

A INTER-RELAÇÃO ENTRE PLUVIOSIDADE, NÍVEIS AQUÍFEROS E SUAS NASCENTES EM ILHAS VULCÂNICAS: O CASO DAS NASCENTES DO CABRITO (ILHA TERCEIRA - AÇORES)

NOVO, M.E.¹, LOBO FERREIRA, J.P.², COTA RODRIGUES³, BRITO DE AZEVEDO, E.⁴

RESUMO

Neste trabalho estudou-se o aquífero de Algar I, desenvolvido em formações basálticas, com regime de circulação subterrânea próximo do cársico, e onde a variação dos níveis freáticos não raramente provoca a inundação das áreas deprimidas à sua superfície. Este aquífero escoar-se superficialmente através das nascentes do Cabrito e tem ligação hidráulica com aquíferos inferiores, por drenância através de um nível semi-permeável. Para o aquífero foram calculados: o balanço hídrico, a recarga anual, os volumes anuais estimados de drenância e uma estimativa aproximada da evolução dos níveis freáticos nos meses cujos dados o permitiam. A comparação entre os volumes de consumos e de caudais das nascentes do Cabrito permitiu quantificar a percentagem de recursos efectivamente explorada e apontar para soluções de resolução das carências hídricas.

Palavras-chave: níveis aquíferos suspensos; balanço hídrico; caudais de estiagem; espessuras saturadas; reservas hídricas; precipitação oculta; taxas de exploração

¹ Mestre em Geologia Económica e Aplicada, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica, Grupo de Investigação de Águas Subterrâneas

² Doutor Eng. Civil, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica, Grupo de Investigação de Águas Subterrâneas

³ Geólogo, Universidade dos Açores, Departamento de Ciências Agrárias

⁴ Doutor Ciências Agrárias, Universidade dos Açores, Departamento de Ciências Agrárias

1 - INTRODUÇÃO

O presente trabalho desenvolveu-se por solicitação dos Serviços Municipalizados da Câmara Municipal de Angra do Heroísmo, Ilha Terceira, Açores, visando o estudo do comportamento do aquífero que abastece as nascentes do Cabrito (cf. NOVO et al., 1997).

2 - CARACTERIZAÇÃO GERAL

Em termos morfoestruturais pode dividir-se a ilha Terceira em três sectores: o troço E (Maciço dos Cinco Picos), o troço central (Maciço do Pico Alto-Guilherme Moniz), o troço W (Maciço de Santa Bárbara). É no troço central, na zona aplanada da metade S da caldeira de Guilherme Moniz, que se localizam as nascentes do Cabrito. Estas nascentes drenam o aquífero desenvolvido na escoada de Algar I da unidade do Algar do Carvão, que pertence às Formações dos Basaltos Superiores (RODRIGUES, 1993). Os solos presentes na área estudada são andossolos saturados, insaturados e ferruginosos (PINHEIRO, 1990; RODRIGUES, 1993). A região tem a seguinte ocupação vegetal: pastos, vegetação nativa e comunidades higromórficas associadas a bacias endorreicas, precipitações elevadas e solos pouco permeáveis (RODRIGUES, 1993).

3 - MODELO CONCEPTUAL DO AQUÍFERO

No maciço de Pico Alto-Guilherme Moniz existe uma sequência vertical de **aquíferos suspensos** que termina no **aquífero de base**. O aquífero que alimenta as nascentes do Cabrito é o de maior altitude no Maciço de Guilherme Moniz, estando sobrejacente às unidades aquíferas instaladas nas Formações Peralcalinas de Pico Alto. Desenvolve-se na escoada basáltica de Algar I, pertencente aos Basaltos Superiores da unidade do Algar do Carvão. É uma formação no geral muito vacuolar, com espessura entre 1 a 3 m, cuja porosidade ronda os 6-10 %. Tem apreciável quantidade de cavidades e tubos de lavas, por vezes de enormes dimensões, e a base tende a apresentar níveis escoriáceos pouco alterados com espessuras de 0,3 a 1 m. A fracturação vertical é muito elevada, com espaçamentos nunca superiores a 2,5 m; as fracturas, cujas aberturas variam entre alguns mm e 0,5 m, em regra não têm preenchimento. Este aquífero é limitado inferiormente por um paleossolo extenso, com grande continuidade e pouca fracturação, de espessura entre 0,5 e 1,5 m, cujo comportamento semi-impermeável varia consoante as condições tectónicas que sobre ele actuam. A circulação das águas faz-se sobretudo ao nível dos tubos de lava, vacuolos e outras discontinuidades da escoada, num regime de funcionamento similar ao dos aquíferos cársicos. São estes tubos de lava, localizados no contacto entre os basaltos e o paleossolo, que basicamente alimentam as nascentes do Cabrito e Furna d'Água. Existem indicações de que nalgumas zonas este paleossolo possa apresentar fracturas que permitam a passagem de água por drenância para os aquíferos subjacentes. Em associação com eventos sísmicos esta drenância pode aumentar, devido à abertura ou reabertura de fracturas verticais; tal aumento pode explicar as diminuições de caudal das nascentes do Cabrito após eventos sísmicos. No entanto, a mais ou menos curto prazo, a situação tende a voltar ao estado inicial pois estas fracturas tendem a colmatar-se pelo arraste de finos. Além da infiltração directa na área de afloramento dos basaltos de Algar I, o aquífero é alimentado pela escorrência do relevo envolvente, nomeadamente das formações peralcalinas e de tufos.

4 - AVALIAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS DA REGIÃO DO CABRITO

Para fazer uma avaliação dos recursos hídricos do aquífero de Algar I, foi calculado o balanço hídrico, o volume de drenagem e o volume das descargas das nascentes. Tentou-se igualmente fazer uma primeira avaliação da precipitação oculta.

O balanço hídrico da região do Cabrito foi calculado pelo modelo BALSEQ (Lobo Ferreira, 1982; Lobo Ferreira e Rodrigues, 1988), cujos dados de entrada foram: precipitações diárias, humidade inicial no solo, evapotranspirações potenciais mensais e os parâmetros NC e AGUT. Os valores de NC e AGUT resultaram da análise do tipo de solos e do coberto vegetal da região. A humidade inicial define-se após algumas corridas do modelo BALSEQ que permitem ajustar este parâmetro. A inexistência, no período de 1990 a 1995, de registos de precipitações diárias e evapotranspirações potenciais mensais para a caldeira de Guilherme Moniz levou à sua determinação através do modelo matemático CIELO, desenvolvido em ambiente SIG pela Universidade dos Açores, e já validado para a ilha Terceira (Azevedo, 1996). Este modelo simula o campo da precipitação, considerando a separação entre a precipitação regional (observada junto ao litoral e admitida como igual para um determinado intervalo de tempo em todo o território) e a de origem orográfica. Esta última componente é modelada a partir da simulação da sua distribuição com base na capacidade do relevo induzir condensação no seio da lâmina de ar húmido em percurso sobre o território à velocidade, direcção e sentido do vento observado.

O balanço hídrico para o total da caldeira de Pico Alto-Guilherme Moniz foi calculado para cada um dos seguintes pares de vegetação+solos aí existentes:

- vegetação natural autóctone + mantos basálticos recentes (os basaltos de Algar I)
- vegetação natural autóctone + mantos lávicos peralcalinos
- vegetação natural autóctone + andossolos insaturados
- pastos + andossolos ferruginosos
- pastos + andossolos insaturados
- pastos + mantos basálticos recentes (os basaltos de Algar I)
- zona húmida + mantos basálticos recentes (os basaltos de Algar I)
- vegetação natural autóctone + andossolos ferruginosos

Os valores das variáveis hidrológicas, nomeadamente escoamento superficial e recarga, foram calculados para a totalidade da caldeira de Guilherme Moniz e para o extremo S desta caldeira ocupado pelos basaltos de Algar I, designado por caldeira do Cabrito. Para a caldeira do Cabrito os valores obtidos foram os seguintes (Quadro 1):

Quadro 1 - Balanço hídrico na Caldeira do Cabrito

	Valores anuais ⁵	Valores de estiagem	Valores de invernias
Recarga	12,2 hm^3/ano = 33 299 m^3/dia	0,67 hm^3 = 7 250 m^3/dia	63 400 m^3/dia
Escoamento Superficial	0,4 hm^3/ano = 1 096 m^3/dia	533 m^3/dia	1 944 m^3/dia
Evapotranspiração Real	4,6 hm^3/ano = 12 603 m^3/dia	19 169,6 m^3/dia	7 791 m^3/dia

⁵ Considerando que o escoamento superficial das regiões adjacentes é infiltrado nos basaltos de Algar I, como as observações de campo parecem indicar, somando-se assim à recarga, o total de água entrada neste aquífero ronda os 15,6 hm^3/ano .

O somatório da recarga, evapotranspiração real e escoamento superficial de estiagem tem um excesso de $2\ 890\ m^3/dia$ face à precipitação; a diferença entre os valores da evapotranspiração potencial de estiagem e precipitação é de $1\ 273\ m^3/dia$ e a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração real de estiagem é de $4\ 896\ m^3/dia$.

Os resultados obtidos pelo modelo BALSEQ foram calibrados com base nos valores estimados de drenância e dos caudais de nascentes do Cabrito e Furna d'Água, (os pontos de escoamento do aquífero de Algar I). A estimativa do valor da drenância baseou-se nos valores médios das permeabilidades e espessuras das formações de Algar I, do paleossolo subjacente a Algar I e das formações piroclásticas/peralcalinas, e nas espessuras saturadas das formações do Algar do Carvão para o Inverno e para o Verão. Estas permeabilidades e espessuras saturadas foram calculadas considerando as espessuras médias das formações, os valores estimados de porosidades e a evolução dos caudais das nascentes do Cabrito e do nível das águas no Algar Seco (Quadros 2 e 3).

Quadro 2 - Parâmetros hidrodinâmicos das formações na Caldeira do Cabrito

Formação	Permeabilidade (m/dia)	Porosidade eficaz (%)	Espessura (m)			Porosidade total (%)
			mín.	méd.	máx.	intervalo de valores
Basaltos Superiores (Algar I)	150-350	8-18	1,5	3,5	18	6-9
Traquitos de Guilherme Moniz	50-100	5-15	15	40	68	3-8
Formações Peralcalinas Pico Alto	100-200	7-17	15	30	57	11-29
Paleossolo	0,01-0,1	0,1-1	0,5	1	1,5	**
Solo sob os Basaltos Superiores	**	**	0,0	0,30	0,55	**

Quadro 3 - Espessuras saturadas calculadas para a Caldeira do Cabrito

	Verão	Inverno	Valores médios
Espessura saturada estimada dos basaltos de Algar I (m)	0,5-1,0	1-2,5	1,25

Deste modo, e admitindo uma permeabilidade de $0,001\ m/dia$ para o paleossolo, usando a equação de Darcy - $Q = K * i * A$ - a drenância assume valores de $5\ hm^3/ano$ (se for apenas considerada a área das formações basálticas) a $6,5\ hm^3/ano$ (se se considerar a área de toda a região plana). Devido à limitação dos dados não é possível calcular um valor de drenância para a época de estio, sendo apenas possível calcular uma drenância média para o total do ano.

As medições de caudais nas nascentes do Cabrito mostram uma grande variabilidade dos caudais, o que reflecte as condições de recarga e volumes armazenados de água do aquífero, assim como o tipo de circulação subterrânea que nele ocorre. Os caudais medidos em 1945 (SOTAG, 1945) mostram - além de um gradual declínio dos caudais desde o Inverno até cerca de meados de Setembro, comportamento que ainda se verifica actualmente - que:

- no Cabrito os caudais variam entre cerca de $3\ 200$ (estiagem) e $22\ 000\ m^3/dia$ (inverno), com valores médios de estiagem de $7\ 500\ m^3/dia$; na Furna d'Água a variação é entre $6\ 280\ m^3/dia$ (início de Dezembro) e $920\ m^3/dia$ (fins de Verão).

As medições de caudais de 1991 a 1994, mostram:

- os **caudais de estiagem** variam no Cabrito I entre 1 070 e 4 000 m^3/dia e na Furna d'Água entre 320 e 2 770 m^3/dia . O somatório dos **caudais médios de estiagem** para as nascentes do Cabrito e Furna de Água é de 4 212 m^3/dia .
- As medições de 1996 dão um **caudal médio de Dezembro** para o conjunto de Cabrito I e Furna d'Água de 14 860 m^3/dia , sendo portanto de supor que os caudais de invernada das nascentes do Cabrito para 1996 (Quadro 4) são da mesma ordem de grandeza dos verificados em 1945.

Quadro 4 - Medições de caudais de invernada nas nascentes do Cabrito

Datas	Furna d'Água (m^3/dia)	Cabrito (m^3/dia)	Total (m^3/dia)
02-12-1996	950,4	1987,2	2937,6
16-12-1996	2937,6	3283,2	6220,8
30-12-1996	14342,4	21081,6	35424,0
13-01-1997	19526,4	41299,2	60825,6

A evolução dos caudais das nascentes ao longo dos meses de estiagem e de invernada é a seguinte (Figs. 1 e 2):

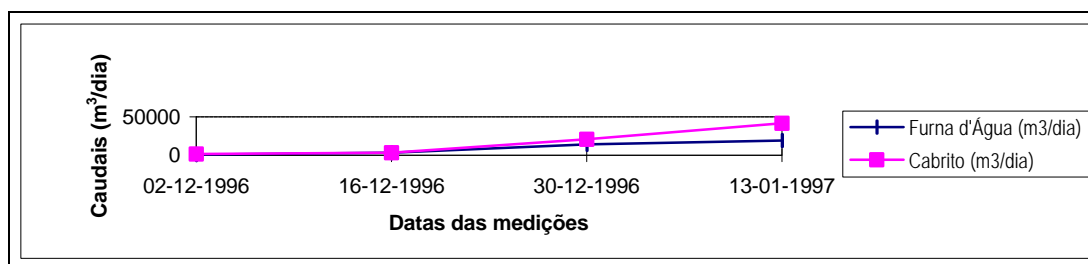


Figura 1 - Evolução dos caudais de invernada das nascentes de Furna d'Água e Cabrito

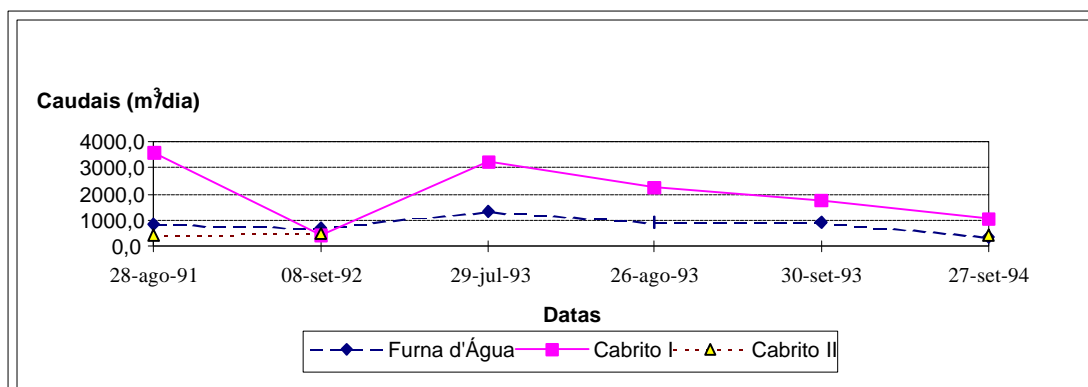


Figura 2 - Evolução das médias mensais dos caudais de estiagem da Caldeira do Cabrito em 1991/1994

Atendendo às várias lacunas de medição dos caudais, que não permitem determinar directamente o **volume anual escoado pelas nascentes** deste aquífero, decidiu-se estimar este volume através do estabelecimento de escalões de caudais para os vários meses do ano. Estes escalões são determinados a partir das medições na Furna d'Água e Cabrito I para 1945, 1991-94 (Julho, Agosto e Setembro) e Inverno de 1996/97 (Dezembro/Janeiro), sendo nos meses para os quais não se possuem medições atribuídos de modo a mostrarem a diminuição progressiva dos caudais das nascentes desde Janeiro até Junho, que de facto se verifica mas da qual não existem medições. O

somatório dos escalões dá um **volume anual de escoamento das nascentes** cerca de $7,7 \text{ hm}^3/\text{ano}$, como se pode ver no Quadro 5:

Quadro 5 - Volume anual de escoamento das nascentes do Cabrito

(hm^3)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Tot.
Escalões	1.71	0.98	1.09	0.19	0.19	0.19	0.11	0.09	0.09	0.19	1.20	1.71	7.72

Procedendo agora à verificação/calibração do modelo, tendo-se somado para a caldeira do Cabrito, os valores anuais da descarga das nascentes ($7,7 \text{ hm}^3$) com o valor anual da drenância através do paleossolo (5 hm^3) obtêm-se o volume de $12,7 \text{ hm}^3/\text{ano}$, que é aproximadamente a recarga anual calculada pelo modelo BALSEQ (Quadro 6).

Considerando a adição do escoamento superficial das regiões adjacentes na região plana dos basaltos de Algar I à recarga na caldeira do Cabrito então o total de água entrada no aquífero ronda os $15,6 \text{ hm}^3/\text{ano}$ (Quadro 6). Este é um valor próximo ao somatório do caudal das nascentes ($7,7 \text{ hm}^3/\text{ano}$) com a drenância de toda a região plana do Cabrito ($6,5 \text{ hm}^3/\text{ano}$). Ou seja, o modelo aproxima-se da realidade e os seus resultados, em termos anuais, podem ser usados na análise do comportamento hidrológico do aquífero e na determinação das carências ou excedentes de recursos hídricos da região do Cabrito.

Quadro 6 - Cálculo do volume das recargas na Caldeira do Cabrito

Manchas de vegetação+solo	Área total da caldeira (hm^2)	Volume de recarga média no total da caldeira (hm^3/ano)	Volume médio de recarga no Cabrito (hm^3/ano)	Recarga no Cabrito + ESC⁶ na zona envolvente do Cabrito (hm^3/ano)
Vegetação natural + basaltos recentes	631,88	10,15	10,15	10,15
Vegetação natural + lavas peralcalinas	538,75	8,12	0,00	0,54
Vegetação natural + andossolos insaturados	19,75	0,24	0,02	0,09
Vegetação natural + andossolos ferruginosos	158,51	0,99	0,00	1,52
Pastos+andossolos ferruginosos	117,31	1,23	0,00	0,67
Pastos+andossolos insaturados	223,38	3,28	0,85	1,17
Pastos+basaltos recentes	171,38	2,81	0,87	0,90
Zona húmida + mantos basálticos recentes	31,25	0,27	0,27	0,55
Totais	1892,19	27,09	12,16	15,58
Médias		3,39	1,52	1,95

Tendo em conta a área de afloramento das escoadas de Algar I ($716,19 \text{ hm}^2$), a sua espessura média e a porosidade eficaz, acima indicadas, pode transformar-se os valores mensais da recarga em **espessuras saturadas potenciais**, ou seja, a espessura saturada que ocorreria no aquífero se não existisse drenância e assumindo que a água infiltrada é escoada totalmente pelas nascentes no espaço de um mês. Efectivamente e, considerando as dimensões da escoada assim como a sua permeabilidade, verifica-se que o **tempo de permanência** das águas na caldeira do Cabrito está compreendido entre 14 e 33 *dias*. A evolução temporal destas **espessuras saturadas potenciais**, se se considerarem os valores médios das recargas mensais, nunca ultrapassam o limite

⁶ ESC = escoamento superficial

superior do aquífero, isto é, os 3,5 m de espessura das escoadas (Fig. 3); no entanto, se se considerarem os vários anos separadamente, verifica-se que nalguns meses de anos mais húmidos se dão condições de inundação (Fig. 4). Este comportamento não parece de facto ser muito diferente do verificado no terreno, o que indica mais uma vez a fiabilidade do modelo.

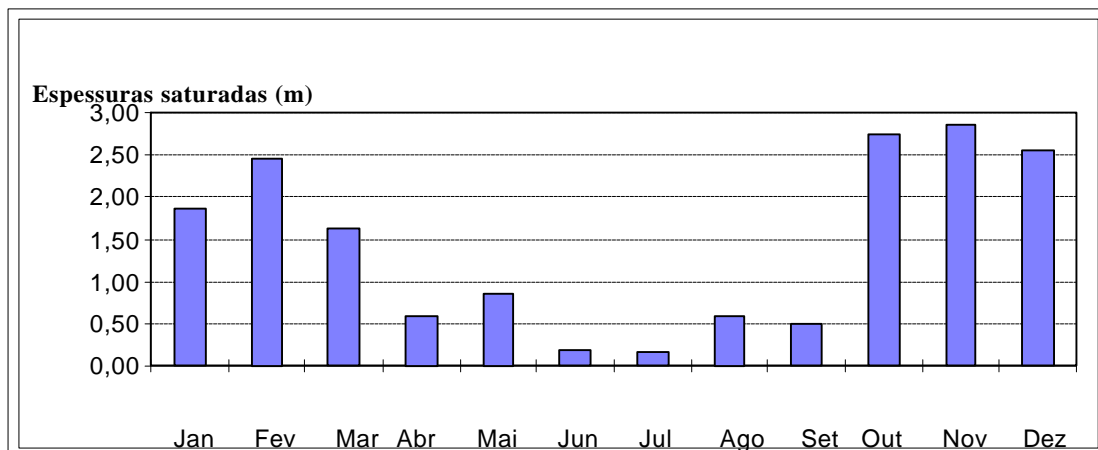


Figura 3 - Evolução mensal dos níveis de água na Caldeira do Cabrito

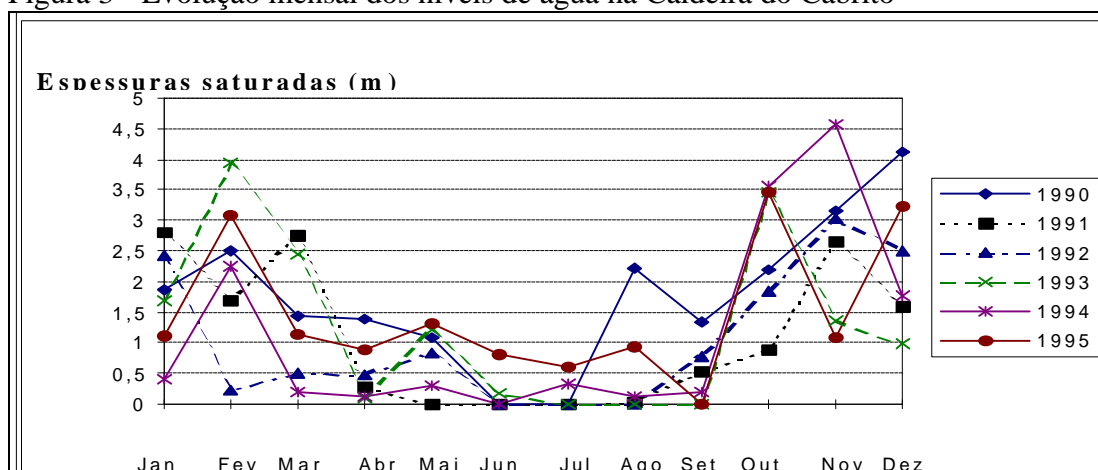


Figura 4 - Evolução das espessuras saturadas potenciais ao longo dos anos na Caldeira do Cabrito

Pretendendo agora conhecer-se os excedentes médios mensais, para os meses em que tal cálculo é possível, o método que se utilizou foi o de subtrair às recargas os valores médios das descargas das nascentes. Deveria igualmente subtrair-se os volumes de drenância mas a escassez de dados não permite o cálculo da drenância mês a mês. Assim, para os meses de Julho, Agosto e Setembro no período de 1991/94, verificam-se os **excedentes** de respectivamente 1 022, 11 681 e 10 713 m^3/dia para cada mês; estes excedentes correspondem a uma **espessura saturada média** de 0,3 m, ou seja, um valor médio de 0,2 hm^3 de **reservas de estiagem**. Relativamente a Dezembro de 1996, para uma *descarga média de nascentes* de 14 860 m^3/dia e assumindo a recarga média de 1,82 hm^3 (resultados BALSEQ) o **excedente** é de 1,36 hm^3 , ou seja cerca de 1,9 m de **espessura saturada** dos basaltos de Algar I, conforme ao previsto para a época húmida por outros métodos. Se em vez de se considerar os caudais medidos mas os estimados, verifica-se ainda uma apreciável congruência dos valores dos excedentes nos meses de Verão, como se pode ver no Quadro 7.

Quadro 7 - Reservas hídricas na Caldeira do Cabrito

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Recargas Médias em hm^3	1,33	1,76	1,17	0,42	0,61	0,13	0,12	0,42	0,36	1,97	2,04	1,82
Caudais Estimados das Nascentes do Cabrito (hm^3)	1,71	0,98	1,09	0,19	0,19	0,19	0,11	0,09	0,09	0,19	1,20	1,71
Caudais Médios: Calculados de Caudais Medidos (hm^3)	1,09	**	**	**	**	**	0,09	0,06	0,04	**	**	0,46
Espessuras Saturadas: Recargas vs. Caudais Estimados (m)	-0,52	1,09	0,12	0,33	0,59	-0,08	0,01	0,46	0,38	2,49	1,17	0,16
Espessuras Saturadas: Recargas vs. Caudais Medidos (m)	0,33	**	**	**	**	**	0,04	0,51	0,45	**	**	1,90
Reservas (Recargas vs. Caudais Medidos) em hm^3	0,24	**	**	**	**	**	0,03	0,36	0,32	**	**	1,36
Espessuras Saturadas Potenciais	1,86	2,46	1,63	0,59	0,85	0,18	0,17	0,59	0,50	2,75	2,85	2,54

Isto poderá indicar que a influência da drenância nestes meses seja mínima. O mesmo já não se passa para Dezembro e Janeiro, o que pode indicar um efeito mais acentuado da drenância ou apenas ser devido à escassez de medições de caudais neste período, que levassem a incorrecções nas estimativas dos caudais das nascentes.

Considere-se agora um outro aspecto importante no funcionamento do aquífero: **a precipitação oculta**. O efeito da precipitação oculta não pôde ser completamente determinado devido aos limitados dados sobre este processo. No entanto e tomando apenas a acção do *sphagnum*, seja considerado, à semelhança do que se passa na ilha das Flores, que cerca de 476 mm/ano de precipitação oculta possa ser captada por esta planta, cuja capacidade de armazenamento é de cerca de 150 l/m^3 por planta (Azevedo e Portugal Ferreira, 1996). Se se considerar a sua área de distribuição a de vegetação natural, supondo-se uma cobertura uniforme independentemente do tipo de solo subjacente, em que a espessura de *sphagnum* esteja compreendida entre 0,5 e 1,5 m , verifica-se que na caldeira do Cabrito (Quadro 8):

Quadro 8 - Volumes estimados de precipitação oculta interceptada na Caldeira do Cabrito

Precipitação Oculta Interceptada	3,01 $hm^3/ano = 8,3 \times 10^3 m^3/dia$
Volume de <i>sphagnum</i>	3,17 $\times 10^6$ a 9,5 $\times 10^6 m^3$
Volume de Armazenamento de Água	4,75 $\times 10^5$ a 1,42 $\times 10^6 m^3$

Sendo a área da caldeira do Cabrito de 716,19 hm^2 , avaliando a porosidade eficaz das escoadas basálticas de Algar I em cerca de 10 % e supondo que todo o volume de água armazenado no *sphagnum* podia ser cedido para as escoadas basálticas, verificar-se-ia que este **volume de água cedido** equivaleria a valores de **espessuras saturadas** entre 0,66 e 1,98 m nestas escoadas. No entanto, e embora se desconheça de facto a quantidade de água cedida pelo *sphagnum*, o volume cedido será sempre algo inferior a estes valores. Tentando-se calcular um valor médio mensal de precipitação oculta e de drenância, e subtraindo-se, juntamente com as descargas estimadas de nascentes, estes valores à recarga pode ter-se uma evolução mensal como a da Fig. 5:

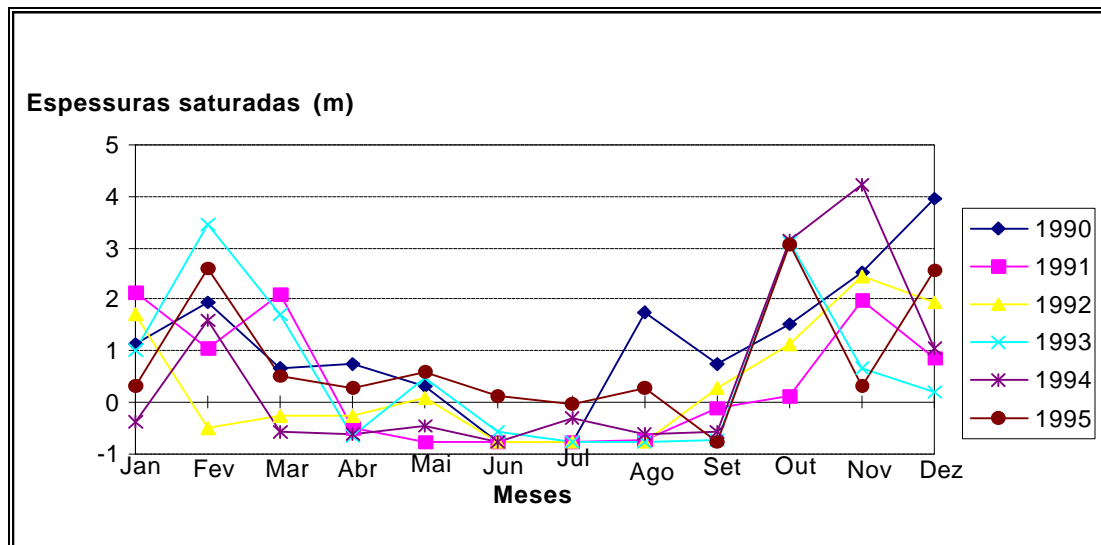


Figura 5 - Espessuras saturadas da Caldeira do Cabrito, considerando: escoamento nas áreas envolventes, recarga, precipitação oculta e drenância

Os valores anómalos para diversos anos mostram como o desconhecimento efectivo dos valores mensais de precipitação oculta absorvida pelo aquífero e de drenância impedem um cálculo detalhado das reservas efectivas do aquífero ao longo dos anos. Para a determinação das reservas teve então de se considerar apenas os valores médios dos caudais e das recargas, desprezando-se portanto a parcela da precipitação oculta e da drenância. Assim, os valores de reservas admitidos são os apresentados na página anterior.

As tentativas de correlação para o ano de 1993 entre a precipitação e os caudais de estiagem das nascentes, considerando intervalos de 11 a 33 *dias*, mostraram a **não existência de correlação linear** entre estes dois parâmetros. Isto pode apontar para uma influência apreciável no funcionamento do aquífero de processos como a drenância e a intercepção da precipitação oculta. De facto alguns dados dispersos apontam para que o efeito da intercepção da humidade por parte da vegetação é máximo na época estival.

5 - TAXAS DE EXPLORAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Os dados relativos aos consumos domésticos foram fornecidos pelos Serviços Municipalizados da Câmara Municipal de Angra do Heroísmo para a rede por si abastecida, não tendo sido possível contabilizar os dados referentes aos consumos para a agricultura. De acordo com estes dados verifica-se que os **consumos** variam para os anos de 1995 e 1996 respectivamente entre os 1 730 e 1 890 m^3/dia , em Dezembro e os 2 450 e os 2 650 m^3/dia , em Setembro.

Considerando para cada mês o total dos consumos satisfeito pelas captações do Cabrito e os volumes de recarga para esse mês, verifica-se que a **taxa de exploração** de águas subterrâneas nunca ultrapassa os 60 % mas **nos meses mais críticos atinge cerca de 50 a 58 %**. No entanto, considerando da recarga a parte que é perdida por drenância (5 a 6,5 hm^3/ano para um total de 12,2 hm^3/ano de recarga), o que em princípio poderia ser considerado como uma situação **excedentária** não o é de facto sempre. Fazendo uma estimativa mensal dos caudais médios das nascentes do Cabrito para os doze meses do ano a partir das medições de caudal de estiagem (1991-94) e inver-

nia (1996/97), e comparando estes valores com os consumos verifica-se que (Quadro 9):

◊ o **consumo anual** ronda os $0,77 \text{ hm}^3/\text{ano}$. De acordo com os valores mensais estimados dos caudais das nascentes, o *caudal médio anual* é de cerca de $7,7 \text{ hm}^3/\text{ano}$, logo os *consumos médios anuais* perfazem cerca de 10 % dos caudais das nascentes do Cabrito e Furna d'Água

◊ os **consumos do mês mais carente** (Setembro) variam de 73 000 a 79 000 $\text{m}^3/\text{mês}$. Os *caudais médios das nascentes* estimados por escalões para esse mês são de $3\,000 \text{ m}^3/\text{dia}$ pelo que os *consumos* perfazem 83 a 90 % dos caudais das nascentes.

◊ os **consumos de Inverno** variam entre 53 600 e 62 000 $\text{m}^3/\text{mês}$, sendo que o mês de menores consumos é o de Dezembro, com valores variando entre 53 600 e 58 600 $\text{m}^3/\text{mês}$. Sendo os *caudais médios das nascentes para Dezembro* (de 1996) de $14\,860 \text{ m}^3/\text{dia}$ os *consumos* perfazem 11 a 13 % dos caudais das nascentes. Se se considerar como caudal médio para o mês de Dezembro o valor estimado de $1,71 \text{ hm}^3$ os consumos correspondem apenas a cerca de 3 % dos caudais de nascentes.

Quadro 9 - Caudais estimados de nascentes, consumos e taxas de exploração

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Recargas Médias 1991/95 (hm^3)	1,33	1,76	1,17	0,42	0,61	0,13	0,12	0,42	0,36	1,97	2,04	1,82
Consumos Satisfeitos pelas Nascentes do Cabrito 1995 (m^3)	62115	59070	57538	58605	61051	63978	68502	68479	73972	64965	61862	53652
Consumos Satisfeitos pelas Nascentes do Cabrito 1996 (m^3)	59859	64137	56304	59610	65486	58054	65173	76368	79397	67905	67554	58579
Caudais Estimados das Nascentes do Cabrito (hm^3)	1,71	0,98	1,09	0,19	0,19	0,19	0,11	0,09	0,09	0,19	1,20	1,71
Taxa Exploração 1995 (%)	4,67	3,36	4,91	13,81	9,96	50,61	57,71	16,21	20,61	3,29	3,03	2,94
Taxa Exploração 1996 (%)	4,50	3,64	4,80	14,05	10,69	45,93	54,90	18,08	22,12	3,44	3,31	3,21
% Consumos 1995 vs. Caudais Estimados	3,64	6,03	5,30	31,01	31,76	34,40	63,14	76,17	85,03	33,80	5,16	3,15
% Consumos 1996 vs. Caudais Estimados	3,51	6,54	5,19	31,54	34,07	31,21	60,07	84,95	91,26	35,33	5,63	3,44

Fazendo a análise conjugada dos factores potencial variação dos níveis piezométricos, volume de vazios e caudais das nascentes, sendo a **capacidade de armazenamento do aquífero** de $2,5 \text{ hm}^3$ - assumindo uma porosidade de 10 %, uma espessura média das escoadas de $3,5 \text{ m}$ e uma área de $716,19 \text{ hm}^2$ - e sendo que o tempo de permanência das águas nestas formações está compreendido entre 11 e 33 *dias*, estabeleceram-se as seguintes razões:

$$R_1 = \frac{C_h}{\sum C_i} \quad \text{e} \quad R_2 = \frac{V_v}{RAQ} \quad \text{Eq. 1}$$

onde:

C_h = caudal das nascentes no mês mais húmido == $0,061 \text{ hm}^3$ (Dezembro/Janeiro)

C_i = caudal das nascentes em cada um dos doze meses do ano = $\Sigma C_i = 7,7 \text{ hm}^3/\text{ano}$

V_v = volume de vazios da formação de Algar I = $2,3 \text{ hm}^3$

RAQ = recarga anual calculada pelo modelo BALSEQ = $12,2 \text{ hm}^3/\text{ano}$

Deste modo, verifica-se que $R_1 = 0,23$ e $R_2 = 0,21$, ou seja, a razão entre o caudal total anual e o caudal no mês mais chuvoso é similar à razão entre a capacidade de armazenamento do reservatório e a recarga anual. Sendo apenas 1/5 da recarga anual efectivamente armazenada pelo aquífero ($V_v = 1/5$ de RAQ), toda a restante parcela deve ser dissipada por drenância e/ou por escoamento das nascentes, em caudais anuais aproximados de, respectivamente, $5 \text{ hm}^3/\text{ano}$ e $7,7 \text{ hm}^3$. Atendendo à variação acentuada das reservas entre o Verão e o Inverno e considerando que os consumos variam entre 3 a 90 % dos caudais das nascentes (com um valor médio anual de 10 %) conclui-se que em termos globais, os caudais de escoamento das nascentes do Cabrito permitem dar resposta às necessidades actuais dos consumos, com importantes excedentes no período de Inverno mas com situações de carência nos períodos mais secos.

BIBLIOGRAFIA

AZEVEDO, E.M.V.B., MENEZES, J.C.A., MADRUGA, J.S. - *Inventário dos Pontos de Água: I. Nascentes, Concelho de Praia da Vitória (relatório preliminar)*. Terra-Chã, Universidade dos Açores, Departamento de Ciências Agrárias, pp.151, 1986.

AZEVEDO, E.M.V.B. - *Modelação do Clima Insular à escala Local (Modelo CIELO)*. Tese de Doutoramento. Terra-Chã, Universidade dos Açores, Departamento de Ciências Agrárias, pp. 246, 1996.

AZEVEDO, J.M.M., PORTUGAL FERREIRA, M.R. - "As Funções Hidrogeológicas da Cobertura Vegetal (Sphagnum) e os Impactes da sua Remoção (Ilha das Flores, Açores)", in *3º Congresso da Água - A Água em Portugal: por uma Política de Excelência*, Lisboa, 1996, pp. III-527 - III-535.

LOBO FERREIRA, J.P. - *Mathematical Model for the Evaluation of the Recharge of Aquifers in Semiarid Regions with Scarce Hydrogeological Data. Memória LNEC n.º 582*. Lisboa, 1982.

LOBO FERREIRA, J.P., RODRIGUES, J.D. - "BALSEQ - A Model for the Estimation of Water Balances, Including Aquifer Recharge, Requiring Scarce Hydrologic Data", in *Estimation of Natural Groundwater Recharge*, editado por I. Simmers, NATO ASI Series, Serie C: Vol. 222, D. Reidel Publ. Comp., Dordrecht, 1988.

MENEZES, J.G.A. - *Hidrologia e Hidrogeologia da Ilha Terceira: Grandes Condicionantes*. In *Seminário "Recursos Hídricos e o Ambiente na Região Autónoma dos Açores"*, Angra do Heroísmo, 1993, pp. 56.

NOVO, M.E., LOBO FERREIRA, J.P., RODRIGUES, F.C., AZEVEDO, E.B. - *Estudo Hidrogeológico das Nascentes do Cabrito (Ilha Terceira - Açores). Relatório LNEC 89/97 - GIAS*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia de Lisboa, pp. 124, 1997.

PINHEIRO, J. - *Caracterização dos Solos da Ilha Terceira*. Terra Chã, Universidade dos Açores, 1990.

RODRIGUES, F.C. - *Hidrogeologia da Ilha Terceira: contributo para o seu conhecimento*. Angra do Heroísmo, Universidade dos Açores, pp. 139, 1993.

SOTAG, 1945 - *Relatório sobre as Nascentes do Cabrito*. Angra do Heroísmo, SOTAG.