

# Avaliação económica do aproveitamento hidroeléctrico do Alto Lindoso

CARLOS MADUREIRA

Eng. Civil (F. E. U. P.)

Gab. Plan. Centros Produtores (EDP)

## resumo

O autor estima o valor económico do aproveitamento hidroeléctrico do Alto Lindoso para o sistema electroprodutor nacional.

## 1. Introdução

A presente nota tem como objectivo a apresentação da avaliação económica do escalão do Alto Lindoso cujo anteprojecto foi elaborado pela DEH em Julho de 1977.

Tal avaliação, representando o valor económico da sua contribuição em energia e potência para o sistema electroprodutor nacional, deverá, conseqüentemente, ser realizada com o centro produtor em análise integrado no sistema produtor global e numa óptica que considere a evolução prevista para esse sistema, num dado horizonte de tempo; foi neste contexto que se realizou o estudo de caracterização económica do escalão do Alto Lindoso que se apresenta adiante.

Previamente, no entanto, e após uma caracterização sumária do aproveitamento e da apresentação dos elementos em que se baseia o estudo, é apresentada a análise do interesse da instalação de bombagem e do nível de potência a instalar no aproveitamento,

## abstract

*The author estimates the economic value of the hydroelectric scheme of Alto Lindoso for the national generating system.*

tendo em vista a definição das suas características que melhor se coadunam com a sua integração no conjunto do sistema electroprodutor nacional.

## 2. Caracterização sumária do aproveitamento

O escalão do Alto Lindoso, tal como se encontra definido no Anteprojecto de Julho de 1977, é essencialmente constituído por:

- uma barragem abóbada localizada 300 m a jusante da confluência do rio Castro Laboreiro, que faz fronteira com Espanha, com o rio Lima, com 110 m de altura, 252 m de corda e um volume de betão de cerca de 308 500 m<sup>3</sup>;
- dois descarregadores de cheias de superfície, situado cada um em sua margem, dimensionados para um caudal de  $2 \times 1390$  m<sup>3</sup>/s, valor que

permite, juntamente com a capacidade de regularização da albufeira, dominar a cheia milenária com o caudal de ponta de 3500 m<sup>3</sup>/s;  
— um circuito hidráulico <sup>(1)</sup> constituído por:

- duas galerias de alta pressão independentes (uma por grupo) com o diâmetro de 6,0 m e com o comprimento de cerca de 50 m, revestidas a betão;
- dois poços de alta pressão blindados, com diâmetros variando de 5,65 m a 3,60 m e cerca de 250 m de comprimento, com blindagens de 22 a 45 mm de espessura;
- uma chaminé de equilíbrio subterrânea, do tipo poço com estrangulamento na base e câmaras de expansão e alimentação, situada a jusante da central, com 24,5 m de diâmetro e 58 m de altura, revestida a betão;
- uma galeria de baixa pressão com 9,0 m de diâmetro e cerca de 6,0 km de extensão, revestida a betão, restituindo os caudais à cota (52,5);

— uma central subterrânea, imediatamente a jusante dos poços de alta pressão, com 73 m de comprimento, 18 m de largura e 18 m de altura entre o piso principal e o fecho da abóbada, equipada com dois grupos turbina-bomba do tipo Francis, com a potência nominal fornecida à rede de 2×360 MW; a fim de se garantir a contra-pressão necessária para o funcionamento em bombagem o plano médio das rodas encontra-se à cota (-17,0);

— um poço com 6,5 m de diâmetro e cerca de 390 m de altura por onde se faz a subida das barras e dos cabos que ligam o equipamento da central em caverna com o edifício de comando e subestação exteriores; este poço é dotado de elevador e serve, também de acesso à central;

— um edifício de comando e a subestação 18/400 kV, situados ao ar livre, sobre o poço de barras e cabos, numa plataforma à cota (383,5) com a área de 8700 m<sup>2</sup>;

— um posto de seccionamento situado a 600 m da subestação numa plataforma à cota (397,3) com as dimensões de 195 m×230 m.

A barragem domina uma bacia hidrográfica com as seguintes características:

— área total	1525 km <sup>2</sup>
— altitude média	722 m
— chuva efectiva média	872 mm
— caudal integral anual médio afluente	1330 hm <sup>3</sup>

A albufeira criada pela barragem, com o nível de pleno armazenamento à cota (338,0) e o nível mínimo de exploração à cota (280,0), a que correspondem, respectivamente, as quedas brutas máxima e mínima de 285,5 e 227,5 m, tem uma capacidade útil de 348 hm<sup>3</sup>, a que corresponde uma energia armazenada de 214 GWh para uma queda bruta média de 226 m, inundando uma área de 175 ha em Portugal e de 847 ha em Espanha.

### 3. Elementos de base

#### 3.1. Data prevista de entrada em serviço

Os elementos mais recentes <sup>(2)</sup> fornecidos pela DOEQ/SEH relativos às datas previstas para entrada em serviço dos grupos do escalão do Alto Lindoso são as seguintes:

- 1.º Grupo — Novembro 1986
- 2.º Grupo — Maio 1987

Considerando estas datas referidas a meio do mês e a necessidade de um período de 2,5 meses para ensaios, tem-se que as datas previsíveis de entrega à exploração são, respectivamente:

- 1.º Grupo — início de Fevereiro 1987
- 2.º Grupo — início de Agosto 1987

#### 3.2. Horizonte do estudo

O estudo foi realizado num horizonte correspondente ao tempo de vida do aproveitamento, de 75 anos, dividido em duas partes:

- estudo a curto e médio prazo: num horizonte de 13 anos que medeia entre os anos de 1987 e 2000, tendo-se seleccionado para o cálculo da valia anual os estádios do sistema electroprodutor correspondentes aos anos de 1987 (por ser o ano de entrada em serviço do escalão), 1990, 1995 e 2000;
- estudo a longo e muito longo prazo: num horizonte de 62 anos, que medeia entre os anos 2000 e 2062, tendo-se considerado longo prazo entre os anos 2000 e 2020 e o muito longo prazo entre os anos 2020 e 2062.

<sup>(1)</sup> A este circuito hidráulico dimensionado para um caudal nominal de 2×150 m<sup>3</sup>/s corresponde uma perda de carga de cerca de 12 m.

<sup>(2)</sup> A data da elaboração do trabalho (Maio de 1981).

### 3.3. Previsão da evolução dos consumos

A evolução dos consumos de energia eléctrica, referidos à produção, prevista até ao ano 2000, tem sido, nos estudos de planeamento da expansão do sistema electroprodutor nacional, baseada na consideração de uma taxa de crescimento médio anual da produção de 7,5 % na década de 80 e de 7 % na década de 90, o que conduz aos valores registados no Quadro I.

### 3.4. Expansão prevista do sistema electroprodutor até ao ano 2000

No Quadro II resumem-se as principais características do subsistema hidroeléctrico em exploração, em construção ou já decidido no início de 1981.

O subsistema térmico em serviço, em construção ou decidido no início de 1981 está caracterizado no Quadro III.

QUADRO I  
Evolução prevista dos consumos

Ano	Produção para consumos [GWh]	Ponta anual [MW]
1980	15 642	3 081
1981	16 925	3 334
1982	18 299	3 605
1983	19 755	3 892
1984	21 304	4 197
1985	22 957	4 523
1986	24 703	4 866
1987	26 432	5 207
1988	28 282	5 572
1989	30 262	5 962
1990	32 381	6 379
1991	34 647	6 825
1992	37 073	7 303
1993	39 668	7 814
1994	42 445	8 362
1995	45 416	8 947
1996	48 595	9 573
1997	51 997	10 243
1998	55 636	10 960
1999	59 531	11 728
2000	63 698	12 548

QUADRO II  
Sub-sistema hidroeléctrico

Sistema hidroeléctrico	Capacidade útil da albufeira [GWh]	Potência instalada [MW]	Potência garantida [MW]	Energia produtível em ano médio [GWh]	Energia produtível em ano crítico GWh
Sistema em exploração	2260	2275	1812	9571	5811
Aguieira-Raiva (1)	40	318	254	285	133
Pocinho	—	186	149	508	264
Crestuma	—	105	84	351	209
Belver IV	—	32	26	30	0
Vilarinho II	—	58	46	0	0
Sela (2)	—	54	43	197	132
Torrão	—	140	112	233	141
Alto Lindoso	214	720	576	862	517
Touvedo (3)	—	28	22	80	60
Lindoso actual (4)	—	-80	-64	-260	-220
Alqueva (5)	420	390	312	400	200

(1) Inclui a derivação para a Agueira de aflúncias à albufeira de Fronhas, no rio Alva.

(2) Parcela portuguesa correspondente a 35,5 % do total do escalão.

(3) Contraembalse do escalão do Alto Lindoso.

(4) Valores a deduzir quando da entrada em exploração do Alto Lindoso.

(5) Sem rega; sem Rocha da Galé.

- se faça em condições de mínimo custo;
- seja garantida mesmo em regime hidrológico crítico (afluência do regime de 1957, com a probabilidade de 95 % de ser excedido).

QUADRO III

Sub-sistema térmico

Sistema térmico	Potência instalada [MW]	Potência disponível [MW]	Energia garantida [GWh]
Sistema em exploração	1629 <sup>(1)</sup>	1263	9 136
Setúbal III	250	200	1 533
Setúbal IV	250	200	1 533
Tunes III	83	71	291
Tunes IV	83	71	291
Sines I	300	240	1 840
Sines II	300	240	1 840
<b>TOTAL</b>	<b>2895</b>	<b>2285</b>	<b>16 464</b>

<sup>(1)</sup> CARREGADO	750
TAPA DO OUTEIRO	150
BARREIRO	65
SETÚBAL I, II	500
ALTO MIRA + TUNES I, II	164
<b>TOTAL</b>	<b>1629</b>

Para regimes hidrológicos mais secos que o considerado como crítico admite-se o recurso a importações para obviar eventuais défices de energia.

No horizonte considerado a expansão prevista do sistema electroprodutor nacional decorre basicamente das duas seguintes premissas:

- aproveitamento, tão grande quanto possível na prática, dos recursos hídricos nacionais, o que leva a acelerar o ritmo de realização de aproveitamentos hidroeléctricos para o nível de

QUADRO IV

Expansão do sub-sistema térmico [MW]

Subsistema térmico		1987	1990	1995	2000
Turbinas a Gás	Antigas	164	164	—	—
	TUNES III, IV	166	166	166	166
FUEL	CAR/TO/BAR	965	965	965	465(*)
	SETÚBAL	1000	1000	1000	1000
CARVÃO	SINES	1200	1200	1200	1200
	2.ª Central Centrais seg.	—	600	1800	1800
<b>TOTAL</b>		<b>3495</b>	<b>4095</b>	<b>6331</b>	<b>9431</b>

(\*) Desclassificados os primeiros quatro grupos do Carregado.

QUADRO V

Expansão do sub-sistema hidroeléctrico [MW]

1987		1990		1995		2000	
Albufeiras <sup>(1)</sup>	852 (120R)	Albufeiras <sup>(1)</sup>	852 (120R)	Albufeiras <sup>(1)</sup>	852 (120R)	Albufeiras <sup>(1)</sup>	852 (120R)
Diversos <sup>(2)</sup>	307	Diversos <sup>(2)</sup>	307	Diversos <sup>(3)</sup>	679 (300R)	Diversos <sup>(3)</sup>	679 (300R)
Douro (int.)	564	Douro (int.)	564	Douro (int.)	564	Douro (int.)	564
Douro (nac.)	843	Douro (nac.)	843	Douro (nac.)	843	Douro (nac.)	843
Aguieira	300R	Aguieira	300R	B. Tâmega <sup>(4)</sup>	388 (140R)	B. Tâmega <sup>(5)</sup>	488 (140R)
Raiva	18	Raiva	18	A. Lindoso	720	A. Lindoso	720
Torrão	140R	Torrão	140R	Touvedo	28	Touvedo	28
A. Lindoso	720	A. Lindoso	720	Alqueva	390R	Alqueva	780R
Touvedo	28	Touvedo	28	Foz-Côa	207R	Foz-Côa	207R
Sela	54	Sela	54	Vidago	160R	A. Tâmega <sup>(6)</sup>	330R
		Alqueva	390	Alvarenga	300	Alvarenga	300
		Foz-Côa	207R	Rocha da Galé	390	Rocha da Galé	390R
		Fridão	134	Pêro Martins	184	A. Côa <sup>(7)</sup>	302
<b>Total</b>	<b>3826 (560R)</b>	<b>Total</b>	<b>4557 (767R)</b>	<b>Total</b>	<b>5705 (1317R)</b>	<b>Total</b>	<b>6483 (2267R)</b>

<sup>(1)</sup> Sistema Cávado e Zêzere.

<sup>(2)</sup> Sistema Tejo e Rede Secundária.

<sup>(3)</sup> Aguieira/Raiva + Sela + <sup>(2)</sup>.

<sup>(4)</sup> Torrão + Fridão + Sr.ª Graça.

<sup>(5)</sup> Torrão + Fridão + Sr.ª Graça + Daivões.

<sup>(6)</sup> Vidago + Padroselos.

<sup>(7)</sup> Pêro Martins + Sr.ª Monforte.

R — Equipamento reversível.

funcionamento de cinco estaleiros em simultaneidade;

— expansão da componente térmica de base pela via do carvão, arrancando com grupos de 300 MW para posteriormente passar à gama dos 600 MW; a consideração da alternativa nuclear, já nunca possível antes de cerca de 1995, só teria incidência no final do período em estudo, não devendo, por isso, afectar sensivelmente os resultados.

Nos Quadros IV e V apresenta-se a caracterização da expansão prevista para o sistema produtor nacional e no Quadro VI uma síntese dos anteriores explicitando os balanços em potência e energia em ano crítico.

As configurações apontadas para os vários estádios correspondem a um dimensionamento do sistema tal que, considerando valores para as indisponibilidades dos equipamentos resultantes de dados estatísticos para as centrais existentes e da experiência de outros países para as centrais de novos tipos, a satisfação dos consumos:

3.5. Sistema de preços; Taxa de actualização; Indicadores económicos das centrais térmicas

O sistema de preços adoptado refere-se a meados de 1980 e o valor da taxa de actualização foi fixado em 10 %.

Nestas condições os indicadores económicos das centrais térmicas assumem os seguintes valores:

- encargos variáveis (Esc./kWh): os indicados no Quadro VIII, correspondentes aos custos de oportunidade dos combustíveis (na central) indicados no Quadro VII.
- encargos fixos: para a central térmica que no período de estudo se encontra em expansão os respectivos encargos fixos (por MW líquido disponível) são os indicados no Quadro IX.

#### 4. Reversibilidade e potência a instalar

As precárias condições de alimentação da bombagem no aproveitamento do Alto Lindoso, introduzidas por limitações verificadas a jusante, e a oportunidade da sua utilização quando integrada no conjunto do

QUADRO VI

Balanços em potência e energia em ano crítico

ANO		1987	1990	1995	2000
Consumo [GW] <sup>1</sup>		26 432	32 381	45 416	63 698
Ponta anual [MW] <sup>2</sup>		5 207	6 379	8 947	12 548
SUB-SISTEMA HÍDRICO	Potência instalada [MW]	3 826	4 557	5 705	6 483
	Potência garantida [MW] <sup>3</sup>	3 060	3 645	4 569	5 368
	Energia média [GWh]	11 929	12 750	14 200	14 700
	Energia garantida [GWh] <sup>4</sup>	7 062	7 471	8 254	8 551
SUB-SISTEMA TÉRMICO	Potência instalada [MW]	3 495	4 095	6 331	9 431
	Potência garantida [MW] <sup>5</sup>	2 765	3 245	5 165	7 564
	Energia garantida [GWh] <sup>6</sup>	19 147	24 897	37 777	56 177
SISTEMA TOTAL	Potência garantida [MW] (3 + 5)	5 825	6 890	9 734	12 932
	Energia garantida [GWh] (4 + 6)	26 209	32 368	46 031	64 728
BALANÇOS	Saldo em Potência 2-(3+5) em [MW]	+618	+511	+787	+384
	em % da ponta	+11,9	+8,0	+8,8	+3,1
	Saldo em energia 1-(4 + 6) em [GWh]	-223	-13	+615	+1 030
	em % do consumo	-0,8	0,0	+1,4	+1,6

QUADRO VII

## Custos dos combustíveis na central

Central	US\$/t	
CARVÃO	Sines	54,5
	Centrais seg.	60,5
FUEL-ÓLEO	193,1	
GASÓLEO	325,5	

sistema electroprodutor nacional são aspectos que aconselham um exame cuidadoso com vista a verificar o interesse da sua adopção.

Da mesma maneira julga-se necessária uma análise dos efeitos produzidos pela inserção do aproveitamento do Alto Lindoso no sistema electroprodutor nacional, tendo em vista a confirmação do nível previsto de potência a instalar.

Neste número são apresentados resultados e conclusões a que conduziram os estudos realizados com o objectivo de analisar, relativamente ao aproveitamento do Alto Lindoso, os seguintes aspectos:

- I — Verificação do interesse da instalação de equipamento reversível;
- II — Confirmação ou revisão do nível de potência a instalar.

## 4.1. Instalação de equipamento reversível

No «Anteprojecto do escalão do Alto Lindoso» elaborado pela DEH, com data de Julho/1977, foi

QUADRO IX

## Encargos fixos por MW líquido disponível

Central	Potência unitária	Encargo fixo (*) (contos/MW . ano)
Carvão	300 MW	15 300
	600 MW	12 100

(\*) Considerando a instalação de dispositivos de dessulfurização.

prevista a instalação de turbinas-bombas que, no entanto, apenas se destinavam a realizar bombagem diária por se verificarem os seguintes condicionamentos:

- inexistência de aflúncias da bacia intermédia entre as barragens do Alto Lindoso e do contra-embalse de jusante disponíveis para transferência sazonal por bombagem para a albufeira do Alto Lindoso;
- reduzida capacidade de encaixe da albufeira do contra-embalse de jusante, insuficiente para alimentar a bombagem para além de cerca de 10 horas, o que não permitia pensar em aproveitar a possibilidade de bombagem de fim-de-semana.

A bombagem no aproveitamento do Alto Lindoso revestia-se, assim, dum carácter subsidiário, tal como se refere no referido Anteprojecto, ao mesmo tempo que, dada a natureza do esquema do aproveitamento, o custo da reversibilidade se apresenta relativamente

QUADRO VIII

## Encargos variáveis nas centrais com os combustíveis

CENTRAL		Encargos variáveis (Esc./kWh)		
		Combustível	Outros encargos variáveis	Total
CARVÃO	Sines	1,21	0,036	1,25
	Centrais 300 MW	1,34	0,209	1,55
	seguintes 600 MW	1,32	0,128	1,45
FUEL-ÓLEO	Setúbal	2,33	0,031	2,36
	Barreiro	2,61	0,031	2,64
	Carregado	2,39	0,031	2,42
GASÓLEO	Tunes (I, II)	5,23	—	5,23
	Alto de Mira	5,02	—	5,02
	Tunes (III, IV)	4,50	—	4,50

QUADRO X

Renda anual da bombagem no Alto Lindoso (1)  
(em 10<sup>3</sup> contos)

POTÊNCIA INSTALADA		480 MW		720 MW	
TURBINA OU TURBINA-BOMBA		T	TB	T	TB
	Estádio 1990	— -[.43]	46 (.092) [.11]	— -[.42]	19 (.027) [.04]
	Estádio 2000	— -[.38]	84 (.206) [.18]	— -[.37]	106 (.174) [.16]

(1) Os valores entre parêntesis curvos são as rendas unitárias de bombagem, em contos/kW, referentes ao Alto Lindoso; os valores entre parêntesis rectos são as rendas unitárias médias de bombagem, em contos/kW, para o conjunto do sistema produtor.

elevado; tais circunstâncias justificam, plenamente, um exame detalhado do interesse económico da opção da instalação de bombagem no Alto Lindoso em alternativa à instalação de equipamento reversível noutros locais.

Tendo em vista tal fim foram realizados estudos para os estádios do sistema electroprodutor nacional previsíveis para os anos de 1990 e 2000 e considerando dois níveis de potência a instalar no Alto Lindoso, a saber: 480 MW; 720 MW (valor fixado no Anteprojecto de 1977). Estes valores dizem respeito à potência fornecida à rede.

Para os dois estádios e para os dois níveis de potência considerados foram realizados, com o modelo VALOR ÁGUA, estudos de simulação da exploração optimizada do sistema produtor nacional integrando o aproveitamento do Alto Lindoso sem e com bombagem, num total de oito estudos.

A primeira conclusão de interesse que aqueles estudos permitem tirar é que os acréscimos das rendas anuais totais, ao passar, no Alto Lindoso, de turbina para turbina-bomba, independentemente do nível de potência instalada, são irrelevantes e manifestamente insuficientes para justificar o correspondente acréscimo de custo, como se verá adiante.

Por outro lado, os resultados daqueles estudos que se apresentam no Quadro X permitem assinalar os seguintes aspectos:

- ao passar de turbina (T) para turbina-bomba (TB) no Alto Lindoso, as rendas unitárias médias da bombagem no conjunto do sistema electroprodutor descem sensivelmente, denunciando um excesso de potência de bombagem, com a consequente desvalorização da bombagem nos outros aproveitamentos;
- a renda unitária da bombagem no Alto Lindoso situa-se algo abaixo da renda unitária média de

bombagem no sistema para o caso do ESTÁDIO 1990 e ligeiramente acima para o caso do ESTÁDIO 2000;

- a renda da bombagem no sistema mantém-se superior aos respectivos custos quando o Alto Lindoso não tem bombagem.

Considerando o esquema previsto no Anteprojecto de 1977, com central subterrânea logo a jusante da barragem, uma longa galeria de fuga e a potência de 720 MW, os custos directos a considerar, a preços de meados de 1980, para as soluções sem e com bombagem são, respectivamente, de 12 600 . 10<sup>3</sup> e 14 400 . 10<sup>3</sup> contos (3). Atendendo a que o prazo de construção previsto é de 6 e de 6,5 anos, respectivamente (devido ao facto da solução com bombagem exigir a cota de calagem da turbina cerca de 50 metros mais abaixo, resultando um aumento substancial da galeria de acesso à central e o decorrente aumento do prazo de construção), os custos totais das duas soluções, para a taxa de actualização de 10 %, são indicados no Quadro XI em milhares de contos.

QUADRO XI

Custos em milhares de contos para 720 MW no Anteprojecto de 1977 a preços de 1980

CUSTOS	s/ bombagem	c/ bombagem
Custos directos	12 600	14 400
Encargos gerais (6 %)	755	865
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>13 355</b>	<b>15 265</b>
Encargos financeiros	(30 %) 4 005	(32,5 %) 4 960
<b>CUSTO TOTAL</b>	<b>17 360</b>	<b>20 225</b>

(3) Valores fornecidos pelo SEH em JAN./81.

Como já não é possível antecipar o arranque da obra, no caso da solução com bombagem há ainda que penalizar a entrada em serviço meio ano mais tarde em cerca de  $950 \cdot 10^3$  contos, relativos aos encargos com combustível que se terá de queimar para compensar a não contribuição do Alto Lindoso durante aquele período. Assim, tomando como data de referência a da entrada em exploração correspondente à solução sem bombagem, e considerando o encargo com o combustível, atrás indicado, referido a meio do período de meio ano de desfasamento da entrada em exploração devido à adopção da bombagem, a solução com bombagem equivale a um sobrecusto de:

$$\left( \frac{20\,225}{1,10^{0,5}} + \frac{950}{1,10^{0,25}} - 17\,360 \right) \cdot 10^3 = \\ = 2850 \cdot 10^3 \text{ contos.}$$

Em contrapartida os estudos atrás referidos revelam que o acréscimo da renda anual por instalação da bombagem é para o ano 2000, 13 anos após a entrada em serviço, de apenas  $144 \cdot 10^3$  contos.

Admitindo:

- que esta situação se manteria desde o ano 2000 até ao fim da vida do aproveitamento (75 anos) e considerando este benefício referido a meio do ano;
- que antes do ano 2000 não se obteria qualquer benefício significativo devido à instalação da bombagem, tal como mostraram os estudos realizados,

a «mais-valia eléctrica» imputável à instalação da bombagem, referida a meio de 1987 e para a taxa de actualização de 10 %, seria:

$$VB = \frac{1}{(1 + 0,1)^{12}} \cdot \sum_{i=1}^{63} \cdot \frac{144 \cdot 10^3}{(1 + 0,1)^i} \simeq \\ \simeq 3,178 \cdot 144 \cdot 10^3 = 457,6 \cdot 10^3 \text{ contos}$$

valor que apenas justifica 16 % do sobrecusto correspondente.

Poder-se-á objectar que o acréscimo da renda anual devida à bombagem pode, para além do ano 2000, ser superior a  $144 \cdot 10^3$  contos; todavia, na hipótese assumida no parágrafo anterior, o acréscimo da renda anual devida à bombagem que teria de verificar-se nos últimos 63 anos de vida do aproveitamento para justificar o sobrecusto apontado seria de

$$\frac{2850 \cdot 10^3}{3,178} = 897 \cdot 10^3 \text{ contos ,}$$

valor que é, manifestamente, demasiado elevado e se julga ser inatingível.

Por outro lado a «valia assintótica» da bombagem, ou seja, o valor máximo para o qual ela tende ao longo do tempo por só se vir a atingir bastante mais tarde que o ano 2000, teria que alcançar um valor ainda muito superior ao indicado para justificar aquele sobrecusto o que não parece plausível.

Para o nível de potência de 480 MW estima-se em cerca de  $2420 \cdot 10^3$  contos o sobrecusto relativo à instalação de bombagem o que é também, manifestamente, injustificável pelos acréscimos das rendas anuais devidas à bombagem que são para os estádios de 1990 e 2000, respectivamente, de  $49 \cdot 10^3$  e de  $102 \cdot 10^3$  contos.

Acresce a circunstância de existirem outros aproveitamentos hidroeléctricos a incluir na expansão do sistema produtor com condições muito mais favoráveis para a instalação de equipamento reversível de potência considerável, sem as limitações verificadas no Alto Lindoso, quer por disporem de importante capacidade de armazenamento a montante e a jusante, quer por terem circuitos hidráulicos muito mais curtos. É o caso, por exemplo, de alguns dos escalões previstos no Tâmega, no Côa e no Guadiana.

Em face do exposto, conclui-se que a instalação de equipamento reversível no Alto Lindoso não tem justificação económica pelo que se preconiza a instalação de turbinas simples.

#### 4.2. Nível de potência a instalar

Os estudos que têm vindo a ser realizados com o modelo VALOR ÁGUA para um horizonte temporal até ao ano 2000 permitem detectar um sobredimensionamento no equipamento hidroeléctrico previsto traduzido através de valores muito baixos das rendas unitárias das centrais hidroeléctricas, o que em parte se pode atribuir à aceleração admitida do programa de expansão da componente hidroeléctrica, constituída por aproveitamentos cujo dimensionamento de princípio, privilegiando um acentuado sobreequipamento, fora concebido na perspectiva dum ritmo de realizações menos intenso.

Tal circunstância sugere a revisão dos níveis de potência a instalar nas futuras centrais hidroeléctricas pelo que pareceu oportuno, em relação ao aproveitamento do Alto Lindoso, procurar analisar o nível de potência óptimo a instalar que, com a métrica do modelo VALOR ÁGUA, será aquele para o qual a renda unitária da central iguala o encargo anual relativo ao custo marginal da potência no aproveitamento em questão.

De resto a simples supressão da bombagem, aqui preconizada já apontaria para uma eventual redução da potência inicialmente prevista.

Tendo em vista a determinação dum nível de potência perto do óptimo foram realizados estudos para os estádios 1990 e 2000 e para os seguintes três níveis de potência a instalar: 480, 600 e 720 MW, aos quais correspondem os custos indicados no Quadro XII seguinte (em  $10^3$  contos).

QUADRO XII

Custos em milhares de contos para três níveis de potência instalada

Potência [MW]	CD (1)	CT (2)
480	11 550	15 915
600	12 950	17 845
720	14 400	19 845

(1) Custos directos (Valores fornecidos pelo SEH em ABR./81).

(2) Custos totais = CD . 1,06 . 1,30 (para a taxa de actualização de 10 % e um prazo de construção de 6 anos).

O custo marginal da potência ao passar de 480 para 600 MW e de 600 para 720 MW anda, assim, por volta dos 16 contos/kW, sendo, portanto, o respectivo encargo anual de 1,6 contos/kW para a taxa de actualização de 10 %.

Os estudos de simulação realizados com o modelo VALOR ÁGUA mostraram que a renda unitária da central do Alto Lindoso se aproxima de 1,6 contos/kW para a potência de 480 MW, sendo inferior a este valor para os outros níveis de potência, pelo que, de acordo com este critério, seria de preconizar a instalação apenas daquela potência.

Observa-se, no entanto, que a análise referida se reporta a um horizonte de médio prazo, uma vez que respeita apenas aos primeiros treze anos de vida do aproveitamento, sendo legítimo pensar que, com a evolução do sistema, se viesse a justificar um nível de potência mais elevado.

Um método de cálculo, adiante aplicado, do valor máximo para o qual tende a valia anual («valia assintótica») quando não existem restrições à colocação da potência hidroeléctrica no diagrama de cargas revela que a longo prazo se poderia justificar a instalação do nível de potência superior (720 MW): no entanto, como a condição subjacente a tal valorização se verificaria, presumivelmente, apenas depois do ano 2020, isto é, nos últimos 42 anos de vida do aproveitamento, a sua actualização à data de arranque atenua-

-la-ia drasticamente acabando por não pesar suficientemente na valia eléctrica total para justificar a instalação desde o início da potência máxima.

Por outro lado, é generalizadamente reconhecido o interesse de dispor dum certo sobreequipamento na componente hidroeléctrica conferindo-lhe uma desejável elasticidade que lhe permita contribuir para uma melhor fiabilidade do sistema, fazendo face a certas situações críticas através das seguintes possibilidades:

- resposta rápida a uma chamada brusca de potência que ultrapassa as possibilidades de resposta das centrais térmicas;
- fornecimento muito rápido duma reserva importante de potência em situação de emergência («potência de emergência»);
- serviço de regulação frequência-potência;
- serviço de reserva girante a custo praticamente nulo.

A dificuldade de quantificar economicamente estas virtualidades dinâmicas do equipamento hidroeléctrico não significa, porém, que devam ser ignoradas para efeito do seu dimensionamento.

No entanto, um sobreequipamento para além dos 480 MW deve ser justificado por uma análise comparativa de custos marginais de instalação de potência no Alto Lindoso e noutros aproveitamentos, nomeadamente nas bacias do Tâmega, Côa e Guadiana. Se tal análise revelar um custo de instalação de potência no Alto Lindoso inferior aos daquelas bacias então poder-se-á aceitar um sobreequipamento para além de 480 MW (4). Sabendo-se, por outro lado, que a solução com 720 MW se aproxima, em alguns aspectos, dum limite tecnológico, terá, pois, interesse fazer o estudo económico para uma potência intermédia, que fixamos em 600 MW.

## 5. Cálculo da valia eléctrica

Na sequência da análise apresentada no número anterior o cálculo da valia eléctrica do aproveitamento do Alto Lindoso vai ser realizado para as hipóteses de instalação de turbinas simples e de potências instaladas de 480 e 600 MW.

### 5.1. Valia anual a curto e médio prazo

Tendo em conta que os benefícios proporcionados por um centro produtor, cuja quantificação em termos

(4) Em princípio julga-se dever aplicar um sobredimensionamento em potência preferencialmente em locais onde haja boas condições para bombagem que em períodos críticos poderá garantir a alimentação da potência instalada.

QUADRO XIII

Evolução da valia eléctrica a curto e médio prazo <sup>(1)</sup>  
(em 10<sup>3</sup> contos)

RENDA		1987	1990	1995	2000
Afluência	a)	1617,1 (1,637)	2317,1 (2,630)	2041,6 (2,324)	2131,4 (2,442)
	b)	1734,9 (1,755)	2419,2 (2,717)	2150,3 (2,426)	2265,7 (2,551)
Albufeira	a)	61,6	69,2	61,7	67,7
	b)	51,1	56,3	51,0	59,5
Central	a)	332,9 [1,39]	276,2 [0,68]	217,9 [0,53]	565,7 [1,40]
	b)	255,1 [0,85]	204,6 [0,40]	133,7 [0,26]	348,5 [0,68]
TOTAL (*)	a)	2011,6	2662,5	2321,2	2664,8
	b)	2041,1	2680,1	2335,0	2673,7

a) 480 MW.

b) 600 MW.

(\*) Valia eléctrica bruta anual.

<sup>(1)</sup> Os parêntesis curvos e rectos referem-se, respectivamente às rendas unitárias da afluência (em Esc./kWh) e da central (em contos/kW).

NOTA — Os valores da renda total para o ESTÁDIO 1990 apresentam-se um pouco desenquadrados, por excesso, em relação aos outros devido ao facto de para aquele estádio se verificar um valor de importações e restrições em relação ao consumo total superior aos dos outros estádios o que acarreta uma subida sensível do custo marginal de produção e da renda da afluência.

económicos é representada pela sua valia eléctrica, dependem estreitamente da composição do sistema em que ele se integra, torna-se necessário para a determinação daquela valia a simulação da exploração optimizada do sistema global ao longo da vida do centro produtor; na prática, e atendendo ao efeito da técnica de actualização que faz com que os valores dos primeiros anos sejam predominantes em relação aos mais afastados no tempo, a determinação da valia eléctrica é baseada, fundamentalmente, na análise da contribuição do centro produtor em alguns estádios isolados correspondentes aos primeiros quinze a vinte anos da sua vida (análise a curto e médio prazo).

De acordo com o referido no parágrafo 3.2 e para as configurações do sistema electroprodutor nacional previstas para os anos de 1987, 1990, 1995 e 2000 foram realizados, mediante a utilização do modelo VALOR ÁGUA, estudos de simulação da exploração optimizada daquele sistema, correspondente às condições de custo mínimo de produção e de garantia de satisfação dos consumos referidas em 3.4.

Os resultados dessas simulações revelam que as configurações consideradas do sistema produtor respondem satisfatoriamente à previsão dos consumos e que a expansão do sistema não se afasta significativamente das condições de optimalidade.

A evolução da valia eléctrica bruta anual (em 10<sup>3</sup> contos) do aproveitamento do Alto Lindoso, resultante das parcelas

- renda da afluência
- renda da albufeira
- renda da central

é apresentada no Quadro XIII para as hipóteses de potência instalada de 480 e 600 MW.

## 5.2. Valia anual a muito longo prazo

Para o cálculo da valia eléctrica bruta anual a muito longo prazo, «valia assintótica» (limite superior para o qual tende), correspondendo a uma situação,

que se admitiu verificar a partir do ano 2020, para a qual não existem restrições à colocabilidade de toda a potência hidroeléctrica disponível, foi aplicado um método estático de comparação com uma solução alternativa composta por uma combinação duma central térmica marginal de base e por uma central de bombagem pura, de forma que a central térmica marginal de base fornece a energia que alimenta a central de bombagem pura e que a soma das energias colocadas no diagrama de cargas por aquelas duas centrais iguala a energia produzida pelo aproveitamento hidroeléctrico.

Os parâmetros económicos atribuídos àquelas duas centrais são os seguintes:

- central de bombagem pura: encargo anual fixo por kW instalado (por não se dispor de valor de referência tomou-se igual ao correspondente das turbinas a gás), 2990\$/kW;
- central térmica marginal de base (convencional, queimando carvão importado): custo total de produção líquida para uma utilização de 100 % da potência disponível, 2\$83/kW.

Nestas condições a valia eléctrica bruta anual a muito longo prazo, valia assintótica, atinge os valores de

$$5155 \cdot 10^3 \text{ e } 5410 \cdot 10^3 \text{ contos ,}$$

respectivamente, para as potências instaladas de 480 e 600 MW.

### 5.3. Valia eléctrica bruta e líquida

Os valores das valias eléctricas brutas anuais apresentadas nos números anteriores não podem ser utilizadas para a determinação dos índices benefício-custo pois que para tal elas devem ser deduzidas do valor da respectiva valia eléctrica do escalão do Lindoso actualmente existente e que se admite que poderia continuar em exploração à custa de renovações de equipamentos.

De uma forma expedita a valia eléctrica anual deste escalão, para cada um dos estádios considerados, foi calculada atribuindo à sua produção de ano médio de 260 GWh e à sua potência disponível de  $0,85 \cdot 80 = 68$  MW os valores das rendas unitárias da afluência e da central indicadas no Quadro XIII. Assim, tem-se que as valias eléctricas anuais do actual escalão do Lindoso assumem os valores do Quadro XIV (em  $10^3$  contos):

QUADRO XIV

Valias eléctricas anuais do actual escalão do Lindoso  
(em  $10^3$  contos)

RENDA		1987	1990	1995	2000
Afluência	a)	425,6	683,8	604,2	634,9
	b)	456,3	706,4	630,8	663,3
Central	a)	94,5	46,2	36,0	95,2
	b)	57,8	27,2	17,7	46,2
TOTAL (*)	a)	520,1	730,0	640,2	730,1
	b)	514,1	733,6	648,5	709,5

a) Tomando como referência os valores das rendas unitárias para a potência de 480 MW.

b) Tomando como referência os valores das rendas unitárias para a potência de 600 MW.

(\*) Valia eléctrica anual.

Aplicando, também, ao actual escalão do Lindoso o método referido no número anterior encontra-se para a valia assintótica anual o valor de  $1295 \cdot 10^3$  contos.

Nas condições apontadas as valias eléctricas brutas anuais a atribuir ao escalão do Alto Lindoso, obtidas por diferença das calculadas nos números anteriores para as relativas ao actual escalão do Lindoso são as indicadas no Quadro XV (em  $10^3$  contos):

QUADRO XV

Valias eléctricas brutas do escalão Alto Lindoso  
(em  $10^3$  contos)

Potência instalada	1987	1990	1995	2000	2020
480 MW	1491,5	1932,5	1681,0	1934,7	3860,0
600 MW	1527,0	1946,5	1686,5	1964,2	4115,0

### 5.4. Valia eléctrica bruta e líquida

Para o cálculo da valia eléctrica bruta admitiu-se que a valia eléctrica bruta anual variaria linearmente entre os estádios considerados, estabilizando a partir do ano 2020; nestas condições a valia eléctrica bruta do aproveitamento do Alto Lindoso, considerando:

- meados de 1987 como data de referência,
- os benefícios anuais referidos a meio do ano,
- o sistema de preços de referência de meados de 1980,
- um período de vida de 75 anos,
- a taxa de actualização de 10 %,

é

$$VE_b = 22\,419,8 \cdot 10^3 \text{ ou } 22\,959,1 \cdot 10^3 \text{ contos,}$$

respectivamente, para as potências instaladas de 480 e 600 MW.

Os encargos de exploração e conservação do aproveitamento do Alto Lindoso estão estimados em 65 000 ou 80 000 contos/ano, para as potências instaladas de 480 e 600 MW, respectivamente, correspondendo-lhes, então, os valores actualizados de 649,5 e 799,4 . 10<sup>3</sup> contos; deduzindo estes valores às respectivas valias eléctricas brutas obtêm-se as valias eléctricas líquidas:

$$VE_1 = (22\,419,8 - 649,5) \cdot 10^3 = 21\,770,3 \cdot 10^3 \text{ contos,} \\ \text{para a potência instalada de 480 MW;}$$

$$VE_1 = (22\,959,1 - 799,4) \cdot 10^3 = 22\,159,7 \cdot 10^3 \text{ contos,} \\ \text{para a potência instalada de 600 MW.}$$

Observação: Esta valia líquida foi também calculada por via diferente, a saber:

- cálculo da valia total do Alto Lindoso a partir das rendas anuais indicadas no Quadro XIII (líquida dos encargos de exploração e conservação);
- cálculo da valia total do Lindoso actual, a partir dos resultados dum estudo realizado com o modelo VALOR ÁGUA para o ano de 1987 e com tratamento individualizado deste escalão.

A diferença daqueles dois valores dá, manifestamente, a valia eléctrica líquida do Alto Lindoso; os

resultados obtidos por esta via são muito próximos dos acima apresentados.

## 6. Análise económica

As mais recentes estimativas orçamentais de que se dispõe para o aproveitamento do Alto Lindoso para as potências instaladas de 480 e 600 MW, já referidas em 4 . 2, atingem, respectivamente, os montantes de 15 915 e 17 845 . 10<sup>3</sup> contos, actualizados à data de entrada em exploração, para a taxa de actualização de 10 % e para um prazo de construção de 6 anos; não se conhecendo ainda neste momento, com suficiente aproximação, o escalonamento do investimento ao longo do tempo, aquela actualização foi realizada por via aproximada (através de 10 . 6/2, em percentagem do sub-total = custos directos + encargos gerais).

Nas condições atrás apontadas os índices benefício-custo a atribuir ao aproveitamento do Alto Lindoso, para as potências instaladas de 480 e 600 MW, são, respectivamente:

$$\frac{21\,770,3}{15\,915} = 1,37$$

$$\frac{22\,159,7}{17\,845} = 1,24$$