
RECURSOS ENERGÉTICOS MUNDIAIS

Luis Aires-Barros

RECURSOS ENERGÉTICOS MUNDIAIS (1)

INTRODUÇÃO

A ÁGUA NO MUNDO

O NUCLEAR

O PETRÓLEO

O GAS NATURAL

O CARVÃO

AS ENERGIAS RENOVÁVEIS

INTRODUÇÃO

O físico define energia como a «capacidade de fornecer trabalho». Este trabalho não é entendido apenas na acepção da acção mecânica: pode ser também calor, luz e transformações químicas dos corpos.

Hoje em dia a maior parte da energia é utilizada sob a forma de calor, usado desde o aquecimento urbano até ao seu emprego na indústria. Em seguida devemos considerar o trabalho mecânico usado desde os electrodomésticos mais variados até às viaturas automóveis, aos aviões, ao caminho de ferro, aos navios, não esquecendo os inúmeros utensílios mecânicos industriais. Uma terceira forma de energia é a energia química usada na transformação dos mais variados corpos (fabrico do cimento, do alumínio, refinação do petróleo, etc.). Por fim não podemos esquecer que a energia serve ainda para iluminar as nossas casas e as nossas ruas, para fazer funcionar os nossos televisores, telefones e computadores.

(1) Conferência proferida no Instituto da Defesa Nacional em 16 de Janeiro de 1986.

Para utilizar a energia nos diversos sistemas atrás mencionados é preciso, na maior parte dos casos, transformá-la. Com efeito, o urânio não pode ser usado directamente como fonte de energia consumível. Tem de sofrer tratamento adequado para poder ser usado em um reactor nuclear onde gerará calor que movimentará uma turbina a vapor e um alternador até que se gere energia eléctrica.

As transformações de uma forma de energia em outra nunca são possíveis na sua integralidade — há sempre perdas na passagem de uma forma a outra.

De modo muito geral pode admitir-se que apenas 80 por cento da energia primária (lenhas, carvão, força hídrica, petróleo, gás ou matérias cindíveis) chega ao consumidor final. Estas perdas dão-se quando se produz energia nas centrais e durante o transporte e distribuição de energia. Todavia se falarmos em termos de energia útil, ou seja, da energia de que dispõe o consumidor depois da última conversão energética, esta energia útil representa entre 45 e 50 por cento da energia primária. Os 30 a 35 por cento da energia que se perdeu são explicados por fugas pelas janelas e portas das casas que queremos aquecer, bem como são dissipados nos radiadores dos veículos de que nos servimos ou dos motores e máquinas que pomos a funcionar.

Verificamos, pelo exposto, que é importante distinguir entre energia primária ou bruta (a que não foi submetida a qualquer processo de conversão ou transformação), energia secundária (a que é produzida pela conversão ou transformação de energia primária ou de qualquer outra forma de energia secundária) e energia útil.

Ao progresso da Humanidade tem estado, sempre, subjacente o uso da energia. De início o Homem usou as energias renováveis: a biomassa, pela lenha, o vento, a energia hídrica, não considerando a força animal e humana. A revolução industrial suporta-se, largamente, no uso do carvão mineral que vai sendo gradualmente substituído pelos hidrocarbonetos gasosos e líquidos que no início da década de 70 se tornam nas principais fontes de energia primária. É assim que o petróleo chegou a atingir 43 por cento da balança mundial de energia primária. É em fins de 1973 que se dá o primeiro choque petrolífero que se repete em 1979, criando constrangimentos económicos e sociais de que começamos a querer emergir.

Verifica-se que nunca, no decurso da História, o homem utilizou tantas quantidades de energia como hoje. Na realidade entre 1880 e 1980 o consumo de energia aumentou mais de 30 vezes.

As reservas de fontes de energia convencionais (carvão, petróleo, gás natural e urânio) repartem-se de modo muito desigual nas grandes zonas da Terra. Acresce, ainda, que os Estados consumidores se encontram longe dos países produtores. Isto significa que os recursos energéticos têm de ser transportados em quantidade e a longas distâncias. Daqui resultam custos suplementares, por vezes elevados, e ainda o uso de processos de acondicionamento para transportes especiais como a liquefacção dos gases. A tudo isto há a juntar o estado de dependência dos países consumidores em relação a determinadas regiões (ou países) do Globo. O petróleo e o urânio são produtos energéticos várias vezes usados para exercer pressões políticas, e não raramente com sucesso.

Como se sabe cerca de metade das reservas de petróleo encontram-se no Médio Oriente, mas é consumido principalmente na Europa e na América do Norte. Quanto ao gás natural, a Europa Oriental e o Próximo Oriente possuem cerca de 1/3 das reservas. Para o urânio, cerca de 75 por cento das reservas concentram-se em cinco países: Estados Unidos, Canadá, República da África do Sul, Suécia e Austrália. Não consideramos aqui as reservas da URSS que se sabe serem importantes, mas cujos valores são desconhecidos. Apenas, no que diz respeito ao carvão, as reservas se situam nas zonas onde é intensamente consumido, considerando à parte a Sibéria.

A tendência do consumo de energia, no futuro, a nível mundial, é a do seu aumento. Com efeito, nos países em vias de desenvolvimento, o consumo de energia aumentará consideravelmente nas próximas décadas, devido não só ao crescimento demográfico como à busca de nível de vida ainda melhor. Acresce que tal aumento de consumo será conseguido à custa de combustíveis líquidos já que as tecnologias necessárias à sua utilização são mais simples e é mais fácil a instalação das respectivas infra-estruturas.

No que concerne aos países desenvolvidos com economia de mercado, a figura 1 evidencia a evolução da produção bruta de electricidade por tipo de combustível usado na sua produção. Pode servir-nos como um aferidor prospectivo.

Sem dúvida que, em certos países, a energia nuclear poderá resolver o problema do abastecimento energético. O carvão vê o seu papel realçado a despeito dos inúmeros problemas que levanta, desde a implantação de

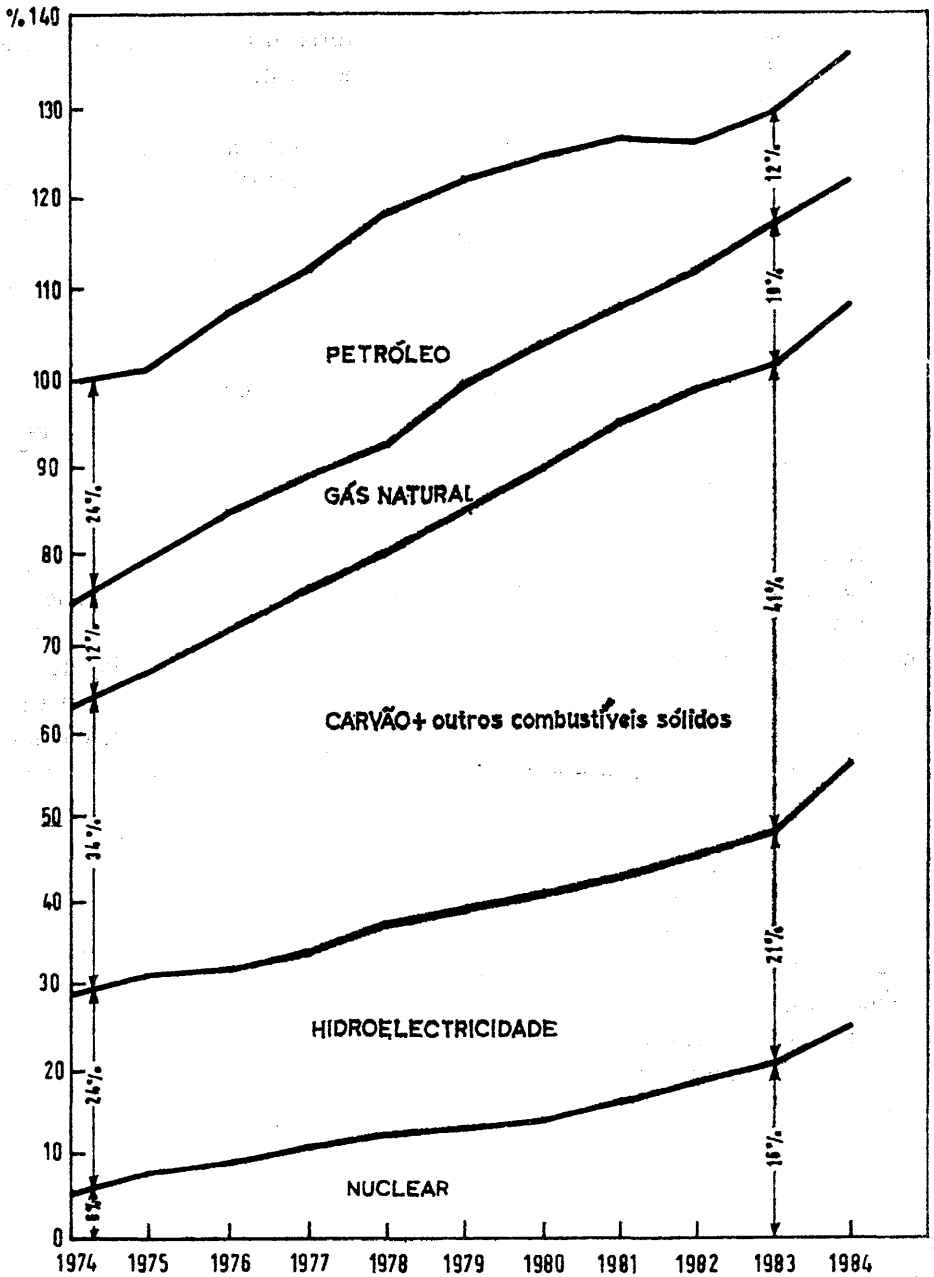


Fig. 1 — PRODUÇÃO BRUTA DE ELECTRICIDADE NA ZONA DA OCDE

infra-estruturas até ao impacto sobre o meio ambiente. A substituição do petróleo supõe um maior uso do gás natural, a gaseificação e liquefacção do carvão e a utilização dos xistos betuminosos e das areias asfálticas. A inibição não reside na ausência das tecnologias que facilitem estas utilizações mas sim nos seus custos.

Quanto às energias renováveis, assiste-se ao aumento significativo do uso da energia solar de baixa temperatura. No que concerne à energia solar de alta temperatura há ainda longo caminho a percorrer quanto à I, D&D e aos custos das aplicações. As energias éolica e da biomassa terão papel modesto no contexto mundial. Nos países tropicais, a biomassa, pelo uso das lenhas, continuará a ter papel relevante na economia das populações. A geotermia terá desenvolvimentos locais relevantes, função das condições geotectónicas

No mundo industrializado a conservação da energia dará contributo importante para o problema energético, podendo equiparar-se a uma fonte suplementar de energia.

Nos capítulos seguintes passaremos em revista, ainda que brevemente, os principais problemas ligados às potencialidades mundiais em fontes primárias de energia.

A ÁGUA NO MUNDO

Não é possível admitir a existência da vida sobre o nosso planeta sem a presença da água. O homem requer 2,5 a 3 litros de água por dia, incluindo a que está contida nos alimentos. A água, para além de imprescindível à vida, é essencial ao desenvolvimento agrícola e industrial. Com efeito a produção de 1 tonelada de gasolina necessita de 20 toneladas de água, 1 tonelada de aço precisa de 200 toneladas de água e a produção de 1 tonelada de trigo, nas regiões tropicais, supõe a utilização de 8000 toneladas de água.

Sucedem que a água tem a característica de ser um recurso natural renovável, em circulação constante, se bem que acompanhada por transições de fase, entre a terra, os oceanos e a atmosfera. Assim se tem o ciclo hidrológico, fundamentalmente, com um ramo aéreo a que está associada a precipitação e um ramo terrestre onde temos o escoamento. O estudo do ciclo hidrológico nos mais variados locais do Globo revelou que se corre o perigo do desequilíbrio entre a água necessária e a água disponível.

A água actualmente existente pode considerar-se distribuída por três reservatórios principais que, pela ordem de importância, são: os oceanos, os continentes e a atmosfera.

Cerca de 97,3 por cento de toda a água da hidrosfera existe nos oceanos. Dos restantes 2,7 por cento, 2,05 por cento existem nos glaciares e calotes geladas polares do Ártico e Antártico, e os restantes 0,65 por cento nos lagos, rios, mares interiores e na atmosfera. Em princípio, só esta última fracção constitui a reserva dos recursos hídricos disponíveis para o homem.

Em termos de volume, a quantidade total de água existente na hidrosfera é de $1440 \times 10^6 \text{ Km}^3$, sendo nos oceanos cerca de $1350 \times 10^6 \text{ Km}^3$. A quantidade total de água armazenada na atmosfera, que se mantém praticamente constante, é da ordem de $0,013 \times 10^6 \text{ Km}^3$, ou seja 100 000 vezes inferior à quantidade de água dos oceanos.

A água depositada nos continentes está distribuída por vários reservatórios, designadamente glaciares ($29 \times 10^6 \text{ Km}^3$), água subterrânea ($18,4 \times 10^6 \text{ Km}^3$), lagos e rios ($0,2 \times 10^6 \text{ Km}^3$) e matéria viva na biosfera ($0,0006 \times 10^6 \text{ Km}^3$). A quantidade de água retida nos gelos polares é impressionante, totalizando cerca de 1,8 por cento da água total da hidrosfera. Das águas subterrâneas, as águas vadasas (águas presentes nos solos) perfazem apenas $0,066 \times 10^6 \text{ Km}^3$. O restante encontra-se distribuído, de forma quase uniforme, por reservatórios a profundidades abaixo de 800 metros.

Se nos cingirmos à consideração da força hídrica como fonte de energia primária, ela é, hoje, fundamentalmente transformada em energia eléctrica. O potencial hidráulico bruto, tecnicamente explorável, depende, em parte, da maneira como os cursos de água são aproveitados e explorados. Admite-se que no globo terrestre se poderão explorar técnica e economicamente cerca de 70 EJ ($70 \times 10^{18} \text{ J}$) por ano, com a discriminação constante no Quadro I.

Tenhamos contudo em atenção que, nas regiões mais desenvolvidas, os recursos hídricos de mais fácil aproveitamento e de maior rendibilidade potencial já estão explorados. Todavia há um enorme esforço a fazer, embora se saiba que a viabilidade económica das explorações pode levar a ler os números apresentados com certo cuidado. De qualquer modo são valores que merecem adequada atenção.

De acordo com elementos da Comissão de Previsão da Conferência Mundial de Energia, os 17.2 EJ de 1980 serão 26.4 a 28.0 EJ no ano 2000 e passarão a 44 a 57 EJ no ano 2020. Estes valores continuarão a ser 6 a 7 por cento da energia total gasta no mundo nessas épocas.

Em linhas gerais a energia hídrica não levanta grandes problemas quanto às análises prospectivas: conhecem-se bem os locais em que poderão ser construídas as grandes barragens e sabem-se as quantidades de electricidade que elas poderão produzir.

QUADRO I

ENERGIA HÍDRICA — POTENCIAL E PRODUÇÃO (1980)

<i>Região do Mundo</i>	<i>Potencial Global (EJ)</i>	<i>Produção (¹) (EJ)</i>
América do Norte	12	5.6
América Latina	11	2.0
Europa Ocidental	7	4.3
Europa Oriental	12	2.4
África	10	0.5
Médio Oriente	0	0
Extremo Oriente	18	2.4
TOTAL	70	17.2

(¹) Tenha-se em atenção o que se disse quanto a perdas, pelo que a produção de electricidade é inferior a estes valores.

Estima-se que no ano 2000 a electricidade de origem hídrica representará 20 por cento da produção mundial de electricidade e, como vimos, cerca de 6 por cento da produção de energia primária.

A situação por país é muito diferenciada. Os países industrializados não conhecerão grande evolução na produção de hidroelectricidade já que têm em exploração os aproveitamentos mais adequados. Sem dúvida que em certos países como o Canadá, Espanha, Noruega, Turquia e mesmo Portugal há aproveitamentos a realizar, mas não são muito relevantes para o conjunto em exploração.

Em contrapartida, nos países em vias de desenvolvimento, a produção de energia hidroeléctrica deverá triplicar daqui até ao ano 2000. Todavia há que ter em atenção que muitos locais interessantes na América do Sul e na África são menos interessantes do ponto de vista económico, já que estão muito afastados das zonas de consumo.

Globalmente a electricidade primária hídrica deverá conhecer um desenvolvimento importante, quer nos países em vias de desenvolvimento quer

nos países de economia planificada, em especial na China. Neste último país prevê-se que triplique a produção de energia hídrica entre 1980 e 2000.

O NUCLEAR

Para produzir electricidade de origem nuclear há que possuir combustível adequado — urânio — e centrais capazes de o utilizar.

O combustível nuclear é à base de urânio, que é uma matéria-prima relativamente abundante.

Estima-se que as reservas actuais de urânio com custos de exploração inferiores a 80 US dólares por kg são da ordem de $1,4 \times 10^6$ ton. Se considerarmos que o preço de exploração do urânio é maior do que 130 US dólares por kg, as reservas mundiais elevam-se a 3 milhões de toneladas.

Sucede ainda que os jazigos uraníferos economicamente exploráveis se repartem por várias regiões do Globo, pelo que há grande número de países com explorações mineiras de urânio e outros que as podem vir a ter.

O que acaba de se expor quanto ao combustível nuclear revela duas vantagens desta fonte de energia em relação a outras: abundância de jazigos de urânio e diversidade de fontes de abastecimento.

Acresce ainda que o preço do urânio, como combustível de uma central nuclear, apenas representa cerca de 10 por cento do custo do kWh produzido.

Deve ter-se em atenção que, para alguns países, o urânio de que necessitam terá de ser importado. É o caso da França, país com o programa nuclear mais desenvolvido, não só a nível europeu como mundial. Daqui resulta que pode haver tensões sobre o aprovisionamento por razões quer técnicas, quer económicas, quer políticas.

Actualmente a produção mundial de urânio está em período de baixa visto que os preços estão deprimidos, bastante inferiores a 80 US dólares/kg.

A Europa é o mais importante consumidor de urânio, seguida dos Estados Unidos da América e do Japão.

Cada país tem a sua política de segurança quanto ao abastecimento em urânio. De acordo com a Agência Internacional de Energia Atómica, a política de aprovisionamento mais indicada seria: armazenamento para dois anos com uma dezena de contratos de longo prazo (uma dezena de anos) e uma participação nas explorações mineiras no estrangeiro. Os Estados Unidos possuem armazenamento de combustível urânio para muito mais de 2 anos e a França pode fazer face a um embargo do exterior durante 5 anos.

Como se sabe o urânio usado em uma central nuclear sofre uma série de operações, fundamentalmente para enriquecer o urânio no seu isótopo U-235 e para fabricar os chamados elementos de combustível.

As operações de enriquecimento do urânio são efectuadas ou nos Estados Unidos da América ou na União Soviética, ou então por dois consórcios internacionais: a Eurodif, com sede em França, e a Urenco, com instalações na Holanda e no Reino Unido.

Entretanto tudo indica que a partir do ano 2000 aparecerão os reactores reprodutores (*breeders*) à escala industrial. Como efeito no combustível irradiado das centrais nucleares térmicas temos plutónio que é um bom combustível que se prevê venha a ser usado nos reactores reprodutores ou rápidos. Estes reactores nucleares são praticamente a garantia de se ter um aprovisionamento em material cindível completamente independente do exterior. Na realidade é necessário, à partida, dispor de um parque de centrais que produzam plutónio para os primeiros reactores rápidos. Em seguida, estes produzem eles próprios mais combustível do que aquele que consomem. Estes reactores reprodutores permitem utilizar as potencialidades de produção de energia contidas no urânio 60 vezes mais do que nos actuais reactores térmicos, isto a partir da mesma quantidade de urânio.

O parque electronuclear mundial é o do Quadro II.

Quanto aos recursos, capacidades teóricas de produção e necessidades em urânio natural dos países de economia de mercado, temos os valores dos Quadros III, IV e V.

Os países industrializados com economia de mercado detêm a maioria do parque, enquanto que os países em vias de desenvolvimento dispõem de fraca capacidade instalada. Os países de economia planificada têm programas estáveis (URSS e Europa Oriental). A China tem projectado um programa nuclear de 10 GWe.

Para os países em vias de desenvolvimento, uma central nuclear é um investimento extremamente pesado que põe desde logo o problema do financiamento. Isto é um travão ao desenvolvimento da energia electronuclear, mesmo que esta energia tenha preços unitários mais baratos do que qualquer outra.

A construção de uma central nuclear necessita de uma vontade forte e contínua do Poder nos países interessados. Deste modo é uma decisão que deve ser tomada após longo amadurecimento.

QUADRO II

CENTRAIS NUCLEARES EM FUNCIONAMENTO E EM CONSTRUÇÃO (Fins de 1984)

País	Em funcionamento		Em construção		Electricidade produzida por centrais nucleares em 1984	
	Unidades	Capacidade total Mw (e)	Unidades	Capacidade total Mw (e)	TWh	Percentagem do total
Argentina	2	935	1	692	4.2	10
Bélgica	6	3 474	2	2 012	26.4	58.8
Brasil	1	626	1	1 245	1.5	1
Bulgária	4	1 632	2	1 906	12.7	28.6
Canadá	16	9 521	7	5 630	49.3	11.6
China			1	300		
Cuba			1	408		
Checoslováquia	3	1 194	10	4 394	6.7	8.5
Finlândia	4	2 310			17.8	41.1
França	41	32 993	23	28 355	181.8	58.7
Rep. Dem. da Alemanha	5	1 694	6	3 432	11	11
Rep. Fed. Alemã	19	16 133	7	6 881	86	23.2
Hungria	2	820	2	820	3.5	13.5
Índia	5	1 020	5	1 100	3.6	2.6
Itália	3	1 273	3	1 999	6.6	3.8
Japão	31	21 751	10	9 182	126.1	22.9
Rep. da Coreia	3	1 790	6	5 622	11.0	20
México			2	1 308		
Holanda	2	508			3.5	5.8
Paquistão	1	125			0.3	1.6
Filipinas			1	620		
Polónia			2	880		
Roménia			3	1 980		
África do Sul	1	921	1	921	3.9	3
Espanha	7	4 690	3	2 807	22.1	19.3
Suécia	10	7 355	2	2 100	48.6	40.6
Suíça	5	2 882			17.4	36.5
Reino Unido	37	9 564	5	3 130	45.7	17.3
EUA	85	68 867	34	38 242	325.2	13.5
URSS	46	22 997	39	36 575	131	9
Jugoslávia	1	632			4.2	7.0
TOTAL DO MUNDO	345	219 718	180	136 448	1 175	13

QUADRO III

RECURSOS EM URÂNIO NO MEM (Mundo de Economia de Mercado)

(Milhares de toneladas de urânio)

Zona	Recursos razoavelmente assegurados		Recursos suplementares estimados		Recursos totais em urânio
	< \$80/Kg U (Reservas)	\$80-130/Kg U	< \$80/Kg U	\$80-130/Kg U	
OCDE Europa	87.3	91.3	40.9	74.2	293.7
OCDE América	307.3	284.9	211.4	100.2	903.8
OCDE Pacífico	481.7	64	235	128	908.7
Total OCDE	876.3	440.2	487.3	302.4	2 106.2
Resto do MEM	761.7	177	523.7	108.4	1 570.8
Total MEM	1 638	617	1 011	411	3 677

QUADRO IV

CAPACIDADES TEÓRICAS DE PRODUÇÃO DE URÂNIO NATURAL NO MEM NO ANO 2000

(Em toneladas)

PAIS	1983 (valores reais)	1984 (valores reais)	1985	1990	1995	2000
Alemanha	40	40	40	40	—	—
Austrália	3 211	4 390	4 700	3 400	3 400	3 400
Bélgica	40	40	40	40	—	—
Canadá	7 140	11 200	12 000	12 000	12 000	10 000
Espanha	205	225	250	250	n. a.	n. a.
Estados Unidos	8 150	7 200	6 300	7 700	9 200	9 500
França	3 271	3 200	3 900	3 900	3 900	3 900
Japão	7	9	9	9	—	—
Portugal	104	115	119	170	170	170
Total da OCDE	22 200	26 400	27 400	27 500	28 700	27 000
Resto do MEM	14 600	16 500	17 600	18 600	19 700	11 800
Total do MEM	36 800	42 900	45 000	46 100	48 400	38 800

QUADRO V

NECESSIDADES ANUAIS EM URÂNIO NATURAL
NOS PAÍSES DA OCDE NO ANO 2000

(Em toneladas)

PAÍS	1983	1984	1985	1990	1995	2000
Alemanha	2 200	2 500	2 600	4 000	4 000	4 100
Bélgica	1 360	990	990	990	990	990
Canadá	1 390	1 300	960	2 080	2 140	2 140
Espanha	370	255	1 067	1 430	1 230	1 400
Estados Unidos	10 500	11 100	11 400	14 400	17 300	20 500
Finlândia	350	350	350	350	480	480
França	6 000	6 000	6 000	7 100	8 500	10 400
Itália	185	185	185	391	1 227	1 980
Japão	4 300	5 400	5 800	6 200	10 100	12 000
Holanda	100	100	100	100	300	485
Reino Unido	2 100	2 150	2 150	1 950	2 330	2 700
Suécia	1 600	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400
Suíça	350	570	570	570	570	700
Turquia	0	0	0	513	217	217
Total OCDE	50 800	52 300	53 600	61 500	60 800	69 500

No fim de 1984 havia 345 reactores de potência em serviço em 26 países, os quais asseguravam 13 por cento da produção mundial de electricidade. Em cinco países, a quota-parte do nuclear na produção de electricidade ultrapassou os 35 por cento e a França e a Bélgica produzem mais de 50 por cento da sua electricidade pela via nuclear (Quadros VI e VII).

O PETRÓLEO

Actualmente o petróleo cobre a maior parte das necessidades mundiais em energia. Por enquanto o petróleo usado é extraído de poços furados em formações convenientes. As reservas certas, ou seja, provadas e exploráveis, ascendem a 3655 EJ (\approx 83 Gtep) (figura 2). Recentemente começou-se a exploração dos jazigos de petróleo contidos nas areias asfálticas e nos xistos betuminosos. As reservas certas destes tipos de jazigos ascendem a cerca de 2000 EJ (\approx 45 Gtep) (figura 3).

Segundo a Comissão de Previsão da Conferência Mundial de Energia, estima-se que as reservas de petróleo possíveis e tecnicamente extraíveis

QUADRO VI

PAÍSES COM A MAIOR PARTICIPAÇÃO NA PRODUÇÃO DE ELECTRICIDADE DE ORIGEM NUCLEAR EM 1984

PAIS	Participação Nuclear %
França	58,7
Bélgica	50,8
Finlândia	41,1
Suécia	40,6
Suíça	36,5
Bulgária	28,6
República Federal da Alemanha	23,2
Japão	22,9
Hungria	22,2
República da Coreia	20
Espanha	19,3
Inglaterra	17,3
Estados Unidos	15,5
Canadá	11,6
República Democrática Alemã	11
Argentina	10

QUADRO VII

CENTRAIS NUCLEARES EXISTENTES (1984) E PREVISTAS (1990)

PAIS	1984 (actual)		1990 (estimado)	
	Número de unidades	Capacidade (MW (e))	Número de unidades	Capacidade (MW (e))
Total mundial	345	219 718	509	371 688
Países industrializados	318	206 933	450	339 717
PVD* (total)	27	12 785	59	31 971
PEP**	9	3 646	23	10 858
Outras	18	9 139	36	21 113

* PVD — Países em vias de desenvolvimento.

** PEP — Países de economia planificada.

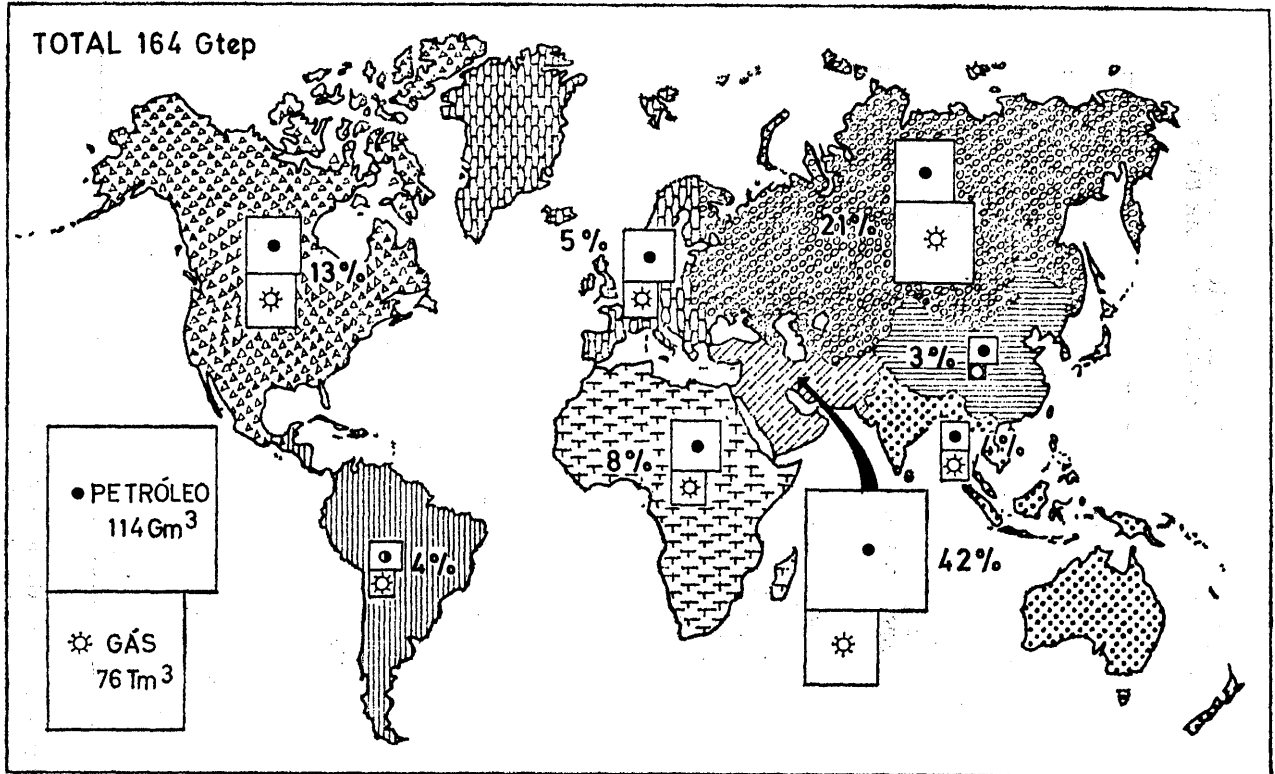


Fig. 2 — RESERVAS RECUPERÁVEIS DE PETRÓLEO E GAS NATURAL

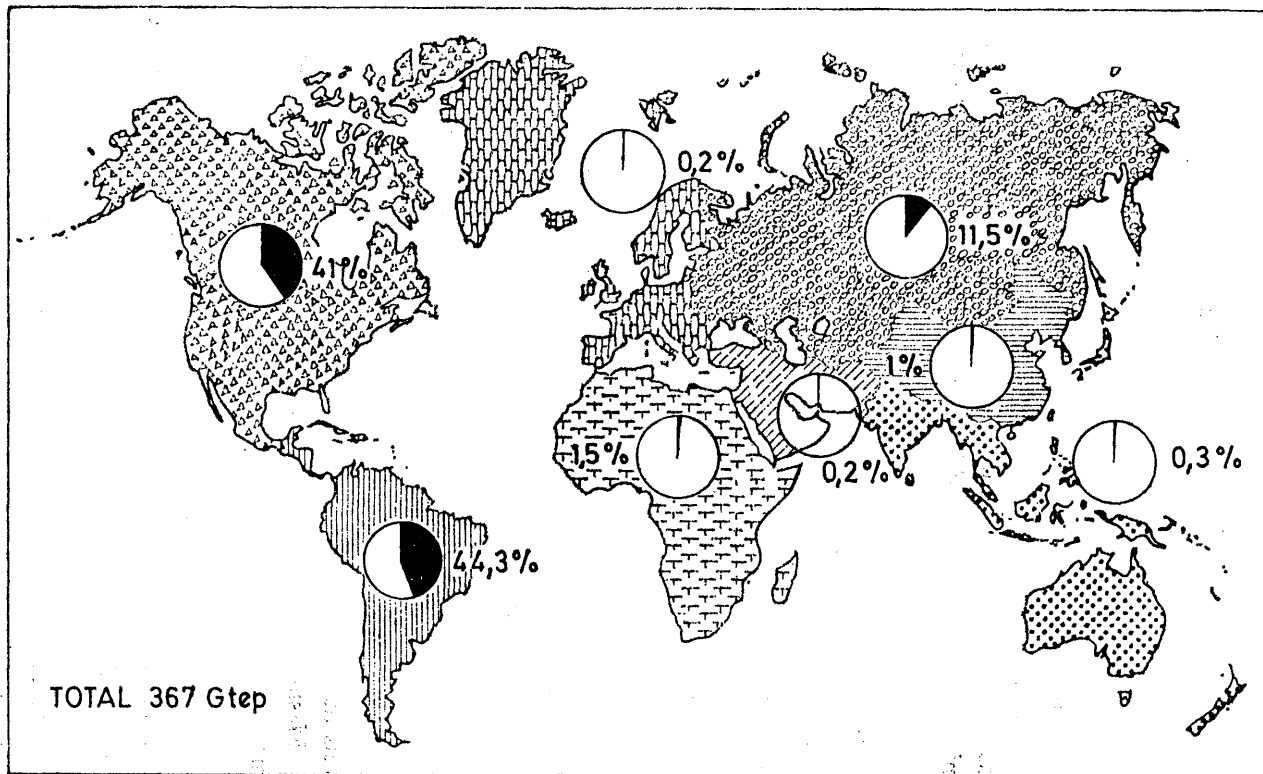


Fig. 3 — RESERVAS CERTAS DE AREIAS E XISTOS BETUMINOSOS

atinjam os 10 866 EJ (\approx 246 Gtep). É, ainda, admissível que até ao fim do século se confirmem novas reservas, talvez cerca de 2000 EJ (\approx 45 Gtep).

Todos os estudos prevêem que até ao fim do presente século deve haver um ligeiro crescimento do consumo do petróleo. O ritmo desse crescimento deve ser da ordem de 1 por cento ao ano.

Todavia, na Europa, devido à mais eficaz utilização do petróleo e à sua substituição por outras formas de energia (o carvão e o nuclear), admite-se que não haja aumento do consumo de petróleo, mas, inclusivamente, diminuição. Ao nível da CEE pensa-se que haverá estabilização no consumo do petróleo já que a substituição pelo carvão e pelo nuclear tem sido mais lenta do que o previsto.

No entanto o petróleo está longe de se considerar destronado. No fim do século deve cobrir 40 por cento das necessidades energéticas dos nossos países (56 por cento se considerarmos o gás natural). É bem certo que em 1973 os valores correspondentes eram de 62 e 74 por cento. De qualquer modo os hidrocarbonetos são e continuarão a ser, durante muito tempo, as formas de energia dominantes do mercado de energia.

A esta posição, digamos maximalista, apresentada pelas próprias companhias petrolíferas, contrapõe-se a previsão da Conferência Mundial de Energia que prevê que a quota-parte do petróleo no aprovisionamento mundial, no ano 2000, será de cerca de 30 por cento, baixando para 20 por cento no ano 2020.

No Quadro VIII apresenta-se uma estimativa das reservas provadas do petróleo por área e país (1979).

Apresentam-se, ainda, no Quadro IX, estimativas dos recursos recuperáveis de petróleo (1979).

Mesmo que o consumo de petróleo se mantenha estabilizado, é certo que a maioria dos jazigos produtivos já está em produção. O petróleo de amanhã será encontrado em jazigos de mais fraca capacidade, de difícil acesso e onerosos. Tudo isto aguça o engenho do homem que terá de melhorar o conhecimento das estruturas geológicas profundas, a afinação de técnicas de exploração e de produção no mar profundo, sondagens profundas, desenvolvimento do comando à distância, etc.

Quanto aos países da CEE, para reduzir a sua dependência em relação ao petróleo, deverão recorrer ao aumento do consumo de gás, mediante a

duplicação das importações. O mesmo se deverá passar quanto ao aprovisionamento em carvão. Concomitantemente desenvolver-se-ão as energias renováveis cuja utilização efectiva aumentará lentamente. A utilização da energia nuclear aumentará substancialmente. Admite-se que a contribuição da energia nuclear na produção de electricidade atinja, em 1990, os 40 por cento.

QUADRO VIII
ESTIMATIVA DAS RESERVAS DE PETRÓLEO

ÁREA	PAÍS	PETRÓLEO (10 ⁹ barril)
AMÉRICA DO NORTE	Estados Unidos	28,5
	Canadá	6
	México	16
	Outros	0,516
AMÉRICA DO SUL	Venezuela	18
	Argentina	2,4
	Outros	4,33
ÁFRICA	Argélia	6,3
	Egipto	3,2
	Líbia	24,3
	Nigéria	18,2
	Tunísia	2,3
	Outros	3,59
EUROPA	Reino Unido	16
	Noruega	5,9
	Outros	5,1
MÉDIO ORIENTE	Arábia Saudita	165
	Kuwait	66
	Irão	59
	Iraque	32
	Abu Dabi	30
	Outros	17
ÁSIA	China	20
	Índia	2,9
	Malásia	2,8
	Outros	0,217
PACÍFICO	Indonésia	10
	Austrália	2,1
	Outros	1,69
URSS		71
TOTAL MUNDIAL		642

Na figura 4 mostram-se as principais «rotas do petróleo», ou seja, as principais correntes de aprovisionamento em 1984, referindo-se, inclusivamente, os valores das exportações totais das zonas produtoras.

QUADRO IX

ESTIMATIVAS DOS RECURSOS RECUPERÁVEIS
DE PETRÓLEO (1979)

AREA	PETRÓLEO (10 ⁹ barril)
América do Norte	280 — 380
América do Sul	120 — 160
Europa *	50 — 70
África	120 — 170
Médio Oriente	860 — 1 140
Pacífico	105 — 155
Ásia	?
URSS **	165 — 225
TOTAL	1 700 — 2 300

* Apenas Europa Ocidental.

** Inclui a Europa Oriental.

O GÁS NATURAL

A utilização do gás natural tem vindo gradualmente a impor-se. Acontece que a própria prospeccção para o petróleo, ou mesmo a sua exploração, tem revelado a presença de depósitos de gás natural. Presume-se que as reservas mundiais de gás natural ascendam a 5971 EJ (\simeq 135 Gtep).

Tenha-se em atenção que estamos perante um combustível volátil mais difícil de transportar e de manipular do que o petróleo. O transporte por *pipeline* é a via mais indicada e usada. Todavia nem sempre é possível, pelo que também se usa a sua refrigeração que é acompanhada de redução de volume. Com efeito arrefece-se o gás natural até menos 161.º C, o que provoca a sua

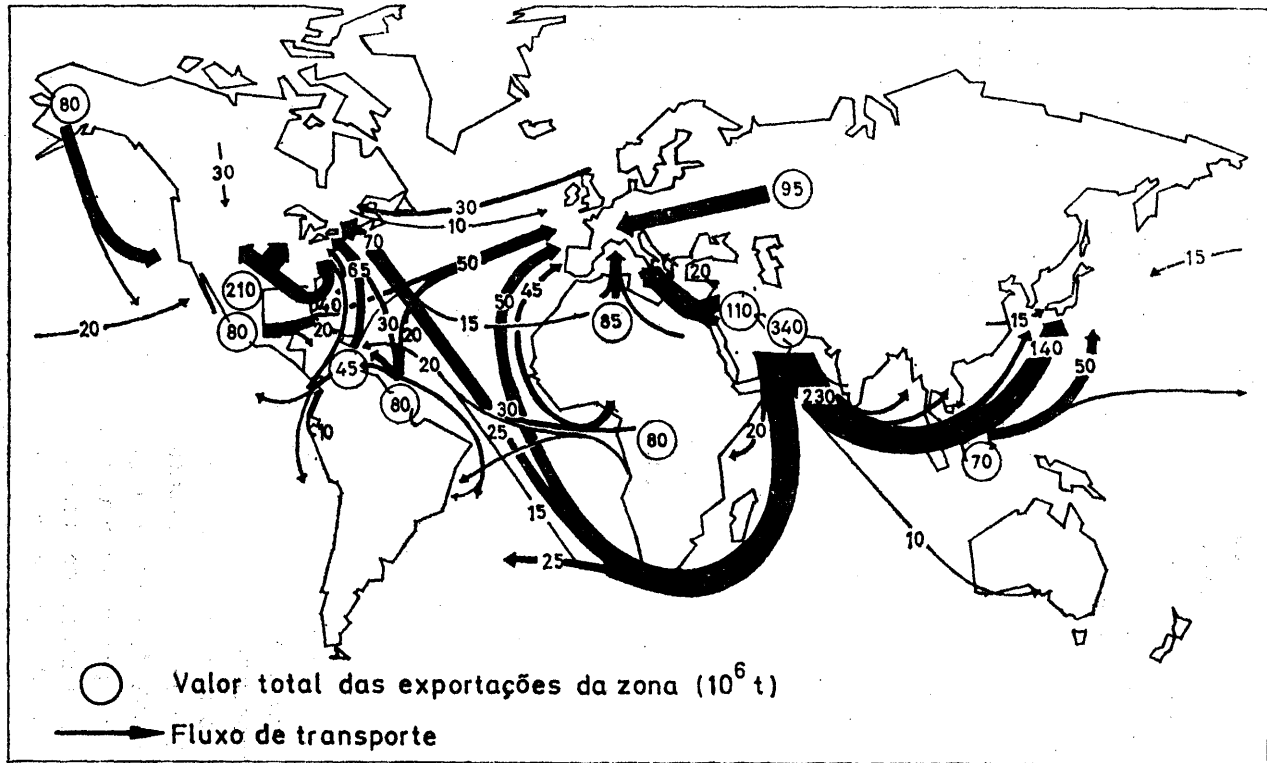


Fig. 4 — AS PRINCIPAIS «ROTAS DO PETRÓLEO»

liquefacção e redução do volume de 1/600 em relação ao volume que o gás ocupa a 20° C. Tenha-se em consideração que o processo de liquefacção, a refrigeração durante o transporte e o retorno ao estado gasoso consomem cerca de um quarto da energia contida na quantidade de gás transportada. Para efeitos de comparação deve saber-se que a energia contida em 1 litro de petróleo exige um volume de gás natural de 975 litros.

Podem considerar-se que a vulgarização do gás natural se processou nos Estados Unidos da América, onde a existência de enormes depósitos de gás associados ao petróleo e a existência de vastos mercados concentrados criou as condições propícias ao desenvolvimento rápido de uma indústria do gás natural.

Na década de 50 deu-se grande expansão ao uso do gás natural nos EUA, provocada pela conjugação dos seguintes três factores:

- 1 — Desenvolvimento da exploração petrolífera que tornou disponíveis grandes volumes de gás natural. Este rapidamente excedeu as necessidades locais, motivando a procura de mercados longínquos.
- 2 — Desenvolvimento da tecnologia do transporte a longa distância por *pipeline* que permite ligar o local de produção com os locais de consumo, possibilitando abastecer os mercados de gás da costa Leste dos EUA.
- 3 — Facilidade de mobilizar financiamentos a longo prazo, indo até 20 anos, permitindo às companhias de transporte e distribuição de gás os meios monetários necessários para a construção de uma infra-estrutura dispendiosa.

A conjugação destes factores permitiu forte crescimento da indústria norte-americana do gás natural. Assim, em 1965 o gás natural fornecia 1/3 do aprovisionamento em energia primária dos EUA. Este valor estabilizou depois em torno dos 25-26 por cento.

O exemplo norte-americano rapidamente foi seguido pela Europa e pela URSS. Hoje em dia o gás natural é uma das mais importantes fontes de energia primária do mundo. Em 1984 a sua quota-parte no consumo energético mundial foi de cerca de 18 por cento. Há contudo fortes assimetrias nos níveis de consumo dos vários países. Enquanto nos EUA o gás natural corresponde a 25 por cento do consumo da energia primária, nos países euro-

peus esse valor é de 15 por cento e, em média, é de 10 por cento nos países em vias de desenvolvimento (não incluindo a China).

No que concerne às reservas provadas, no fim de 1984, os valores eram de 96 000 Gm³, ou sejam 85 Gtep. Este valor corresponde a cerca de 95 por cento das reservas de petróleo conhecidas. As reservas de gás natural, comparadas às de petróleo, têm vindo a aumentar: na realidade correspondiam a 39 por cento das do petróleo em 1960, passaram a 75 por cento em 1980 e em 1985 correspondem a 95 por cento das reservas de petróleo. A confirmar-se esta tendência, e tudo indica que sim, as descobertas de gás em relação às do petróleo devem continuar a crescer.

Verifica-se que as reservas de gás natural e o seu consumo estão desigualmente distribuídos do ponto de vista geográfico. Assim, de entre os países em vias de desenvolvimento, os países não importadores de petróleo possuem cerca de 1,7 por cento do total mundial das reservas de gás natural e o seu consumo é de 2,5 por cento do total mundial.

Os países em vias de desenvolvimento exportadores de petróleo detêm cerca de 40 por cento das reservas provadas de gás e representam apenas 9 por cento do consumo mundial. Os EUA e a URSS são os dois grandes produtores e consumidores de gás natural. A URSS possui amplas reservas provadas de gás natural.

A Europa Ocidental é o terceiro consumidor de gás natural com 14 por cento (figura 5) do consumo mundial em 1984. O Japão consome cerca de 2,2 por cento. A Europa de Leste detém cerca de 40 por cento das reservas

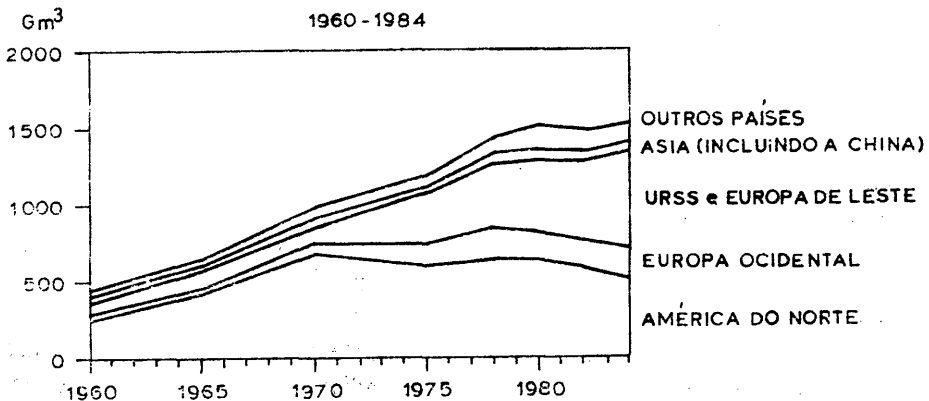


Fig. 5 — CONSUMO MUNDIAL DE GÁS NATURAL

provadas mundiais, mas a quase totalidade deste gás natural está situado na URSS (98 por cento).

Facto digno de menção está em que a parte da produção bruta comercializada atinge 54 por cento para os PVD, contra 85 por cento nos países desenvolvidos e 97 por cento na Europa de Leste. Sucede que nos PVD exportadores de petróleo, mais de metade do gás natural produzido é queimado à saída dos poços. Registe-se que, em 1984, o Irão queimava 33 por cento da sua produção gaseira, a Arábia Saudita 60 por cento, a Nigéria 82 por cento, o Iraque 84 por cento e o Gabão 92 por cento.

Quanto às principais correntes de aprovisionamento em gás natural (figura 6), verifica-se que o seu transporte se faz por:

1 — Gasoduto

- Da URSS e da Argélia para a Europa;
- Do Canadá e México para os EUA;
- Da Bolívia para a Argentina.

2 — Metaneiros para o gás natural liquefeito (GNL)

- Da Argélia para a Europa e os EUA;
- Da Indonésia
- Da Malásia
- Do Médio Oriente
- Do Alasca

} para o Japão.

O comércio internacional atingiu o volume de cerca de 214 Gm³ em 1984, o que significa que aumentou de 9,7 por cento em relação a 1983 (veja-se o Quadro X).

Pelos valores do Quadro X se verifica que, a despeito do rápido crescimento do GNL, 78 por cento do comércio internacional de gás faz-se por *pipeline*. Verifica-se também que, apesar do grande incremento no uso do gás natural, o comércio internacional desta fonte energética primária apenas representa 12,5 por cento da produção mundial de gás natural comercializado, ou seja quatro vezes menos do que os valores correspondentes para

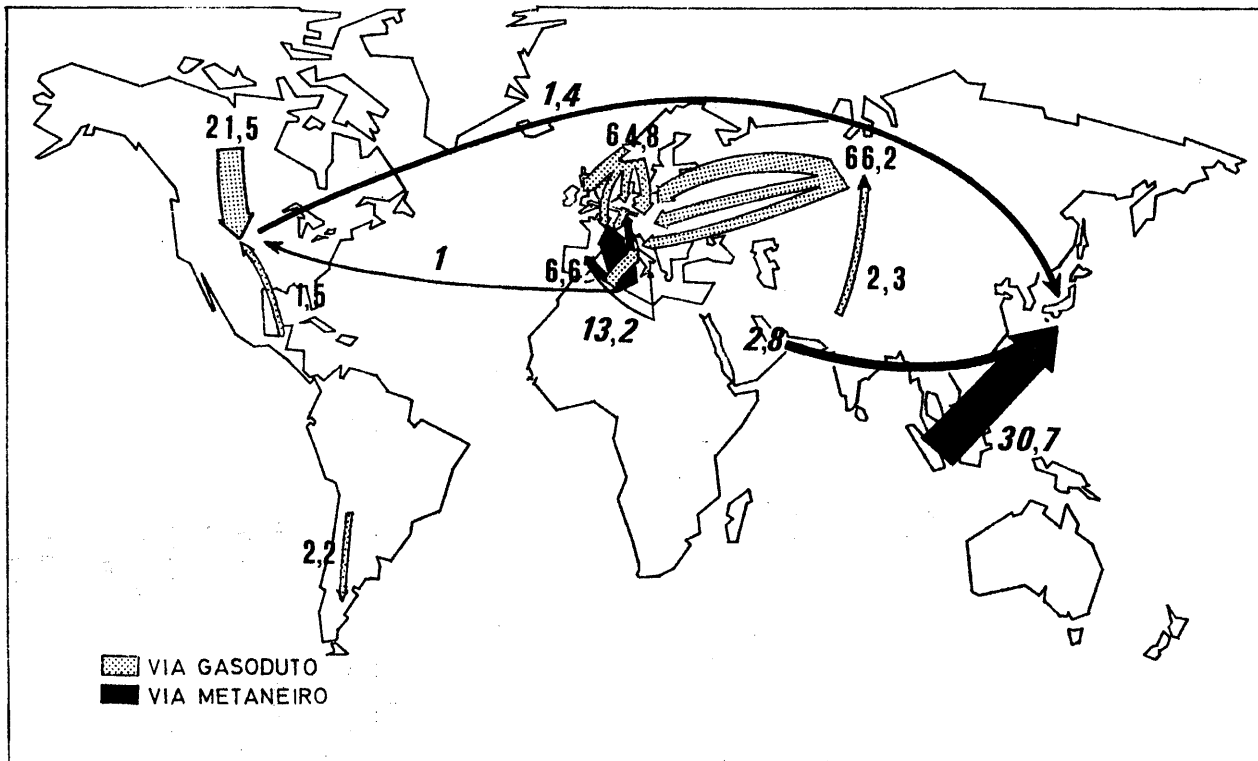


Fig. 6 — PRINCIPAIS CORRENTES DE ABASTECIMENTO EM GÁS NATURAL EM 1984 (em Gm³)

o petróleo. Esta diferença deve-se, em larga medida, a maior proximidade geográfica das áreas produtoras e consumidoras de gás natural.

Em 1983, de um total de 66 países produtores de gás natural e de 70 por cento de países consumidores, apenas 16 eram exportadores de gás natural (sendo 7 de GNL) e 25 importadores (sendo 6 de GNL).

Para além da proximidade geográfica entre os produtores e consumidores de gás natural deve também mencionar-se que o comércio internacio-

QUADRO X
EVOLUÇÃO DO COMÉRCIO INTERNACIONAL DE GAS NATURAL

ANO	Total — Mundo		Total — Mundo Gazoduto		Total — Mundo GNL	
	Gm ³	% da produção (1)	Gm ³	% da produção (1)	Gm ³	% da produção (1)
1970	45,21	4,3	42,45	4,1	2,76	0,2
1975	121,20	9,6	107,63	8,5	13,57	1,1
1980	190,73	12,6	159,45	10,5	31,28	2,1
1983	194,83	12,5	153,23	9,8	41,60	2,7
1984	213,76	12,7	165,64	9,8	48,12	2,9

(1) Parte do comércio internacional em relação à produção mundial de gás natural comercializado.

nal por *pipeline* tem alta rigidez, pois que os fornecimentos devem estar assegurados por um período dilatado, antes da construção do gasoduto, de modo a permitir a recuperação dos investimentos feitos. O mesmo se pode dizer quanto ao armazenamento e transporte do GNL.

Algumas previsões têm sido avançadas quanto ao futuro da exploração e consumo do gás natural no mundo no alvor do século XXI. Assim:

EUROPA. Deve desenvolver-se uma densa infra-estrutura de transporte e distribuição baseada nos importantes recursos internos (Holanda e

Noruega), bem como sobre os enormes recursos da URSS que permitirão alimentar a Europa por gasoduto. As importações de GNL aumentarão lentamente e permanecerão uma fonte marginal de aprovisionamento proveniente da África do Norte.

EUA. Os EUA entrarão no século XXI com um sistema de distribuição de gás natural sofisticado e competitivo, centrado sobre os recursos norte-americanos, canadianos e mexicanos. O papel a desempenhar pelo GNL será menor, embora em valor absoluto o aprovisionamento dos EUA aumente.

MÉDIO ORIENTE. O Médio Oriente vai tornar-se o maior mercado mundial para produtos derivados dos hidrocarbonetos. Os principais projectos sauditas estarão operacionais e desempenharão papel relevante nos domínios-base das petroquímicas. Os projectos de exportação das enormes reservas de gás natural do Irão e Qatar estarão em curso.

EXTREMO ORIENTE. O Japão será sempre o maior importador de GNL (importou, em 1984, 67 por cento das importações mundiais). A Indonésia, a Malásia, o Brunei e ainda o Abou Dabi, e, fora da região, o Alaska, o Canadá e ainda a Austrália, farão parte dos fornecedores dos nipónicos. A Coreia deve seguir-se ao Japão como o grande segundo consumidor de gás natural no Extremo Oriente.

PVD. A maior parte dos PVD possuem recursos de gás natural. A parte do gás natural no consumo de energia dos PVD deverá passar de 7 por cento em 1980 para mais de 12 por cento em 1995, com uma taxa média de crescimento anual de 8,5 por cento. Estima-se que, pelo ano 2000, o uso maciço do gás natural nos PVD em sectores como a produção de electricidade, a indústria, os adubos, etc, terá efeitos muito relevantes no desenvolvimento.

O CARVÃO

Entre as fontes tradicionais de energia, o carvão é de longe a mais abundante já que os jazigos carboníferos são quatro vezes superiores aos depósitos petrolíferos provados. As reservas certas e exploráveis de carvão, a nível mundial, montam a 626 Gtep.

Verifica-se que a parte mais importante dos recursos e reservas carboníferas se concentra no Hemisfério Norte. Com efeito, 85 por cento dos recursos geológicos de carvão, definidos como a quantidade de carvão que poderá apresentar um dia interesse económico para a humanidade, localizam-se na URSS, nos Estados Unidos da América e na China. O mesmo se pode dizer em relação à lignite cujos recursos geológicos destes três países montam a 94 por cento (figura 7).

Quanto às reservas economicamente exploráveis, ao carvão e à lignite correspondem, para estes três países, as percentagens respectivas de 60 e 64 por cento.

No Quadro XI mostra-se a posição dos principais 10 países que possuem posição relevante quanto à riqueza em carvão e lignite.

Os recursos geológicos referidos no quadro precedente, segundo a idade geológica a que pertencem, têm a repartição mundial do Quadro XII.

No Hemisfério Sul, o volume das reservas globais conhecidas é nitidamente mais fraco. Apenas dois países, a Austrália e a RAS, possuem depósitos de carvão e de lignite importantes.

A repartição geográfica dos recursos e das reservas carboníferas, por continente e por qualidade, apresenta-se como segue (Quadro XIII):

i) 3/4 dos recursos e das reservas mundiais são atribuíveis ao carvão e 1/4 à lignite;

ii) Apenas dois continentes, a Ásia e a América, possuem 88 por cento dos recursos e 70 por cento das reservas mundiais de carvão, enquanto que os valores correspondentes para a lignite são de 96 e 70 por cento.

Prevê-se que a produção carbonífera mundial conheça importante aumento até ao fim do século e nas primeiras décadas do século XXI. Todavia o aumento significativo da produção carbonífera só pode ser obtido em numerosos países pela deslocação importante dos centros de produção para regiões menos desenvolvidas industrialmente.

Assim, nos EUA assiste-se ao deslocamento de Leste para os jazigos importantes do Centro-Oeste e do Oeste. Na URSS o movimento congénere está a dar-se para as regiões situadas a Oriente dos Urais.

Verificou-se que a contribuição do carvão como fonte de energia primária sofreu uma redução percentual acentuada entre 1960 e 1978, tendo

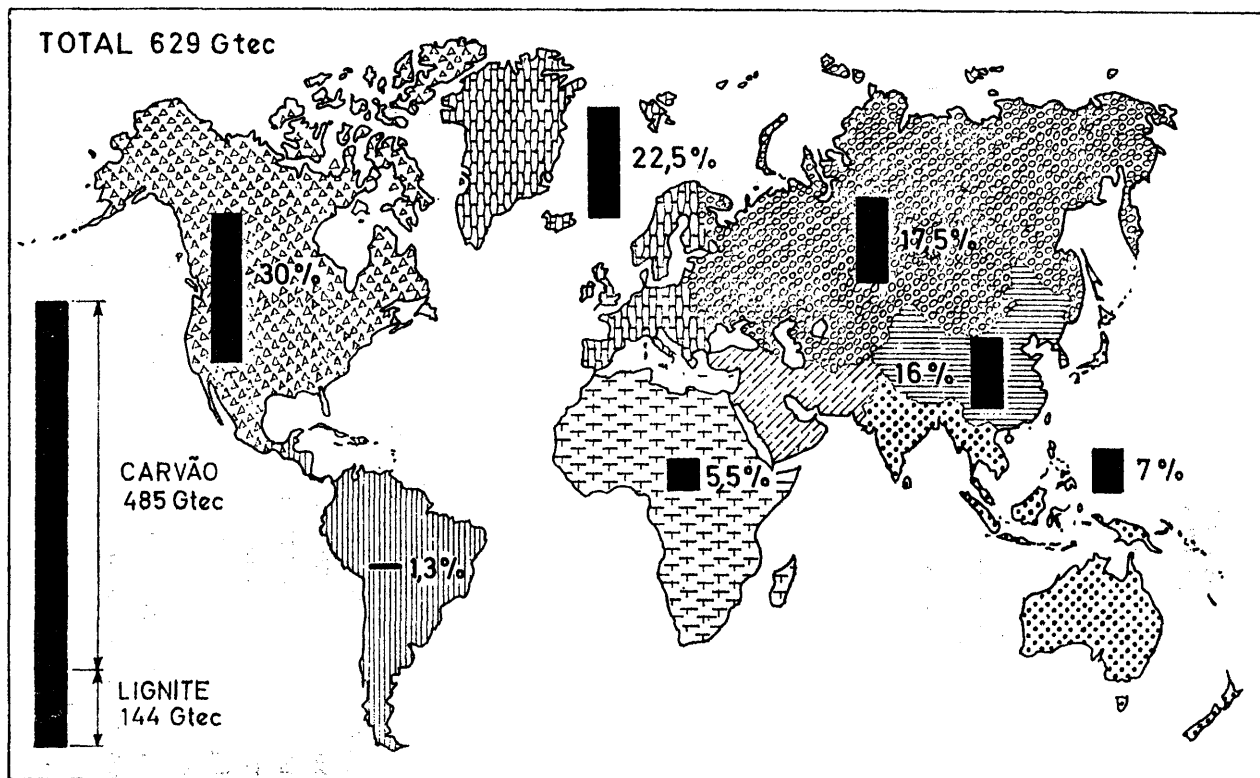


Fig. 7 — RESERVAS EXPLORAVEIS DE CARVÃO E LIGNITE

QUADRO XI

RECURSOS E RESERVAS GEOLÓGICAS EM CARVÃO
DOS PRINCIPAIS PAÍSES PRODUTORES

PAÍS	Recursos Geológicos %	Reservas Exploráveis %
URSS	48	17,3
USA	25	27,9
Rep. Pop. da China	14	15,5
RFA	2,4	5,4
Austrália	2,6	4,3
Reino Unido	1,6	7,1
Polónia	1,2	3,4
Canadá	1,1	1,5
RAS	0,65	4,2
Índia	0,56	5,3

passado de 36 para 25 por cento do balanço energético mundial. Isto a despeito de, em valores absolutos àquelas percentagens, corresponderem, respectivamente, 1,2 e 1,7 Gtep.

Este facto tem tendência a inverter-se e o carvão deverá reconquistar os 28 por cento do balanço energético mundial no ano 2000 (2,8 a 3,2 Gtep), e mesmo 32 por cento no ano 2020 (4,4 a 5,7 Gtep). Sendo assim, o carvão no início do próximo século tomará a dianteira como fonte de energia primária.

A nível dos países da CEE está previsto para 1990 que o consumo de petróleo deverá ser reduzido para cerca de 40 por cento do consumo bruto de energia primária, e os combustíveis sólidos (carvão, lignite e turfa) e a energia nuclear deverão assegurar 70 a 75 por cento da produção de electricidade.

QUADRO XII

RECURSOS GEOLÓGICOS DE CARVÃO, SUA IDADE GEOLÓGICA E SITUAÇÃO GEOGRÁFICA

PAÍS	PRIMÁRIO			SECUNDÁRIO			TERCIÁRIO %	TOTAL
	Devónico %	Carbónico %	Pérmico %	Trias %	Jurássico %	Cretácico %		
URSS	0,1	7,70	22,50	0,05	12,56	4,08	1,11	48,00
EUA	—	6,90	—	0,20	—	8,00	10,29	25,39
Rep. Pop. da China	—	3,80	6,70	—	3,50	—	0,20	14,20
RFA	—	2,20	—	—	0,02	—	0,22	2,44
Austrália	—	0,18	1,69	0,15	0,09	—	0,48	2,59
Reino Unido	—	1,62	—	—	—	—	—	1,62
Polónia	—	1,02	—	—	—	—	0,22	1,24
Canadá	—	—	—	—	0,05	0,93	0,16	1,14
Índia	—	0,34	0,11	—	0,08	0,01	0,02	0,56
Outros países	—	0,54	0,70	—	0,50	0,28	0,80	2,82
Total Gtec	—	2460	3210	40	1701	1347	1367	10 125
Total %	0,1	24,3	31,7	0,4	16,8	13,3	13,5	100

QUADRO XIII
REPARTIÇÃO GEOGRÁFICA DOS RECURSOS E RESERVAS CARBONIFERAS

<i>Continentes</i>	<i>CARVÃO</i>		<i>LIGNITE</i>	
	<i>Recursos Geológicos %</i>	<i>Reservas Exploráveis %</i>	<i>Recursos Geológicos %</i>	<i>Reservas Exploráveis %</i>
<i>Ásia</i>	71	44	37	21
<i>América</i>	17	26	59	49
<i>Europa</i>	7	19	2	23
<i>África</i>	3	7	—	—
<i>Austrália</i>	2	4	2	7

AS ENERGIAS RENOVÁVEIS

As energias renováveis têm como origem directa ou indirecta o Sol. A energia geotérmica tem posição peculiar.

A avaliação dos recursos energéticos renováveis deve ser realizada tendo sempre presente que uma coisa são as potencialidades teóricas, e outra bem diversa a potência efectivamente utilizável.

Como ponto de partida sabemos que a potencialidade máxima teórica da energia radiada pelo Sol é de 75 000 Gtep/ano. Isto corresponde a 12 000 vezes a energia actualmente consumida no Mundo. É evidente que apenas pequeníssima parte deste potencial é utilizável pelo Homem, hoje, e nos anos mais próximos.

A utilização mais significativa da energia solar faz-se, por via indirecta, pela hidroelectricidade e pela biomassa (lenha).

No Quadro XIV apresenta-se uma avaliação sobre o potencial mundial das energias renováveis com interesse meramente indicativo. Deve atentar-se na percentagem de realização possível.

Quanto à energia solar apresenta-se uma estimativa (Quadro XV), tendo bem em mente a dificuldade em ser realista quer devido à variação da grandeza da radiação solar total, quer quanto à dificuldade em avaliar a área disponível para a sua captação.

QUADRO XIV
 POTENCIAL MUNDIAL DAS ENERGIAS RENOVAVEIS

<i>Fonte de energia</i>	<i>Potencial teórico Gtep</i>	<i>Potencial realizável Gtep</i>
Biomassa	5,25	1,75
Hídrica	2,00	1,05
Solar	1,70	0,70
Eólica	2,00	0,70
Geotérmica	0,30	0,20
Energia térmica dos oceanos, ondas e marés	0,75	0,15

QUADRO XV
 VALORES DA RADIAÇÃO SOLAR A NÍVEL DO SOLO
 (superfícies horizontais)

<i>Regiões</i>	<i>Radiação solar KWh/m² dia</i>	<i>Média anual W/m²</i>
Regiões tropicais e desertos	5 a 6	210 a 250
Zonas temperadas	3 a 5	130 a 210
Regiões com menor insolação	2 a 3	80 a 130

Luís Aires-Barros

Prof. Catedrático do IST
 Director do Instituto de Ciências e Engenharia Nucleares
 do LNETI

BIBLIOGRAFIA

- BESTOUGEFF, M. A. (1980), *Summary of mondial coal resources and reserves. Geographic and geologic repartition.* Colloque C2. pp. 353-366. 26 Congrès Géologique International. Paris.
- BUROLLET, P. F. (1980), *Pétrole et gaz naturel.* Colloque C2. pp. 191-198. 26 Congrès Géologique International. Paris.
- ENZ, R. (1981), *Le diktat de l'énergie.* Union de Banques Suisses. Publ. n.º 73. Zurique.
- ERDMAN, J. G. & PETTY, D. G. (1980), *The future of petroleum as an energy resource.* Colloque C2. pp. 199-214. 26 Congrès Géologique International. Paris.
- FRISCH, J. R. (1983), *Energy 2000-2020.* 12 th Congress of the World Energy Conference. Nova Dilli.
- RENON. G. (1985), *L'Offre en électricité primaire.* Notes d'information n.º 9 CEA. Paris.
- CCE (1985), *Energie en Europe.* Comission des Communautés européennes. D. G. E. n.º 2. Luxemburgo.
- IAEA (1985), *Nuclear Power: status and trends.* 1985 Edition. Viena.
- OCDE (1985), *Uranium. Ressources, production et demande.* OCDE. Paris.
- OCDE (1985), *Summary of nuclear power and fuel cycle data in OECD member countries.* OCDE. Paris.