

Potências úteis, activas e aparentes, em equipamento hidroeléctrico

COMPANHIA PORTUGUESA
DE ELECTRICIDADE

1. INTRODUÇÃO

1.1. Ao considerar um aproveitamento hidroeléctrico, há que referir a sua potência respectiva, como elemento primordial, desde a fase de plano base ou estudo geral.

Ora, por estranho que pareça, não poucas vezes temos constatado uma certa confusão na designação genérica dessa potência, sem ser devidamente definido se se trata de potências brutas, úteis, activas ou aparentes. Isto aparece agravado por insuficiente consideração do ponto da instalação a que a potência se refere (por ex., veio da turbina, bornes do alternador ou saída do transformador) e ainda por utilização menos correcta das unidades de medida.

Daqui resultam imprecisões e erros em matéria que é de extrema simplicidade quando tratada com clareza.

Tão grande simplicidade levou-nos a hesitar em dar a público esta nota que nada mais faz que dispôr metódicamente um formulário sobre o assunto versado e apresentar em forma de quadro essas fórmulas calculadas com rendimentos, estimados com valores correntes.

Esperamos, por um lado, ser perdoados por aqueles a quem esta nota é inútil por desnecessária, contando que estes mesmos e nós próprios, beneficiemos de um maior esclarecimento de quem porventura dela tire algum proveito.

1.2. Quando se conhecem:

Q = caudal turbinável (m³/s)

H_b = queda bruta (m)
 Δ_h = Perda de carga (m)
 η_t = rendimento da turbina
 η_a = rendimento do alternador
 η_{tr} = rendimento do transformador
 $\cos \varphi$ = factor de potência

e recorrendo às conhecidas fórmulas

$$H_u = H_b - \Delta_h \quad (1)$$

$$N_{kW} = 0,736 P_{cv} \quad (2)$$

$$P_u = \eta_t P_b \quad (3)$$

$$P_w = \cos \varphi \cdot P_a \quad (4)$$

$$\eta_g = \eta_{tr} \cdot \eta_a \cdot \eta_t \quad (5)$$

podem calcular-se sucessivamente:

H_u = queda útil (m)

η_g = rendimento global do grupo

P_b = potência bruta disponível (cv)

ou

N_b = potência bruta disponível (kW)

P_u = potência útil, no veio da turbina (cv)

ou

N_u = potência útil, no veio da turbina (cv)

P_w = potência activa no alternador (kW)

P_a = potência aparente no alternador (kVA)

P_{wg} = potência activa no transformador (kW)

P_{ag} = potência aparente no transformador (kVA)

sendo as duas últimas potências de saída, que se designam por vezes por *potências nas barras da central*.

Duas observações fazemos que nos permitem concretizar melhor a via definida neste desprezioso trabalho.

A primeira é a de que, com rigor, é evidentemente possível considerar uma *potência útil absorvida pela turbina*. Esta potência multiplicada pelo rendimento da turbina (η_t) dá a potência útil no veio da turbina. Não lhe faremos referência na sequência desta nota por não se nos afigurar de suficiente interesse, conseguindo-se assim uma redução da matéria exposta.

A segunda refere que o expressarmos algumas potências em cv, traduz apenas uma condescendência com uma tradição. De facto como unidade de potência deve apenas considerar-se o kW, e o seu múltiplo MW sempre que as potências em jogo o justifiquem.

2. FORMULÁRIO

2.1. Com os dados, fórmulas conhecidas e potências já referidas determinamos as seguintes expressões:

$$P_b = 13,333 Q H_b \quad (\text{cv}) \quad (6)$$

$$N_b = 9,813 Q H_b \quad (\text{kW}) \quad (7)$$

$$P_u = 13,333 \eta_t Q H_u \quad (\text{cv}) \quad (8)$$

$$N_u = 9,813 \eta_t Q H_u \quad (\text{kW}) \quad (9)$$

$$P_w = 9,813 \eta_t \eta_a Q H_u \quad (\text{kW}) \quad (10)$$

$$P_a = 9,813 \frac{\eta_t \eta_a}{\cos \varphi} Q H_u \quad (\text{kVA}) \quad (11)$$

$$P_{wg} = 9,813 \eta_g Q H_u \quad (\text{kW}) \quad (12)$$

$$P_{ag} = 9,813 \frac{\eta_g}{\cos \varphi} Q H_u \quad (\text{kVA}) \quad (13)$$

A combinação entre si das expressões permite obter as relações entre todas as potências que têm sido referidas e conduz às fórmulas que a seguir passamos a indicar.

2.2. *Potência bruta (P_b) em cv*

$$P_b = \frac{1}{\eta_t} \cdot \frac{H_b}{H_u} P_u \quad (P_u \text{ em cv}) \quad (14)$$

$$P_b = \frac{1}{0,736} \cdot N_b \quad (N_b \text{ em kW}) \quad (15)$$

$$P_b = \frac{1}{0,736 \eta_t} \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot N_u \quad (N_u \text{ em kW}) \quad (16)$$

$$P_b = \frac{1}{0,736 \cdot \eta_t \eta_a} \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot P_w \quad (P_w \text{ em kW}) \quad (17)$$

$$P_b = \frac{\cos \varphi}{0,736 \cdot \eta_t \eta_a} \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot P_a \quad (P_a \text{ em kVA}) \quad (18)$$

$$P_b = \frac{1}{0,736 \cdot \eta_t \eta_a \eta_{tr}} \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot P_{wg} \quad (P_{wg} \text{ em kW}) \quad (19)$$

$$P_b = \frac{\cos \varphi}{0,736 \eta_t \eta_a \eta_{tr}} \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot P_{ag} \quad (P_{ag} \text{ em kVA}) \quad (20)$$

2.3. *Potência útil (P_u) em cv (no veio da turbina)*

$$P_u = \eta_t \cdot \frac{H_u}{H_b} \cdot P_b \quad (P_b \text{ em cv}) \quad (21)$$

$$P_u = \frac{\eta_t}{0,736} \cdot \frac{H_u}{H_b} N_b \quad (N_b \text{ em kW}) \quad (22)$$

$$P_u = \frac{1}{0,736} \cdot N_u \quad (N_u \text{ em kW}) \quad (23)$$

$$P_u = \frac{1}{0,736 \cdot \eta_a} \cdot P_w \quad (P_w \text{ em kW}) \quad (24)$$

$$P_u = \frac{\cos \varphi}{0,736 \cdot \eta_a} \cdot P_a \quad (P_a \text{ em kVA}) \quad (25)$$

$$P_u = \frac{1}{0,736 \cdot \eta_a \eta_{tr}} \cdot P_{wg} \quad (P_{wg} \text{ em kW}) \quad (26)$$

$$P_u = \frac{\cos \varphi}{0,736 \cdot \eta_a \eta_{tr}} \cdot P_{ag} \quad (P_{ag} \text{ em kVA}) \quad (27)$$

2.4. *Potências brutas (N_b) em kW*

$$N_b = 0,736 \cdot P_b \quad (P_b \text{ em cv}) \quad (28)$$

$$N_b = \frac{0,736}{\eta_t} \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot P_u \quad (P_u \text{ em cv}) \quad (29)$$

$$N_b = \frac{1}{\eta_t} \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot N_u \quad (N_u \text{ em kW}) \quad (30)$$

$$N_b = \frac{1}{\eta_t \eta_a} \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot P_w \quad (P_w \text{ em kW}) \quad (31)$$

$$N_b = \frac{\cos \varphi}{\eta_t \eta_a} \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot P_a \quad (P_a \text{ em kVA}) \quad (32)$$

$$N_b = \frac{1}{\eta_t \eta_a \eta_{tr}} \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot P_{wg} \quad (P_{wg} \text{ em kW}) \quad (33)$$

$$N_b = \frac{\cos \varphi}{\eta_t \eta_a \eta_{tr}} \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot P_{ag} \quad (P_{ag} \text{ em kVA}) \quad (34)$$

2.5. *Potência útil (N_u) em kW (no veio da turbina)*

$$N_u = 0,736 \cdot \eta_t \cdot \frac{H_u}{H_b} \cdot P_b \quad (P_b \text{ em cv}) \quad (35)$$

$$N_u = 0,736 \cdot P_u \quad (P_u \text{ em cv}) \quad (36)$$

$$N_u = \eta_{lr} \cdot \frac{H_u}{H_b} \cdot N_b \quad (N_b \text{ em kW}) \quad (37)$$

$$N_u = \frac{1}{\eta_a} \cdot P_w \quad (P_w \text{ em kW}) \quad (38)$$

$$N_u = \frac{\cos \varphi}{\eta_a} \cdot P_a \quad (P_a \text{ em kVA}) \quad (39)$$

$$N_u = \frac{1}{\eta_a \eta_{lr}} \cdot P_{wg} \quad (P_{wg} \text{ em kW}) \quad (40)$$

$$N_u = \frac{\cos \varphi}{\eta_a \eta_{lr}} \cdot P_{ag} \quad (P_{ag} \text{ em kVA}) \quad (41)$$

2.6. Potência activa (P_w) em kW (nos bornes do alternador)

$$P_w = 0,736 \cdot \eta_{lr} \eta_a \cdot \frac{H_u}{H_b} \cdot P_b \quad (P_b \text{ em cv}) \quad (42)$$

$$P_w = 0,736 \cdot \eta_a \cdot P_u \quad (P_u \text{ em cv}) \quad (43)$$

$$P_w = \eta_{lr} \eta_a \cdot \frac{H_u}{H_b} \cdot N_b \quad (N_b \text{ em kW}) \quad (44)$$

$$P_w = \eta_a N_u \quad (N_u \text{ em kW}) \quad (45)$$

$$P_w = \cos \varphi \cdot P_a \quad (P_a \text{ em kVA}) \quad (46)$$

$$P_w = \frac{1}{\eta_{lr}} \cdot P_{wg} \quad (P_{wg} \text{ em kW}) \quad (47)$$

$$P_w = \frac{\cos \varphi}{\eta_{lr}} \cdot P_{ag} \quad (P_{ag} \text{ em kVA}) \quad (48)$$

2.7. Potência aparente (P_a) em kVA (nos bornes do alternador)

$$P_a = 0,736 \cdot \frac{\eta_{lr} \eta_a}{\cos \varphi} \cdot \frac{H_u}{H_b} \cdot P_b \quad (P_b \text{ em cv}) \quad (49)$$

$$P_a = 0,736 \cdot \frac{\eta_a}{\cos \varphi} \cdot P_u \quad (P_u \text{ em cv}) \quad (50)$$

$$P_a = \frac{\eta_{lr} \eta_a}{\cos \varphi} \cdot \frac{H_u}{H_b} \cdot N_b \quad (N_b \text{ em kW}) \quad (51)$$

$$P_a = \frac{\eta_a}{\cos \varphi} \cdot N_u \quad (N_u \text{ em kW}) \quad (52)$$

$$P_a = \frac{1}{\cos \varphi} \cdot P_w \quad (P_w \text{ em kW}) \quad (53)$$

$$P_a = \frac{1}{\eta_{lr} \cdot \cos \varphi} \cdot P_{wg} \quad (P_{wg} \text{ em kW}) \quad (54)$$

$$P_a = \frac{1}{\eta_{lr}} \cdot P_{ag} \quad (P_{ag} \text{ em kVA}) \quad (55)$$

2.8. Potência activa global (P_{wg}) em kW (nas barras da central)

$$P_{wg} = 0,736 \cdot \eta_{lr} \eta_a \eta_{lr} \cdot \frac{H_u}{H_b} \cdot P_b \quad (P_b \text{ em cv}) \quad (56)$$

$$P_{wg} = 0,736 \cdot \eta_a \eta_{lr} \cdot P_u \quad (P_u \text{ em cv}) \quad (57)$$

$$P_{wg} = \eta_{lr} \eta_a \eta_{lr} \cdot \frac{H_u}{H_b} \cdot N_b \quad (N_b \text{ em kW}) \quad (58)$$

$$P_{wg} = \eta_a \eta_{lr} \cdot N_u \quad (N_u \text{ em kW}) \quad (59)$$

$$P_{wg} = \eta_{lr} \cdot P_w \quad (P_w \text{ em kW}) \quad (60)$$

$$P_{wg} = \eta_{lr} \cdot \cos \varphi \cdot P_a \quad (P_a \text{ em kVA}) \quad (61)$$

$$P_{wg} = \cos \varphi \cdot P_{ag} \quad (P_{ag} \text{ em kVA}) \quad (62)$$

2.9. Potência aparente global (P_{ag}) em kVA (nas barras da central)

$$P_{ag} = 0,736 \cdot \frac{\eta_{lr} \eta_a \eta_{lr}}{\cos \varphi} \cdot \frac{H_u}{H_b} \cdot P_b \quad (P_b \text{ em cv}) \quad (63)$$

$$P_{ag} = 0,736 \cdot \frac{\eta_a \eta_{lr}}{\cos \varphi} \cdot P_u \quad (P_u \text{ em cv}) \quad (64)$$

$$P_{ag} = \frac{\eta_{lr} \eta_a \eta_{lr}}{\cos \varphi} \cdot \frac{H_u}{H_b} \cdot N_b \quad (N_b \text{ em kW}) \quad (65)$$

$$P_{ag} = \frac{\eta_a \eta_{lr}}{\cos \varphi} \cdot N_u \quad (N_u \text{ em kW}) \quad (66)$$

$$P_{ag} = \frac{\eta_{lr}}{\cos \varphi} \cdot P_w \quad (P_w \text{ em kW}) \quad (67)$$

$$P_{ag} = \eta_{lr} \cdot P_a \quad (P_a \text{ em kVA}) \quad (68)$$

$$P_{ag} = \frac{1}{\cos \varphi} \cdot P_{wg} \quad (P_{wg} \text{ em kW}) \quad (69)$$

2.10. É possível, mediante uma estimativa de rendimentos e do factor de potência, simplificar as fórmulas apresentadas, transformando-as em relações directas de potências, para mais expedita aplicação.

É o que se faz no Quadro I, em que os valores arbitrados são os seguintes:

QUADRO I

	TURBINA				ALTERNADOR		GRUPO (Turb.-altern.-transf.)		
	P_b	P_u	N_b	N_u	P_w	P_a	P_{wg}	P_{ag}	
	(cv)	(cv)	(kW)	(kW _t)	(kW _a)	(kVA)	(kW)	(kVA)	
TURBINA	P_b (cv)		$1,081 \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot P_u$	$1,359 \cdot N_b$	$1,469 \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot N_u$	$1,506 \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot P_w$	$1,356 \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot P_a$	$1,537 \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot P_{wg}$	$1,384 \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot P_{ag}$
	P_u (cv)	$0,925 \cdot \frac{H_u}{H_b} \cdot P_b$		$1,257 \cdot \frac{H_u}{H_b} \cdot N_b$	$1,359 \cdot N_u$	$1,394 \cdot P_w$	$1,254 \cdot P_a$	$1,422 \cdot P_{wg}$	$1,28 \cdot P_{ag}$
	N_b (kW)	$0,736 \cdot P_b$	$0,796 \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot P_u$		$1,081 \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot N_u$	$1,109 \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot P_w$	$0,998 \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot P_a$	$1,131 \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot P_{wg}$	$1,018 \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot P_{ag}$
	N_u (kW _t)	$0,681 \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot P_b$	$0,736 \cdot P_u$	$0,925 \cdot \frac{H_u}{H_b} \cdot N_b$		$1,026 \cdot P_w$	$0,923 \cdot P_a$	$1,047 \cdot P_{wg}$	$0,942 \cdot P_{ag}$
ALTERNADOR	P_w (kW _a)	$0,664 \cdot \frac{H_b}{H_u} \cdot P_b$	$0,718 \cdot P_u$	$0,902 \cdot \frac{H_u}{H_b} \cdot N_b$	$0,975 \cdot N_u$		$0,9 \cdot P$	$1,02 \cdot P_{wg}$	$0,918 \cdot P_{ag}$
	P_a (kVA)	$0,738 \cdot \frac{H_u}{H_b} \cdot P_b$	$0,797 \cdot P_u$	$1,002 \cdot \frac{H_u}{H_b} \cdot N_b$	$1,083 \cdot N_u$	$1,111 \cdot P_w$		$1,134 \cdot P_{wg}$	$1,02 \cdot P_{ag}$
GRUPO (Turb.-Altern.-Transf.)	P_{wg} (kW)	$0,651 \cdot \frac{H_u}{H_b} \cdot P_b$	$0,703 \cdot P_u$	$0,884 \cdot \frac{H_u}{H_b} \cdot N_b$	$0,956 \cdot N_u$	$0,98 \cdot P_w$	$0,882 \cdot P_a$		$0,9 \cdot P_{ag}$
	P_{ag} (kVA)	$0,723 \cdot \frac{H_u}{H_b} \cdot P_b$	$0,781 \cdot P$	$0,982 \cdot \frac{H_u}{H_b} \cdot N_b$	$1,062 \cdot N_u$	$1,089 \cdot P_w$	$0,98 \cdot P_a$	$1,111 \cdot P_{wg}$	

rendimento de turbina	$\eta_t = 92,5\%$
rendimento de alternador	$\eta_a = 97,5\%$
rendimento de transform.	$\eta_{tr} = 98,0\%$
factor de potência	$\cos \varphi = 0,9$

Daqui se obtém:

Rendimento de grupo	$\eta_t \eta_a = 90,2\%$
Rendim. global do equip.	$\eta_g = \eta_t \eta_a \eta_{tr} = 88,4\%$

Para efeitos de planeamento afigura-se preferível considerar um rendimento global de 86%, de forma a ter em conta consumos próprios dos aproveitamentos, em serviços auxiliares e alimentação de instalações do pessoal de exploração, nomeadamente.

Se se pretender partir de valores de potência bruta da queda disponível é necessário afectar o rendimento (86%), multiplicando-o pela relação H_u/H_b para ter em conta as perdas da carga hidráulica, exteriores ao equipamento electromecânico.

3. APLICAÇÃO PRÁTICA

3.1. Vamos supôr que pretendemos conhecer, de forma expedita, as potências em jogo num aproveitamento com os seguintes dados:

Queda bruta disponível	$H_b = 110$ m
Perdas de carga	$\Delta_h = 3$ m
Caudal característico médio por grupo	$Q_t = 150$ m ³ /s

Se se podem arbitrar os rendimentos, utilizam-se as fórmulas já apresentadas. No caso de não serem conhecidos rendimentos ou de se considerarem aceitáveis as estimativas feitas em 2.10, pode determinar-se uma das potências e recorrer-se directamente ao Quadro I,

obtendo-se as restantes potências calculadas, com aproximação de valores às centenas.

Assim calculamos, por ex., a *potência útil no veio da turbina*

$$N_u = 9,813 \cdot \eta_t Q H_u = 9,813 \cdot 0,925 \cdot 150 \cdot 107 = 145\,700 \text{ kW}_t$$

e então teremos:

Potência bruta disponível:

$$P_b = 1,469 \cdot \frac{110}{107} \cdot 145\,700 = 220\,000 \text{ cv}$$

$$N_b = 1,081 \cdot \frac{110}{107} \cdot 145\,700 = 161\,900 \text{ kW}$$

Potência activa do alternador:

$$P_w = 0,975 \cdot 145\,700 = 142\,100 \text{ kW}_a$$

Potência aparente do alternador:

$$P_a = 1,083 \cdot 145\,700 = 157\,800 \text{ kVA}$$

Potência activa global (ou nas barras da central)

$$P_{wg} = 0,956 \cdot 145\,700 = 139\,300 \text{ kW}$$

Potência aparente global:

$$P_{ag} = 1,062 \cdot 145\,700 = 154\,700 \text{ kVA}$$

Todos estes valores se referem a um grupo dado que foi esse o caudal considerado.

3.2. Com os dados do aproveitamento anterior, se pretendemos calcular expeditamente a *potência total disponível à saída da central*, supondo que será equipada com três grupos idênticos, teríamos:

$$P = 9,813 \left(\eta_{tg} \frac{H_u}{H_b} \right) \cdot Q H_b = 9,813 \cdot \eta_{tg} Q H_u = 9,813 \cdot 0,86 \cdot 450 \cdot 107 = 406\,400 \text{ kW}$$