

É apresentada uma simples metodologia de engenharia para estimar o custo de pequenos aproveitamentos hidroeléctricos em novos locais, com base na análise do custo de vários aproveitamentos em diversos lugares do mundo e considerando que estes aproveitamentos são suficientes para ordenar uma investigação detalhada.

Limites económicos dos pequenos aproveitamentos

António do Carmo Pereira Pinto

Eng. Elect. (I. S. T.)

Electricidade de Portugal — EDP

A simple engineering methodology is presented for estimating the likely minimum cost of a small hydropower development at a new site, based on an analysis of cost data from some attractive implementations in an amount enough to warrant detailed investigation.

1. Objectivo

Este artigo apresenta um método simples que pode ser usado em estudos preliminares de novos aproveitamentos hidroeléctricos sem uma investigação detalhada dos lugares onde se pretendem implantar. Este método não é aplicável a lugares onde já haja algumas infra-estruturas ou estruturas já realizadas, como seja a existência de lagos ou barragens.

Uma premissa fundamental deste método, é de que os benefícios devem exceder os investimentos.

2. Estimativa do custo

Estabeleceu-se que quanto mais pequeno for o caudal do rio e mais baixa for a queda útil, mais elevado é o preço do kW instalado. Verifica-se pois que o custo de um aproveitamento hidroeléctrico é essencialmente função da queda útil e do caudal.

Da análise do custo de um certo número de aproveitamentos, verificou-se que a 60 % deles corres-

pondia a seguinte fórmula empírica

$$C = K.L \left(\frac{\text{kW}}{h^{0,3}} \right)^{0,82} \quad (1)$$

onde

P — potência em kw

K — factor de custo

L — factor de local

h — queda útil

C — custo total da instalação

Nos Estados Unidos da América do Norte e referente ao ano de 1982 referem-se os valores (Fig. 1)

$K =$

22 000 — valor mínimo

37 000 — valor médio

$L = 1$

C — custo em U.S.D.

A fórmula (1) pode ser usada em aproveitamentos com uma queda mínima até cerca de 3 m.

O custo de um pequeno aproveitamento hidroeléctrico pode ser decomposto em três partes: Custo de Construção Civil, Equipamentos e Engenharia e Administração.

Nos Estados Unidos da América do Norte verifica-se aproximadamente:

- Construção civil: 50 % a 70 % (valor médio de 60 %)
- Equipamentos: 20 % a 30 % (valor médio de 30 %)
- Engenharia e Administração: 5 % a 15 % (valor médio de 10 %)

É evidente que estes valores não são iguais nos diversos países do mundo pois dependem dos preços dos materiais, dos equipamentos e da mão-de-obra que não é igual nas várias regiões do globo. No Sudoeste Asiático, Filipinas e Indonésia e por exemplo no Canadá o factor L apresenta aproximadamente os valores dos quadros 1 e 2.

Considere-se o exemplo seguinte: O custo de um aproveitamento hidroeléctrico no Canadá com a potência de 1150 kW e uma queda útil de 10 m e a preços de 1982 em Dólares Americanos tem o seguinte custo mínimo:

$$C = 22\,200 \cdot 1,24 \left(\frac{1150}{10^{0,3}} \right)^{0,82} = 5,50 \times 10^3 \text{ USD}$$

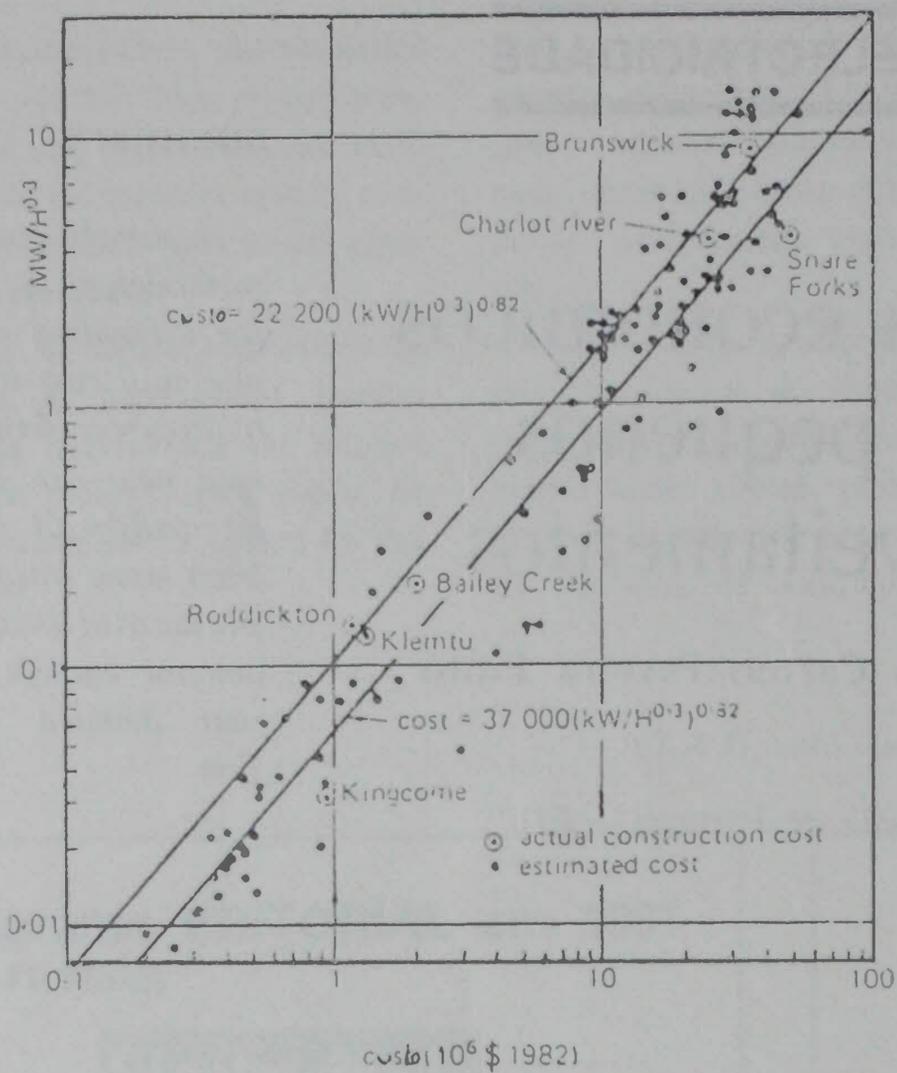


Fig. 1 — Relação entre custo e $\text{kW}/h^{0.32}$ para pequenos projectos

3. Microaproveitamentos

Considera-se microaproveitamento um pequeno aproveitamento hidroeléctrico com potência por grupo inferior a 100 kW.

Dada a escassez de dados para análise, não foi ainda possível deduzir uma fórmula empírica. No entanto alguns autores dos E. U. A. são de opinião que a fórmula (1) se pode aplicar a estes aproveitamentos considerando $K = 11\,000$.

Como se pode verificar na parte final do Quadro 3, referente à estatística de cinco microaproveitamentos nos E. U. A., embora os valores apresentados difiram bastante do valor apresentado para o factor de custo K , a fórmula (1) permanece válida para os microaproveitamentos com $K = 11\,000$, embora se conclua que mais elementos são necessários para a determinação de K e L .

que em escudos e reportando ao ano de 1990 é de $1065,5 \times 10^3$ contos.

Em Portugal, o mesmo aproveitamento custaria aproximadamente

$$C = K.L \left(\frac{1150}{10^{0.32}} \right)^{0.82}$$

onde normalmente $kL = 1350$ e C se exprime em contos, pelo que $C = 1350 \times 183,55 \approx 247\,793$ contos

No Quadro 3 estão indicadas as características e o custo total de pequenos aproveitamentos nos Estados Unidos da América do Norte, no Canadá e nas Filipinas.

4. Minicentrals com equipamento normalizado

Para a Indonésia estudou-se um projecto normalizado, que fosse comum a vários lugares possíveis de implementação de pequenos aproveitamentos, para reduzir significativamente o seu custo.

QUADRO 1

Exemplos de factores L

Componentes (Ref. USA)	Factor L	
	Filipinas e Indonésia	Canadá
Construção civil	0,6 × 0,6 ... 0,36	× 1,4. 0,84
Equipamentos	0,5 × 1 0,30	× 1 . 0,3
Eng. e Administ.	0,1 × 0,4 ... 0,04	× 1 . 0,1
Total	1,0	0,70 1,24

QUADRO 2

Fórmulas do custo em Dólares Americanos referente ao ano de 1982

País	Custo médio em \$ (1982)	Custo mínimo em \$ (1982)
Filipinas e Indonésia	$37\,000 \cdot 0,7 \frac{(\text{kW})^{0.82}}{h^{0.32}}$	$22\,200 \cdot 0,7 \frac{(\text{kW})^{0.82}}{h^{0.32}}$
Canadá	$37\,000 \cdot 1,24 \frac{(\text{kW})^{0.82}}{h^{0.32}}$	$22\,200 \cdot 1,24 \frac{(\text{kW})^{0.82}}{h^{0.32}}$

QUADRO 3

Propriedades de diversos pequenos aproveitamentos

Pequenos aproveitamentos	Capacidade [MW]	Altura h [m]	KW $\frac{h^{0.5}}$	Custo 10^6 \$ [USD 1982]	K.L	Custo total [10 ³ contos] [MPTE 1990]	Custo dos kW instalados [kPTE 1990]
Noroesta da USA							
• Auger Falls (a)	30,000	20.12	12 190	30,02	13 393	6 334,2	211,4
• ULm (b)	2,200	2.13	1 750	15,51	33 987	3 270,5	1 486,6
• Dead Horse	30,000	10.67	14 750	37,45	14 290	7,902,0	263,4
• Mount Harris	0,150	2.74	110	3,99	8 453	841,1	5 612,6
Canadá L = 1,24							
• Coquihalla (a)	2,190	60.00	641	4,33	21 620	931,63	417,2
• Grandois	0,016	12.00	8	0,25	45 436	52,75	3 296,87
• Munro Creeck (c)	0,263	800.00	35	0,92	49 848	194,12	738,09
• Croque (b)	0,017	4.00	11	0,31	43 393	65,41	3 847,6
Filipinas L = 0,7							
• Carabau	2,000	197.00	410	3,500	25 210	738,50	369,25
• Sayap	1,000	195.00	216	2,900	36 730	611,90	611,9
• Herrabian	0,810	82.000	215	2,040	24 947	430,44	531,5
• Balactasan	0,270	69.00	76	1,330	38 157	280,63	1 037,03
• Água grande	4,550	191.00	941	6,670	24 309	1 407,37	309,3
• Ton — Ok	1,080	95.00	275	1,950	19 488	411,45	380,9
Microaproveitamentos	kW			10^3 \$ (1982)			
U. S. A.							
• Hasty Creak	28	61.00	8.15	48,6	8 700	10,25	366
• Livingston	5	30.00	1.8	22,8	14 000	4,81	962
• Mom e Pop (d)	300	180.00	63.2	150,0	5 000	31,65	105,5
• Ranger I	275	9.00	14.2	112,0	7 900	23,632	859,4
• Ranger II	125	9.00	6.5	77,0	11 900	16,247	1 299,76

- a) Máxima capacidade
 b) Mínima queda
 c) Máxima queda
 d) Não inclui o trabalho do proprietário

QUADRO 4

Propriedades de pequenos aproveitamentos na Indonésia

Lugar Rio	Caudal [m ³ /s]	Queda [m]	Pot. Inst. [kW]	Custo 10 ³ US\$ 1982				Custo em contos de 1990	
				Const. civil	EQ ^{to} + EQ ^{to} tran.	Custo total	Custo kW	Total [10 ³ contos]	kW Instalado [contos]
Silang	6,2	18,0	1×750	970	794	1 701	2.268	358,9	478,6
Raisin	6,5	14,5	1×750	1 031	721	1 752	2.336	369,67	492,9
Raisin 1	6,6	15,5	1×750	1 067	713	1 780	2.373	375,58	500,7
Silundong	7,7	15,0	1×750	1 322	861	2 183	2.911	460,61	614,2
Komlih 1	9,5	18,5	2×750	1 420	1 218	2 638	1.759	556,61	371,2
Komlih 2	14,4	15,0	2×750	1 341	1 265	2 606	1.737	549,86	366,5

QUADRO 5

Propriedades de grandes aproveitamentos em Portugal

Aproveitamento	Rio	Veloc. [r.p.m.]	Potência [MW]	Custo global Dez.º 89 [10 ³ contos]	Custo do kW instalado Dez.º 89 [contos]
Aguieira	Mondego	125	3×90	8 107	30,025
Pocinho	Douro	88,24	3×55,8	8 457	50,519
Crestuma	Douro	83,3	3×35,37	23 060	217,27
Torrão	Tâmega	125	2×73,15	37 256	254,65

Em Novembro / Dezembro de 1981 a Beca Worley Internacional (BWI) acordou com o Governo da Indonésia na Instalação de pequenos aproveitamentos para o seu território. Desse estudo foram escolhidos 80 lugares. O projecto devia obedecer às seguintes características:

- Normalização para quedas e caudais iguais
- Interligação com rede isolada de 20 kV

- Implantação em fios de água

Assim a BWI, a Associação Local de Consultores da Indonésia, o Banco Mundial e o Governo da Indonésia seleccionaram 6 lugares dos 80 inicialmente escolhidos. Os lugares seleccionados tinham todos aproximadamente 15 m de queda e uma potência de cerca de 750 kW por grupo.

As turbinas seleccionadas foram Turbinas Francis de eixo horizontal por não ser possível adoptar

turbinas Kaplan normalizadas. Os alternadores são máquinas síncronas com arrefecimento a ar.

No Quadro 4 estão indicadas as características e o custo dos 6 aproveitamentos, do projecto standard da Indonésia.

A título de exemplo veja-se no Quadro 5 o preço do kW instalado para quatro aproveitamentos portugueses reportado a Dezembro de 1989 incluindo os encargos financeiros. ■

Revista **Electricidade** para

profissionais de Engenharia, investigadores, consultores, docentes do ensino superior, instaladores e projectistas