

# MODELAÇÃO COMPUTACIONAL DE TOMADAS DE ÁGUA DO TIPO TIROLÊS E ESTRUTURAS DE CONTROLO DE CAUDAL

## COMPUTATIONAL MODELLING OF TYROLEAN INTAKE TYPES AND DISCHARGE CONTROL DEVICES

*Helena Ramos*

*Professora Auxiliar do Instituto Superior Técnico, membro da APRH n° 822.*

*António Betâmio de Almeida*

*Professor Catedrático do Instituto Superior Técnico, membro da APRH n° 80.*

**RESUMO** - A definição da solução hidráulica mais apropriada a cada tomada de água pressupõe a análise da interacção dos diferentes componentes do sistema, através de uma modelação computacional adequada, por forma a permitir a escolha das soluções mais vantajosas que evitem perdas de água e a ocorrência de instabilidades durante a exploração dos sistemas. O projecto automático assistido por computador permite a análise completa do sistema, por forma a assegurar as melhores condições de funcionamento, evitando, assim, os inconvenientes provocados por incorrecto dimensionamento ou verificação do funcionamento para diferentes cenários possíveis. Neste estudo apresentam-se as equações que permitem a modelação matemática do funcionamento das tomadas de água do tipo Tirolês e de estruturas típicas de controlo de caudal.

**ABSTRACT** – *The most adequate hydraulic solution to each case demands the interaction between different components of the system, through adequate computational modelling, in order to allow the most advantages solutions avoiding water losses or instabilities occurrence during the system exploitation. The automatic design allows a complete analysis in order to assure the best operating condition, avoiding the inconvenience provoked by an incorrect design or operating verification for different scenarios. In this research, water Tyrolean*

*intakes and discharge control devices are presented in order to allow the operating modelling.*

## **1. INTRODUÇÃO**

Os pequenos aproveitamentos a fio de água, quando instalados em regiões montanhosas ou topograficamente acidentadas, caracterizadas, em geral, por cursos de água com declives acentuados, apresentam, muitas vezes, problemas associados ao transporte de material sólido e à sua integração na paisagem (Ramos et al., 2000). Esses problemas podem ser minorados através da utilização de tomadas de água do tipo inferior, que apresentam a vantagem de serem económicas e bem adaptadas a pequenas instalações hidroeléctricas do tipo fio de água, por exigirem reduzida manutenção e garantirem uma limpeza quase permanente através do caudal em excesso que não é derivado (Chardonnet et al., 1967).

A modelação computacional das tomadas de água e das estruturas de controlo de caudal derivado permite uma caracterização mais rigorosa do seu comportamento nas várias situações possíveis de funcionamento e a obtenção de soluções mais seguras e económicas. O modelo desenvolvido compreende a modelação de cada um dos componentes e a interacção entre os mesmos, em particular para o caso da grelha, canal colector instalado inferiormente à grelha da tomada de água e estrutura dissipativa, para controlo do caudal derivado em excesso.

## **2- TOMADAS DE ÁGUA DO TIPO INFERIOR**

Para caudais afluentes superiores ao caudal de dimensionamento da tomada de água, parte do caudal será derivado e o restante será desviado para o curso de água. Deste modo, há toda a conveniência em controlar o caudal máximo derivado através da grelha da tomada de água, limitando o seu comprimento. A grelha das tomadas de água do tipo inferior localiza-se na soleira ou no paramento de jusante dos açudes, quando existem, ou é colocada transversalmente à direcção do escoamento (Figura 1), em geral, com inclinação superior ao declive natural do curso de água (Quintela e Pinheiro, 1987). O escoamento derivado pela grelha é recolhido inferiormente num canal colector (Bouvard, 1984). As barras da grelha na tomada de água do tipo Tirolês são orientadas no sentido do escoamento, por forma a promoverem a auto-limpeza (Figura 1 e 2a) e b)).



Figura 1 – Inserção de uma tomada de água do tipo Tirolois num pequeno curso de água  
(adaptado de ESHA, 1994).

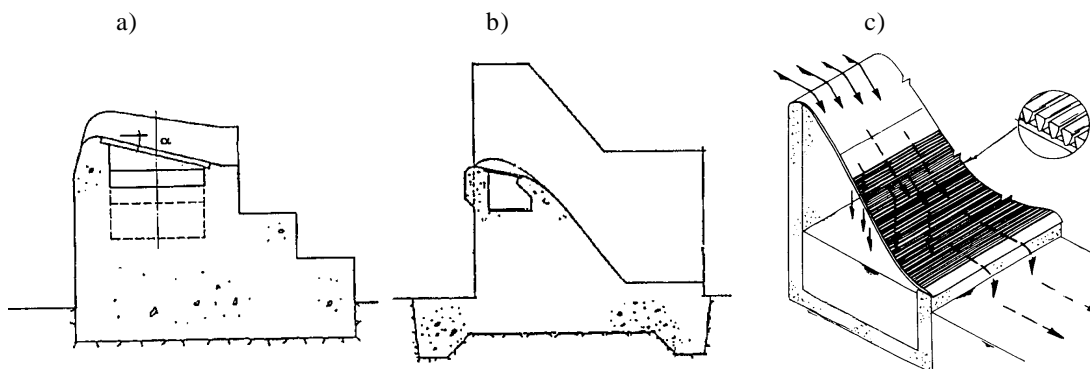


Figura 2 – Esquemas de tomadas de água do tipo inferior inseridas no corpo do açude.

Em alternativa às tomadas de água tipo Tirolois, são também utilizadas outras tomadas de água do tipo inferior, em que as barras são instaladas na direcção transversal ao escoamento (Figura 2c), e normalmente colocadas no paramento de jusante do açude (Brown, 1997). Neste caso, as barras devem apresentar uma secção transversal em forma de V (pormenor na Figura 2c), com espaçamento mais reduzido na parte superior e cerca de dez vezes inferior ao das grelhas longitudinais.

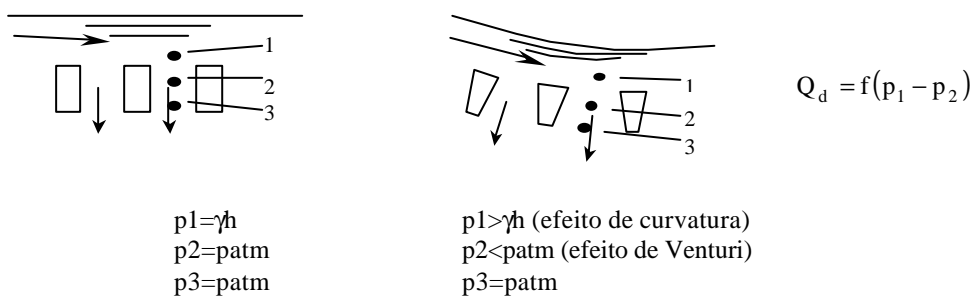


Figura 3 – Análise do caudal derivado por uma grelha com barras transversais ao escoamento.

Este tipo de grelha favorece a aspiração do escoamento induzida pelo efeito de Venturi, devido à forma da secção transversal da grelha e pelo efeito de curvatura, devido à configuração côncava da soleira de saída do descarregador (Figura 3), que é designado por efeito de “Coanda”, vulgarmente utilizado na língua Anglo-Saxónica. Esta grelha apresenta a vantagem de evitar a entrada de partículas com dimensões superiores a cerca de metade do espaçamento das barras. No entanto, as tomadas do tipo Tirolês são as mais utilizadas por serem mais económicas e fáceis de instalar e manter.

Existem várias formulações obtidas por diversos investigadores, no entanto a metodologia de cálculo apresentada neste estudo baseia-se nas formulações de Nosedá, Bouvard e Chardonnet, uma vez que se obtiveram bons resultados quando comparados com ensaios experimentais, permitindo, assim, a validação da modelação desenvolvida.

As grelhas deverão ser dimensionadas para permitir a derivação da totalidade do caudal afluyente no curso de água de valor inferior ou igual ao caudal de dimensionamento dos grupos (ou máximo turbinável). Para o dimensionamento das grelhas admite-se que a energia específica se mantém constante ao longo da grelha (Nosedá, 1956 e Chardonnet et al., 1954), na direcção do escoamento (Figura 4).

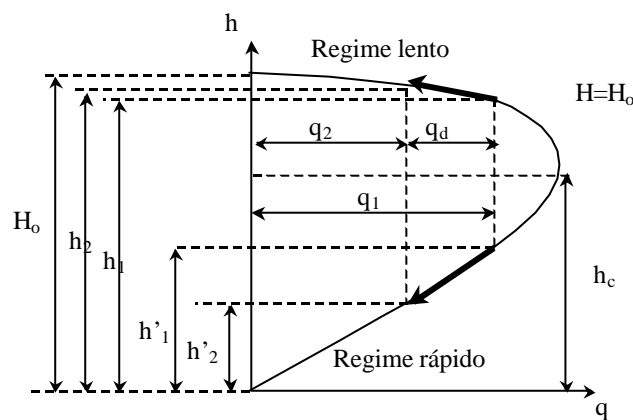


Figura 4 – Variação do perfil de escoamento sobre a grelha para a hipótese de energia constante.

Deste modo, pretende-se calcular o comprimento mínimo da grelha no sentido do escoamento, compatível com o caudal de projecto, a partir da integração das seguintes equações básicas, válidas para o caso do escoamento através da grelha ser desafogado, a distribuição de velocidades ser uniforme, a pressão ser hidrostática e o coeficiente de vazão ser constante ao longo da grelha (Nosedá, 1956):

$$\frac{dq_d}{dx} = C_v C_g \sqrt{2gh} \quad (1)$$

e

$$\frac{dh}{dx} = \frac{2 C_v C_g \sqrt{h(H_o - h)}}{2H_o - 3h} \quad (2)$$

com

$$H_o = h + \frac{q^2}{2g h^2}$$

A integração conjunta das equações (1) e (2) conduz à seguinte expressão para o comprimento da grelha, L (Noseda, 1956; Ramos e Almeida, 1991<sup>a</sup>):

$$L = \frac{H_o}{(1-\alpha)C_v C_g} [\phi(Y_2) - \phi(Y_1)] = \frac{H_o}{(1-\alpha)C_v C_g} [\beta(U_2) - \beta(U_1)] \quad (3)$$

sendo  $\phi(Y)$  e  $\beta(U)$  as funções características da grelha, que representam o perfil da superfície livre e a distribuição do caudal, respectivamente:

$$\phi(Y) = \frac{1}{2} \ar \cos \sqrt{Y} - \frac{3}{2} \sqrt{Y(1-Y)} \quad (4)$$

$$\beta(U) = \frac{1}{2} \ar \cos \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{2 \cos \theta + 1} - \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(2 \cos \theta + 1)(1 - \cos \theta)} \quad (5)$$

sendo as variável Y e U definidas por:

$$Y = \frac{h}{H_o} \quad e \quad u = \frac{q}{q_{\text{máx}}}$$

com  $q_{\text{máx}}$  o caudal máximo escoado com a energia específica  $H_o$ , e  $\theta$  definido por:

$$\theta = \frac{1}{3} \ar \cos(1 - 2u^2)$$

$$\theta = \frac{1}{3} \ar \cos(1 - 2u^2) + 240^\circ$$

respectivamente para regime lento e rápido.

A equação (3) tem como raízes positivas os valores de Y para regime lento, eq.(6), e rápido, eq.(7), respectivamente:

$$Y = \frac{2}{3} \cos \left[ \frac{1}{3} \ar \cos(1 - 2u^2) \right] + \frac{1}{3} \quad (6)$$

$$Y = \frac{2}{3} \cos \left[ \frac{1}{3} \arccos(1 - 2u^2) + 240^\circ \right] + \frac{1}{3} \quad (7)$$

Considerando a grelha desafogada, o regime de escoamento mantém-se sobre a grelha, o que significa que se à entrada da grelha o escoamento for lento ou rápido manter-se-á ao longo da mesma. Considerando  $\alpha$  o grau de obstrução da grelha por material arrastado pelo escoamento e que todo o caudal que passa sobre a grelha é absorvido, o comprimento da grelha pode ser obtida através da seguinte expressão simplificada:

$$L = \frac{1.1848 H_o}{(1 - \alpha) C_v C_g} \quad (8)$$

Uma primeira estimativa para o coeficiente de vazão,  $C_v$ , e para o grau de área livre,  $C_g$ , pode ser obtido com base nos seguintes valores aproximados (Ramos, 1994):

$$\begin{aligned} C_v &= 0.65 - 0.2 i_g \\ C_{g_{\text{apertada}}} &= 0.33 \\ C_{g_{\text{larga}}} &= 0.7 \end{aligned} \quad (9)$$

sendo  $i_g$  a inclinação da grelha (e.g. 10% a 30%), grelha apertada, com barras de espessura de 0.05 m afastadas de 0.05 m e grelha larga, com barras de 0.05 m afastadas de 0.12 m.

Em Ramos et al. (2000) é apresentado um ábaco que permite dimensionar o comprimento da grelha em função do caudal de projecto, para três larguras possíveis da grelha ( $b = 2; 4$  e  $6$  m).

### 3- ESTRUTURAS ESPECÍFICAS DE CONTROLO DE CAUDAL

#### 3.1- Considerações gerais

Para o controlo do caudal derivado, o sistema hidráulico além de exigir o correcto dimensionamento da grelha da tomada de água do tipo inferior, pode exigir estruturas especiais de controlo, por forma a limitar o valor máximo do caudal para caudais afluentes superiores ao de projecto (ou dimensionamento), em particular em situações de ocorrência de cheias (Ramos e Almeida, 1991<sup>b</sup>). O controlo pode ser conseguido através de estruturas hidráulicas específicas do tipo:

- estrutura de controlo do escoamento com superfície livre (Figura 5-a);
- estrutura dissipativa ou resistiva em pressão (Figura 5-b);

- controlo do nível a montante (i.e. a considerar em conjunto com qualquer das estruturas anteriores).

Pode ainda ser previsto um controlo hidromecânico automático mediante a instalação de reguladores de nível do tipo PID (Ramos, 1995). De entre as possíveis soluções hidráulicas para controlo do caudal derivado destacam-se, fundamentalmente, duas estruturas tipo: 1) de escoamento com superfície livre, munida de estreitamento e/ou sobrelevação da soleira descarregadora; 2) em pressão, munida de válvulas de controlo de caudal.

O controlo do caudal derivado é obtido através de uma restrição energética, que provoque a submergência da grelha da tomada de água, reconduzindo o caudal em excesso ao curso de água através de um descarregador lateral existente na câmara de sedimentação ou, na câmara de carga. Se não for adoptado um órgão obturador mecânico, o controlo do caudal é conseguido através da entrada em carga da grelha da tomada de água.

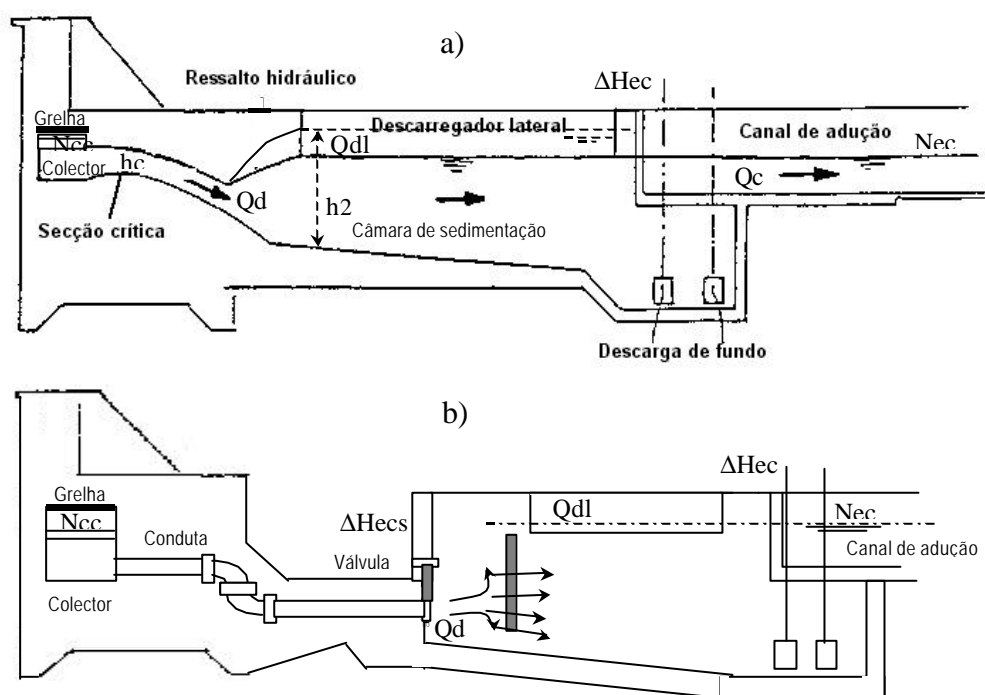


Figure 5. Representação esquemática de estruturas hidráulicas para controlo do caudal derivado com canal de adução - a) estrutura com escoamento com superfície livre; b) estrutura com escoamento em pressão.

### 3.2- Estrutura com escoamento com superfície livre

No dimensionamento da estrutura de controlo através do escoamento com superfície livre (ver Figura 5-a) e lista de simbologia), a metodologia recomendada é a seguinte:

- Determinação da cota da superfície livre do escoamento à entrada do canal,  $Nec$ , em função do caudal do canal,  $Qc$ , e do nível na câmara de sedimentação;
- Determinação do caudal descarregado para o rio pelo descarregador lateral da câmara de sedimentação,  $Qdl$ , em função da cota  $Nec$ , da perda de carga até ao canal,  $\Delta Hec$ , e das características do descarregador;
- Determinação da energia específica  $E2$  na câmara de sedimentação (após o ressalto);
- Verificação das condições de escoamento na secção crítica da estrutura e cálculo da altura de água a montante ;
- Verificação das condições de afogamento em função da cota do nível de água no canal colector e cálculo da carga sobre o açude.

As equações básicas, para as diferentes condições de funcionamento, são as seguintes:

- 1) câmara de sedimentação

$$Qdl = Cvd \sqrt{2g} (Nec + \Delta Hec - Zcd)^{1.5}$$

$$E2 = h2 + \frac{(Qdl + Qc)^2}{2g (Bcs h2)^2} \quad (10)$$

$$Qd = Qdl + Qc$$

$$h2 = Nec + \Delta Hec - Zfs + \Delta hcin$$

- 2) na secção crítica

$$Ec = \frac{3}{2} hc = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{Qd^2}{g Bsc^2}} \quad (11)$$

que se  $E2 - Zsc \leq Ec$  tem-se regime crítico, mas se  $E2 - Zsc > Ec$  tem-se regime lento, o que pode afogar a grelha da tomada de água.

- 3) a jusante do canal colector (escoamento livre)

$$Ecc2 = E2 + \Delta Hr = hcc2 + \frac{Qd^2}{2g (Bcc hcc2)^2} \quad (12)$$

$$Ncc2 = hcc2 + Zfcc$$

- 4) regolfo no canal colector (escoamento livre e secção rectangular)

$$\rho \Delta Qd + \Delta \left( \frac{hcc^2}{2} \right) = \gamma S s \Delta x \quad (13)$$

- 5) verificação da influência da altura de escoamento no colector em relação à grelha (i.e. grelha livre ou afogada)

$$N_{cc1} = N_{ec} + \Delta H_{ec} + K(Q_{dl} + Q_c)^2 \quad (14)$$

### 3.3- Estrutura em pressão

No dimensionamento da estrutura em pressão (ver Figura 5-b) e lista de simbologia), a metodologia recomendada é a seguinte:

- Determinação do caudal descarregado pelo descarregador lateral da câmara de sedimentação,  $Q_{dl}$ , em função da cota  $N_{ec}$ , da perda de carga na entrada do canal,  $\Delta H_{ec}$ , e das características do descarregador;
- Determinação da perda de carga hidráulica na estrutura dissipativa à entrada da câmara de sedimentação,  $\Delta H_{ecs}$ , para o caudal total derivado,  $Q_d$ ;
- Verificação das condições de afogamento das grelhas e do caudal afluyente em função da cota do nível de água no canal colector,  $N_{cc}$ .

Deste modo, a modelação do funcionamento do sistema de controlo, compreende as seguintes equações básicas:

$$\begin{aligned} Q_{dl} &= C_{vd} \sqrt{2g} (N_{ec} + \Delta H_{ec} - Z_{cd})^{1.5} \\ \Delta H_{ecs} &= K_{ecs} (Q_{dl} + Q_c)^2 \\ N_{cc2} &= N_{ec} + \Delta H_{ecs} \end{aligned} \quad (15)$$

Embora o dimensionamento da grelha da tomada de água tenha como principal objectivo derivar o caudal de dimensionamento, limitando a entrada de caudais em excesso, no entanto, em situação de cheia, e devido ao aumento da carga sobre a grelha, o caudal derivado consequentemente também aumentará exigindo um controlo a jusante.

Nas duas estruturas de controlo apresentadas foi considerada a adução em canal para o circuito hidráulico, mas a análise seria equivalente no caso de em vez de canal se ter conduta em pressão, exigindo, no entanto, a verificação da submergência mínima à entrada da conduta em função do caudal turbinado e do nível na câmara.

## 4- MODELAÇÃO COMPUTACIONAL

A intervenção da modelação computacional possibilita o melhoramento da capacidade de apoio ao projecto, nomeadamente no dimensionamento e na verificação do funcionamento, no que diz respeito à protecção contra instabilidades induzidas por manobras dos grupos

turbogeradores, válvulas ou comportas, na definição de regras de exploração e na verificação da segurança e fiabilidade do sistema (Ramos, 1995; Ramos e Almeida, 1991<sup>a</sup>).

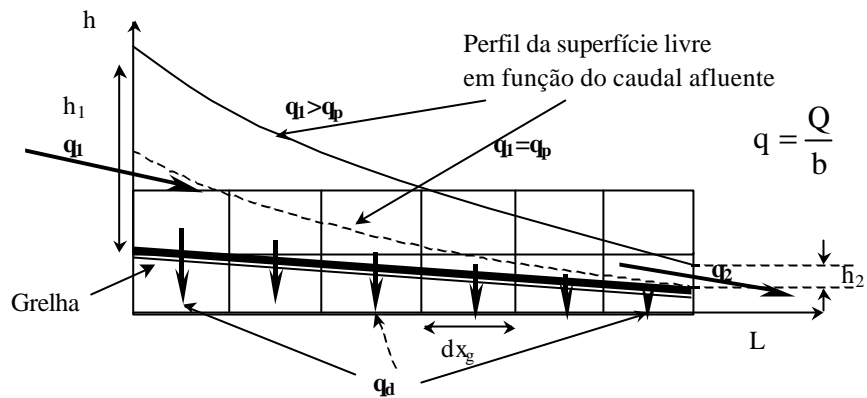


Figura 6 – Representação esquemática da variação de alturas e caudais ao longo da grelha.

**Quadro 1 – Cálculo do comprimento da grelha e respectivas características do escoamento a montante (1), a jusante da grelha (2) e através da grelha (d). Exemplo típico.**

Largura da grelha = 6.00 m  
 Largura do descarregador de cheias = 10.00 m  
 Declive da grelha  $i = .200$   
 Coef. vazao grel. = .61  
 Coef. area livre = .60  
 Qmin do desc. ecologico (m<sup>3</sup>/s) = .050  
 Largura do desc ecol. (m) = .20  
 Coef. vazao desc. ecol. = .50  
 Desnível entre desc. grelha e desc ecolog. (m) para passar o Q min ecolog. = .23  
 Coef. vazao desc. com grelha = .50  
 Coef. vazao desc. cheias = .50  
 Caudal de projecto  $q_p = 2.000$   
 Percentagem de grelha obstruida = 30.  
 Desnível entre desc. grelha e de cheias (m) = .36

Comprimento da grelha (m) - L = 1.38

Qafl. q1 Qd.ec.	H h1 Qd.cheias	Ec1	h2	Q2	Qd
2.000	.43				
2.000	.28	.43	.00	.000	2.000
.050	.000				
2.500	.50				
2.204	.30	.46	.00	.008	2.196
.214	.082				
3.000	.56				
2.480	.33	.49	.00	.040	2.440
.231	.288				
5.000	.79				
3.399	.41	.61	.02	.277	3.122
.285	1.316				

Para o dimensionamento da grelha são introduzidos os coeficientes de vazão e percentagem mínima de obstrução, declive e largura, em função das dimensões do açude ou do curso de água onde esteja prevista a sua instalação. Em função da localização da grelha, caso seja instalada na crista do descarregador de cheias, o modelo prevê a existência de desníveis por forma a diferenciar a distribuição de caudais, em situação normal e de cheia, e a garantir o caudal mínimo ecológico. Deste modo, o modelo calcula, para caudais iguais ou superiores ao de projecto, o caudal derivado através da grelha ( $q_d$ ), o caudal não derivado ( $q_2$ ) e a respectiva altura de escoamento a jusante da grelha ( $h_2$ ) conforme referenciados na Figura 6 e no Quadro 1. O modelo permite também, o cálculo da distribuição de caudais ao longo da grelha, para diferentes incrementos do comprimento da grelha,  $dx_g$ , de acordo com a Figura 6 e o Quadro 2.

**Quadro 2 – Cálculo do comprimento da grelha e distribuição de caudal derivado ao longo da grelha. Exemplo típico.**

Largura da grelha = 6.00 m  
 Largura do descarregador de cheias = 10.00 m  
 Declive da grelha  $i$  = .200  
 O incremento do comp. da grelha (m) = .10  
 Coef. de vazao da grelha  $c_v$  = .30  
 Qmin do desc.ecologico (m<sup>3</sup>/s)= .050  
 Largura do desc ecol.(m) = .20  
 Coef. vazao desc.ecol. = .50  
 Desnivel entre desc. grelha e desc ecolog. (m) para passar o Q min ecolog. = .23  
 Coef. vazao desc.com grelha = .50  
 Coef. vazao desc. cheias = .50  
 Caudal de projecto  $q_p$  = 2.000  
 Percentagem de grelha obstruida = 30.  
 Desnivel entre desc. grelha e de cheias (m) = .36

-----  
 Calculo do L para o Qp

$dx_g$	Q1	h1	E1	h2	Q2	Qd
.10	2.000	.28	.43	.19	1.729	.271
.10	1.729	.19	.43	.15	1.497	.232
.10	1.497	.15	.43	.13	1.288	.209
.10	1.288	.13	.42	.10	1.098	.190
.10	1.098	.10	.42	.09	.927	.172
.10	.927	.09	.42	.07	.771	.155
.10	.771	.07	.42	.06	.631	.140
.10	.631	.06	.42	.04	.506	.125
.10	.506	.04	.42	.03	.396	.110
.10	.396	.03	.42	.03	.300	.096
.10	.300	.03	.42	.02	.217	.083
.10	.217	.02	.42	.01	.148	.069
.10	.148	.01	.42	.00	.000	.148

Comprimento da grelha (m) - L  $\approx$  1.30

No funcionamento da tomada de água, deve ser considerada a interação entre o escoamento sobre a grelha e debaixo da mesma, ou seja no canal colector, que pode condicionar o caudal derivado através da grelha, dependendo se o funcionamento é livre ou afogado.

O método de cálculo referido relativamente ao cálculo do regolfo no canal colector, no subcapítulo 3.2, é baseado na lei da conservação da quantidade de movimento, que é rigorosamente válida se o descarregador, neste caso a grelha, for paralelo ao sentido do escoamento no canal colector, admitindo-se, deste modo, que se compensam a força tangencial resistente exercida pelas paredes e a componente do peso no sentido do escoamento. Esta hipótese foi considerada no modelo desenvolvido, embora o canal colector tenha normalmente um declive descendente da ordem dos 2 a 8 %.

No Quadro 3 mostra-se um exemplo típico do cálculo do regolfo no canal colector através da integração numérica por diferenças finitas. Recomenda-se, para melhor compreensão do significado das variáveis intervenientes, o acompanhamento através da lista de simbologia.

**Quadro 3 – Obtenção do perfil da superfície livre no canal colector admitindo a adução em pressão para o circuito hidráulico. Exemplo típico.**

Qm	=	.00	Qj	=	2.00
Cpg	=	6.00	b	=	1.50
D	=	.80	Cotgi	=	314.30
Cotif	=	315.60	s	=	.0500

Submergência calculada (c=2.2) (m) = 2.50

L	cfundo	cagua	hcc	dy
6.00	315.60	317.60	2.00	-
5.50	315.63	317.60	1.98	.0069
5.00	315.65	317.61	1.96	.0065
4.50	315.67	317.61	1.95	.0060
4.00	315.70	317.62	1.93	.0055
3.50	315.72	317.63	1.91	.0049
3.00	315.75	317.63	1.89	.0044
2.50	315.77	317.64	1.86	.0038
2.00	315.80	317.64	1.84	.0032
1.50	315.82	317.64	1.82	.0026
1.00	315.85	317.64	1.80	.0019
.50	315.87	317.65	1.77	.0012
.00	315.90	317.65	1.75	.0004

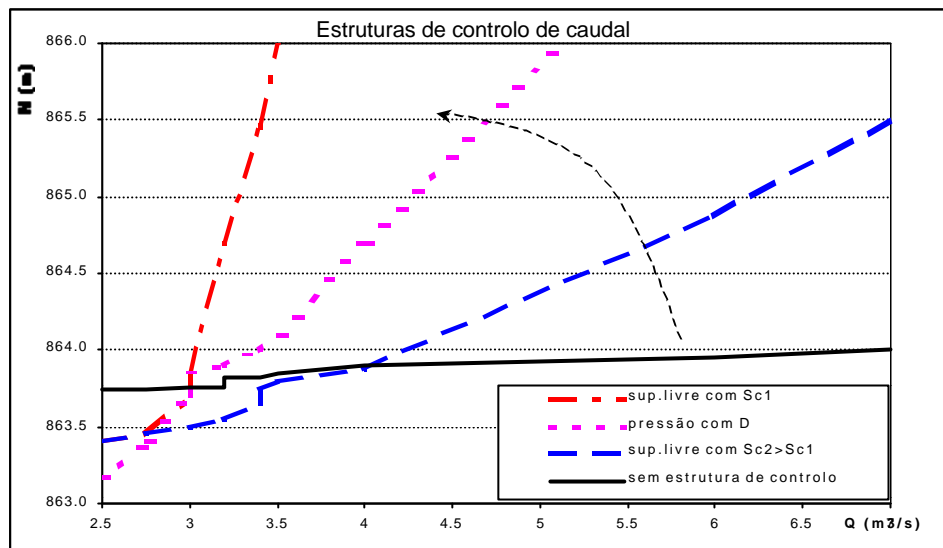


Figura 7 – Variação de caudal para diferentes tipos de estruturas de controlo de caudal.

Na Figura 7 apresenta-se, obtida a partir da aplicação da modelação a um caso de estudo (Ramos e Almeida, 1998), a redução do caudal derivado com a instalação de estruturas de controlo específicas, quando comparada com a situação sem as referidas estruturas. Nas curvas de vazão obtidas é visível a eficiência das referidas estruturas, para as condições de funcionamento consideradas.

## 5- CONSIDERAÇÕES FINAIS

As tomadas de água do tipo Tirolês constituem uma solução frequentemente vantajosa para as tomadas de água de pequenas centrais hidroeléctricas. O seu correcto dimensionamento exige, no entanto, a utilização de modelos computacionais devidamente validados, baseados nas equações do comportamento hidráulico dos diferentes componentes do sistema.

Deste modo, a modelação computacional permite não só um melhoramento das actividades de projecto, mas também obter a interacção dos diferentes sub-sistemas hidráulicos e o controlo de eventuais condições anómalas de funcionamento. Este tipo de análise permite avaliar vários cenários e escolher a solução mais favorável, por forma a que sejam mitigadas as condições que possam pôr em risco o bom funcionamento do sistema. A utilização de métodos muito simplificados não é justificada, uma vez que podem conduzir a soluções pouco económicas, eficientes e seguras.

## BIBLIOGRAFIA

- BOUVARD, M. - *Barrage mobiles et prises d'eau en rivière*, Collection du Laboratoire National d'Hydraulique, Eyrolles, 1984.
- BROWN, A. – The application of Coanda effect screens in SHP. 5<sup>th</sup> International Conference and Exhibition, *Hydroenergia 97*, pp. 190-200, Sept. 29 – Oct. 1, Dublin, Ireland.
- CHARDONNET, E., MEYNARDI, G. e ORTH, J. - *Étude de grilles pour prises d'eau du type en-dessous*. *La Houille Blanche*, Juin, 1954.
- CHARDONNET, E., MOLBERT, J. e PONSARD, A. – *Experience de l'E.D.F. dans le domaine des prises de haute montagne a chasses automatiques*. *La Houille Blanche*, N°8, 1967.
- ESHA – *Layman's guidebook on how to develop a small hydro site*. DGXVII, Commission of the European Communities, European Small Hydropower Association, Brussels, 1994.
- NOSEDA, G. - *Correnti con portata progressivamente decrescente, defluenti su griglie di fondo*. *L'Energia Electrica*, Milano, Itália, Vol. 33, N° 1 and 6, 1956.
- QUINTELA, A. C. e PINHEIRO, A. N. – *Tomadas de água e derivações em pequenos aproveitamentos hidroeléctricos sem albufeira*. CEHIDRO, 1987.
- RAMOS, H. - *Tomada de água inferior do tipo Tirolês*. SHRHA, DECivil, IST, Lisboa, 1994.
- RAMOS, H. – *Simulação e controlo de transitórios hidráulicos em pequenos aproveitamentos hidroeléctricos. Modelação e análise dos efeitos induzidos pela sobrevelocidade de turbogeradores*. Tese de doutoramento, DEC, IST, 1995.
- RAMOS, H. e ALMEIDA, A.B. - *Dimensionamento da tomada de água do tipo Tirolês em circuitos de pequenas centrais hidroeléctrica*. Encontro Técnico “A Hidroelectricidade”, APRH, Porto, Julho, 1991<sup>a</sup>.

RAMOS, H. e ALMEIDA, A.B. - *Tomada de água de tipo inferior e controlo do caudal derivado em pequenas centrais hidroeléctricas*. V Simpósio Luso-Brasileiro de Hidráulica e Recursos Hídricos, SILUSB, Novembro, 1991<sup>b</sup>.

RAMOS, H. e ALMEIDA, A. B.: - Tyrolian intake type and turbine discharge control in small powerplants. Modelling, Testing & Monitoring for Hydro Powerplants III. Aix-en-Provence, 5 –7 October, France, 1998.

RAMOS, H; ALMEIDA, A. B.; PORTELA, M. M. e ALMEIDA, H. P. – *Guidelines for Design of Small Hydropower Plants*. WREAN and DED, Belfast, North Ireland, 2000.

## **SIMBOLOGIA**

- b = largura da grelha;
- B = largura do canal colector;
- $C_g$  = relação área útil/área bruta da grelha ou coeficiente de área;
- Cotgi = cota da geratriz inferior da adução;
- Cotif = cota inicial do fundo, a jusante do canal colector;
- Cpg = comprimento do canal colector;
- $C_v$  = coeficiente de vazão através da grelha;
- Cvd = coeficiente de vazão do descarregador lateral;
- dy = incremento da altura de escoamento ao longo do canal colector;
- D = o diâmetro (ou altura da entrada) do circuito hidráulico);
- E2 = energia específica na câmara de sedimentação;
- Ec = energia específica crítica;
- Ecc2 = energia específica à saída do canal colector;
- h = altura de escoamento sobre a grelha;
- h2 = altura de escoamento na câmara de sedimentação;
- hcc = altura de escoamento no canal colector;
- hcc2 = altura de escoamento à saída do canal colector;
- $H_o$  = energia específica sobre a grelha;
- K = coeficiente de perdas de carga;

$N_{cc1}$  = cota de água a montante do canal colector;

$N_{cc2}$  = cota de água à saída do canal colector;

$N_{ec}$  = cota de água à entrada do canal de adução;

$q$  = caudal unitário sobre a grelha;

$Q_c$  = caudal no canal de adução;

$Q_d$  = caudal derivado;

$q_d$  = caudal unitário derivado pela grelha;

$Q_{dl}$  = caudal descarregado pelo descarregador lateral da câmara de sedimentação;

$Q_j$  = caudal na secção de jusante do canal colector;

$Q_m$  = caudal na secção de montante do canal colector;

$s$  = declive do canal colector;

$S$  = secção transversal do escoamento no canal colector;

$x$  = direcção do escoamento ao longo da grelha;

$Z_{cd}$  = cota da crista do descarregador;

$Z_{fcc}$  = cota do fundo à saída do canal colector;

$Z_{sc}$  = cota da soleira na secção crítica;

$\Delta H_{ec}$  = perdas de carga até ao canal de adução;

$\Delta H_{ecs}$  = perda de carga na estrutura de controlo;

$\Delta x$  = incremento no espaço ao longo do canal colector;

$\gamma$  = peso volúmico da água;

$\rho$  = massa volúmica da água.