

**Pereira, M. do Rosário e C. Almeida (1994)**

**Captação de Água Subterrânea em Rochas Cristalinas:  
Factores que Influenciam a Produtividade**

Actas do 2º Congresso da Água, vol. II, p. 95-106, Lisboa.

**CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM ROCHAS CRISTALINAS:  
FACTORES QUE INFLUENCIAM A PRODUTIVIDADE**

M<sup>a</sup> do Rosário PEREIRA <sup>(1)</sup> ; Carlos ALMEIDA <sup>(2)</sup>

**RESUMO**

A análise estatística de caudais de furos, realizados em rochas cristalinas da região de Trás-os-Montes oriental, permitiu estudar a dependência dos caudais encontrados em relação a alguns factores.

Os factores estudados foram: a posição topográfica dos furos, a litologia atravessada e a presença, ou ausência, de filonetes de quartzo.

Comparando os caudais obtidos em vales, com os obtidos em encostas, pode-se constatar que, na região estudada, não há diferenças significativas entre as duas posições topográficas.

O comportamento dos granitos é mais desfavorável do que o dos quartzitos, ou dos xistos em geral. Na comparação dos resultados obtidos em quartzitos e xistos, não se detectam diferenças significativas.

A intercalação de filonetes de quartzo, nas várias litologias estudadas, demonstrou ser um factor muito favorável na produtividade das rochas cristalinas, contribuindo para se obterem caudais mais elevados e mais furos produtivos.

**Palavras-chave:** água subterrânea, rochas cristalinas, topografia, litologia, filonetes de quartzo, análise estatística.

---

<sup>1</sup>Geóloga, Assistente da Secção de Geologia do Depart. de Geociências da Univ. de T.M. e A.Douro

<sup>2</sup>Geólogo, Prof. Auxiliar do Depart. de Geol. da Fac. Ciências da Univ. de Lisboa, Centro de Geol. da Univ. de Lisboa.

## INTRODUÇÃO

Em diversos trabalhos sobre hidrogeologia de rochas cristalinas tem-se tentado estabelecer relações entre a produtividade das captações e algumas características dos locais onde elas se implantam, tais como: litologia, factores estruturais e factores topográficos.

LeGRAND (1954), num estudo realizado numa região de granitos, gabros, gnaisses e xistos da Carolina do Norte, concluiu que os maiores caudais ocorrem nos vales e barrancos extensos, sendo progressivamente menos significativos nas áreas planálticas nas encostas e nos cumes (Fig. 1).

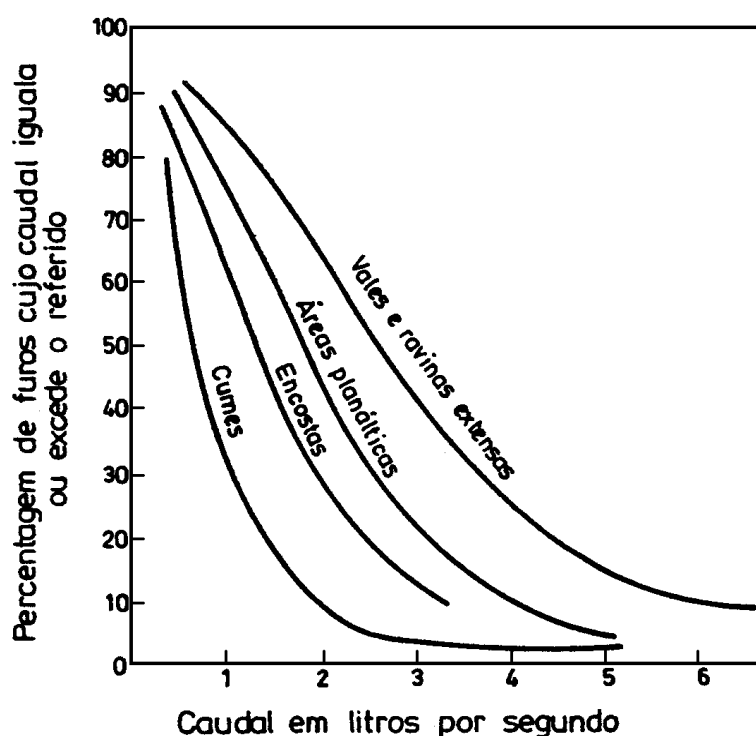
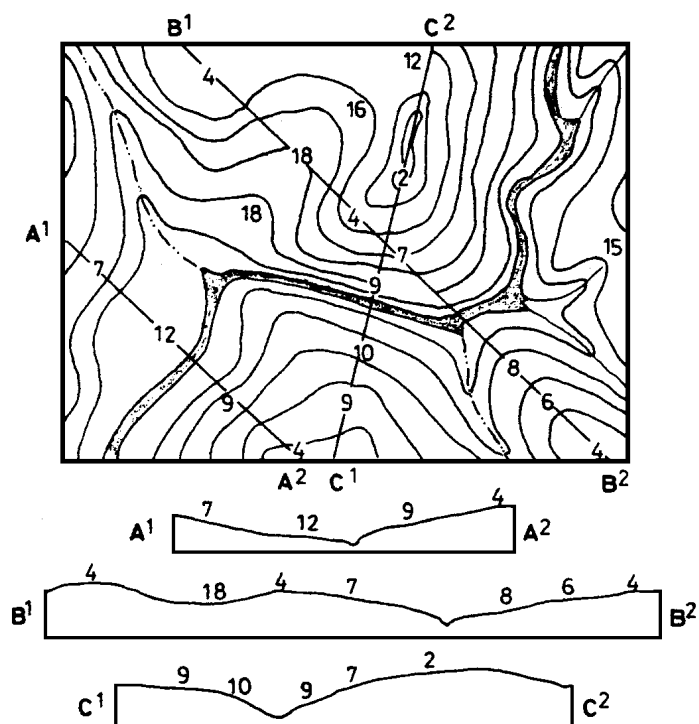


Fig. 1 - Distribuição cumulativa de frequência dos caudais, relativamente à posição topográfica, na Carolina do Norte (E.U.A) (adaptado de LeGRAND, 1954).

Posteriormente, o mesmo autor (LeGRAND, 1967) apresenta um sistema de ponderação onde faz corresponder um valor diferente (entre 0 e 18) a cada posição topográfica (Fig.2). O valor zero é atribuído a uma posição de cumes ("steep ridge top") e o valor mais elevado (18) corresponde a uma situação topográfica de vale aberto. Segundo aquele autor, quanto maior o valor atribuído, maior a probabilidade de obter um caudal elevado. COSTA (1990), ao analisar a produtividade de 184 furos da região de Trás-os-Montes oriental, concluiu que 55% dos furos realizados em vales tinham caudal superior a 0.5 L/s e que nas encostas essas condições apenas se verificaram em 44% dos casos.

O facto de 45% de furos nos vales apresentarem caudal muito reduzido, ou nulo, levaram a admitir que a posição topográfica, por si só, não é determinante, estando a produtividade condicionada por outros factores que contribuam para a circulação da água subterrânea, como, por exemplo, fracturas, filões de quartzo, ou zonas alteradas (COSTA,1990).



- |                             |   |
|-----------------------------|---|
| 0 Cume                      | 8 Planalto aberto                         |
| 2 Planalto                  | 9 Parte mais baixa da encosta             |
| 4 Planalto arredondado      | 12 Fundo de vale ou Planície de inundação |
| 5 Ponto médio da encosta    | 15 Alinhamento em vale fechado            |
| 7 Encosta suave em planalto | 18 Alinhamento em vale aberto             |

Fig.2 - Sistema de pontos usado para atribuir valores a diferentes situações topográficas, na localização de furos. O mapa e os perfis topográficos mostram os pontos atribuídos às várias posições topográficas. (adaptado de LeGRAND, 1967).

Mais recentemente, YIN & BROOK (1992), voltam a abordar o problema, sob um ponto de vista estatístico, com o objectivo de verificar se as diferenças observadas nos caudais obtidos em diferentes posições topográficas são realmente significativas. Aqueles autores fizeram a análise dos caudais de 301 furos e concluem que apesar dos valores médios, correspondentes às classes em diferentes situações topográficas, poderem ser diferentes, essas diferenças nem sempre são estatisticamente significativas, devido aos elevados coeficientes de variação dentro das classes.

O objectivo do presente estudo é procurar verificar, com critérios estatísticos, em que medida os caudais obtidos em vales e em encostas são significativamente diferentes. Procura-se também definir se a litologia tem influência nos caudais encontrados. O estudo baseia-se na análise dos caudais de 104 furos, apresentados por COSTA (1990).

## DADOS

Os dados que servem de base a este estudo, correspondem a caudais obtidos em 104 furos de pesquisa realizados em rochas cristalinas do NE de Portugal (Fig.3).

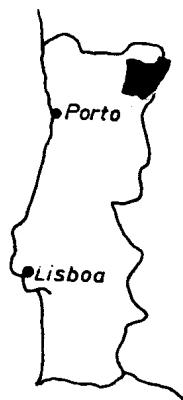


Fig. 3 - Localização da região em estudo

Do ponto de vista do enquadramento geológico, a região estudada insere-se na unidade geológica das formações antigas, constituída por terrenos ante-mesozóicos hercínicos, de que fazem parte diversos tipos de rochas metamórficas e eruptivas.

As formações pesquisadas foram agrupadas em função das suas características hidrogeológicas. Desta forma cada grupo pode englobar rochas pertencentes a diferentes níveis litoestratigráficos, de entre os que foram definidos por RIBEIRO(1974), mas que consideramos terem comportamento hidrogeológico idêntico.

Os grupos considerados neste estudo, são:

- xistos e grauvaques (48 furos); quartzitos (15 furos); granitos (10 furos); gnaisses (7 furos); metavulcanitos (5 furos); ultrabásicas (1 furo); contactos entre litologias (11 furos).

Do ponto de vista da localização topográfica, agruparam-se os 104 furos em 4 situações possíveis:

- vales (71 furos); encostas (26 furos); planaltos (3 furos); cabeços (4 furos).

Dado o escasso número de observações nos planaltos e cabeços apenas se fez a análise estatística dos caudais encontrados nos vales e nas encostas.

Os furos foram todos executados com o diâmetro de 6"1/2 e foram submetidos a ensaios de caudal com a duração de 6 horas de bombagem.

Os extremos e principais estatísticas referentes aos caudais observados constam do quadro I, II e III e fig. 4.

QUADRO I  
Caudais de furos em vales e encostas

	Vale	Encosta
Nº de furos	71	26
Caudal mínimo (L/s)	0.0	0.0
Caudal máximo (L/s)	5.5	3.8
Caudal médio (L/s)	1.2	0.9
Desvio padrão (L/s)	1.4	1.0
Coefficiente de variação (%)	117.3	120.4

**QUADRO II**  
Caudais de furos em xistos, quartzitos e granitos

	Xistos	Quartzitos	Granitos
Nº de furos	48	15	10
Caudal mínimo (L/s)	0.0	0.0	0.0
Caudal máximo (L/s)	5.5	5.2	1
Caudal médio (L/s)	1.5	1.7	0.2
Desvio padrão (L/s)	1.3	1.6	0.3
Coefficiente de variação (%)	90.9	93.3	178.4

**QUADRO III**  
Caudais de furos em rochas com e sem filonetes de quartzo

	C/filonetes de quartzo	S/filonetes de quartzo
Nº de furos	42	62
Caudal mínimo (L/s)	0.0	0.0
Caudal máximo (L/s)	5.5	4.8
Caudal médio (L/s)	1.7	0.7
Desvio padrão (L/s)	1.4	0.9
Coefficiente de variação (%)	81.1	135.9

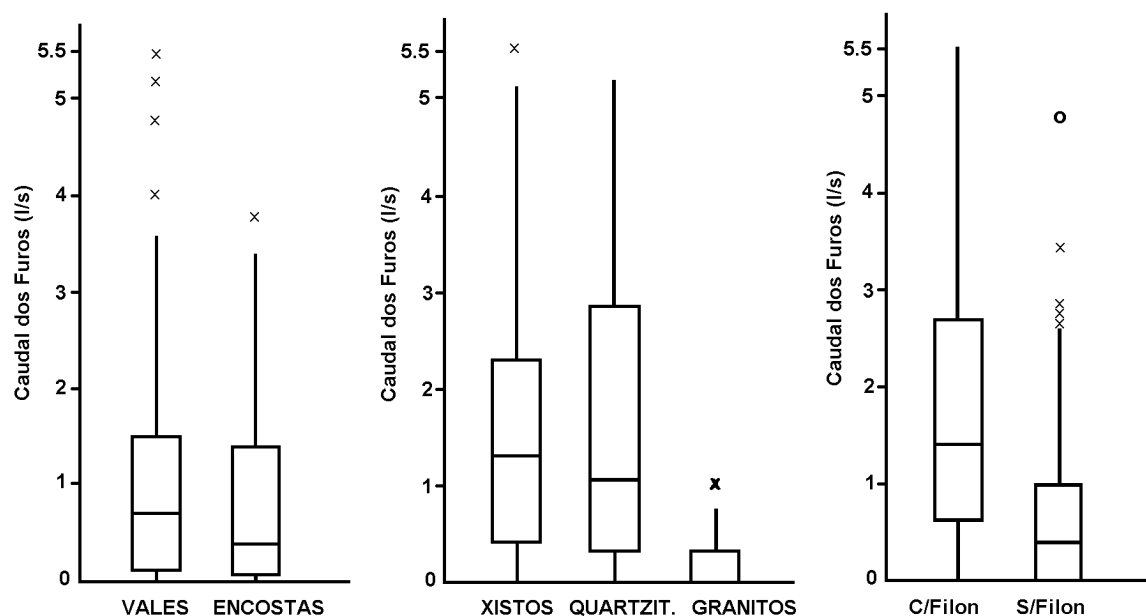


Fig. 4 – Diagramas de caixa

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na comparação entre os vários grupos amostrados foram utilizados testes não paramétricos. Os motivos que levaram à escolha deste tipo de testes foram, entre outros:

- não necessitarem da colocação de hipóteses quanto à distribuição subjacente;
- serem resistentes à presença de valores extremos, neste caso alguns valores nulos ou caudais extremamente elevados, mas raros;
- poderem ser usados em dados com escassa precisão;

Os testes usados foram o TESTE DE SMIRNOV, para duas amostras e o TESTE DE CRAMÉR von MISES. Para a utilização dos referidos testes admite-se que as duas amostras são aleatórias e independentes e que a escala de medição é, pelo menos, ordinal. Além disso, para que os testes sejam exactos as variáveis deverão ser contínuas (se as variáveis forem discretas os testes são ainda válidos, mas tornam-se conservativos) (CONOVER, 1980).

Sendo  $F(x)$  e  $G(x)$  as funções de distribuição correspondentes às duas amostras, a hipótese nula e a hipótese alternativa podem ser colocadas da seguinte forma:

### Hipótese:

$$H_0 : F(x) = G(x) \text{ para todos os } x \text{ de } -\infty \text{ a } +\infty$$

$$H_1 : F(x) \neq G(x) \text{ pelo menos para um valor de } x$$

### Teste estatístico:

O teste estatístico de Smirnov (bilateral) baseia-se na determinação da distância máxima, medida na vertical, entre as duas funções de distribuição empírica.

Considerando-se  $S_1(x)$  e  $S_2(x)$  as funções de distribuição empírica das duas amostras,  $T_1$  é definido como a maior distância vertical entre as duas funções:

$$T_1 = \max_x | S_1(x) - S_2(x) |$$

O teste estatístico de Cramér-von Mises é definido como  $T_2$  e é representado por:

$$T_2 = \frac{mn}{(m+n)^2} \sum_{x=X_i, x=Y_i} [S_1(x) - S_2(x)]^2$$

Onde o quadrado das diferenças, no somatório, é calculado para cada  $X_i$  e para cada  $Y_i$ .

**Regra de decisão:** Rejeitar  $H_0$ , ao nível de significância  $\alpha$  se o teste  $T_1$ , ou  $T_2$  exceder o quantil  $1-\alpha$ , de acordo com as respectivas tabelas (CONOVER, 1980).

A utilização do teste de Cramér-von Mises, embora semelhante ao teste de Smirnov, permite, segundo alguns autores, fazer uma utilização dos dados mais efectiva.

## RESULTADOS

Na análise dos dados usamos o programa CRAMISES, elaborado para realizar os testes de Smirnov e de Cramér-von Mises e para visualizar graficamente as funções de distribuição das amostras, duas a duas.

Os dados disponíveis foram organizados em diversos subconjuntos com o objectivo de avaliar a influência, na produtividade, dos factores litológicos, topográficos e da presença de filões de quartzo.

Os resultados da aplicação dos testes atrás referidos permite rejeitar a hipótese nula quando se compara a distribuição dos caudais em granitos com os das outras litologias. Pelo contrário não detectam diferenças significativas entre as distribuições nos xistos e quartzitos.

Na fig. 5 comparam se as funções de distribuição das amostras. No quadro IV referem-se os resultados dos testes e os valores críticos para um nível de significância de 5%. Igualmente se mostram os diagramas quantil-quantil (Fig.6) dado que este tipo de gráfico permite realçar as diferenças, quando existem, entre duas distribuições (HELSEL & HIRSCH,1992).

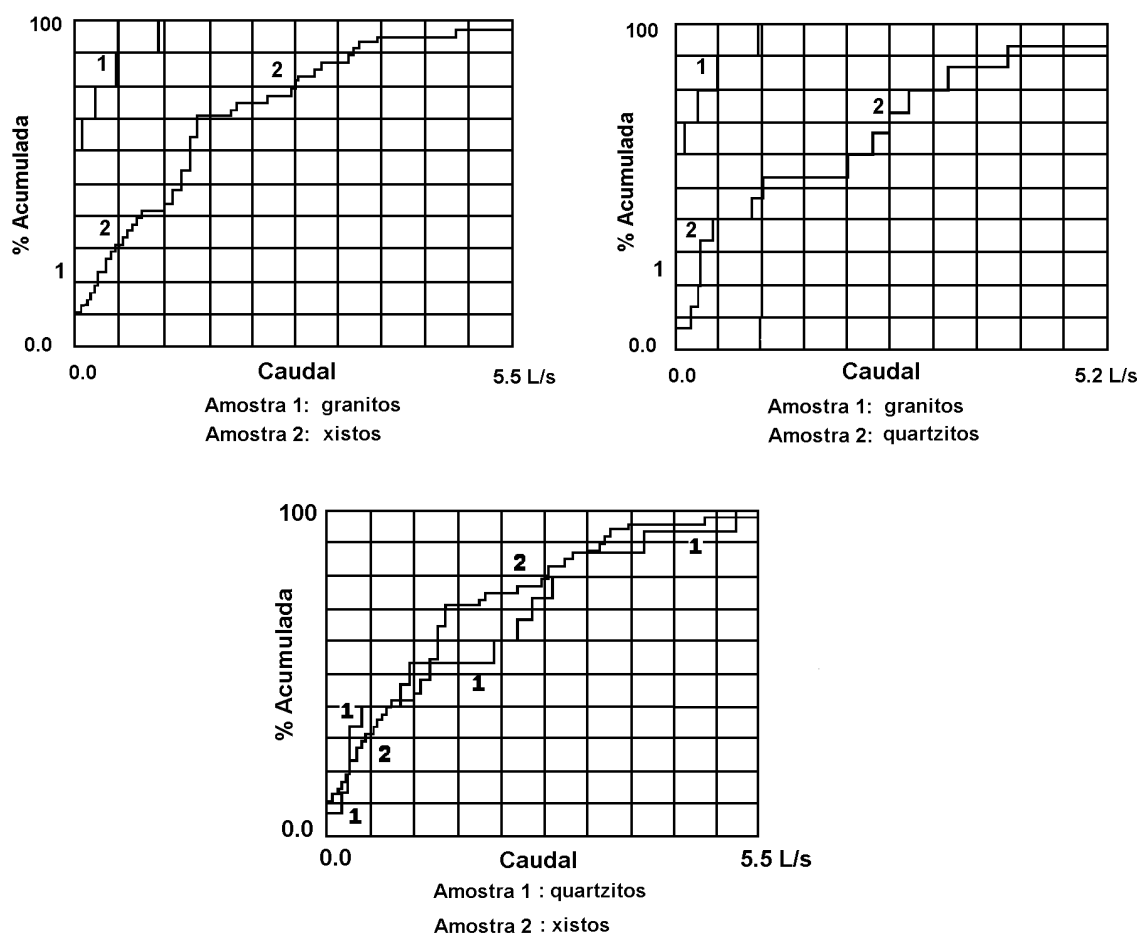


Fig. 5 - Curvas cumulativas de distribuição dos caudais encontrados em granitos, xistos e quartzitos.



## QUADRO IV

Resultados do Teste de Smirnov (T1) e de Cramér-von Mises (T2) na comparação das funções de distribuição dos caudais em granitos (GR), xistos (XS) e quartzitos (QS).

	GR/XS	GR/QS	QS/XS
T. Smirnov (T1)	0.612	0.667	0.217
Valor crítico $p/\alpha=5\%$	0.472	0.500	0.402
Hipótese nula	Rejeitada	Rejeitada	Aceite
T.C.-von Mises (T2)	1.309	1.007	0.079
Valor crítico $p/\alpha=5\%$	0.461	0.461	0.461
Hipótese nula	Rejeitada	Rejeitada	Aceite

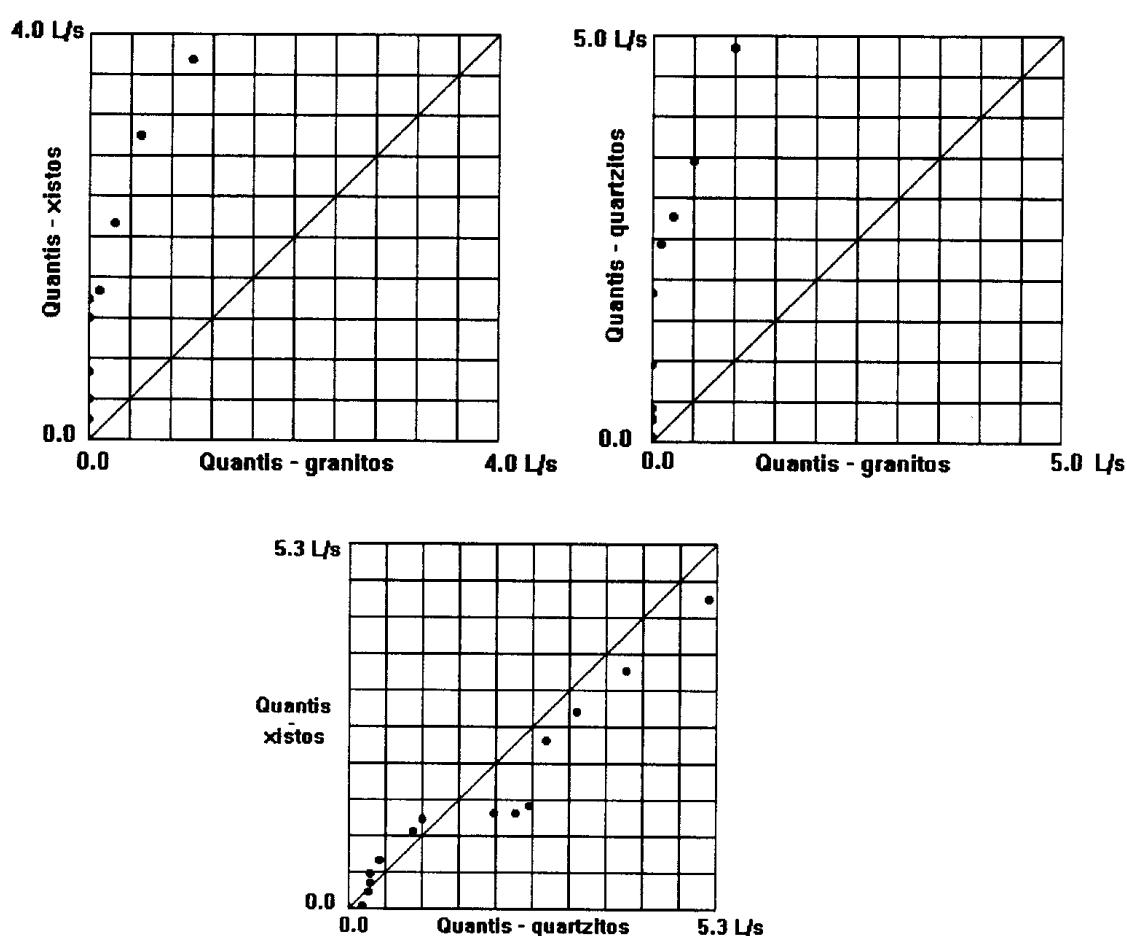


Fig. 6 – Diagramas quantil – quantil das distribuições dos caudais em granitos, xistos e quartzitos.

Dado que as captações em granitos mostram um comportamento nitidamente diferente das restantes litologias, na análise dos factores topográficos apenas se utilizaram dados referentes àquelas últimas. Para avaliar a eventual influência desses factores foram comparadas as distribuições dos caudais obtidos em encostas com as dos obtidos em vales. Outras situações

topográficas não foram consideradas dado o número reduzido de dados. Neste caso os resultados dos testes indicam que, mesmo para níveis de significância elevados (20% para o teste de Smirnov e 30% para o teste de Cramér-von Mises) não é possível rejeitar a hipótese nula (Quadro V). Pode-se concluir, portanto, que as duas distribuições não são estatisticamente distintas. Contudo, é de assinalar que o extremo superior da distribuição nos vales apresenta valores sistematicamente mais elevados do que nas encostas (superiores a 3.4 L/s e até 5.5 L/s), embora o número de casos seja reduzido (Fig.7). O diagrama quantil-quantil é apresentado na fig.8 e confirma que as diferenças entre as duas distribuições são pouco significativas.

#### QUADRO V

Resultados do T. de Smirnov (T1) e de Cramér-von Mises (T2) na comparação das funções de distribuição dos caudais em vales e encostas.

T. Smirnov	T.Cramér-von Mises
T1 = 0.225	T2 = 0.149
Valor crítico $p/\alpha=20\%$ : 0.245	Valor crítico $p/\alpha=30\%$ : 0.184
Decisão: aceita-se H0	Decisão: aceita-se H0

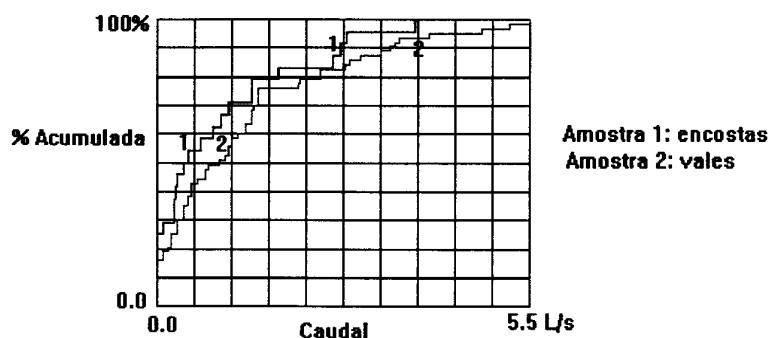


Fig.7 – Curvas cumulativas de distribuição dos caudais de furos em encostas e em vales.

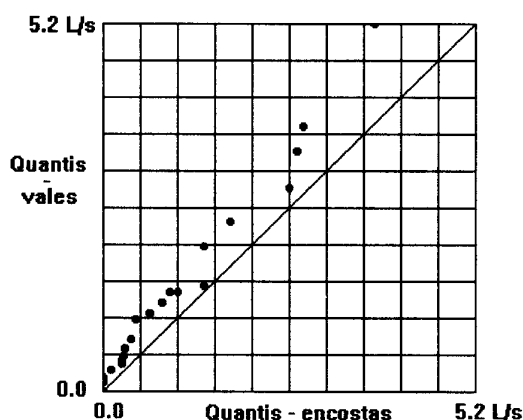


Fig.8 – Diagrama quantil – quantil das distribuições dos caudais em vales e em encostas.

Dada a frequente presença de filonetes de quartzo nos furos analisados (40.4% do total de furos atravessaram filonetes de quartzo) e a experiência mostrar que a sua presença contribui para a ocorrência de maiores caudais (PEREIRA, 1992), procurou-se provar estatisticamente essa tendência. Na figura 9 observa-se nitidamente que as duas populações - furos com filonetes de quartzo e furos sem filonetes de quartzo - têm funções de distribuição dos caudais distintas. Os resultados dos testes não paramétricos (Quadro VI), confirmam-no. As diferenças entre as duas distribuições são também bem evidenciadas no diagrama quantil-quantil (Fig.10).

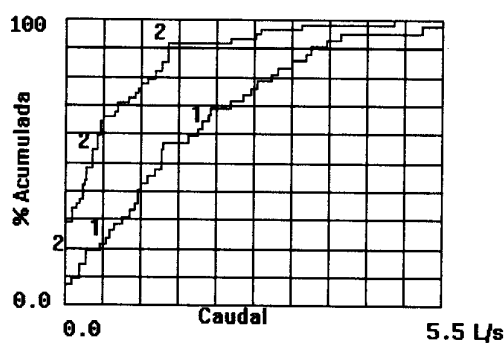


Fig. 9 – Curvas cumulativas de distribuição dos caudais encontrados em furos com filonetes de quartzo e em furos sem filonetes de quartzo.

#### QUADRO VI

Resultados do T. de Smirnov (T1) e de Cramér-von-Mises (T2) na comparação das funções de distribuição dos caudais em furos com e sem filonetes de quartzo.

T.Smirnov	T.Cramér von Mises
T1=0.455	T2=2.138
Valor crítico $p/\alpha=5\%$ : 0.272	Valor crítico $p/\alpha=5\%$ : 0.461
Decisão:rejeita-se H0	Decisão:rejeita-se H0

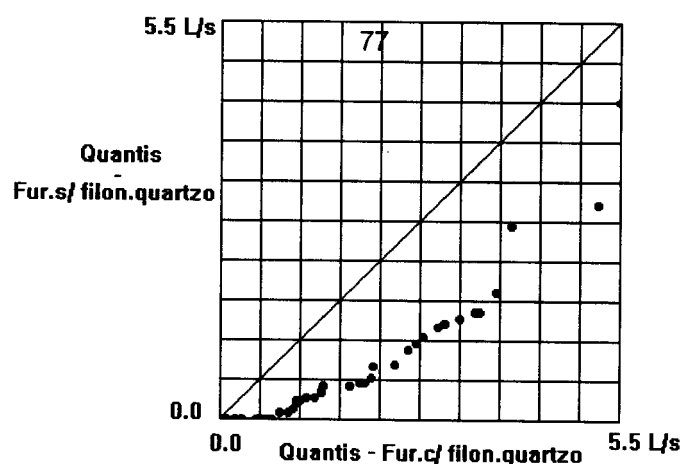


Fig. 10 – Diagrama quantil – quantil das distribuições dos caudais em furos com e sem filonetes de quartzo.

## CONCLUSÕES

Tradicionalmente, há tendência para escolher os locais de sondagem de prospecção de águas subterrâneas nas zonas de vale, para obter mais furos produtivos e com caudais mais elevados. Os resultados encontrados em 104 furos realizados em rochas metamórficas e eruptivas, da região de Trás-os-Montes oriental, indicam que 22.5% dos furos realizados em vales e 23.1% dos realizados em encostas foram improdutivos. A comparação estatística da distribuição dos valores obtidos nas duas situações não permite detectar nenhuma diferença significativa, excepto para caudais superiores a 3.4 L/s que apenas foram obtidos em zonas de vale. Este facto poderá indicar que, apesar da probabilidade de encontrar água subterrânea nos vales, ou nas encostas, ser semelhante, os caudais mais elevados são mais frequentes nos vales. No entanto, dado o número pequeno de dados naquelas condições esta hipótese deverá ser verificada noutros sectores.

Quanto à influência da litologia na produtividade dos furos, ficou demonstrado que os xistos e os quartzitos têm um comportamento idêntico. Os granitos, embora o número de observações não seja muito representativo, apresentam um comportamento francamente desfavorável à ocorrência de água subterrânea.

A influência positiva dos filonetes de quartzo na produtividade dos furos da região estudada, fica sem dúvida demonstrada. Estes níveis quartzosos desempenham um papel importante na circulação da água subterrânea.

Em conclusão final, podemos admitir que, para a região estudada, dos factores analisados o que mais favorece a produtividade das rochas cristalinas é a presença de filonetes de quartzo. Do ponto de vista litológico, os granitos são as rochas menos favoráveis. A posição topográfica, tipo vale, ou encosta, não tem uma influência, estatisticamente significativa, na produtividade.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Direcção Regional de Agricultura de Trás-os-Montes, a autorização para o uso de dados e à empresa Sondagens e Fundações A. Cavaco, Lda., a consulta dos seus arquivos.

## BIBLIOGRAFIA

- CONOVER, W. J. - *Practical Nonparametric Statistics*. Second Edition. J. Wiley & Sons, 1980.
- COSTA, M.R. - *Critérios para Selecção de Locais favoráveis à Ocorrência de Água subterrânea em Rochas Cristalinas na Região de Trás-os-Montes Oriental*. Dissertação apresentada nas provas de aptidão científica na Univ. de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 1990.
- HELSEL, D.R. & HIRSCH, R.M. - *Statistical Methods in Water Resources*. Elsevier, 1992.
- LEGRAND, H. E. - "Geology and Ground Water in the Statesville Area. North Carolina". *Division of Mineral Resources Bulletin*, Department of Conservation and Development, 1954, 68pp.
- LEGRAND, H. E. - "Ground Water in the Piedmont and Blue Ridge Provinces of the Southeastern States". *U. S. Geological Survey, Circular* **538**, 1967, 11pp.

PEREIRA M.R.C. - "Importância dos Filonetes de Quartzo na Pesquisa de Água Subterrânea em Rochas Cristalinas". *Geolis*, vol. **VI** (1 e 2), 1992, pp. 46-52.

RIBEIRO, A. - "Contribution à l'Étude Tectonique de Trás-os-Montes Oriental". *Mem. Serv. Geológicos de Portugal*, Lisboa, N.S., nº**24**, 1974, 168 pp.

YIN Z.-Y. & BROOK, G.A. - "The Topographic Approach to Locating High-Yield Wells in Crystalline Rocks: Does It Work?". *Ground Water*, v.**30**, nº1, 1992, pp. 96-102.