

1014 11/12/79
INIS-uf--6556

SUPERINTENDÊNCIA GERAL DE PLANEJAMENTO

ASSESSORIA DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS

CONVERSÃO DE ENERGIA CONVENCIONAL E

NUCLEAR_ EFEITOS SOBRE O

MEIO AMBIENTE

W. Schikarski - Karlsruhe

TRADUÇÃO: NUCLEBRÁS/ASEE.PL/MAR/1979

CONVERSÃO DE ENERGIA CONVENCIONAL E NUCLEAR; EFEITOS SOBRE O MEIO-AMBIENTE

W. Schikarski - Karlsruhe

Versão revista da palestra apresentada em Hanover no
Congresso de Reator 1978

Comparando-se a poluição atmosférica causada por centrais elétricas a carvão e nucleares, resultará do cálculo da poluição relativa, com base no balanço anual das substâncias poluentes com o auxílio de um modelo celular, uma razão de cerca de 1:100 a favor da energia nuclear. Tomando-se como substância de referência da poluição atmosférica por centrais elétricas a carvão ou óleo combustível, o SO_2 , os valores medidos da poluição química estão situados em nível de dez vezes, e a poluição dosimétrica na vizinhança das centrais nucleares por sua vez, em nível de 10.000 vezes abaixo daqueles nos quais seriam constatados danos à saúde. Em cada conversão de energia é produzido calor de descarga, qualquer que seja a fonte de energia. A parcela do calor primário de descarga das centrais elétricas é pequena em relação ao total do calor a ser absorvido, importando em cerca de 20% apenas.

1. Introdução

Discutindo a seguir os efeitos sobre o meio-ambiente dos processos de conversão de energia atualmente em uso geral, convém esclarecer mais uma vez, sobre o que deveria ser entendido por "efeitos ambientais", pois os diversos grupos, quando falam da proteção do meio-ambiente, não se referem às mesmas bases.

Uns querem dizer "proteção da natureza"; outros, "proteção da paisagem"; e ainda outros, "proteção da biosfera" em geral. No que se segue, a proteção do meio-ambiente deverá ser entendida como proteção do espaço vital humano o que inclui, obviamente, os alimentos, o ar de respiração e a água potável. Isto não é idêntico aos conceitos supracitados, existindo mesmo, em parte, um conflito de objetivos.

Os efeitos diretos sobre o meio-ambiente, provocados pelos processos de conversão da energia no sentido citado, são basicamente possíveis por três caminhos:

- substâncias poluentes que afetam o organismo humano via ar, água, alimentação etc.
- alteração dos parâmetros ambientais físicos, químicos ou biológicos (p.ex. calor de descarga)
- ruído.

Gostaria de excluir aqui este último ponto (pois a sua importância fica restrita em última análise ao conversor de energia "automóvel").

Os efeitos indiretos sobre o meio-ambiente, provocados pelos processos de conversão de energia, foram apenas analisados um pouco quantitativamente. Neste aspecto inclui-se, a diminuição da disponibilidade dos recursos, a elevação dos custos sociais e a diminuição da qualidade da vida; esta última representando, certamente, uma grandeza dificilmente quantificável.

Limitar-se-á, a seguir, aos efeitos diretos sobre o meio-ambiente, provocados pelos processos de conversão de energia na República Federal da Alemanha devendo ser discutida a situação atual e uma perspectiva a médio prazo.

Além dos efeitos locais e regionais das substâncias poluentes e do calor de descarga deverá ser abordado, na medida necessária, o aspecto global separadamente. Dentro do horizonte que se estende até o ano de 2000, a ser discutido aqui, cabe contu do aos efeitos regionais sobre o meio-ambiente, uma importância substancialmente maior.

2. Substâncias poluentes provenientes da conversão convencional de energia

2.1. Emissões

Nos processos de obtenção, transformação, transporte, armazenamento e no consumo final das fontes de energia ocorrem emissões materiais com atuação poluente em escala variável. As substâncias poluentes suspensas no ar, mais importantes, são:

- óxidos de enxofre (especialmente SO_2)
- hidrocarbonetos
- óxidos nitrosos
- monóxido de carbono
- compostos de fluor e cloro
- pó (que pode conter metais pesados)

Além disso são emitidos dióxido de carbono e vapor d'água que são insignificantes tóxicamente, mas influenciam o balanço térmico da atmosfera. As substâncias poluentes citadas são produzidas preponderantemente na combustão das fontes de energia primária carvão, linhita, derivados de petróleo e gás.

As emissões que ocorrem nos processos de obtenção (lavra), transporte e armazenamento são, na região da RFA, de importância média (tab.1). Algumas dessas emissões de substâncias poluentes são, naturalmente, proporcionais ao consumo das fontes energéticas correspondentes e têm aumentado desde o ano de refe

TABELA 1: EMISSÕES DE SUBSTÂNCIAS POLUENTES NAS OPERAÇÕES DE OBTENÇÃO, BENEFICIAMENTO E TRANSPORTE DAS FONTES DE ENERGIA (DADOS EM TONELADAS/ANO)

SUBSTÂNCIA POLUENTE	SO ₂	PÓ	NO _x	C _m H _n	CO
Produção de coque	3,0.10 ⁴	1,9.10 ⁴	-	-	
Produção de briquetes	6,1.10 ³	1,0.10 ⁴	5,7.10 ³	-	
Refinarias de petróleo	2,6.10 ⁵	-	-	1,2.10 ⁵	
Produção e transporte de petróleo/gás natural -		Sem dados disponíveis			
Transporte e armazenamento de gasolina	-	-	-	~ 4.10 ⁴	

rência de 1972, aqui citado. (Pertence aqui, p. ex., o transporte de gasolina). Outras emissões de substâncias poluentes apresentam uma tendência decrescente (p.ex. por motivo da fabricação menor de briquetes). Não queremos entrar aqui mais a fundo, nas tendências dos setores individuais, apresentadas detalhadamente em outros trabalhos, é importante apenas indicar a ordem de grandeza das emissões para obtenção, transporte e armazenamento das fontes fósseis de energia.

As emissões de substâncias poluentes suspensas no ar provocadas pelo consumo final dos combustíveis sólidos, líquidos e gasosos foram, no ano de referência, para os setores indústria, residências e pequenos consumidores, bem como transporte, significativamente mais altas (tab. 2). Já que o insumo de energia primária variou, desde então, somente de poucos porcentos, podemos partir da premissa de que estes dados, - mormente tendo em vista as incertezas dos mesmos, - sejam essencialmente ainda válidos nesta data.

No setor da geração de energia elétrica a partir das fontes fósseis de energia, as emissões de substâncias poluentes são de ordem de grandeza comparável (tab. 3).

Tendo o consumo de energia elétrica crescido ainda mais desde então, houve um acréscimo também nas emissões de substâncias poluentes. A extrapolação das emissões de substâncias poluentes, do ano de referência para hoje, contém no entanto certas incertezas, motivadas pelo fato de que não só existe correlação referente ao desenvolvimento do consumo de energia elétrica, mas também, referente aos coeficientes específicos de emissão (as instalações modernas apresentam emissões específicas mais baixas). Os dados da tab. 3 baseiam-se em coeficientes específicos médios de emissão englobando um amplo espectro de instalações antigas e modernas. Conseqüentemente, o crescimento da emissão global de substâncias poluentes provocada pelas centrais a combustível fóssil só pode ser estimada aproximadamente. Globalmente, a emissão de substâncias poluentes provocada pela geração de energia elétrica na RFA deve ter aumentado apenas de alguns porcentos, em confronto com 1972.

TABELA 2: EMISSÕES DE SUBSTÂNCIAS POLUENTES POR CONSUMO DE COMBUSTÍVEL
(Toneladas por ano)

Substância poluente	SO ₂	Pb	NO _x	C _m H _n	CO
Indústria	1,1.10 ⁶	1,0.10 ⁵	4,0.10 ⁵	4,0.10 ⁴	8,0.10 ⁴
Residências e pequenos consumidores	7,2.10 ⁵	1,8.10 ⁵	1,3.10 ⁵	7,2.10 ⁴	7,6.10 ⁵
Transporte rodoviário	4,8.10 ⁴	9,0.10 ⁴	2,5.10 ⁵	2,5.10 ⁵	6,0.10 ⁶
Soma	1,9.10 ⁶	3,7.10 ⁵	7,8.10 ⁵	3,6.10 ⁵	6,8.10 ⁶

TABELA 3: EMISSÕES DE SUBSTÂNCIAS POLUENTES POR GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉ-
TRICA (Fontes fósseis de energia) (Toneladas por ano)

Substâncias poluentes	SO ₂	Pb	NO _x	C _m H _n	CO
Centrais termoelétricas a combustíveis fósseis	1,75.10 ⁶	2,5.10 ⁵	5,4.10 ⁵	1,0.10 ⁴	2,0.10 ⁴

Englobados os três grupos obtenção, transporte e armazenamento, resulta para as substâncias poluentes de referência o seguinte quadro (tab. 4): as emissões globais de substâncias poluentes no âmbito do consumo final são aproximadamente do mesmo nível daquelas da geração de energia elétrica. Somente no caso dos hidro-carbonetos e do monóxido de carbono predominam as emissões do consumo final em mais do que uma ordem de grandeza. Aqui por sua vez, são as residências e o transporte os setores que apresentam quantitativamente, a maior parcela.

As emissões das substâncias poluentes, por si sô, ainda não representam uma medida direta para a poluição do meio ambiente pois as taxas de emissão não são equivalentes ao efeito no civo da substância poluente. Assim p.ex. ainda não foram realizados testes em grande escala na RFA, acerca da redução da emissão de SO_2 no gás de combustão. Por sua vez, a exigência relativa à separação de 80% do SO_2 em todo o gás de combustão somente é alcançável se o carvão a ser convertido em energia elétrica não ultrapassar determinados teores de enxofre.

Uma extrapolação pessimista das emissões de SO_2 provocadas pela geração de energia elétrica, deverá portanto, chegar à conclusão que, a curto prazo, não se poderá contar com uma redução da emissão total de SO_2 provocadas pelas centrais elétricas, se não forem instalados, imediatamente, equipamentos separadores de SO_2 nas centrais existentes (inclusive aquelas a óleo combustível). Globalmente é possível que, a médio prazo, as emissões de SO_2 por um lado, aumentem devido à utilização mais intensiva do carvão, e por outro lado, diminuam devido às providências de dessulfurização no caso do óleo combustível e naquele do gás de combustão. Caberá aqui uma importância especial ao aspecto regional ou seja, à questão da localização.

Pó

No caso da emissão de pó provocada pela combustão de fontes fósseis de energia, deverão ser ressaltados alguns pontos em particular. As emissões de pó provocadas pelo setor de consumo final entram na atmosfera preponderantemente sem filtração. Unica

TABELA 4: EMISSÃO TOTAL DE SUBSTÂNCIAS POLUENTES PROVOCADA PELA CONVERSÃO ENERGÉTICA DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS (Toneladas por ano)

Substância poluente	SO ₂	Pó *)	NO _x	C _m H _n	CO
Obtenção, transporte, armazenamento	3,0.10 ⁵	2,9.10 ⁴	6,0.10 ³	2,0.10 ⁵	?
Consumo final	1,9.10 ⁶	3,7.10 ⁵	7,8.10 ⁵	3,6.10 ⁵	6,8.10 ⁶
Geração de energia elétrica	1,7.10 ⁶	2,5.10 ⁵	5,4.10 ⁵	1,0.10 ⁴	2,0.10 ⁴
Soma	3,9.10 ⁶	6,5.10 ⁵	1,3.10 ⁶	5,7.10 ⁵	6,8.10 ⁶

*) Sem as emissões de pó provocadas por processos industriais.

TABELA 5: POLUIÇÃO RELATIVA DA ATMOSFERA, PROVOCADA PELA EMISSÃO TOTAL DE SUBSTÂNCIAS POLUENTES

Substância poluente	SO ₂	P ₀	NO _x	C _m H _n	CO
Em função dos valores-limite de poluição da Norma Técnica para Ar de 1974	1,6	0,77	0,25	0,15	0,35

mente as centrais elétricas (e as caldeiras de grande porte da indústria) utilizam separadores de pó (geralmente filtros eletrostáticos) com sucesso, alcançando graus de separação entre 99 e 99,8%. A separação é restringida porém ainda hoje, ao pó grosso. O pó fino (aerossóis) com partículas de diâmetro inferior a $3\ \mu\text{m}$ em geral não é separado. Justamente este pó fino, é respirável e portanto, toxicamente muito mais significativo do que o pó grosso.

Se foi indicado para a RFA uma poluição relativa por pó, provocada pela conversão das fontes fósseis de energia, refere-se este dado ao valor-limite de poluição para pó não perigosos segundo as Normas Técnicas para Ar (1974), sem levar em consideração os componentes do pó, de efeito tóxico especial, tais como, metais pesados, substâncias radioativas etc. Porém, de acordo com o nível destes componentes no pó, estas misturas são capazes de aumentar significativamente a poluição relativa das substâncias nocivas provocada pelo pó, e alcançar aquela do SO_2 . Enquadram-se neste caso principalmente as emissões de pó das usinas elétricas a carvão [4].

Independentemente deste fato, cumpre não esquecer que certos processos industriais não pertencentes à conversão de energia (citando-se aqui principalmente os setores industriais "pedras e terras" bem como, "ferro e aço") provocam aproximadamente a mesma ordem de grandeza em emissões de pó.

Adicionalmente ocorre com estas emissões de pó que consistem preponderantemente de pó fino, uma modulação pelo aerossol secundário. O aerossol secundário consiste de partículas suspensas no ar, provenientes de emissões gasosas naturais e antropogênicas que formam aerossóis na atmosfera, por processos físicos e químicos. Sabe-se p.ex. que cerca de 70% do enxofre levado inicialmente para a atmosfera como SO_2 gasoso ocorre na forma de partículas de sulfato. As estimativas globais indicam que a emissão total de pó inclusive o aerossol secundário ultrapassa as emissões de SO_2 quantitativamente [5]. Isto significa que o SO_2 já não ocupa mais o primeiro lugar como substância-referência para a poluição atmosférica de substâncias nocivas.

2.2 Poluição

Qual é a situação referente à poluição? Menos por complicados modelos de poluição atmosférica com as suas incertezas ainda muito grandes, do que, pelas redes de medição de substâncias poluentes atmosféricas, a situação da poluição nas regiões críticas é bem conhecida, hoje em dia. As chamadas estações monitoradoras de fundo (background) da Repartição Federal do Meio-Ambiente (tab. 6) não indicam tendências reconhecíveis de aumento do nível de SO_2 , e as notícias provenientes das zonas de concentração para SO_2 são divergentes, porém de modo geral favoráveis. Desde meados da década de 60 até meados da década de 70, diminuiu, principalmente, o nível de poluição de SO_2 , em média para a metade. Ainda em 1970 existia na RFA, uma área superior a 600 km^2 na qual era ultrapassado, em média anual, o valor-limite da poluição a longo prazo de $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da Norma Técnica para Ar de 1974. Hoje, esta área já diminuiu para 187 km^2 [3]. Não obstante deveria ser levado em consideração que esses dados representam valores médios regionais, capazes de serem ultrapassados localmente e que nem sempre estão baseados em resultados representativos de medição, sendo, portanto, erros maiores possíveis (50% no máximo). Muito mais confiável deverá ser avaliada a fig. 1, na qual se indica a distribuição das áreas unitárias relativas às categorias individuais de poluição, de acordo com os dados levantados nos anos de medição de 1974/75 e 1976, pela rede de monitoração atmosférica no Estado da Renânia do Norte-Westfália [6]. Aqui nota-se que os valores-limites de poluição da Norma Técnica para Ar de $140 \mu\text{g}$ de SO_2/m^3 (a longo prazo) e $400 \mu\text{g}$ de SO_2/m^3 (a curto prazo) são ultrapassados em poucas subzonas da região de monitoração. Por outro lado porém, aumentou globalmente a poluição de SO_2 , conforme indica o deslocamento da distribuição em direção aos níveis mais altos.

Constatação similar pode ser feita acerca do nível de poluição provocado por pó total (pó grosso e pó fino). Neste caso aumentou levemente o nível médio, de 1975 para 1976, tendo diminuído porém em geral, o valor máximo. Não foi constatada nenhuma ultrapassagem de valor-limite, se forem aplicados os parâmetros de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (a longo prazo) e $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (a curto prazo) que preva-

TABELA 6: CONCENTRAÇÃO DA POLUIÇÃO DE SO₂, MEDIDA NAS ESTAÇÕES DE MONITORAÇÃO DA REPARTIÇÃO FEDERAL DO MEIO-AMBIENTE

Local	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
Waldhof		30	28	20	18	18	21
Brotjacklriegel						9	11
Schauinsland	2	3	3	7	7	7	10
Deuselbach				17	13	15	20
Westerland				6	6	5	6
Valor médio		16	16	13	11	11	14
(fonte bibliográfica)	(2)	(2)	(4)	(4)	(4)	(5)	(5)

(Valores anuais médios em μg de SO₂ por m³.)

FIGURA 1: ÁREAS DE ÍNDICE DE POLUIÇÃO DE SO₂ A LONGO E CURTO PRAZO NO ESTADO DE RENÂNIA DO NORTE-WESTFÁLIA

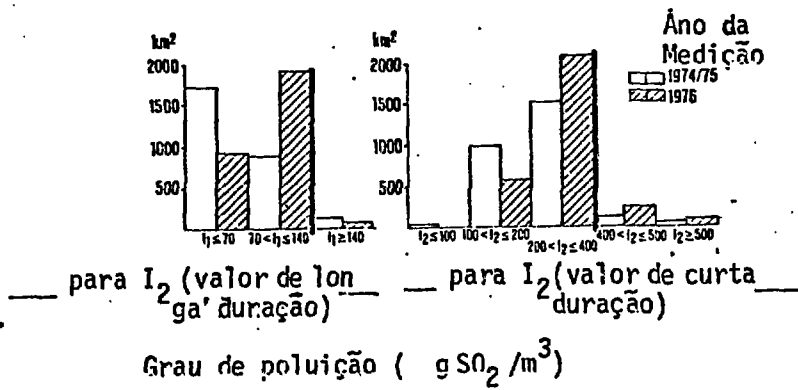
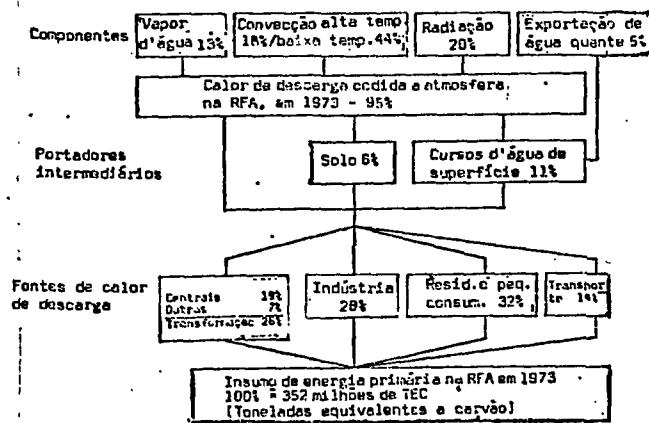


FIGURA 2: BALANÇO DO CALOR DE DESCARGA DA RFA EM 1973



leem para pó total. Não foi considerado, no entanto, conforme observado inicialmente, o teor de componentes especialmente tóxicos misturados ao pó (metais, óxidos de metais, determinados compostos orgânicos).

Neste contexto é significativa a questão presente-mente em evidência acerca do nível de poluição provocado por centrais individuais a carvão de grande porte. Ainda não existem medições da poluição durante vários anos, referentes às centrais termoelétricas modernas. Uma medição deste tipo deve em geral ser muito difícil porque o nível existente de SO_2 é significativamente maior do que a poluição adicional, na maioria das localidades. Com os melhores modelos de dispersão hoje disponíveis, (em parte desenvolvidos no Centro de Pesquisa Nuclear de Karlsruhe) calcula-se para uma central termoelétrica de 700 MWe e emissão de $730 \mu g$ de SO_2 /segundo (i.e., sem diminuição do SO_2 no gás de combustão), um nível médio anual de apenas $3-8 \mu g$ de SO_2/m^3 . Porém, à altura de 250 m de chaminé, utilizada como base neste cálculo, faz com que a distribuição da concentração da poluição em função da distância forme um máximo pouco expressivo entre 3 e 8 km, existindo portanto mesmo à distância de 15 km uma poluição média de cerca de $2 \mu g$ de SO_2/m^3 . Isto exemplifica o tipo de problema de localização, se a poluição for controlada por elevada diluição e se existir uma carga prévia provocada por outras emissões.

Outro problema que, embora não seja novo, e que foi mostrado ultimamente por alguns trabalhos, é a emissão de substâncias radioativas pelas centrais termoelétricas a carvão e linhita. Trata-se de fato, de um problema particular deste tipo de central, já que os componentes radioativos nos derivados de petróleo e nos gases são menores de várias potências decimais. Além disso, as emissões deste tipo são relevantes somente por que as quantidades de carvão consumidas pelas centrais são bastante elevadas. O teor em radionuclídeos naturais (tais como rádio, tório, urânio, potássio-40 e outros) oscilam substancialmente, tendo os cálculos feitos até agora indicado exposições radiológicas de nível bastante divergente. Um trabalho russo [7] indica exposições radiológicas superiores a 100 mrem/a (soma de todas as doses de órgão) para uma central

a carvão de 1000 MWe, enquanto que Bonka e colaboradores [8] encontraram cerca de 70 mrem/a; e Kolb e colaboradores [9], cerca de 60 mrem/a. Certamente, com os valores citados, estes níveis de poluição deveriam ser acessíveis à verificação instrumental. Um trabalho de Sennwitz [10] que tentou determinar a contaminação artificial por rádio nas cercanias de uma central de grande porte, indicou de fato um pequeno aumento da concentração de rádio no solo, na vizinhança de uma central termo-elétrica a carvão/óleo combustível, na faixa de 4-8%, o que corresponderia a uma exposição radiológica adicional de poucos mrem/a.

A fim de esclarecer com cuidado esta questão da exposição radiológica provocada por centrais a combustão de carvão, deveriam ser realizadas logo, medições da concentração na atmosfera de todos os radionuclídeos importantes, e os resultados, correlacionados com o teor de atividade do carvão e do pó emitido. Tais medições forneceria certamente também, informações sobre o comportamento de aerossol das partículas radioativas na nuvem de saída da chaminé, o que constitui até hoje, ainda, um problema amplamente não-esclarecido.

3. Substâncias poluentes provenientes da conversão da energia nuclear

3.1 Poluição provocada pelas usinas individuais

No setor da conversão da energia nuclear são importantes, como fontes de emissão de substâncias radioativas, somente as centrais nucleares e as usinas de reprocessamento. As pequenas emissões das demais instalações do ciclo do combustível nuclear (fabricas de elementos combustíveis, depósitos de rejeito) podem ser desprezadas para os objetivos deste relatório. Nas centrais nucleares trata-se muito preponderadamente dos gases nobres radioativos, xenônio e (em menor escala) criptônio, divergindo a composição dos diversos isótopos destes gases de uma instalação para a outra. São predominantes os isótopos Xe-133 e Kr-85, dependendo as respectivas quantidades emitidas significativamente da concepção técnica do

sistem de ventilação da respectiva central. Além disso deverá ser citado o rádio-iodo (I-131) que pode provocar via o ciclo, pasto-vaca-leite, a exposição radiológica da tiroide.

Representando as centrais nucleares (ao contrário das centrais termoeletricas convencionais) um sistema fechado, as emissões dos radionuclídeos citados são pequenas. Estas emissões resultam somente por providências técnicas de processo, referente à manutenção da subpressão no edifício do reator e à purificação do arrefecedor. Na tabela 8 são relacionados os valores oficiais da exposição radiológica nos arredores das centrais nucleares por substâncias poluentes suspensas no ar. [11]

A este respeito cumpre ressaltar o seguinte: usualmente, estes dados dosimétricos são comparados com a exposição radiológica natural, provocada por fontes radioativas naturais. Como se sabe, estamos sujeitos a uma exposição radiológica natural que, no território alemão, é de cerca de 110 mrem/a em média. Os valores numéricos relacionados na tab. 7 representam, porém, valores máximos calculados pessimamente que apenas poderiam ocorrer se a respectiva pessoa permanecer sempre no local de incidência mais desfavorável, na vizinhança da central, ao relento. Na realidade, os valores da exposição radiológica são portanto menores, por um fator significativo. Somente o valor realístico, corrigido para baixo, seria comparável com a exposição natural "efetiva". Isto é válido principalmente para a exposição radiológica pelo I-131, que contém além disso, coeficientes pessimistas de transferência, no cálculo. Os dados publicados pelo Ministério Federal do Interior deveriam portanto ostentar o sinal de "menor que".

Observação similar prevalece para a exposição radiológica provocada pelas substâncias radioativas emitidas com a água de descarga das centrais nucleares (tab. 8).

No caso das usinas de reprocessamento, as condições são nitidamente diferentes daquelas das centrais nucleares. Inicialmente cumpre ressaltar que as emissões de substâncias poluentes suspensas no ar contém radionuclídeos completamente diferentes, ou

TABELA 7: EXPOSIÇÃO RADIOLÓGICA PROVOCADA PELA EMISSÃO DE SUBSTÂNCIAS RADIOATIVAS JUNTO COM O AR DE DESCARGA DAS CENTRAIS NUCLEO-ELETRICAS (1975)

Central Nuclear	Exposição radiológica máxima ¹⁾ (mrem/a) por ingestão				Exposição radiológica média da tireoide (mrem/a) da população através da submersão gama, no raio de... a ... Km	
	Submersão gama (dose de corpo inteiro)	Submersão beta (dose da pele)	I-131 (ti- roide, cri- ança peque- na) 2)	C-14 (corpo inteiro, criança pe- quena)	0 a 3 km	0 a 20 km
Kahl	< 0,2	< 0,1	< 1	< 0,01	< 0,003	< 0,001
Gundremmingen	< 1	< 0,2	< 30	< 0,04	< 0,04	< 0,004
Lingen	< 5	< 0,5	< 80	< 0,01	< 0,2	< 0,02
Obrigheim	< 0,7	< 2	< 50	< 0,4	< 0,02	< 0,003
Stade	< 0,03	< 0,03	< 3	< 0,08	< 0,001	< 0,001
Würgassen	< 0,06	< 0,03	< 0,08	< 0,2	< 0,002	< 0,001
Biblis A	< 0,02	< 0,03	< 1	< 0,1	< 0,001	< 0,001

1) Calculada para o ponto de incidência mais desvantajoso

2) Hipótese de um consumo de leite de 0,8 litros/dia, de uma vaca pastando durante a respectiva época sempre no ponto de incidência mais desvantajoso bem como, que todo o iodo esteja disponível na forma elementar.

**TABELA 8: EXPOSIÇÃO RADIOLÓGICA PROVOCADA PELA EMISSÃO DE SUBSTÂNCIAS RADIOATIVAS JUNTO
COM A ÁGUA DE DESCARGA**

Central nuclear	Exposição radiológica máxima de corpo inteiro (mrem/a) para indivíduos atraves				Exposição radiológica média da população (mrem/a) corpo inte ro, total 2)
	água potável	peixe	outros alimentos ¹⁾	total ²⁾	
Kahl	< 0,01	< 0,05	< 0,01	< 0,05	< 0,01
Gundremmingen	< 0,04	< 0,6	< 0,1	< 0,8	< 0,07
Lingen	< 0,01	< 0,05	< 0,01	< 0,06	< 0,01
Obrigheim	< 0,03	< 1,2	< 0,1	< 1,4	< 0,06
Stade	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Würgassen	< 0,01	< 0,04	< 0,01	< 0,06	< 0,01
Biblos A	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

1) Leite, carne e produtos vegetais.

2) Inclusive nadar, andar de barco, permanecer nas margens.

seja, somente aqueles de longa vida pois a atividade dos núclídeos de vida curta já decai para valores insignificantes no combustível irradiado, entre a data da retirada do mesmo da central nuclear e o início da operação de reprocessamento. Por outro lado deverão ser feitas distinções entre as usinas menores, em geral antigas e as usinas de grande porte, conforme estão agora pela primeira vez em construção ou na fase de planejamento. Enquanto as emissões de atividade no caso das centrais nucleares, não é de modo algum, proporcional à potência, existe no caso das usinas de reprocessamento, uma correlação linear entre a quantidade de combustível reprocessada e a atividade emitida. Isto significa que as usinas de reprocessamento de grande porte, com capacidade de mais de 1000 t de urânio por ano, requerem instalações complexas de purificação do ar e gás de descarga. Existindo entre os dados de projeto para sistemas de gás de descarga e os valores reais de experiência para as emissões de substâncias poluentes grandes diferenças no caso das centrais nucleares, no sentido de que todos os valores de experiência estão situados em nível significativamente mais baixo, poderá ser esperado o mesmo também para as usinas de reprocessamento de grande porte.

No caso das emissões radioativas suspensas no ar mais importantes quantitativamente, trata-se dos radionúclídeos H-3, Kr-85, C-14 e I-129, cujos fatores de emissão são relacionados na tabela 9 para uma usina de reprocessamento de grande porte com capacidade de 1400 t de urânio por ano. A exposição radiológica provocada por esta emissão de radionúclídeos pode ser indicada em função do local (conhecidos os fatores de dispersão e retenção), mantendo-se na redondeza mais próxima, em nível inferior ao das centrais nucleares e nitidamente inferior ao valor-limite do regulamento de Proteção Radiológica de 30 mrem/a.

Resumidamente deverá ser constatado, portanto, para instalações nucleares de grande porte (centrais nucleares e usinas de reprocessamento) que as mesmas, ao contrário das centrais a carvão de grande porte, cujas emissões de SO₂ em primeira aproximação, duplicam o nível natural de substâncias poluentes, acrescen

**TABELA 9: EMISSÕES ANUAIS DE UMA USINA DE REPROCESSAMENTO DE
1500 t DE UO₂/ANO**

Isótopo	Meia-vida (anos)	Emissão Anual com ar (Ci/a)
H-3	12,3	3.10 ⁵
Kr-85	10,7	8.10 ⁵
C-14	5,37.10 ³	9.10 ²
I-129	1,7.10 ⁷	4.10 ⁻¹
Sr-90	28,1	3.10 ⁻¹
Co-60	5,2	-
Ru-106	1,0	5.10 ⁰
Cs-134	2,05	2.10 ⁰
Cs-137	30,0	1.10 ⁰
Pu-241	14,9	1.10 ⁻¹
Outros isótopos de Pu		6.10 ⁻³
Outros nuclídeos transurânicos		1.10 ⁻¹

Condições-limite:

- 1) O reprocessamento de 1.500 t de UO₂/ano corresponde à capacidade instalada de 50 GWe de LWR
- 2) Emissões de acordo com a prática operacional das usinas de reprocessamento de hoje; podendo ser conseguidas no futuro, retenções melhores de Kr-85, H-3, I-129, etc.

tam no máximo um por cento (em média, menos do que um por mil), a exposição radiológica natural.

3.2 A poluição a prazo mais longo provenientes das instalações nucleares

A pergunta justificada acerca da poluição do meio-ambiente a prazo mais longo prevista na hipótese de uma ampliação progressiva da utilização da energia nuclear, está correlacionada com as longas meias-vidas de alguns dos radionuclídeos já citados, ou seja, trítio, Kr-85, C-14 e I-129.. Destacando-se por um lado, a possível acumulação destes nuclídeos na biosfera, deverão ser levados em consideração, por outro lado também, os radionuclídeos naturais, que possuem na sua maioria, igualmente, meias-vidas muito longas (existindo ainda na natureza justamente por causa disso), e que ocupam há milhões de anos o seu lugar nos ciclos globais das substâncias poluentes. As substâncias-traço não radioativas (p.ex. Ni, Pb, etc.) possuem em princípio, meias-vidas "infinitamente longas". Portanto, se forem consideradas válidas, as exposições naturais como grandezas de referência, meias-vidas longas dos radionuclídeos emitidos certamente não constituem aspecto novo. Poderão constituir fato novo, apenas a necessidade de analisar os ciclos globais das substâncias poluentes, o que, porém representa no âmbito da pesquisa não nuclear do meio-ambiente, há muito tempo um tópico intensivamente explorado.

Os estudos sobre exposição radiológica provocada por radionuclídios de longa vida deverão ser realizados portanto sempre em âmbito global. As análises regionais ou nacionais fornecem somente, constatações parciais. No relatório [12] da Comissão Científica das Nações Unidas sobre os Efeitos da Radiação Atômica (sigla UNSCEAR), são confrontados os "Global Dose Commitments" das diversas fontes de radiação, sendo esta grandeza sempre expressa em termos de tempo de exposição à radiação natural que causaria o mesmo "Dose Commitment" (tabela 10). Por este conceito calcula-se a exposição radiológica teórica total, provocada por uma fonte de

TABELA 10: "GLOBAL DOSE COMMITMENTS" DAS VÁRIAS FONTES DE RADIAÇÃO (UNSCEAR)

	"Global dose Commitments" (dias)a)
Um ano de exposição às fontes naturais	365
Um ano de viagens aéreas comerciais	0,4
Uso da produção de um ano, de fertilizante de fosfato, à taxa da produção atual	0,04
Produção global durante um ano, de energia elétrica, pelas centrais termoeletricas a carvão, presentemente instaladas em âmbito global [10 ⁶ MWe]	0,02
Exposição durante um ano, aos produtos de consumo emissores de radiação	3
Produção durante um ano, de energia nucleoeletrica, ao nível da capacidade presente instalada em âmbito global [8.10 ⁴ MWe]	0,6
Um ano de explosões nucleares, à taxa média do período de 1951-1976	30
Utilização durante um ano, da radiação para diagnósticos médicos	70

a) O "global dose commitment" é indicado com o tempo de exposição da população mundial à radiação natural que causaria a mesma dose radiológica, estando incluída a contribuição ocupacional.

radiação k , para a população analisada, ao longo de todo o tempo, de acordo com a seguinte fórmula:

$$S_k^c = \int_0^{\infty} S_k(t) dt$$

$$\text{com } S_k = \sum_j D_{k,j} N_j$$

sendo: S_k = taxa dosimétrica coletiva

$D_{k,j}$ = taxa dosimétrica individual da fonte k e do grupo j

N_j = quantidade de pessoas no grupo j

O conceito proporciona porém, apenas uma base para fins de comparação entre diferentes fontes emissoras, durante períodos longos. É significativo porém que o "dose commitment" para o tráfego aéreo mundial seja comparável àquele da utilização da energia nuclear. Na forma da dose individual, Kelly, Bryant e outros [13] calcularam a exposição prevista nos anos de 1985 e 2000, na Comunidade Européia, para os nuclídeos citados, indicando separadamente a exposição direta e aquela provocada pelos ciclos globais (tab. 11). Os cálculos foram realizados com base em uma capacidade nuclear instalada de cerca de 700 GWe no ano de 2000, com fatores de retenção muito baixos de 99% para I-129; 75% para trítio e liberação integral para Kr-85 e C-14. Apesar disso, os resultados indicam somente uma exposição radiológica de cerca de 1% da exposição natural e de 0,05% do valor-limite da Comissão Internacional de Proteção Radiológica para a exposição radiológica genética. Na realidade, estes valores deverão atingir, níveis ainda menores, pois fatores de retenção melhores serão obtidos pelo progresso tecnológico.

4. Comparação da poluição atmosférica provocada por centrais a carvão e nucleares

As comparações da poluição atmosférica podem ser realizadas por três caminhos diferentes.

TABELA 11: DOSES MÉDIAS PROVOCADAS PELA EMISSÃO PREVISTA DE
Kr-85, H-3, C-14, I-129 (CEE)

Ano		Incorporação	Externa	Total
1985	A	0,018	0,001	mrem/a 0,019
2000		0,073	0,004	0,077
1985	B	0,003	0,003	0,005
2000		0,022	0,014	0,036

A - Dose média para um grupo regional da população dentro de um raio de 1000 km da usina de reprocessamento (caminho atmosférico)

B - Dose média de toda a população da CEE, provocada pela circulação global de substâncias poluentes.

Primeiro, através do cálculo da poluição relativa, baseado em um balanço anual das substâncias poluentes com o auxílio de um modelo celular [14]. Neste caso resulta uma razão de cerca de 1:100 a favor da energia nuclear, se for considerado o estágio atual da técnica de retenção para gases nobres (FR = 99% para Kr-85) e da desulfuração do gás de combustão (FR = 80% para SO₂) (tabela 12).

Segundo, calculando o volume de diluição necessário para reduzir a quantidade de substâncias poluentes emitida anualmente por uma central padrão, com o auxílio de ar puro, para os valores-limite da Norma Técnica para Ar da Lei Antipoluição, ou aquelas da Lei Atômica. Neste caso resulta uma razão de cerca de 1:1000 a favor da energia nuclear (tab. 12):

Terceiro, pode-se calcular a proporção entre a poluição provocada por centrais individuais e o nível natural das substâncias poluentes ou respectivamente, a exposição radiológica natural. Resulta aqui, que as centrais à combustão de carvão duplicam aproximadamente, o nível natural de SO₂, enquanto as centrais nucleares provocam apenas alguns porcentos da exposição radiológica natural. Cumpre assinalar porém que o nível natural das substâncias poluentes não constitui medida para o perigo à saúde, ficando assim ignorada nesta comparação, o efeito nocivo das substâncias poluentes.

Ainda não foram realizadas comparações da poluição das águas, porque as centrais à combustível fóssil por sua vez não provocam nenhuma poluição significativa. Unicamente por ocasião de obtenção, beneficiamento e transporte das fontes fósseis de energia ocorrem poluições deste tipo. Por outro lado, é pequena a poluição da água pelas centrais nucleares, tanto em termos absolutos quanto relativamente à poluição já existente (vide a tab. 8).

5. Calor de descarga

Seja dito mais uma vez neste contexto, que o calor de descarga (também denominado calor de rejeito ou calor perdido) ocorre em cada conversão de energia, independentemente da fonte ener

TABELA 12: COMPARAÇÕES ENTRE CARVÃO E ENERGIA NUCLEAR

Poluição relativa¹⁾, se toda a energia elétrica na RFA fosse gerada em

- Centrais termoeletricas a carvão, com 2,75 kg de SO ₂ /MWh (dessulfuração parcial do gás de combustão), ou	$S_r = 1,8$
- Centrais a LWR inclusive reprocessamento (purificação de 99% dos efluentes gasosos)	$S_r = 0,007$
Volume total de diluição para reduzir as emissões anuais de substâncias poluentes até a concentração admissível	(m ³ /ano)
- Central a carvão, com 600 MWe; 2,75 kg SO ₂ /MWh	$\dot{V}^* = 1,8 \cdot 10^{14}$
- Centrais a LWR, BWR de 600 MWe	$\dot{V}^* = 7,4 \cdot 10^{10}$

1) Segundo o modelo celular

gética. As quantidades de calor de descarga a serem removidas ocorrem portanto, sempre onde energia primária (ou energia útil) é convertida, i.e., não só nas centrais elétricas. A fim de poder apresentar o calor de descarga com perspectiva melhor, convencionou-se distinguir entre os tipos primário (i.e., aquele obtido no setor de transformação, ou seja, centrais e refinarias) e secundário (i.e., aquele dos setores de consumo final) de calor de descarga. Ambos os tipos poluem, afinal das contas, a atmosfera e em proporção menor, as águas de superfície.

Além disso, a emissão de algumas substâncias poluentes obtidas na conversão das fontes fósseis de energia (especialmente o CO_2), provoca, através da alteração do balanço natural da radiação térmica, um aquecimento indireto da atmosfera. Restringimo-nos inicialmente ao calor de descarga direto que se compõe das parcelas de calor de descarga primário e secundário.

Na fig. 2 é apresentado o balanço do calor de descarga na RFA.

Dois fatos deverão ser ressaltados especialmente:

1. A contribuição do calor de descarga primário proveniente das centrais termoelétricas é com cerca de $1/5$, relativamente pequena em confronto com o calor de descarga total. É desvantajoso porém, que esta parcela do calor de descarga é obtida em forma puntual (altamente concentrado). Além disso, esta parcela é bastante constante ao longo do ano e quase irreduzível a curto prazo.
2. A contribuição do calor de descarga secundário proveniente dos setores indústria, residências e transporte eleva-se a cerca de $3/4$ do total do calor de descarga. Esta parcela é emitida em ampla área, e oscila fortemente em função das estações do ano (causando a poluição ambiental), e poderia ser reduzida mais facilmente, através de medidas objetivas.

A parcela preponderante de todo o calor de descarga passa diretamente (e somente em escala menor via solo e cursos d'água) para a atmosfera. Embora a parcela da poluição térmica dos cursos d'água seja de apenas 11%, manifestaram-se aqui pela primeira vez os limites da capacidade de absorção.

5.1 Poluição térmica dos cursos d'água

A poluição térmica dos cursos d'água é produzida principalmente pelo calor de descarga primário proveniente das centrais termoelétricas. Em fins da década de 60 foi reconhecido que existem limites, ou seja, que, com consumo energético crescente, o calor de descarga primário não pode ser absorvido infinitamente pelos cursos d'água de superfície. Valores limites de temperatura baseados nas ciências naturais não estavam disponíveis, mas eram indispensáveis para um planejamento racional. Foi especificado assim, como valor de referência, uma margem máxima de aquecimento de $\Delta T_{\max} = 3K$ e uma temperatura máxima de $\Delta T_{\max} = 28^{\circ}C$ nos cursos d'água (inicialmente para o rio Reno, depois com poucas modificações também para os demais rios). As primeiras estimativas baseadas nestes valores-limite demonstraram que a capacidade refrigeradora dos cursos d'água de superfície na Alemanha estaria situada ao redor de 90 GW de potência de calor de descarga, e que este valor seria alcançado provavelmente nos meados dos anos de 80. Este fato resultou na exigência mais intensa da utilização das torres de refrigeração evaporativas, especialmente nos casos das novas centrais.

Neste meio tempo, a questão da poluição térmica dos cursos d'água provocada pelas centrais termoelétricas foi analisada profundamente. Especialmente nos EUA reconheceu-se que, em cursos d'água limpos, uma margem de aquecimento de 3K não constitui de forma alguma uma barreira intransponível; ocorre mesmo, com temperaturas de $30^{\circ}C$ e mais, que certas espécies de peixe procuram alcançar sempre os caudais de água quente, caso dispuserem ainda de zonas suficientes de refúgio. Além disso foram realizados estudos práticos nos cursos d'água alemães onde, (p.ex. durante o período de calor de 1976 com temperaturas da água de até $30^{\circ}C$) não ocorreram danos reconhecíveis da fauna na água. Os episódios até agora observados, de

uma maior mortandade dos peixes, foram sempre provocados pela poluição química dos cursos d'água. Em certos casos conseguiu-se, mesmo, constatar que, em rios quimicamente poluídos, a introdução da água de refrigeração provocou uma melhoria limitada da qualidade da água, por provocar esta introdução, via de regra, um aumento considerável do teor de oxigênio.

A questão dos valores-limite de temperatura hoje válidos para as introduções de calor de descarga nos rios tornou-se portanto, mais complexa e redundará, conforme se espera, a curto prazo em uma revisão dos critérios de avaliação já ultrapassados.

A questão dos valores-limite de temperatura na água deverá ser avaliada também perante o pano de fundo de uma poupança sócio-econômica e global de energia. Para as centrais termoelétricas de grande porte, a substituição da refrigeração de passagem por torres de refrigeração evaporativas significa:

- um aumento dos custos de geração de energia elétrica;
- uma perda de energia útil (elétrica) para o mesmo consumo de energia primária, e
- ("last not least"), um aumento da quantidade de calor de descarga, para o mesmo consumo de energia primária.

No caso mais desvantajoso, o rendimento líquido de uma central nuclear de grande porte fica reduzido em valor absoluto de 3%, se a refrigeração de passagem for substituída por torres de refrigeração evaporativas. Isso corresponde a uma perda de cerca de 10% da energia útil para o sistema em questão. As estimativas indicam que, na hipótese de uma conversão integral das centrais termoelétricas de hoje para a operação com torres de refrigeração evaporativas, a capacidade instalada total então necessária deveria ser de 7% maior, para a mesma produção de energia elétrica. Para a capacidade instalada efetiva da RFA de cerca de 84 GW, isto corresponderia a

cerca de 6 GW, ou seja, aproximadamente, 5 unidades de central nuclear de grande porte, do tipo Biblis-A:

Em outras palavras: cumpre evitar a substituição apressada da refrigeração de passagem com água fluvial, pelas torres de refrigeração evaporativa. Uma gerência ótima de refrigeração deve assegurar em âmbito regional e em função dos cursos d'água existentes, um aproveitamento racional da capacidade de água de refrigeração dos cursos d'água alemães de superfície, e introduzir a utilização das torres de refrigeração (predominantemente na forma de torre de descarga) somente, onde o curso d'água requeira isso realmente.

É também oportuno, neste contexto, a palavra-chave "gerência dinâmica da refrigeração", i.e., a utilização de métodos para atribuir as várias centrais termoelétricas situadas nas margens do mesmo rio, parcelas da capacidade de refrigeração, orientadas menos em esquemas estáticos de distribuição e fronteiras estaduais do que em condições-limite hidrológicas e meteorológicas. Uma gerência ótima de refrigeração deste tipo é também capaz de reduzir a quantidade de calor de descarga a ser removida, ajudando assim a poupar energia.

5.2 Poluição térmica da atmosfera

A principal poluição térmica, porém, afeta a atmosfera. O balanço do calor de descarga, recém-apresentado, demonstra principalmente que, visto regionalmente, é pequena a parcela emitida pelas torres de refrigeração, importando para todo o território alemão, em cerca de 1/10 de todo o calor de descarga. Os efeitos das torres de refrigeração evaporativas individuais de grande porte já foram determinados através de amplos programas de medição e cálculos de modelo [15],[16]. Os efeitos negativos antigamente temidos tais como, maior formação de neblina, menor tempo de incidência dos raios solares, precipitação mais forte disseminação de germes etc., provaram ser insignificantes:

Uma situação diferente prevalece no tocante ao calor de descarga secundário. Ficou demonstrado, especialmente nos es-

tudos realizados dentro do âmbito do "Projeto Calor de Descarga / Região do Reno Superior" subvencionado pela Repartição Federal do Meio-Ambiente, que as contribuições dos setores indústria, residencial e transporte podem ser significativas no que se refere às condições climatológicas locais. As figuras 3 e 4 mostram diagramas trimencionais típicos do calor de descarga existentes em média anual, em W/m^2 . São alcançados valores de pico de até $30 W/m^2$.

Embora estes valores alcancem localmente já 20-30 % da incidência térmica natural dos raios solares ao nível do solo, a sua influência sobre as condições meteorológicas ainda deveria ser pequena. Conclusões mais precisas, porém, poderão ser tiradas somente, quando estiverem disponíveis os modelos de dispersão em âmbito meso-escalar, presentemente em fase de desenvolvimento. Isto, em conjunto com a grande quantidade de medições realizadas pelo Serviço Meteorológico, constitui o ponto focal do Projeto Calor de Descarga. Um resultado interessante é reproduzido na tabela 13, onde são confrontadas diversas fontes emissoras típicas e mostrada a ordem de grandeza das emissões de calor das empresas com consumo intensivo de energia, bem como, aquelas do transporte.

5.3 CO₂ e clima

Finalmente seja abordado resumidamente o "calor de descarga indireto" ou melhor dito o efeito do CO₂. Estudos acerca deste tópico estão em andamento há bastante tempo. Já nos anos de 60 houve conferências importantes dedicadas a este tópico. Qual é a situação hoje ?

1. Está constatado que o teor de CO₂ da atmosfera cresce continuamente. O nível pré-industrial de cerca de 292 ppm aumentou até agora para cerca de 330 ppm. Desde 1958 são realizadas medições contínuas. A taxa de aumento está situada presentemente ao redor de 1 ppm/ano.
2. A questão ainda debatida há poucos anos, quanto ao tipo da reação que este aumento do teor de CO₂ exer

FIGURA 3: POLUIÇÃO TÉRMICA TOTAL 1973
NA REGIÃO DE BADEN-BADEN.

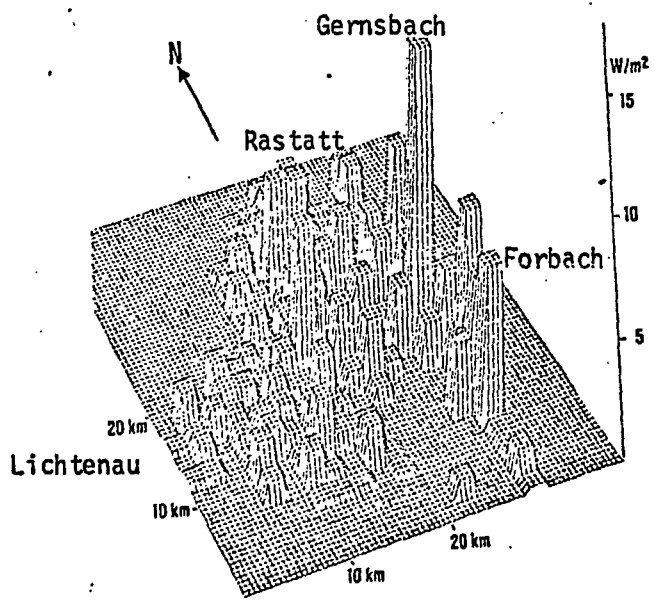
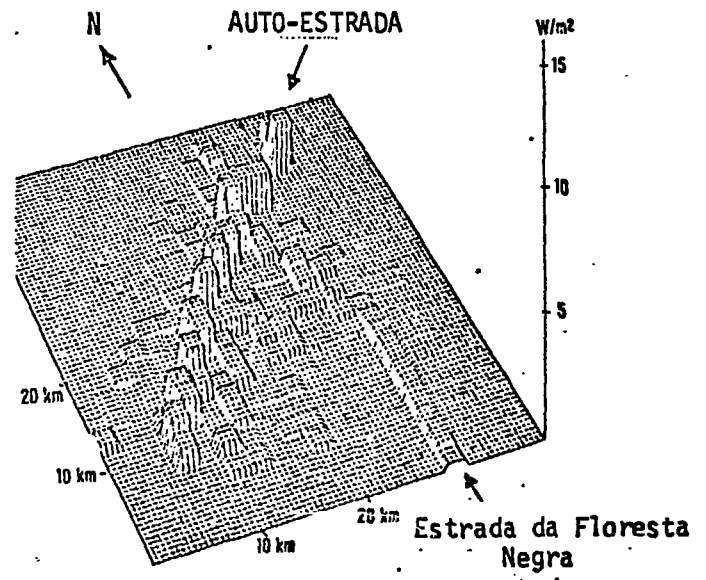


FIGURA 4: EMIÇÃO DE CALOR DE DESCARGA (TRÁFEGO RODOVIÁRIO)
NA REGIÃO DE BADEN-BADEN



RABELA 13: POTÊNCIA DE CALOR DE DESCARGA E DENSIDADE DE POTÊNCIA DE FONTES EMISSORAS TÍPICAS

Fonte emissora	Energia têrmica total emitida por ano (TEC/a)	Área principal de emissão (m ²)	Densidade de potência do calor emiti- do para o ar (W/m ²)
Torre de refrigeração evaporativa de uma central nuclear com 1000 MWe (operação em circuito fechado)	1 800 000	20 000	84 000
Refinaria de petróleo (instalações de processo) processando 5-6 milhões de toneladas de petróleo cru por ano	400 000	100 00	4 000
Fábrica de celulosa e papel produzindo 70.000 t de celulose e 130.000 t de papel por ano	160 000	50 000	2 000
Fábrica de cimento produzindo 800.000 t/a	48 000	80 000	600
Trecho de 1 km do Reno superior, com o aquecimento de 1 K acima da temperatura de equilíbrio	5 000	200 000	23
Trecho de 1 km de "autobahn" com tráfego diário de 30.000 carros de passeio e 7.000 caminhões	2 500	50 000	46
Trecho de 1 km de linha ferroviária principal com 200 trens por dia e 95% de tração elétrica	140	10 000	12
1 km ² no centro de uma metrópole	32 000	1 000 000	30
Residência familiar (4 pessoas)	6	400	14

ce sobre a atmosfera, seja de aquecimento por absorção maior da radiação de ondas longas, ou seja, de resfriamento por efeitos recíprocos com outros componentes da atmosfera (principalmente aerossóis e vapor d'água) é considerada hoje, esclarecida de acordo com a situação de progresso dos modelos. O efeito é, realmente, de aquecimento.

3. A amplitude do aumento postulado da temperatura está em parte ainda em discussão. Alega-se que a duplicação do teor de CO_2 provoque um aumento de cerca de 20K, em média global. Alguns autores indicam valores mais altos. O aumento da temperatura ocorrido até hoje é calculado em 0,49K. Este valor porém, ainda está dentro da faixa das oscilações naturais da temperatura média da atmosfera.
4. O CO_2 é um componente do ciclo global do carbono. Dentro deste ciclo existem incertezas. Isto é significativo para a questão quanto à parcela do CO_2 que seria absorvida a longo prazo pelos reservatórios "oceanos" e "sedimentos", com o prosseguimento da combustão das fontes fósseis de energia. (fig.5)
5. O CO_2 possui um longo tempo de permanência na atmosfera. O tempo de amortecimento para aumentos da concentração do CO_2 é de várias centenas de anos. As reduções da taxa de consumo das fontes fósseis de energia em âmbito mundial não se manifestariam a curto prazo. Mesmo assim estão localizadas aqui as chances mais importantes para enfrentar o problema. De acordo com os cálculos de Zimen [17], o dobro do nível da concentração pré-industrial do CO_2 na atmosfera será alcançado até aproximadamente o ano de 2030, com a taxa de crescimento atualmente existente no consumo das fontes fósseis de energia, de 3,5% por ano. Deverá ser levado em consideração porém, que ou

FIGURA 5: CICLO DO CARBONO

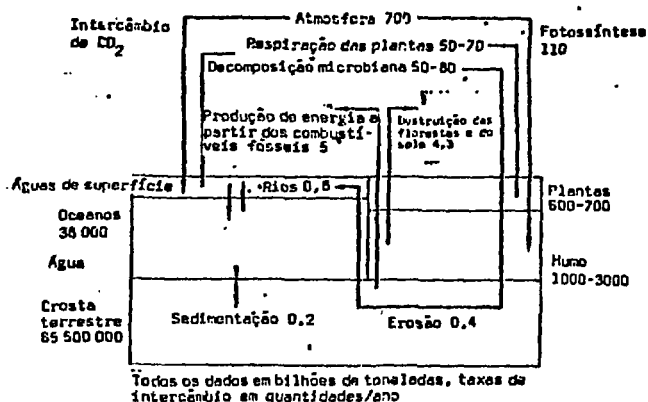
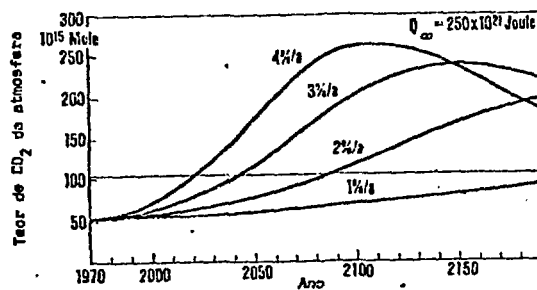


FIGURA 6: EMIÇÃO DE CO₂ PARA 4 TAXAS ALTERNATIVAS DE CRESCIMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA



tros componentes do ar tais como, óxidos nitrosos, fluo-cloro-hidrocarbonetos etc., atuam no mesmo sentido como o CO_2 , ocorrendo o efeito portanto provavelmente em data mais próxima. Além da limitação do consumo das fontes fósseis de energia, em âmbito mundial, cumpre evitar a destruição de amplas áreas de floresta (especialmente nas zonas tropicais), pois aqui são fixadas quantidades substanciais de CO_2 , por processo de fotossíntese. (fig. 6)

6. Na questão das consequências de um aumento da temperatura existem as maiores incertezas. 2-3 graus são uma diferença muito grande, se for levado em consideração que a temperatura de 5 graus negativos já causou a última época glacial há 10.000 anos. São discutidos presentemente as seguintes consequências:

Devido as camadas superficiais, então mais quentes, dos oceanos, deveria subir o nível do mar, dificultando assim o intercâmbio com as camadas mais profundas. Isto aceleraria o aumento do teor de CO_2 , pelo fato de que menos CO_2 seria fixado nos sedimentos. Além disso ocorreria um deslocamento em direção aos polos das zonas climáticas, e junto com as mesmas, das regiões de plantação agrícola. Também haveria um deslocamento das zonas de precipitação, com consequências correspondentes para o suprimento de água potável. Os desertos ampliar-se-iam. Haveria interferências com os processos atmosféricos, correlacionados com vapor d'água, de depuração em relação às substâncias poluentes, em âmbito regional.

7. Na realidade, ainda não foi esclarecido quantitativamente, o efeito do aumento do teor de CO_2 . A questão da interrelação entre este aumento e o consumo das fontes de energia fóssil por um lado, e do aumento da temperatura da atmosfera resultante disso por outro lado, deve ser considerada contudo, fundamentalmente esclarecida.

6. Observação final

Na elaboração desta palestra recebi, de uma série de colegas especialistas do Centro de Pesquisas Nucleares de Karlsruhe, da Pesquisa de Mineração, da KWU, da indústria petrolífera, assistência na forma de indicações e dados. Quero aproveitar a oportunidade de agradecer-lhes cordialmente.

Bibliografia

- [1] G. Haury, W. Schikarski, E. Thöne, „Zusammenstellung der in der Bundesrepublik Deutschland durch die Erzeugung und den Verbrauch von Energie bedingten Auswirkungen auf die Umwelt und der legislativen und technischen Maßnahmen zu ihrer Verminderung“, KFK 2103 UF (1974).
- [2] „Umwelt und Energie“, Umweltbrief Nr. 9 des BMI (1974).
- [3] H. J. Löblich, „Schwefeldioxyd, Immissionen in Stadt- und Landkreisen, Prognosen bis 1980“, (1977).
- [4] S. Jordan, W. Schikarski, „Evaluation of radioactive and non-radioactive trace constituents emitted from fossil-fuel and nuclear power plants“, Symp. Env. Behaviour of Radionuclides released in the Nucl. Ind., Aix-en-Provence, France, IAEA, SM 172/20 (1973).
- [5] ECE-Seminar on „Fine Particulates“, Villach, Österreich (1977).
- [6] Landesanstalt für Immissionsschutz, Essen, Heft 41 (Immissionsüberwachung in NRW) (1977).
- [7] L. A. Ilyin, V. A. Knizhnikov, R. M. Barkhudarov, „A Relative Risk Estimation of Excessive Frequency of Malignant Tumors in Population due to Discharges into the Atmosphere from Fossil-Fuel and Nuclear Power Stations“, Int. Rad. Prot. Ass. Congress, Paris (1977).
- [8] P. Schmidlein, H. Bonka et al., „Vergleich der Strahlenexposition durch Emissionen aus konventionellen und kerntechnischen Anlagen“, Reaktortagung Hannover (1977).
- [9] atomwirtschaft 23, K & U, S. 1 (März 1978).
- [10] M. Sennwitz, „Radiumkontamination des Erdbodens durch zivilisatorische Einflüsse“, Diplomarbeit, Universität Karlsruhe (1975).
- [11] „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“, Jahresbericht 1975 des BMI.
- [12] „Sources and Effects of Ionizing Radiation“, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), Bericht 1977.
- [13] G. N. Kelly, J. A. Jones, P. M. Bryant, F. Morlay, „The predicted radiation exposure of the population of the EC resulting from discharges of Kr-85, H-3, C-14, I-129 from the nuclear power industry to the year 2000“, Doc. V/2676/75, CEC (1975).
- [14] W. Schikarski, „Möglichkeiten und Grenzen vergleichender Modelluntersuchungen am Beispiel der Umweltbelastung durch Kraftwerke“, in Technikfolgen-Abschätzung (Hrsg. H. Haas), Verlag Oldenburg (1975).
- [15] G. Ernst, G. Dibelius et al., „Untersuchungen an einem Naturzug-Naßkühlturm“, VDI-Fortschrittsbericht 15 Nr.5 (1974).
- [16] „Allgemeine Abwärmeprobleme bei Wärmekraftwerken“, Bericht 76-1 der Abwärmekommission (1976).
- [17] K. E. Zimen et al., „Source functions of CO₂ and future CO₂ burdens in the atmosphere“, Dählern-Konferenz „Global Chemical Cycles and their Alterations by Man“, Berlin (1976).