

# Energia eléctrica e poluição térmica

M. H. MARIANO

*Licenciada em Ciências Físico-Químicas  
Faculdade de Ciências de Lisboa*

M. C. LEAL

*Engenheiro Químico (I.S.T.)*

## 1 — GENERALIDADES

Os benefícios associados com o avanço da tecnologia são geralmente acompanhados de alguns efeitos prejudiciais e, embora deva fazer-se todo o necessário para diminuir esses efeitos, nem sempre é possível, ou económico, eliminá-los em absoluto.

Tem vindo a aumentar, por parte do público, a preocupação acerca dos efeitos adversos das centrais termoeléctricas no ambiente, quer das que queimam combustíveis fósseis (carvão, fuel-óleo) quer das que utilizam combustível nuclear, preocupação essa resultante, por vezes, da falta de adequada informação. Sabemos que a energia nuclear será chamada a desempenhar um papel importante na satisfação das necessidades crescentes de energia eléctrica e que, para apoiar o desenvolvimento económico e para elevar o nível de vida, há que encarar a necessidade de aumentar o número e a potência das centrais termoeléctricas. Estas centrais representam, actualmente, a forma mais eficiente de produção de energia eléctrica mas elas libertam calor para o ambiente como consequência inevitável da produção de energia útil.

O método usualmente utilizado, e o mais económico, para eliminar o calor rejeitado pelas centrais, consiste em utilizar água de uma corrente, lago, etc., fazê-la passar através dos condensadores e depois lançá-la novamente na corrente a uma temperatura mais elevada. É este o chamado método directo. Um outro processo consiste em utilizar torres de arrefecimento.

O cálculo das variações de temperatura das águas superficiais, ocasionadas pelas descargas térmicas, é complicado por numerosos factores estando a desenvolver-se notáveis esforços de inves-

tigação no sentido de aperfeiçoar métodos que permitam uma adequada avaliação do calor dissipado na atmosfera e nas águas receptoras das descargas das centrais.

Existe o receio, mais ou menos generalizado, de que a elevação de temperatura das águas receptoras destas descargas provoque uma rotura no equilíbrio ecológico aí existente, traduzindo-se em efeitos adversos na fauna e flora aquáticas, quer provocados pelo factor térmico «per se», quer pela diminuição do teor em oxigénio dissolvido. Convém debruçarmo-nos um pouco sobre o assunto e tentar determinar a verdadeira dimensão do problema.

## 2 — POLUIÇÃO TÉRMICA

### 2.1 — Influência do factor térmico sobre a fauna e flora aquáticas

Uma avaliação racional dos efeitos das descargas térmicas deve incluir a dimensão da área influenciada pela descarga e o tempo durante o qual as espécies aquáticas são submetidas à correspondente elevação de temperatura.

Alguns dos primeiros estudos de tolerância térmica dos peixes à água de arrefecimento das centrais foram efectuados na central «Contra Costa», a montante de S. Francisco (E. U. A.). Verificou-se que espécies de água fria (p. ex. o salmão) toleram muito bem, durante 10 minutos, máximos de temperatura da ordem dos 28°C. Executaram-se «testes de condensador» que consistem na passagem do peixe através dum condensador em funcionamento, com a central em plena carga, sob aumentos de temperatura de cerca de

9°C durante 3 a 5 minutos. As espécies de água fria submetidas a 10 testes deste tipo não evidenciaram quaisquer sinais de perturbação durante os 10 a 21 dias seguintes em que foram mantidas sob observação [1].

Presentemente a «Pacific Gas & Electric Co.» está a cooperar com o departamento de Pesca e Desporto da Califórnia, numa série de experiências de campo e laboratório, sobre os efeitos da central de Pittsburg na fauna aquática. Os «testes de condensador» aí realizados mostraram igualmente a sua inocuidade sobre as espécies ensaiadas.

Como parte deste estudo apresenta-se um gráfico referente à diminuição de temperatura na massa de água em movimento, após a sua passagem pelos condensadores da central de Pittsburg. Da análise do gráfico deduz-se que uma espécie aquática sujeita ao sistema de circulação de água em Pittsburg é exposta à elevação máxima de temperatura durante menos de 4 min., seguindo-se um rápido declínio térmico [1].

Em resultado deste e doutros estudos afins, conclui-se que a elevação de temperatura da água de arrefecimento terá, apenas, um efeito local, traduzindo-se numa reacção da comunidade ecológica no sentido do aumento de espécies de água quente na zona vizinha da descarga [1, 2]. Contudo, esta reacção já não é detectável a uma distância de cerca de 150 m do canal de descarga apesar de terem sido medidas, a essa distância, temperaturas superiores em 5,6°C às do ambiente [3].

Por outro lado, estudos feitos na central de «Morro Bay» levaram à conclusão de que a quantidade de calor introduzida no Oceano Pacífico por intermédio das águas naturalmente quentes da Baía do Morro era 5,7 vezes superior ao calor introduzido pela descarga da central [1]. Assim, parece ser um pouco despropositada a preocupação de certos sectores do público quanto às possíveis transformações ecológicas causadas pelas descargas térmicas das centrais, uma vez que os animais e plantas marinhas, quer em baías quer em pleno oceano, estão sujeitos a substanciais flutuações naturais de temperatura.

Verificou-se ainda que, embora a água aquecida diminua o crescimento da vida aquática nos períodos estivais de máxima temperatura, ela encoraja esse crescimento durante o inverno [1, 2].

As águas tépidas podem ter inconvenientes para as espécies piscícolas migratórias, como o salmão, constituindo por vezes uma barreira térmica que impede os seus movimentos no sentido de montante da corrente. Quanto às outras espécies é sabido que durante o inverno, princípio da primavera e fim de outono os peixes procuram as zonas mais quentes e, assim, os pescadores à linha bem informados estacionam de preferência a juzante das águas de rejeição das centrais térmicas.

## 2.2 — Redução da densidade

A redução da densidade da água é um dos factores mais importantes das descargas térmicas e, no entanto, é geralmente negligenciado. Esta alte-

ração da densidade tem como consequência que, após se misturarem inicialmente, as águas mais quentes sobem à superfície espalhando-se depois em fina camada [2, 5]. O arrefecimento por irradiação para a atmosfera aumenta e o aquecimento em profundidade das águas receptoras diminui. Com efeito, as diferenças de densidade ocasionadas por pequenas variações de temperatura são, com frequência, suficientes para que as águas se estratifiquem em camadas nitidamente separadas. Assim, a água aquecida e lançada à superfície das águas receptoras tende a espriar-se e a permanecer à superfície [3].

Este é um factor importante a ter em consideração quando está em causa a protecção da fauna ou flora aquáticas, já que a descarga térmica pode ser planificada por forma a fazer-se à superfície e não no interior das águas receptoras das descargas das centrais.

A estratificação térmica de muitos reservatórios durante os meses de verão proporciona ainda a possibilidade de obter água fria para o arrefecimento se a tomada de água se fizer em profundidade e a descarga se efectuar à superfície.

## 2.3 — Influência do aquecimento da água sobre o seu teor em oxigénio

Em resultado de experiências levadas a cabo em vários laboratórios conclui-se que, em princípio, à medida que a temperatura da água receptora da descarga de centrais aumenta, a sua capacidade para dissolução de oxigénio deverá diminuir. Por exemplo, aumentando a temperatura de 13,4°C a 20°C resultará uma perda, aproximadamente, de 13 % na capacidade transportadora de oxigénio da água [3].

Pelo menos em teoria, a adição de calor a um corpo de água deverá:

- (i) reduzir a solubilidade do oxigénio atmosférico: quanto mais elevada for a temperatura da água menor será a concentração em oxigénio a que ela se satura;
- (ii) aumentar a velocidade a que o oxigénio se dissolve na água mas sem que se verifique compensação para a menor saturação mencionada em (i);
- (iii) aumentar a velocidade a que o oxigénio é utilizado nos processos biológicos ou químicos.

Na prática, o processo de retirar água para uma central, bombá-la através do sistema de arrefecimento e descarregá-la novamente na corrente ou lago tenderá a aumentar, por turbulência, o teor em oxigénio dissolvido [4, 5].

Se a descarga formar uma camada superficial, o calor não será transferido para o interior do corpo de água. Em consequência, dado não existir completa homogeneização, não poderão ocorrer os efeitos secundários como o aumento da velocidade da oxidação biológica ou o aumento de toxicidade das substâncias em solução. Estes efeitos ocorrerão apenas na própria descarga e somente enquanto ela se mantiver aquecida.

Em 4000 análises da qualidade da água realizadas na tomada e na descarga de águas de arrefecimento de centrais inglesas, nunca se verificou qualquer desoxigenação. Quando se utilizam torres de arrefecimento, o teor em oxigénio é consideravelmente aumentado. Nos casos em que se utiliza o método directo não se verificaram alterações significativas na concentração do oxigénio dissolvido. Estes estudos foram realizados em diferentes centrais utilizando para a refrigeração água poluída, água não poluída, potável ou salina [5].

No Quadro I apresentam-se alguns resultados típicos obtidos com centrais utilizando torres de arrefecimento. Os valores apontados foram extraídos duma longa lista e mostram os teores em oxigénio à entrada e à saída das centrais e a oxidação do amoníaco dissolvido [5].

Num estuário ou nas zonas costeiras existe maior probabilidade de, na descarga, as águas aquecidas se misturarem verticalmente com as águas receptoras devido a movimentos de maré e exposição aos efeitos do vento. Dado que as águas dos estuários estão usualmente muito poluídas e que os regimes de marés foram alterados por dragagens necessárias à construção de portos, é justificável a preocupação de que o calor acelere a oxidação da matéria orgânica. O estuário do Tamisa é um bom exemplo destes fenómenos.

Nos anos 50, a secção vizinha de Londres estava tão sobrecarregada de poluentes que havia zonas completamente desprovidas de oxigénio.

Um intenso programa de estudos realizado em laboratórios governamentais durante onze anos, permitiu que se concluísse que os efeitos resultantes da elevação de temperatura devida a descargas de água de arrefecimento, quando considerados isoladamente, eram geralmente desprezáveis. Nessa altura havia treze centrais térmicas ao longo das margens do estuário, com uma capacidade total de 3500 MW, descarregando água com aumentos de temperatura de 8 a 10°C.

Actualmente, após melhorar notavelmente a qualidade dos detritos lançados nas águas, encontra-se oxigénio em toda a extensão do estuário. Os peixes estão rapidamente a recolonizar aquela zona e algumas espécies marinhas emigraram para montante enquanto que as descargas térmicas prosseguem com a mesma intensidade [5].

Das considerações anteriores conclui-se que os efeitos térmicos das descargas da água de arrefecimento das centrais só serão desprezáveis se as águas receptoras não possuírem demasiados aditivos químicos. Quando existe excesso de materiais, de natureza inorgânica ou biológica (detergentes, esgotos de fábricas ou de aglomerados populacionais, etc.), uma elevação de temperatura pode actuar como agente catalítico de uma série de reacções: decomposição de matéria orgânica, precipitação de sais, crescimento imoderado de algas e plâncton. Todos estes processos requerem um elevado consumo de oxigénio, traduzindo-se num déficit deste elemento em relação à fauna aquática útil que, por outro lado, estará sujeita a envenenamento alimentar ou respiratório devido à libertação de gases tóxicos. A necessidade de utilizar meios mais ou menos drásticos de arrefecimento terá, assim, que ser considerada para cada caso particular.

Por outro lado, nos sistemas de arrefecimento em circuito aberto e nas torres de arrefecimento, utilizam-se aditivos químicos destinados a impedir o crescimento biológico, a corrosão e a deposição de sais nos tubos dos condensadores ou das torres de arrefecimento. Os produtos químicos mais utilizados são o cloro, ácido sulfúrico, polifosfatos e cromatos, de efeitos adversos na comunidade ecológica, quando presentes em elevadas concentrações. A sua utilização terá, pois, que ser controlada.

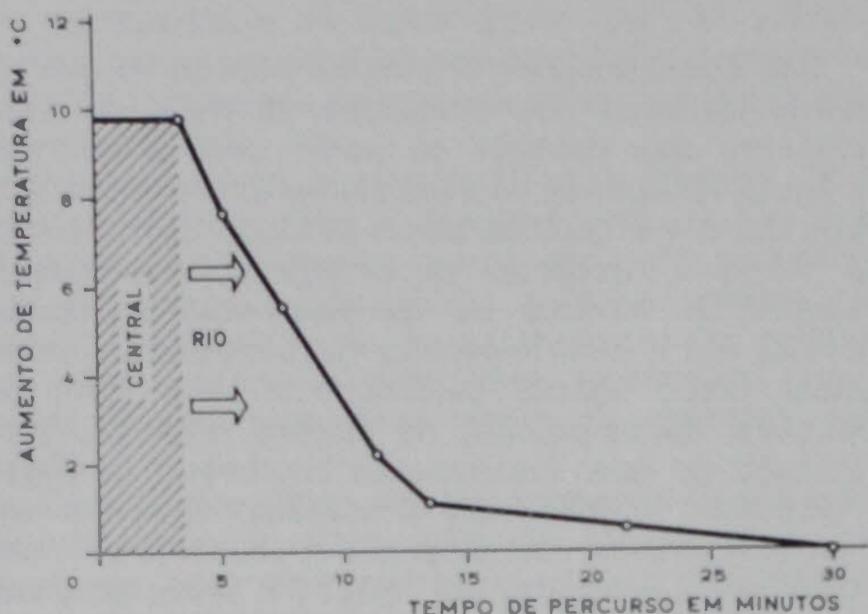
É preciso notar que, normalmente, as coisas processam-se por forma muito mais favorável no que respeita aos efeitos combinados, térmicos e químicos, das descargas das águas de arrefecimento.

Com efeito, quando detritos orgânicos ou inorgânicos são lançados numa corrente, as bactérias começam a converter esse material em compostos mais simples e inócuos, como o anidrido carbónico, nitratos e água. A velocidade a que se processa esta autopurificação da água pode aumentar-se pela adição de calor, até se atingirem temperaturas iguais ou superiores, segundo algumas autoridades, a 30°C [3, 4] (acima deste ponto, um aumento de temperatura parece reduzir a utilização bioquímica

QUADRO I

Efeitos observados no oxigénio dissolvido e na oxidação do azoto orgânico (amoníaco), quando se utilizam torres de arrefecimento nas centrais térmicas

	pH	Temperatura °C	Concentração, ppm			Oxigénio dissolvido	
			Nitrato	Nitrito	Amoníaco	ppm	%
1.º caso: tomada de água	7,40	11	33	0,7	14	4,7	43
descarga	3,30	19,7	55	0,8	0,44	10,05	115
2.º caso: tomada de água	7,60	7,5	21	0,6	17	6,4	55
descarga	3,30	15,6	66	1,1	0,76	7,7	79
3.º caso: tomada de água	7,52	16,5	13	0,6	15,0	1,25	13
descarga	3,22	21,5	122	0,9	0,2	5,95	69



do oxigénio). Uma elevação de temperatura poderá, pois, reduzir a quantidade de aditivos químicos requeridos para tratamento das águas utilizadas no abastecimento público. Calcula-se que se economizem 30 a 50 cêntimos (de dólar) por cada 3800 m<sup>3</sup> de água tratada, para uma elevação de temperatura da ordem dos 6,5°C [3].

#### 4 — SÍNTESE DOS ESTUDOS REALIZADOS

Uma revisão do conjunto dos estudos realizados sobre os efeitos das descargas térmicas no ambiente aquático leva às observações seguintes [4]:

- o aquecimento dos rios, ao lado de alguns inconvenientes, tem vantagens certas: desde que entraram em serviço as grandes centrais da região parisiense nunca mais o Sena e seus afluentes ficaram bloqueados pelos gelos; o serviço assim prestado à navegação fluvial não é desprezável;
- uma elevação de temperatura pode modificar o meio natural e, eventualmente, provocar um novo equilíbrio sensivelmente diferente do anterior mas, antes de lançar o alarme, há que provar que o novo estado de coisas é pior que o anterior; por exemplo: uma elevação moderada de temperatura favorece o crescimento de certas plantas e algas verdes que enriquecem a água de oxigénio e acelera também os mecanismos de auto-purificação da água;
- a rejeição de calor das centrais está calculada em geral por forma a elevar, no máximo, em 7°C, o débito de água no momento duma fraca estiagem. Como este débito de estiagem pode representar cerca de 15 % do débito médio (valor variável consoante o regime do curso de água), o aquecimento médio máximo do rio é da ordem de 1°C e o aquecimento real é sensivelmente menor visto a central não trabalhar permanentemente à potência máxima;

- se o débito da corrente é razoavelmente elevado, os efeitos térmicos far-se-ão sentir apenas numa zona restrita nas vizinhanças do canal de descarga e esses efeitos poderão ser prejudiciais apenas durante alguns dias por ano (na altura das temperaturas máximas anuais) ou, mais exactamente, durante algumas semanas, todos os 4 ou 5 anos, quando uma temperatura ambiente elevada coincide com um fraco débito do curso de água;
- no caso de lagos, os efeitos podem ser mais graves sobretudo nas zonas vizinhas da descarga mas a região afectada pode, por vezes, ser isolada do exterior e formar um anexo integrado na central;
- no caso, enfim, das centrais instaladas à beira-mar ou em estuários, as condições em que se efectua a refrigeração dependem sobretudo das correntes e das marés; parece que em França não existem praticamente problemas na costa atlântica, dada a potência das centrais aí instaladas e a grandeza das marés. Pelo contrário, nos E. U. A., em que o número e a potência das centrais tem vindo a aumentar constantemente e as marés são mais fracas, começa a surgir séria inquietação sobre a possível acumulação de efeitos, tendo-se realizado numerosos estudos relacionados com o problema da poluição térmica.

#### 5 — POSSIBILIDADES DE UTILIZAÇÃO DO CALOR REJEITADO

A energia calorífica absorvida pela água de arrefecimento e subsequentemente dissipada no ambiente pode variar entre um quantitativo equivalente ao da energia eléctrica produzida e cerca de duas vezes este valor.

Compreende-se facilmente que se se pudesse, por qualquer forma, utilizar este calor rejeitado, não só o preço da energia eléctrica produzida viria substancialmente diminuído como ainda se resolveria a maior parte dos problemas relacionados com a poluição térmica.

Nos E. U. A. encontram-se em estudo vários processos de utilização do calor a dissipar, antes dele ser absorvido na água de arrefecimento, antes desta ser descarregada nas águas receptoras, ou no próprio local da descarga térmica. Utilizações potenciais incluem aquecimento, dessalinização, processos industriais, navegação facilitada nos meses frios, irrigação e aquacultura. As indústrias químicas e do petróleo, por exemplo, requerem calor para a realização de certos processos: «cracking» do petróleo, extracção de enxofre dos óleos pesados, redução directa no fabrico do aço, gaseificação do carvão, produção de etileno a partir do benzeno, etc. Assim, no Japão está projectada a construção de um reactor nuclear de 1500 MWt para a produção de etileno e uma central nuclear com dois reactores de 1500 MWt para fabrico de aço.

A agricultura é também uma utilizadora potencial da energia calorífica dissipada nos condensadores das centrais. A irrigação com água tépida

acelera a germinação das sementes e o crescimento das plantas, aumentando a duração da estação favorável. Poderiam ainda utilizar-se estufas para o crescimento de plantas tropicais ou sub-tropicais.

A aquacultura representa outra possibilidade de utilização das águas provenientes das centrais térmicas. Animais marinhos e de águas correntes podem ser «cultivados» e crescer em canais ou lagoas alimentados com as águas das descargas das centrais. É, assim, possível criar viveiros de ostras e de outros crustáceos em áreas onde normalmente estes animais se não reproduzem, ou sobrevivem, devido a temperaturas demasiado baixas: com uma temperatura média de 20°C, é possível aumentar o período de desova das ostras de 3 para 10 meses por ano. No Maine (E. U. A.) está a estudar-se a possibilidade de aumentar a produção de lagostas utilizando as águas de descargas de centrais térmicas e em vários outros pontos dos E. U. A. está a desenvolver-se a aquacultura de ostras, caranguejos e mexilhões e a utilizar-se o calor rejeitado pelas centrais para aquecer viveiros de peixes em zonas onde se pratica a pesca desportiva [3].

## 6 — INFLUÊNCIA NA SELECÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE CENTRAIS: CONTROLO DOS FACTORES DE POLUIÇÃO

A selecção de localização de centrais depende, naturalmente, de um grande número de factores para além dos relacionados com problemas de poluição térmica. Estes far-se-ão sentir com maior acuidade quando não se dispõe de grandes volumes de águas receptoras frias ou quando existe pronunciada contaminação química. Em tais casos poderá ser contra indicada a utilização do método directo havendo que recorrer a torres ou lagoas artificiais de arrefecimento.

No entanto há que ter em conta que as torres de arrefecimento aumentam as despesas de operação em cerca de 0,2 a 0,4 mills/kWh ao longo da vida da central [6]. Há pois que examinar cuidadosamente os diferentes factores em causa ao pretender fazer opções quanto às dimensões das centrais, sua localização e tipo de arrefecimento a utilizar em confronto, por exemplo, com o aumento do custo do kW devido a problemas de transmissão a distância quando escolhida uma localização mais favorável.

Uma vez escolhido o local, terão de fazer-se exames completos para estabelecer as condições

básicas de rejeição do calor não utilizado. Exames semelhantes continuarão, após o arranque da central, de modo a registar os efeitos no ambiente mediante comparação com as condições pré-operacionais. As técnicas de estudo incluem análises biológicas, químicas e físicas e são tão indispensáveis à selecção de localização como à demonstração da suficiência e eficácia das medidas tomadas no combate à poluição térmica.

As medições contínuas de temperatura, nas águas receptoras, parâmetros ecológicos e de qualidade da água, são de importância primordial e indispensáveis como recurso e prova contra acusações de produção de efeitos adversos no ambiente. Sem estes dados, a central estará virtualmente à mercê de opiniões e dados de terceiros que podem não querer, ou não poder, apresentar uma determinação rigorosa destes efeitos. Uma administração prudente terá que prever e guardar-se contra tais contingências.

## CONCLUSÕES

O problema posto pelo aquecimento das águas receptoras das descargas das centrais térmicas é, decerto, importante mas não deve ser sobre-estimado, podendo mesmo acontecer que as vantagens sobrelevem os inconvenientes.

Regra geral, esses efeitos são desprezáveis quando se dispõe dum corpo de água fria suficientemente volumoso, não podendo de forma alguma equiparar-se aos de outras formas de poluição, como as produzidas por detritos de toda a espécie lançados nas águas correntes ou na atmosfera.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Thermal Power, Aquatic Life and Kilowatts in the Pacific Coast, J. R. Adams, Nuclear News, 12 (9), 75 (Set. 1969).
- [2] The Effect of Heated Discharges: the TVA Experience, M. A. Churchill and T. A. Wojtalik, *ibid.* pg. 80.
- [3] Selected Materials on Environmental Effects of Producing Electric Power — Joint Committee on Atomic Energy Congress of United States, U. S. Government Printing Office, Washington, 1969.
- [4] Refroidissement des Centrales Thermiques et Réchauffement de l'Eau, A. Goubet, Annales des Mines, 61 (April 1969).
- [5] Thermal Problems: old hat in Britain, F. B. Hawes, Electrical World (6 de Abril de 1970).
- [6] The Need for Advanced Planning of Thermal Discharges, R. T. Jaske, Nuclear News, 12 (9), 65 (Set. 1969).

(Resumos na pág. 37)