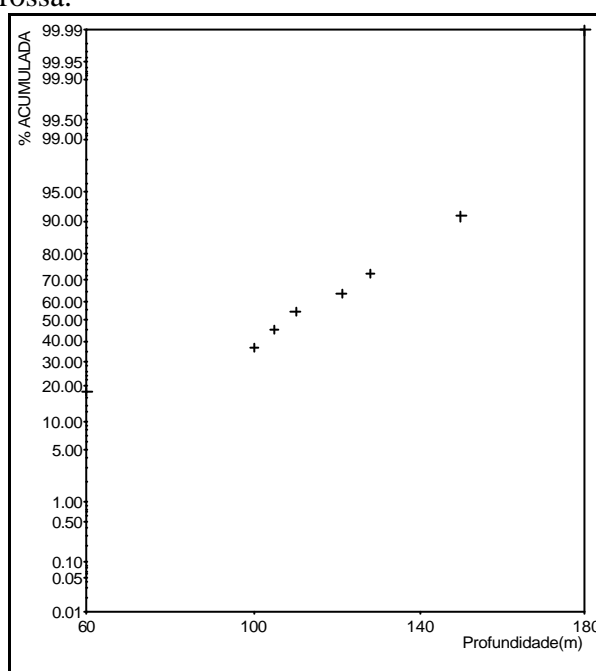


Figura 20 – Curva acumulada probabilidade aritmética de profundidade de poços do Aquífero Transição Furnas Ponta Grossa.



Nas figuras 21 e 22 e na tabela 4 vê-se que a vazão máxima é $14 \text{ m}^3/\text{h}$, a mínima é $3 \text{ m}^3/\text{h}$, a média é $7 \text{ m}^3/\text{h}$, a mediana é $5,6 \text{ m}^3/\text{h}$, o desvio padrão é 3, a variância é 9 e o coeficiente de variação é 0,43. Observa-se que as vazões de $3 \text{ m}^3/\text{h}$ a $6 \text{ m}^3/\text{h}$ correspondem a 55%, de $7 \text{ m}^3/\text{h}$ a $9 \text{ m}^3/\text{h}$ equivalem a 27%, de $10 \text{ m}^3/\text{h}$ a $11 \text{ m}^3/\text{h}$ correspondem a 9% e de $13 \text{ m}^3/\text{h}$ a $14 \text{ m}^3/\text{h}$ equivalem a 9%. Os valores do desvio padrão, da variância e do coeficiente de variação indicam que os dados apresentam uma dispersão regular em torno da média. A partir da diferença entre a média e a mediana constata-se que estes dados têm uma distribuição de probabilidade lognormal (figuras 22).

Figura 21 – Histograma de vazão de poços do Aquífero Transição Furnas Ponta Grossa.

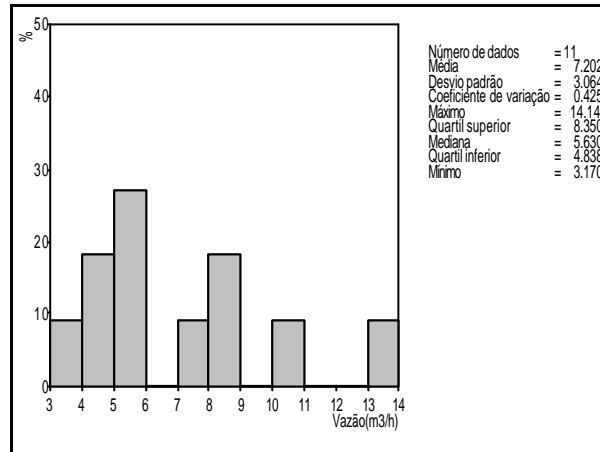
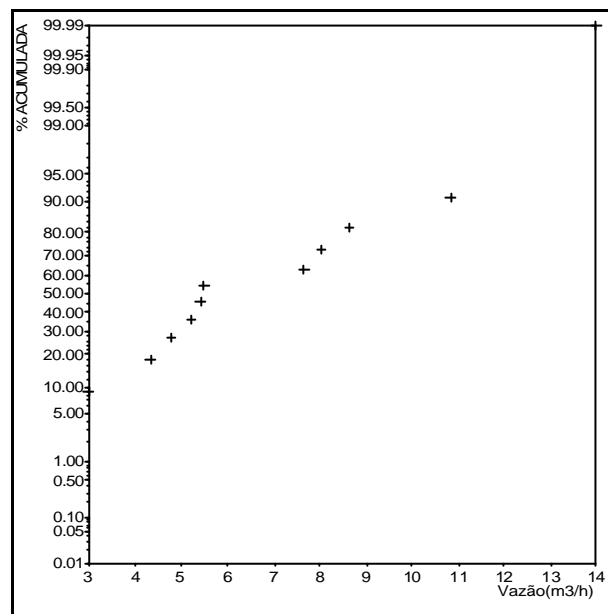


Figura 22 – Curva acumulada probabilidade aritmética de vazão de poços do Aquífero Transição Furnas Ponta Grossa.



Nas figuras 23 e 24 e na tabela 4 observa-se que a capacidade específica apresentou um máximo de $0,29 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, um mínimo de $0,11 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, a média de $0,21 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, a mediana de $0,21 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, o desvio padrão de $0,06$, a variância de aproximadamente 0 e o coeficiente de variação de $0,28$. Estes dados têm a distribuição de probabilidade normal (figuras 24), pois a média e a mediana são iguais.

Figura 23 – Histograma de capacidade específica de poços do Aquífero Transição Furnas Ponta Grossa.

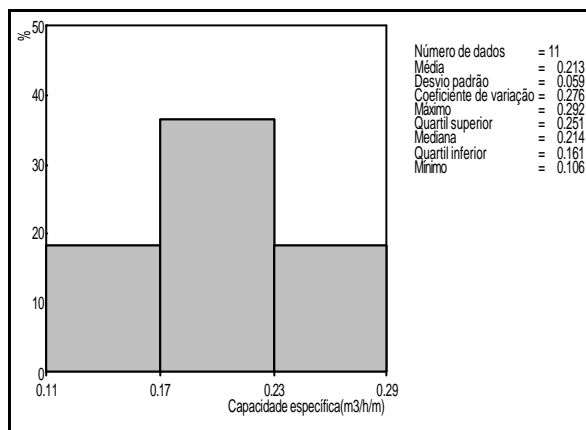
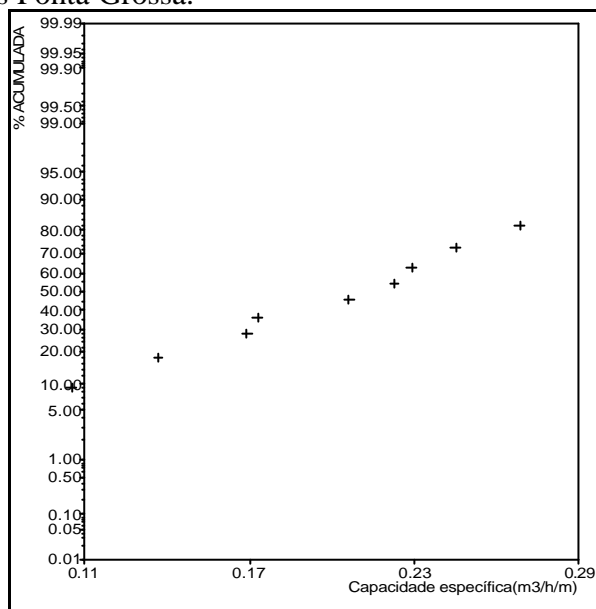


Figura 24 – Curva acumulada de probabilidade aritmética de capacidade específica de poços do Aquífero Transição Furnas Ponta Grossa.



A figura 25 apresenta a correlação entre a profundidade e a vazão. Nela observa-se que há uma aleatoriedade relativamente alta, o que está coerente com o baixo valor da correlação de 0,35. O reflexo desta baixa correlação pode ser notado na reta dos mínimos quadrados ajustada aos dados, cujo coeficiente de determinação é de 0,12. Esta baixa correlação é devida, principalmente a heterogeneidade litológica do aquífero.

A figura 26 mostra a correlação entre a vazão e a capacidade específica, cujo valor é de 0,11, uma correlação insignificante entre estes parâmetros. Isto mostra que as vazões são dimensionadas sem levar em consideração a capacidade do aquífero.

Figura 25 – Correlação entre vazão e profundidade de poços do Aquífero Transição Furnas Ponta Grossa.

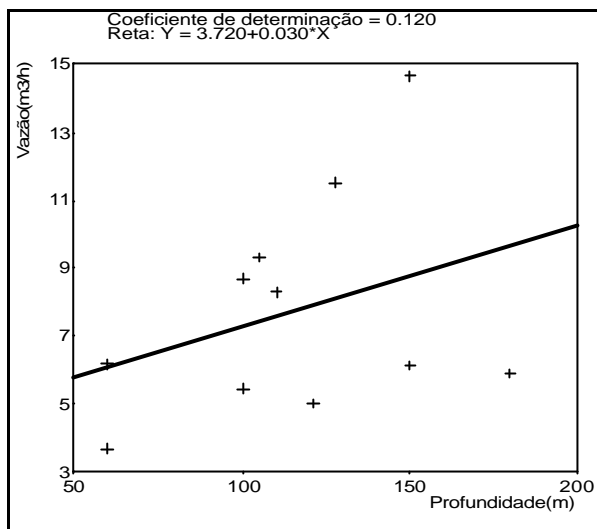


Figura 26 – Correlação entre vazão e capacidade específica de poços do Aquífero Transição Furnas Ponta Grossa.

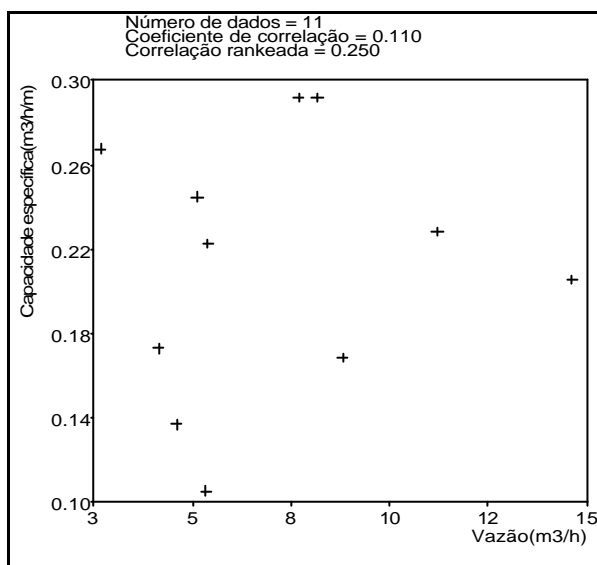


Tabela 4 - Estatística de dados de poços do Aquífero Transição Furnas Ponta Grossa.

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	D.Padrão	Variância	C. Variação
Profundidade (m)	180	60	115	108	35	1225	0,3
Vazão (m³/h)	14	3	7	5,6	3	9	0,43
Cap. Esp. (m³/h/m)	0,29	0,11	0,21	0,21	0,06	0,003	0,28

A análise conjunta dos resultados dos poços indica que as vazões foram produzidas as custas de uma capacidade específica muito baixa.

O conhecimento da produtividade deste aquífero é de grande importância, visto que ele pode atender as demandas de água menores que 12 m³/h.

A tabela 5 apresenta as variações dos parâmetros estudados em cada aquífero. No Furnas livre as vazões variam de 4 m³/h a 240 m³/h com capacidade específica de 0,3 m³/h/m a 28 m³/h/m. No Furnas confinado a vazão varia de 6 m³/h a 250 m³/h e a capacidade específica de 0,5 m³/h/m a 8,2 m³/h/m, portanto maiores vazões com valores de capacidade específica menos dispersos do que no Furnas livre. De modo geral o Furnas produz vazões de 3 m³/h a 250 m³/h com capacidade específica entre 03 m³/h/m e 28 m³/h/m. Observa-se em ambas as ocorrências do Furnas que as menores vazões estão relacionadas a poços de menores profundidades e as maiores aos poços de profundidades maiores. No Aquífero Transição Furnas Ponta Grossa a vazão variou de 3 m³/h a 14 m³/h e a capacidade específica oscilou de 0,11 m³/h/m a 0,29 m³/h/m.

Tabela 5 - Variação dos dados de poços dos Aquíferos Furnas e Transição Furnas Ponta Grossa.

Profundidade de poço (m)	Vazão (m ³ /h)	C. Específica (m ³ /h/m)	Modo de Ocorrência do aquífero
50 a 100	4 a 30	0,3 a 8	Aquífero Furnas livre
101 a 150	8 a 100	0,45 a 8	Aquífero Furnas livre
151 a 240	13 a 240	0,43 a 28	Aquífero Furnas livre
50 a 100	6 a 30	0,5 a 3,8	Aquífero Furnas confinado
101 a 150	6 a 80	0,4 a 7,2	Aquífero Furnas confinado
151 a 250	12 a 70	0,4 a 5,4	Aquífero Furnas confinado
251 a 550	30 a 250	1,8 a 8,2	Aquífero Furnas confinado
60 a 100	3 a 8	0,12 a 0,29	Aquífero Transição Furnas Ponta Grossa
101 a 180	5 a 14	0,10 a 0,29	Aquífero Transição Furnas Ponta Grossa

CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES

No Furnas livre a profundidade variou de 240 m a 50 m, com média de 110 m, enquanto no Furnas confinado o máxima é 550 m e o mínima 50 m, com média de 137 metros. A dispersão da profundidade de poços no Furnas livre é menor do que no Furnas confinado, pois a variância, o desvio padrão e o coeficiente de variação do primeiro são menores do que do último.

No Aquífero Furnas livre as vazões variam de 4 m³/h a 240 m³/h, com média 29,4 m³/h e a capacidade específica de 0,3 m³/h/m a 28 m³/h/m, com média 2,98 m³/h/m. No Furnas confinado as vazões mínima e máxima são respectivamente 6 m³/h e 250 m³/h e média 25,8 m³/h e a capacidade específica mínima de 0,5 m³/h/m e máxima de 8,2 m³/h/m, com média de 1,97 m³/h/m. Em geral o Aquífero Furnas produz vazões de 3 m³/h a 250 m³/h com capacidade específica entre 03 m³/h/m e 28 m³/h/m.

A vazão no Furnas livre apresenta maior dispersão do que no Furnas confinado, visto que a variância, o desvio padrão e o coeficiente variação do primeiro são maiores do que os do segundo. A capacidade específica do Furnas livre está mais dispersa do que no Furnas confinado, uma vez

que a variância, o desvio padrão e o coeficiente de variação do primeiro são maiores do que os do segundo.

A vazão e a profundidade dos poços produziram correlação igual tanto para o Furnas livre quanto para o confinado. A correlação entre a vazão e capacidade específica no Furnas livre é um pouco maior do que no Furnas confinado, mostrando que as vazões dos poços na ocorrência livre estão melhores dimensionadas do que no confinado. A maioria das vazões produzidas, tanto no Furnas livre quanto no confinado, pode ser significativamente maior, uma vez que a capacidade específica de muitos poços é alta. Em ambas as ocorrências, as menores vazões estão relacionadas a poços de menores profundidades e as maiores aos poços de profundidades maiores.

No Aquífero Transição Furnas Ponta Grossa a profundidade dos poços variou de 60 m a 180 m, com média de 115 m. O desvio padrão, a variância e o coeficiente de variação, indicam uma boa distribuição deste parâmetro com relação à média. As vazões mínima e máxima dos poços são respectivamente 3 m³/h e 14 m³/h e a capacidade específica mínima e máxima são 0,11 m³/h/m e 0,29 m³/h/m. A correlação entre estes dois parâmetros é muito baixa, indicando que as vazões são dimensionadas sem levar em consideração a capacidade do aquífero.

A correlação entre a profundidade e a vazão é 0,35, indicando uma aleatoriedade alta entre estes parâmetros. Esta baixa correlação é devida, principalmente a heterogeneidade litológica do aquífero.

O Furnas é o principal aquífero podendo produzir grandes volumes de água capaz de atender grandes demandas, como a do abastecimento público. O Aquífero Transição Furnas Ponta Grossa pode produzir volumes de água para atender demandas pequenas, com as da maioria dos usos particulares.

Estes resultados poderão ser úteis na elaboração de projetos de poços tubulares e no estabelecimento de diretrizes para a gestão desses aquíferos na área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CUTRIM, A. O.; REBOUÇAS, A. C. Tipos de Usos de Água do Aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis-MT. 1º Simpósio de Recursos Hídricos da Região Sul – 1º Simpósio de Águas da AUGM, Santa Maria –RS, 2005.
- FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A. **Curso de estatística**. São Paulo, Editora Atlas, 1982.
- KOCH JR., G. S.; LINK, R. F. **Statistical analysis of geological data**. New York, Dover Publishing, vol. I, 1971.
- RUIZ, A. S.; CUTRIM, A. O.; CASARIN, J. C.; VECCHIATO, A. B.; SALOMÃO, F. X. T. Mapeamento geológico da Bacia do Paraná na cidade de Rondonópolis-MT., Inédito.
- YAMAMOTO, J. K. Manual do sistema GeoVisual. Centro de Geociências-USP. 2002.