

IPEA/INPES
Serv. de
Documentação

TEXTOS PARA DISCUSSÃO
GRUPO DE ENERGIA
Nº XVIII

"Impactos Ambientais Decorrentes da Produção do Carvão Mineral - Uma Abordagem Quantificada".

Sérgio Margulis

Dezembro de 1983

Impactos ambientais decorrentes da
produção do carvão mineral



RJF0227/84

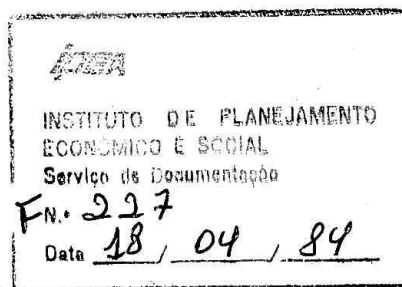
IPEA - RJ

IPEA
17-83

Tiragem: 100 exemplares

Trabalho elaborado em : Setembro de 1983

Instituto de Pesquisas do IPEA
Instituto de Planejamento Econômico e Social
Avenida Presidente Antonio Carlos, 51 - 130/170 andar
20020 Rio de Janeiro RJ
Tel.: (021) 210-2423



Este trabalho é da inteira e exclusiva responsabilidade de seu autor. As opiniões nele emitidas não exprimem, necessariamente, o ponto de vista da Secretaria de Planejamento da Presidência da República

S U M Á R I O

	pg
I - INTRODUÇÃO.....	01
I.1 - Objetivos e Organização do Trabalho.....	01
I.2 - Aspectos Teóricos.....	10
I.3 - Revisão Bibliográfica.....	22
I.4 - Sumário e Principais Conclusões.....	26
II - ANÁLISE QUALITATIVA DOS ASPECTOS AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO E NO TRANSPORTE DO CARVÃO MINERAL.....	31
II.1 - Mineração.....	31
II.2 - Beneficiamento.....	37
II.3 - Disposição dos Rejeitos do Beneficiamento.....	39
II.4 - Transporte e Estocagem.....	42
II.5 - Saúde dos Mineiros.....	47
III - LEVANTAMENTO DA SITUAÇÃO BRASILEIRA.....	56
III.1 - Meio-Ambiente.....	56
III.2 - Impactos nas Comunidades Urbanas Locais.....	85
IV - AVALIAÇÕES QUANTITATIVAS.....	89
IV.1 - Mineração a céu aberto com recuperação paralela.	92
IV.2 - Beneficiamento.....	95
IV.3 - Recuperação das áreas cobertas com rejeitos (po- luição já gerada).....	97
IV.4 - Recuperação e controle da saúde e segurança dos mineiros.....	100
IV.5 - Análise dos resultados.....	105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111

AGRADECIMENTOS

Este trabalho baseou-se em grande parte nas informações obtidas em visitas locais e contatos pessoais com diversos técnicos e instituições. Gostaria de agradecer particularmente a Airton Maia, da IESA, a Ronaldo Graça Couto, da ECP, a José Euber Araújo da SEMA, a Adhyles Bortot, da FATMA/SC, a João Carlos Leusin, da CRM, a Slawomir Piatnicki e Sonia Martinelli, da CIENTEC/RS, a Vera Beatriz Valls, da Secretaria da Saúde e do Meio-Ambiente do Rio Grande do Sul e ao Dr. Albino José Filho, do Hospital São José, de Criciúma.

No âmbito interno do INPES, além da equipe do Grupo de Energia que emitiu opiniões e comentários nos seminários, agradeço a Lauro A. Ramos, Nuno Duarte Bittencourt, Armando Castelar, Newton Castro, Aloísio Araújo e Eustáquio Reis. Agradecimento particular ao Michal Gartenkraut por ter revisto o trabalho e apresentado inúmeras sugestões, a maioria delas aqui incorporadas.

Meu agradecimento ao Octávio Tourinho vai além da paciência de algumas revisões sempre cheias de sugestões. As discussões que freqüentemente extrapolaram o âmbito do trabalho foram certamente vitais para sua execução. A parte teórica, Seção I.2, deve ser no mínimo considerada como tendo sido feita em co-autoria e posso tranqüilamente lhe creditar as principais "sacadas".

Finalmente, agradeço a Wilma Bomfim Pereira que suportou o vai-e-vem de inúmeras modificações na forma do trabalho e ainda caprichou na sua apresentação final.

IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DA PRODUÇÃO DO CARVÃO MINERAL

- UMA ABORDAGEM QUANTIFICADA

I - INTRODUÇÃO

I.1 - OBJETIVOS E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Os impactos ambientais decorrentes do aproveitamento do carvão mineral se dão em quase todas as etapas do seu ciclo, que são basicamente três: mineração e beneficiamento (produção); transporte e estocagem; e seu uso final (consumo). O objetivo deste trabalho é fazer uma descrição qualitativa básica e uma avaliação econômica destes impactos, tentando identificar a parcela dos custos de produção do carvão concernentes às externalidades de degradação do meio ambiente. Salientamos que foram quantificados apenas os aspectos da produção do carvão, procedimento que será justificado posteriormente.

O valor dessas externalidades só pode ser conhecido uma vez quantificados aspectos como o valor da saúde das pessoas, o custo da redução da piscosidade, da degradação da qualidade do ar e das águas, dos aspectos estéticos, etc. Pela própria natureza destes problemas, fica clara a dificuldade de quantificá-los, sendo natural que este assunto cause certa polêmica na literatura.

A motivação para adotarmos também uma abordagem quantificada está intimamente ligada à existência, no próprio Inpes, de um modelo matemático de oferta de carvão mineral, adiante resumi

do (para maiores detalhes ver Modiano e Tourinho [21]). Nossa idéia básica é alimentar este modelo com as informações sobre o meio ambiente, obtendo-se uma medida do valor das externalidades de degradação ambiental.

Sumariamente, o modelo é de otimização, sendo dinâmico, setorial e regional, tentando descrever a relação entre mineração, beneficiamento, transporte e uso final do carvão, permitindo uma avaliação integrada da escolha de processos, localizações e capacidades para estas atividades, ao longo de vários períodos de planejamento. No módulo de mineração aparecem as diversas técnicas conhecidas, que dividem-se basicamente em subterrâneas e a céu aberto. O módulo de beneficiamento admite os dois principais métodos utilizados, jig e meio-denso, e fornece os diferentes tipos de carvões a serem produzidos em cada lavador⁽¹⁾. O módulo de transporte consiste de uma rede que liga os centros produtores aos portos e estes aos centros consumidores. O módulo de consumo consiste essencialmente do conjunto de indústrias consumidoras de carvão, em cada uma das regiões do modelo.

(1) O carvão bruto minerado (chamado ROM - run of mine) precisa ser separado das substâncias não carbonosas que vêm junto na lavra. O beneficiador consiste basicamente de um tanque de água (JIG) ou de um líquido de densidade intermediária entre a da matéria carbonosa e a das substâncias minerais do ROM (meio denso). Seu objetivo é então o de separar o carvão dos inertes; quanto mais intenso for este beneficiamento (ou lavagem) o carvão fica mais isento de cinzas e, portanto, com maior poder calorífico. A parte nobre do beneficiamento é a flutuante, enquanto que o afundado consiste de substâncias minerais com alto teor de Enxofre e Ferro que tornam-se um dos principais poluentes nesta etapa do ciclo do carvão. A fração nobre pode conter diferentes teores de cinzas, que é como são classificados os carvões. Estes carvões são então embarcados para os centros consumidores, geralmente por via férrea ou marítima.

O modelo tem então definidos um conjunto de indústrias consumidoras, de regiões consumidoras, de portos de embarque e/ou desembarque, de rotas de transporte, de minas e lavadores e tem como input exógeno uma matriz de demandas energéticas por consumidor e por região. Sua função objetivo é a de minimizar os custos para atender esta demanda. As restrições básicas são de capital, tecnológicas e de capacidade de expansão dos portos, minas e lavadores.

A solução ótima é alcançada determinando-se a ordem ótima de entrada das minas, os volumes a serem produzidos, os tipos de carvões que devem ser produzidos em cada lavador e qual a rede ótima de distribuição destes carvões, sendo permitido o consumo de óleo combustível para o atendimento de uma parcela da demanda, caso se mostre competitivo.

A alimentação deste modelo com dados do meio ambiente pode produzir diferentes alterações na solução ótima; dentre as principais estão as alterações na rede de distribuição dos carvões para os centros consumidores, os volumes ótimos a serem minerados e/ou beneficiados de cada tipo de carvão, além da alteração no total a ser gasto na produção e no beneficiamento do carvão. Outras variações poderão ocorrer, como o investimento total a ser feito nos portos, o custo marginal da gigacaloria consumida por determinada indústria em determinada região, etc., mas como só tratamos quantitativamente dos problemas ocorrentes na produção do carvão, estes últimos e outros aspectos não diretamente ligados à produção tornam-se menos interessantes para nossa análise.

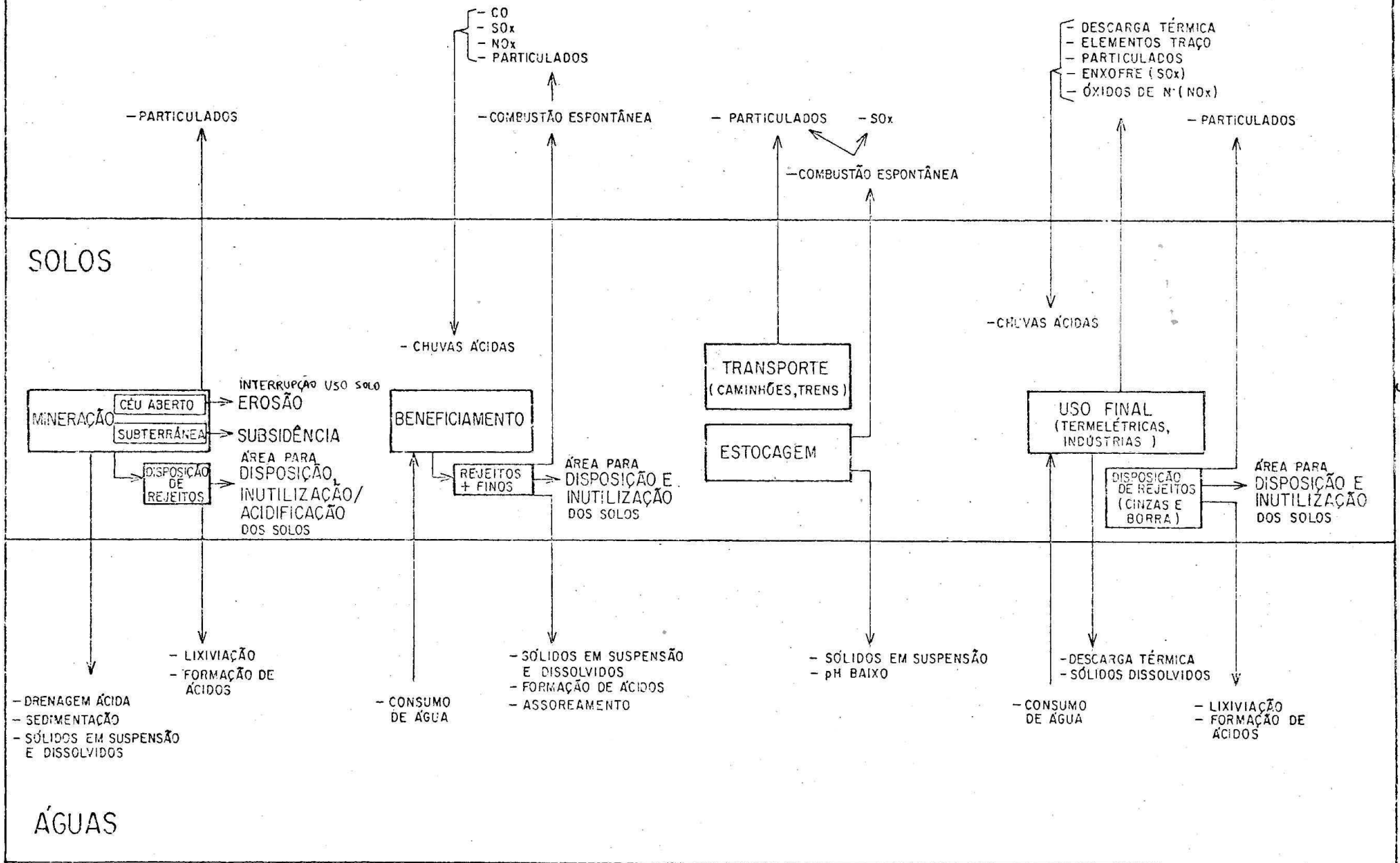
Uma introdução aos problemas ambientais ocorrentes pode ser visualizada no diagrama 1 que se segue, onde são apontados os principais focos de poluição atmosférica, hídrica e dos solos ao longo de todo o ciclo do carvão. O diagrama é essencialmente baseado na referência |7| do Office of Technology Assessment do Congresso americano.

Um importante aspecto da poluição que deve ser mencionado refere-se àquela gerada dentro das próprias minas, notadamente a do ar das minas subterrâneas. Esta poluição atinge unicamente os mineiros que, como consequência, ficam sujeitos a graves problemas de saúde. Em função disso, dedicamos uma parte deste trabalho a apresentar as principais questões de saúde que afetam os trabalhadores das minas de carvão, tentando inclusive imputar uma medida do custo social gerado por estas questões. Cabe ressaltar ainda que seria extremamente difícil quantificar as questões de saúde dos mineiros independentemente das questões de segurança destes trabalhadores, no sentido do risco de acidentes que incorrem, razão pela qual elas são tratadas conjuntamente⁽²⁾. Ademais, é perfeitamente justificado encarar as questões de segurança de trabalho como afetadas de meio-ambiente, procedimento encontrado em várias referências internacionais (ver, p.ex., ref. |7|, |22|, |23|, |31| e |33|). Entretanto, não nos detemos em analisar qualitativa-

(2) Como é fácil depreender, a mineração subterrânea é classificada pela própria legislação trabalhista como uma das atividades profissionais que maior risco oferecem ao trabalhador-ver referência |5|.

AR

DIAGRAMA 1



mente estas questões de segurança dos trabalhadores. A quantificação destes aspectos entram, evidentemente, no módulo de produção do carvão.

Como mencionado no início do trabalho, são quantificados apenas os custos relacionados à produção do carvão. A não inclusão dos custos relacionados ao transporte e estocagem deve-se basicamente ao fato de serem de muito baixa monta. Quanto ao consumo ou uso final, não são quantificados por uma série de motivos. O primeiro deles tem uma origem "histórica", no sentido de que a poluição do carvão no Brasil é, atualmente ainda, muito mais grave nos locais de produção do que nos de consumo. Entre outras razões, isto deve-se ao fato de que o consumo é disperso mas a produção é muito concentrada. Ademais, os problemas de poluição no consumo são extremamente dependentes das condições locais, a nível da micro-localidade e a nível da escala do consumidor. Assim, uma siderúrgica que seja a única indústria instalada (e com perspectivas de assim permanecer) numa determinada região pode implicar custos de controle completamente distintos dos que se estivesse instalada numa área industrial saturada. A escala da indústria também é fundamental, uma vez que existe um nível de produção mínimo a partir do qual os problemas ambientais demandam algum tipo de controle. Adotando-se a legislação nacional como o padrão aceitável de qualidade do meio-ambiente e sabendo que ela não se baseia em padrões de emissão, as condições meteorológicas e/ou as condições da bacia hidrográfica adjacente, além da proximidade ou não de centros urbanos, são fatores que tem forte influência nos cus-

tos de controle. Finalmente, o modelo trabalha, na melhor das hipóteses, a nível de cidade e não distingue os consumidores de um mesmo setor, ou seja, não leva em conta a escala de cada uma das indústrias; ficaria, portanto, inadequado fornecer ao modelo dados de custos de controle ao nível das indústrias consumidoras de carvão. Apenas ilustrativamente, a região "SÃO PAULO" do modelo engendra praticamente todo estado; a demanda de carvão para a combustão, por exemplo, pode então ser toda de um único consumidor localizado na região metropolitana ou então ser dividida entre milhares de pequenos consumidores espalhados por todo o estado, e cada uma das situações implica custos de controle por tonelada consumida completamente distintos.

Sendo assim, não tratamos tampouco da descrição qualitativa dos problemas ambientais ocorrentes no módulo do consumo do carvão. Para não abandonar completamente o problema, este deve ser tema de um próximo trabalho em que, além de apresentar os problemas específicos, tentar-se-á construir uma curva de custos de controle por tipo de consumidor, em função da escala e parametrizada por um conjunto de variáveis do meio ambiente.

Resumindo, temos que na interação com o modelo são feitas avaliações econômicas sobre os aspectos da mineração, do beneficiamento e disposição dos seus rejeitos, da saúde e segurança dos mineiros e da poluição já gerada, todos pertencentes ao módulo de produção de carvão. Como já mencionado, os problemas ocorrentes no transporte e na estocagem não estão incluídos neste trabalho, apesar de merecerem uma descrição qualitativa.

O trabalho é dividido em quatro capítulos. O primeiro deles é a Introdução, subdividida em quatro seções, a primeira das quais é esta, em que tentamos sumarizar os objetivos e apresentamos a organização do trabalho.

Na segunda seção são enfocados alguns aspectos teóricos do ponto de vista econômico e que servem como embasamento para o procedimento adotado de quantificar as questões de meio ambiente e saúde e segurança dos mineiros. Na terceira seção é feita uma rápida descrição da bibliografia utilizada, salientando-se quais as referências mais consultadas em cada um dos capítulos. Na quarta seção apresentamos um sumário da situação brasileira do meio-ambiente nas áreas de produção de carvão, resumimos as alterações observadas no modelo matemático quando de sua rodada com os dados de meio-ambiente e fazemos algumas recomendações para efeito de política de planejamento.

No Capítulo II - Análise Qualitativa dos Aspectos Ambientais na Produção e no Transporte do Carvão Mineral - fazemos uma descrição dos principais problemas observados em cada uma das atividades componentes do módulo de produção (mineração, beneficiamento, disposição dos rejeitos do beneficiamento e saúde dos mineiros) e no módulo de transporte e estocagem do carvão. Neste capítulo não nos atemos à questão brasileira em particular nem levantaremos quaisquer custos. Eventualmente, é claro, fazemos um comentário específico sobre o caso brasileiro.

No capítulo III fazemos, então o levantamento da situação brasileira, por estados (Rio Grande do Sul e Santa Catarina) e fazemos uma sumária descrição dos impactos observados nas comunidades urbanas locais. Dedicamos uma seção especial a estas questões apenas neste capítulo por entendermos que são extremamente dependentes das condições a nível das micro-localidades.

No capítulo IV apresentamos as quantificações feitas, como se dá a interação com o modelo matemático e quais as alterações nele observadas quando considerados os aspectos ambientais.

I.2 - ASPECTOS TEÓRICOS

Esta seção visa analisar a formulação teórica do problema de decisão com relação ao nível ótimo de controle ambiental. Como o carvão mineral é um bem intermediário a ser consumido pelo setor industrial, a decisão entre se consumir carvão ou outro combustível competidor faz parte de uma opção tecnológica da produção que aqui não nos interessa. Podemos, assim, simplificar nossa análise considerando que a demanda de carvão é dada exogeneamente e que a oferta se ajustará ao valor desejado. Assim, temos o problema todo parametrizado em termos deste nível exógeno, o que nos obriga a desconsiderar estratégias de controle que envolvam a redução da produção de carvão, ou sua substituição por outro energético.

O objetivo do problema é maximizar o bem estar social W , que tratamos simplificadamente aqui como função de duas variáveis: do bem agregado que representa a cesta de bens de economia (X) e do nível de qualidade do meio-ambiente (Q).

A formulação matemática deste problema apresenta algumas dificuldades, notadamente quanto à possibilidade de uma especificação funcional para W , mas uma discussão sobre este assunto foge a nosso objetivo⁽³⁾. Além disso, uma das variáveis em questão (Q) é um bem público, o que geralmente introduz algumas complicações adicionais ao problema.

(3) Para uma discussão detalhada desta questão ver, por exemplo, o clássico trabalho de Keneth Arrow, "Social Costs and Individual Values", 2nd.ed., Cowles Commission Monograph 12, John Wiley & Sons Inc., New York, 1963.

Independentemente destas dificuldades, é freqüente na literatura a suposição da existência de uma especificação para W como função das utilidades dos indivíduos cujo bem estar social se deseja maximizar. Adotando este procedimento, no nosso caso, temos a seguinte especificação do problema:

$$\begin{aligned} \text{PROBLEMA 1: Maximizar } & W(U_1(X_1, Q), \dots, U_n(X_n, Q)) \\ & (X_1, \dots, X_n, Q) \\ \text{sujeito a } & g(X_1 + \dots + X_n, Q) = 0 \end{aligned}$$

onde

U_1, \dots, U_n : são funções de utilidade dos n indivíduos;

X_1, \dots, X_n : são as quantidades de bem X a serem consumidas por cada indivíduo;

$g(X_1 + \dots + X_n, Q)$: é a fronteira de possibilidades de transformação.

Note que a qualidade do meio-ambiente (Q) será um bem igualmente consumido por todos os membros da sociedade local atingida pela poluição da produção do carvão. A solução do problema é conhecida⁽⁴⁾ e é a alocação em que a soma das taxas marginais de substituição de todos os membros da sociedade iguala-se à taxa

(4) Ver, por exemplo, Hal Varian, "Microeconomic Analysis"- W.W. Norton & Company - New York, 1978, pg. 198.

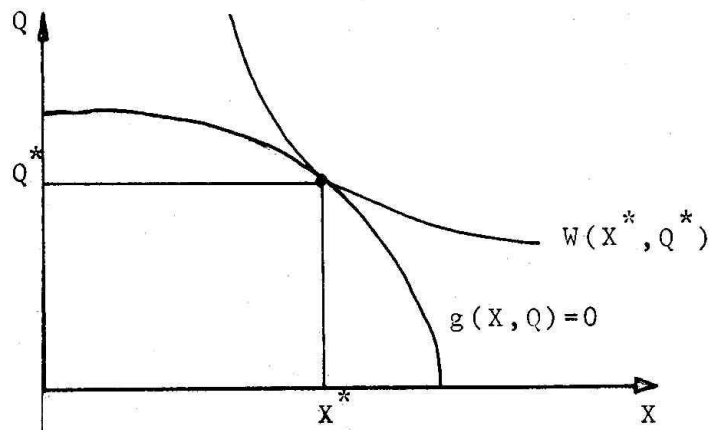
marginal de transformação. Formalmente, temos que

$$\sum_{i=1}^n \frac{\partial U_i / \partial Q}{\partial U_i / \partial X_i} = \frac{\partial g / \partial Q}{\partial g / \partial X}$$

onde $X = \sum_{i=1}^n X_i$

Graficamente, apresentamos na Figura 1 uma versão simplificada do problema 1. Esta simplificação consiste em supor que o bem estar social W é a soma das utilidades dos n indivíduos e que estas são iguais entre si. Neste caso, a condição de ótimo é a de tangência entre as curvas $g(X, Q) = 0$ e $W(X, Q)$, uma decorrência direta do Teorema de Kuhn-Tucker. Ressaltamos que esta simplificação só é feita para podermos visualizar o problema e isto será valioso para o desenvolvimento a seguir. No entanto, nem a especificação nem a condição de ótimo apresentadas para o problema 1 pressupõem igualdade das utilidades ou que elas sejam aditivas como função de W .

FIGURA 1

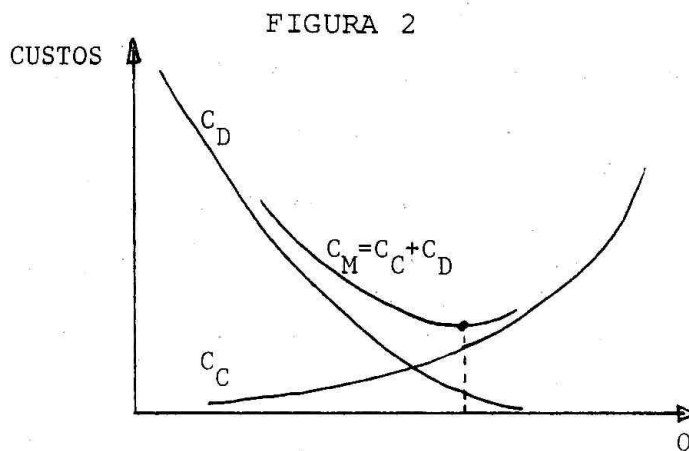


Observe que, na prática, é quase impossível garantir a ocorrência deste ótimo, pois precisamos de uma medida das avaliações marginais de todos os indivíduos (revelação das preferências) relativamente a um bem público, e este mecanismo sabidamente não funciona "bem" como no caso de bens privados, via preços. O critério então geralmente utilizado é o de padrões mínimos de qualidade, que leva a uma solução apenas "satisfatória", mas não necessariamente ótima, do ponto de vista de maximizar W .

Uma formulação mais simples que a apresentada acima e que é frequentemente utilizada na literatura, é a que objetiva minimizar os "custos de meio-ambiente". Entende-se por custos de meio-ambiente ($C_M(Q)$) a soma dos custos de controle ($C_C(Q)$) com os de degradação ambiental ($C_D(Q)$). Inicialmente, sem nos atermos à definição mais rigorosa de $C_C(Q)$ e $C_D(Q)$, o problema é o seguinte:

PROBLEMA 2: Minimizar $C_M(Q) = C_C(Q) + C_D(Q)$

A solução "trivial" deste problema se dá no ponto em que os custos marginais de controle igualam-se em módulo aos de degradação. Graficamente, o problema está representado na Figura 2 abaixo.



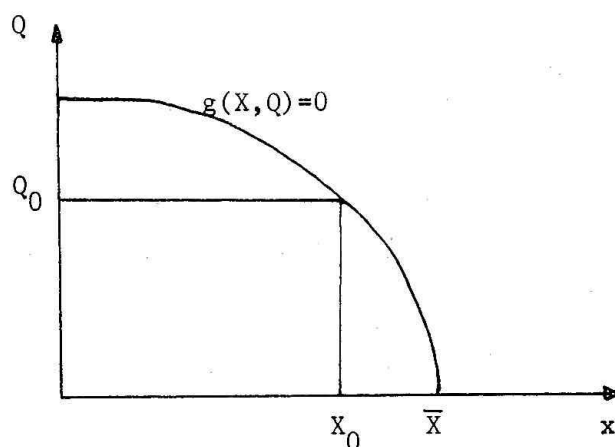
Nosso objetivo a partir deste ponto é mostrar que é possível "generalizar" o problema 2 de modo que ele seja equivalente ao problema 1. Esta equivalência exige basicamente que definamos convenientemente custos de controle e custos de degradação ambiental. A necessidade de termos que generalizar o problema 2 decorre da seguinte observação. Além da tecnologia disponível, os custos de controle dependem da quantidade S de carvão a ser produzida, que no nosso caso é um parâmetro exógeno, e da qualidade ambiental Q desejada. Os custos de degradação, por outro lado, dependem adicionalmente do nível de bem-estar social desejado, ou seja, é razoável que diferentes níveis de satisfação relativamente ao meio-ambiente impliquem diferentes custos de degradação ambiental.

Assim, a formulação do problema 2 onde ambos C_C e C_D dependem unicamente de Q , deve ser adaptada ao nosso problema que é parametrizado em S . Enquanto os custos de controle continuam dependendo tão somente do nível de qualidade Q do meio-ambiente ($C_C(Q)$), os custos de degradação passam a depender também do nível de bem estar social desejado W , ou seja, $C_D(Q,W)$. Repare que até este ponto não definimos estes custos, o que fazemos a seguir.

Olhando para a fronteira de possibilidades de transformação $g(X,Q)$ mostrada na Figura 3, fica fácil definir os custos de controle. Inicialmente, vamos normalizar o vetor de preços de modo que o preço do bem agregado X tenha valor 1, ou seja, X pode ser encarado como a unidade monetária desta economia. Seja \bar{X} a quantidade de bem X que se consumiria caso não houvesse nenhuma atenção

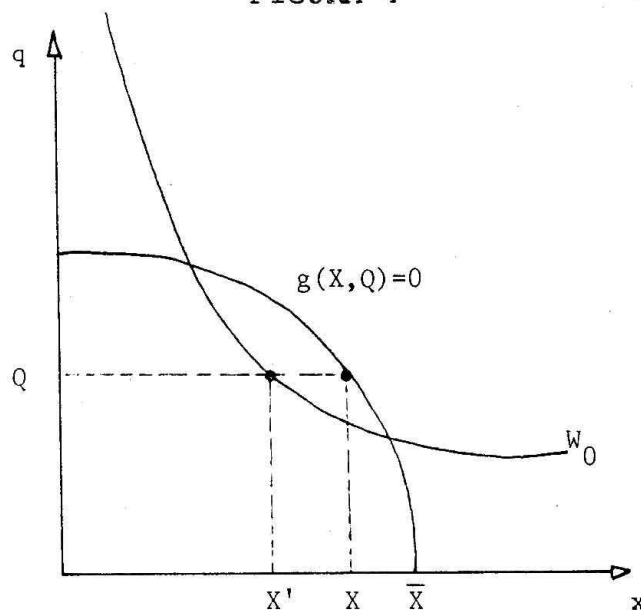
com o meio-ambiente, ou seja, no nível de qualidade $Q=0$. Observe então que, para atingirmos um ponto (X_0, Q_0) na fronteira $g(X, Q)=0$ é preciso abrir mão do consumo de $\bar{X}-X_0$ para utilizá-los sob a forma de controle. Ou seja, na ausência de controle estaríamos no ponto $(\bar{X}, 0)$ e o deslocamento para (X_0, Q_0) , de qualidade ambiental Q_0 , provoca uma perda de $(\bar{X}-X_0)$ do bem agregado, que multiplicado pelo preço normalizado é uma medida do custo de controle. Definimos portanto $C_C(Q_0) = \bar{X}-X_0$ sujeito a $g(X_0, Q_0) = 0$.

FIGURA 3



Para definirmos os custos de degradação utilizaremos o conceito de variação compensatória da renda requerida pela variação na qualidade do meio-ambiente do ponto máximo para um ponto Q considerado. Para facilitar a definição, basearemos-nos na Figura 4, que apresenta uma isoquanta W_0 qualquer de bem estar social e a fronteira de possibilidades de produção $g(X, Q)=0$.

FIGURA 4



Nesta figura, além de fazermos as mesmas simplificações da Figura 1, consideramos que o nível de consumo $X=0$ corresponde ao nível de subsistência e não propriamente àquele em que não há qualquer consumo do bem agregado X . Com isto, estamos admitindo que as isoquantas de bem estar social convergem assintoticamente ao eixo \overline{OQ} quando $X \rightarrow 0$. Ou seja, não existe qualquer nível finito de qualidade ambiental Q ao qual a sociedade seja indiferente em relação ao nível mínimo de subsistência. Assim, se o nível de bem estar social é W_0 , para estar num nível de qualidade ambiental Q a sociedade exige como compensação exatamente X' para manter o mesmo nível de satisfação (W_0). Esta variação compensatória na renda pode ser a medida do custo de degradação ambiental associado ao ponto de qualidade Q quando o nível de bem estar social é W_0 . Formalmente, temos

$$C_D(W_0, Q) = X'$$

$$\text{sujeito a } W(U_1(X'_1, Q), \dots, U_n(X'_n, Q)) = W_0$$

Observe que na definição acima não se fazem as simplificações da Figura 4.

Com estas duas definições, $C_C(Q)$ e $C_D(W, Q)$, podemos mostrar a equivalência do problema que minimiza a soma dos custos de controle com os de degradação, ou seja, a versão "generalizada" do problema 2, com o problema 1. Observe que a maximização no nosso caso é determinada pela escolha ótima de Q e de W , e não apenas de Q como no problema 2. Evidentemente, o ótimo deste problema (a partir de Q e W) deve ser tal que a isoquanta W_0 seja tangente à fronteira $g(X, Q) = 0$ e, portanto, tal que $X = X'$.

Para tornar mais intuitiva, apresentamos a solução em etapas, começando com W_0 fixo. Neste caso o problema é minimizar em Q a soma $C_C(Q) + C_D(Q)$, ou seja:

$$\begin{aligned} &\text{Minimizar } \bar{X} - X + X' \\ &Q, X, X' \end{aligned}$$

$$\text{sujeito a } g(X, Q) = 0$$

$$X' \leq X$$

$$W(U_1(X'_1, Q), \dots, U_n(X'_n, Q)) = W_0$$

A solução deste problema é a seguinte (5):

$$\frac{g_Q}{g_X} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial U_i / \partial Q}{\partial U_i / \partial X_i} \quad \text{onde } g_Q = \partial g / \partial Q \quad \text{e} \quad g_X = \partial g / \partial X$$

(5) O Lagrangeano do problema é

$$L: \bar{X} - X + X' + \lambda_1 g(X, Q) + \lambda_2 (X' - X + s^2) + \lambda_3 W(U_1(X'_1, Q), \dots, U_n(X'_n, Q) - W_0)$$

$$\text{onde } X' = \sum_{i=1}^n X'_i$$

$$X = \sum_{i=1}^n X_i$$

$$\text{Logo: (1) } L_Q : \lambda_1 g_Q - \lambda_3 \sum_{i=1}^n \frac{\partial W}{\partial U_i} \cdot \frac{\partial U_i}{\partial Q} = 0$$

$$(2) L_X : -1 + \lambda_1 g_X - \lambda_2 = 0$$

$$(3) L_{X'_i} : 1 + \lambda_2 + \lambda_3 \cdot \frac{\partial W}{\partial U_i} \cdot \frac{\partial U_i}{\partial X'_i} = 0$$

$$(4) L_s : \lambda_2 s = 0$$

A condição (4) não interessa aqui; se $s=0$ então $X=X'$ e caso contrário $\lambda_2=0$, o que em nada altera os resultados a seguir.

$$\text{De (3) temos que } \frac{\partial W}{\partial U_i} \cdot \frac{\partial U_i}{\partial X'_i} = \frac{\partial W}{\partial U_j} \cdot \frac{\partial U_j}{\partial X'_j}, \quad \forall i, j \quad (5)$$

$$\text{De (2) temos } \lambda_1 = \frac{1 + \lambda_2}{g_X} \quad \text{e substituindo em (1) tem-se}$$

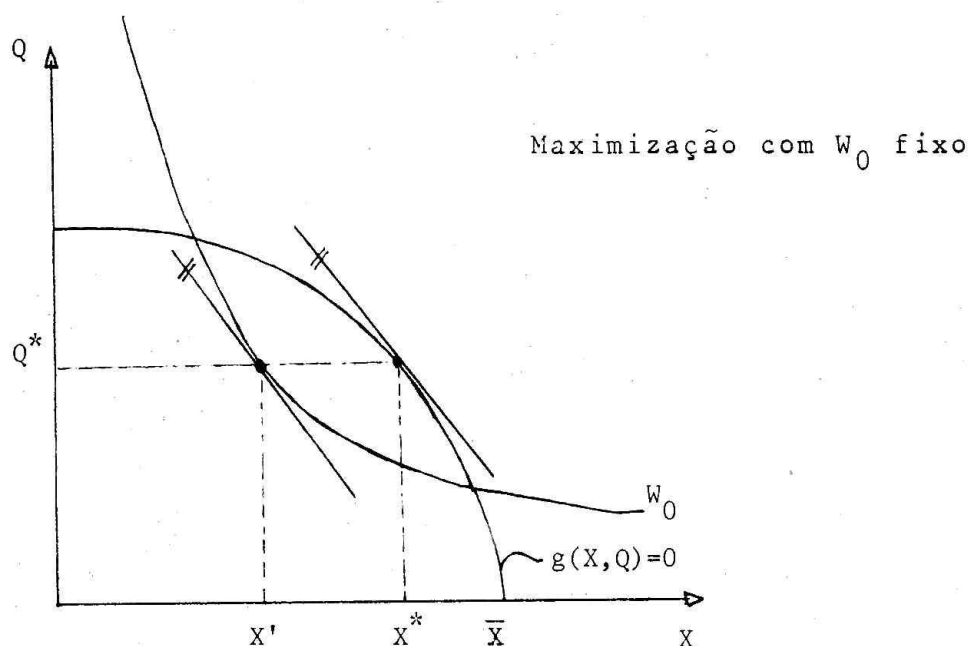
$$\frac{g_Q}{g_X} (1 + \lambda_2) - \lambda_3 \sum_{i=1}^n \frac{\partial W}{\partial U_i} \cdot \frac{\partial U_i}{\partial Q} = 0$$

Usando esta expressão, a equação (3) e o resultado (5) chegamos à expressão apresentada:

$$\frac{g_Q}{g_X} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial U_i / \partial Q}{\partial U_i / \partial X'_i}$$

Esta condição, apresentada graficamente na Figura 5, implica que a escolha ótima de Q é tal que a tangente à isoquanta W_0 no ponto (X', Q^*) seja paralela à tangente à fronteira g no ponto ótimo (X^*, Q^*) . Observe que esta condição é quase igual à do problema 1; a diferença é que a tangência à g se dá no ponto X enquanto que a tangência à W_0 se dá em X' . Isto vem do fato que W_0 nesta 1.^a etapa foi considerada fixa, logo a escolha deu-se apenas em Q . É de se esperar, portanto, que maximizando também em W , a isoquanta ótima se desloque até tangenciar a fronteira g (condição de Kuhn-Tucker), levando X a coincidir com X' e, portanto, fazer a condição de ótimo deste problema idêntica à do problema 1.

FIGURA 5



Permitindo que o nível de referência de bem estar W_0 seja também escolhido de maneira ótima, o problema é

Minimizar $C_D(W_0, Q) + C_C(Q)$, cuja solução é idêntica⁽⁶⁾ ao problema 1.

$$\frac{g_Q}{g_X} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial U_i / \partial Q}{\partial U_i / \partial X_i}$$

Com relação à aplicação prática deste problema, já salientamos anteriormente que a medição dos custos de controle (C_C) é relativamente simples, feita obviamente a partir dos custos tecnológicos (que supomos corresponder exatamente a quanto a sociedade está disposta a abrir mão do consumo de outros bens). Os custos

(6) O Lagrangeano do problema é idêntico ao anterior. Como a maximização se dá também em W_0 temos as seguintes condições de 1ª ordem:

$$(1) L_Q : \lambda_1 g_Q - \lambda_3 \sum_{i=1}^n \frac{\partial W}{\partial U_i} \cdot \frac{\partial U_i}{\partial Q} = 0$$

$$(2) L_X : -1 + \lambda_1 g_X - \lambda_2 = 0$$

$$(3) L_{X'_i} : 1 + \lambda_2 + \lambda_3 \frac{\partial W}{\partial U_i} \cdot \frac{\partial U_i}{\partial X'_i} = 0$$

$$(4) L_{W_0} : \lambda_3 = 0$$

$$(5) L_s : \lambda_2 s = 0$$

Pela viabilidade do problema, λ_3 não pode ser nulo, logo o mínimo ocorre na fronteira de C_M vista como função de W_0 , que se dá justamente no ponto em que $X=X'$. O desenvolvimento que leva à condição apresentada no texto é idêntico ao do problema anterior.

degradação, por outro lado, são de quantificação quase impossível. Nosso procedimento foi o de tentar avaliar C_C para as variáveis em que existem os padrões ambientais (como poluição hídrica, atmosférica, etc.) e medir os custos de degradação para o caso da saúde e segurança dos mineiros. Evidentemente estas medições se dão via um critério econômico que não necessariamente será único.

A justificativa para haveremos quantificado estes aspectos é unicamente a de que, caso não haja nenhuma estimativa deles, o custo social da tonelada média produzida fornecido pelo modelo matemático certamente estará subestimado. Estamos certos, contudo, de que as próprias medições são questionáveis, uma vez que elas jamais levam em conta efeitos psicológicos, bem como é impossível se atribuir qualquer recompensa à própria vítima, somente a seus descendentes.

Finalmente, é interessante salientar que o custo de implantar medidas de controle simultâneo à atividade de modo a atender a legislação do meio-ambiente é quase sempre menor que o custo de recuperação posterior. A prática, entretanto, mostra ser esta última muito mais freqüente, o que deve ser encarado simplesmente como uma ineficiência econômica, pois a empresa mineradora prefere não assumir sozinha o custo de controle e sim dividir com toda a sociedade o custo de degradação ambiental.

1.3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em função da diversidade de assuntos envolvidos, apenas as referências |7| , |22| , |23| , |31| e |33| abordam conjuntamente as questões de meio ambiente, saúde e segurança dos mineiros e im pactos nas comunidades locais, e todas são estrangeiras. Apenas quatro delas contêm quantificações destes aspectos mas somente duas fazem levantamentos e avaliações originais dos custos daqueles impactos. Nosso trabalho se insere como uma tentativa de fazer estas mesmas avaliações para o caso brasileiro.

A IEAA |22| americana discute os impactos ambientais nos EUA mas é razoavelmente antiga (1965) e baseia-se no cumprimento de leis americanas, algumas das quais não estão mais sequer em vi gor. Seus valores estão completamente desatualizados, tanto em termos de custos como da própria tecnologia dos processos, que é diferente atualmente, e faz suposições sobre questões subjetivas (como saúde dos mineiros) que não são nada razoáveis para o caso brasileiro. A outra referência que contém levantamentos originais, OECD |31| , refere-se exclusivamente à situação dos EUA e dos principais produtores europeus de carvão mineral. Nesses países, os carvões têm características e preços distintos dos nacionais, assim como leis de meio ambiente, trabalhistas (relativas a seguros e assistência) e salários também distintos. Estas diferenças fazem com que os valores calculados sejam superestimados em relação ao caso brasileiro. Achamos importante ressaltar, entretanto, que levando-se em conta as diferenças acima mencionadas, os valores a que chegamos neste trabalho são bastante coerentes com os

das referências |22| e |31|.

O Office of Technology Assesment do Congresso Americano |7| , não apresenta estimativas de custos, mas foi a referência mais valiosa na descrição qualitativa de todos os problemas aqui abordados. Nas referências |3| , |6| , |8| , |9|, |10|, |19| encontramos descrições dos problemas decorrentes das diversas atividades (mineração, beneficiamento, disposição dos rejeitos, transporte e estocagem) e das técnicas de controle ambiental. Algumas delas apresentam também avaliações econômicas. Os autores de dois dos estudos (CETESB |3| e EPA/EUA |10|) são, inclusive, de órgãos de meio ambiente.

Na parte de saúde dos mineiros, além do contato direto mantido no Hospital São José, na agência do INPS, na Delegacia Regional do Trabalho e no Sindicato dos mineiros, todos em Criciúma, baseamos nos dados e informações contidos nas referências |5|, |7| , |16| , |28|, |29|, |31| e |33|. Uma lacuna que tentamos preencher para o caso brasileiro, foi a avaliação nacional dos custos de tratamento e da parte previdenciária envolvida, pois não era encontrável na literatura.

Quanto ao levantamento da situação brasileira, achamos que cabe ressaltar a existência de quatro trabalhos. O Relatório do Grupo Interministerial criado em março/81 |27|, que será apresentado com maiores detalhes ao longo do trabalho, levanta parcialmente todos os problemas de poluição ocorrentes tanto nas áreas

de mineração e beneficiamento como nas indústrias consumidoras de carvão mineral. Um estudo recém contratado pela FATMA (Secretaria do Meio Ambiente de Santa Catarina) |28| levantou a situação ambiental da região carbonífera do Estado, mas como o trabalho ainda não foi publicado, as informações aqui contidas foram obtidas junto à empresa contratada para a execução dos trabalhos. A referência |29| é um estudo semelhante ao anterior, executado em 1978, em convênio com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Finalmente, um trabalho contratado pelo Sindicato das Empresas Mineradoras de Santa Catarina |15|, além de conter dados sobre a situação ambiental de cada uma das empresas, apresenta um pré-projeto conceitual de recuperação das áreas de mineração, beneficiamento e de rejeitos, contendo inclusive estimativas de custos.

Foram analisados também vários projetos de recuperação de áreas mineradas e propostas de medidas de controle ambiental de mineração e de beneficiamento, para o Rio Grande do Sul, feitas pelas próprias empresas mineradoras deste estado (|6|, |13|, |17|, |18| e |32|).

Finalmente, para as quantificações propriamente ditas, utilizamos os trabalhos já mencionados, além de dois estudos específicos: uma simulação matemática dos custos de recuperação de áreas mineradas a céu aberto nos Estados Unidos |20| e um trabalho brasileiro sobre beneficiamento de carvões, que também apresenta estimativas de custos |25|.

Acreditamos que, em relação à bibliografia conhecida, nosso trabalho se apresenta como uma busca de três objetivos principais. O primeiro é a compilação em um mesmo trabalho dos diversos aspectos de meio ambiente, saúde e segurança dos mineiros e impactos nas comunidades locais, para o caso brasileiro. O segundo refere-se a uma atualização das informações disponíveis e mesmo a uma primeira estimativa de alguns aspectos, tanto na parte de mineração e beneficiamento como na de saúde e segurança dos mineiros. E a terceira que é a quantificação de todos os aspectos de modo a poder avaliar o impacto da consideração das questões de meio ambiente através do modelo matemático de planejamento de oferta de carvão mineral. Estas estimativas são medidas em dólares por toneladas de ROM produzido, que possibilita tanto uma comparação com os demais custos tratados no modelo (mineração, beneficiamento e transporte) como com as estimativas estrangeiras, feitas obviamente para as situações dos países estrangeiros.

I.4 - SUMÁRIO E PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Nesta seção apresentamos um sumário das principais questões tratadas neste trabalho e algumas sugestões para efeito da política de planejamento. Especificamente, fazemos uma síntese dos problemas de meio-ambiente ocorrentes nas áreas de produção de carvão mineral no Brasil, das medidas de controle que vêm sendo implementadas, um resumo dos principais resultados e alterações observados no modelo quando rodado com os dados de meio-ambiente, além das recomendações de medidas que julgamos prioritárias no sentido de levar a uma melhoria da qualidade ambiental das regiões carboníferas do sul do país.

Com relação à situação atual e às medidas de controle propostas concluimos o seguinte:

i) Em face dos níveis atuais de consumo de carvão mineral serem razoavelmente baixos, principalmente o do carvão energético, e em decorrência do próprio tipo de impacto ambiental que esse consumo pode implicar, são muito mais preocupantes as questões ambientais associadas à produção do carvão. Como esta produção é extremamente concentrada e os volumes de rejeito são substanciais, em face do baixo índice médio de recuperação de carvão por tonelada minerada, o impacto ambiental verificado nesta etapa do ciclo do carvão produz efeitos mais danosos que no consumo e no transporte.

ii) A situação do Estado de Santa Catarina é bem mais grave que a do Rio Grande do Sul, devido, basicamente, à conjuga

ção de quatro fatores: o nível menor de recuperação da matéria carbonosa por tonelada minerada (cerca de 25% de CPL e 75% de rejeitos de pré-lavagem); o alto nível de produção (mais de 15 milhões de toneladas mineradas em 1982 — cerca de 80% da produção nacional de ROM); o alto teor de enxofre e ferro dos rejeitos; e, finalmente, a completa falta de providência até o momento, por parte dos mineradores para minimizar os impactos ambientais, associada à inexistência de uma fiscalização e legislação adequadas.

iii) Os principais focos de poluição são as águas residuárias dos pré-lavadores e das pilhas de rejeitos da mineração a céu aberto e de beneficiamento. Os principais problemas de poluição são a drenagem ácida das minas, os sólidos contidos nas águas negras dos lavadores, as águas que percolam pelas áreas de rejeitos e a poluição atmosférica decorrente da combustão espontânea e do consumo local de carvão. Além destes, ocorre também a degradação de extensas áreas utilizadas para disposição de rejeitos, que adicionalmente prejudicam completamente a estética da região.

iv) As perspectivas atuais tornam-se favoráveis após a criação de um Grupo Interministerial, do qual fazem parte a SEMA e o DNPM. Uma das principais providências tomadas foi a criação, em julho/82, da Portaria 917, que exige a adoção de medidas que minimizem os impactos ambientais ora observados. Até o momento, é

satisfatório o cumprimento de suas exigências e achamos realista acreditar que a médio prazo possa haver uma regressão da degradação ambiental ocorrente.

v) As principais exigências da Portaria 917 referem-se basicamente ao fechamento do circuito de água dos lavadores, à disposição dos rejeitos sólidos da lavra e do beneficiamento e à recuperação de áreas mineradas. Por uma questão de prioridade, postergou-se o atendimento da parte relativa às áreas mineradas e o fechamento do circuito de água dos pré-lavadores vem sendo o foco das principais atenções. Os pré-projetos entregues pelas empresas mineradoras à SEMA e ao DNPM preveem a operação dos lavadores em circuito fechado até o final de 1985, bem como a disposição adequada dos rejeitos sólidos dos lavadores e um esquema de lavra a céu aberto que deixe uma camada de solo vegetal sobre o material estéril compactado.

Com relação à quantificações dos impactos e à interação com o modelo matemático, as principais conclusões e observações foram as seguintes:

vi) Os aspectos quantificados referem-se exclusivamente ao módulo de produção, de modo que as principais alterações esperadas nas variáveis de decisão do modelo devem se dar nesta etapa do ciclo do carvão. Ocorrem também alterações nos custos totais de mineração e beneficiamento. Os valores adotados na interação com o modelo para os custos de meio-ambiente foram de US\$ 1,00/t de ROM na mineração a céu aberto, US\$ 0,80/t de ROM para a saúde e segurança dos trabalhadores das minas subterrâneas,

US\$ 0,60/t de ROM para o beneficiamento e US\$ 96.000.000 de custos fixos adicionais referentes à poluição já gerada. Os custos médios de mineração e beneficiamento obtidos da solução ótima do modelo foram de US\$ 11,70/t de ROM e US\$ 3,94/t de ROM, respectivamente. Constatamos que são desprezíveis as alterações relativas aos volumes a serem produzidos por cada mina em cada período e o mesmo para os lavadores. Os custos totais de produção elevam-se 13% quando considerados os aspectos de meio-ambiente, valor coerente com os da bibliografia conhecida, que situa a parcela dos "custos de meio-ambiente" na faixa de 10 a 20 por cento dos custos totais de produção.

Julgamos que três aspectos devem ser considerados quando da implementação das medidas que tentarão minimizar a agravada situação ambiental das regiões carboníferas do país.

viii) O primeiro deles tem um cunho legal e simultaneamente econômico, que é tentar determinar as parcelas de responsabilidade de todas as entidades ou grupos envolvidos na questão. Em outras palavras, é preciso reconhecer não só a parcela dos mineiros como também, principalmente talvez, dos consumidores finais e do governo também, que é interessado tanto pelo lado da substituição de energéticos (ou balança comercial) quanto pelo da "responsabilidade" da preservação do meio-ambiente para gerações futuras. Além disso, a população local mais atingida pela

poluição é sabidamente empobrecida, o que dificulta uma negociação tanto com os mineradores (solução economicamente mais interessante) quanto com os próprios órgãos locais de meio-ambiente. Daí não dever ser descartada a idéia de participação do governo como porta-voz desta população atingida. Evidentemente, uma quantificação destas parcelas, principalmente do governo, envolveria análises sociais de custo/benefício impossíveis de serem feitas na prática.

viii) O segundo aspecto diz respeito à necessidade de coesão entre todos os órgãos públicos, que por uma questão política podem ter interesses distintos. Tipicamente, a análise dos custos de controle ambiental ou mesmo da saúde da população local podem ser diferentes entre as esferas estadual e federal e mesmo entre os órgãos de meio-ambiente, locais e federais.

ix) Finalmente, tendo em vista que a poluição hídrica é o assunto mais urgente a ser tratado no momento, deve-se centrar esforços, inicialmente, no sentido de se exigir o fechamento dos circuitos de águas dos lavadores, bem como a concomitante disposição adequada dos rejeitos sólidos. De fato, esta é a linha que vem sendo seguida atualmente em relação ao cumprimento da Portaria 917. Estimamos que os investimentos requeridos para esta medida estão na faixa de US\$ 15 a 20 milhões, sem a necessidade de quaisquer importações.

II - ANÁLISE QUALITATIVA DOS ASPECTOS AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO E NO TRANSPORTE DO CARVÃO MINERAL

II.1 - MINERAÇÃO

Os impactos ambientais causados pela mineração do carvão dependem fundamentalmente do tipo de exploração utilizado, notadamente do fato de ela ser subterrânea ou a céu aberto.

Os principais problemas referem-se às alterações produzidas nos solos e aos impactos causados aos recursos hídricos, através de vários processos, principalmente a drenagem ácida das minas, o arraste de sólidos e a lixiviação de substâncias tóxicas contidas nas pilhas de rejeito. Entretanto, também ocorrem problemas de poluição atmosférica nesta etapa, comuns às demais atividades econômicas onde existe mineração, principalmente nas minas a céu aberto com a emissão de material particulado decorrente do simples manuseio de sólidos (solo, material estéril e carvão), do eventual desmonte (dinamitação) da formação e da movimentação de caminhões e tratores em estradas em geral não pavimentadas. No entanto, a quantidade de material emitido, embora varie em cada caso, pode ser minimizada com a adoção de medidas como o molhamento das estradas, o uso de transportadoras de correia, etc.

Os impactos causados aos solos pela mineração também são muito variados, com tempos de duração e efeitos bastante diferen

tes. Nas minas a céu aberto, o principal impacto é a interrupção no uso da terra. Além do aspecto estético, que atinge até mesmo localidades afastadas da própria área de mineração, ocorrem expulsão da fauna, destruição da flora e/ou florestas locais e perda de atividade agrícola. Apesar de ser possível e razoavelmente difundida (ao menos no exterior), a recuperação das áreas mineradas (reclamation) nem sempre tem um sucesso absoluto, além de não existirem resultados de longo prazo satisfatórios. Além disso, a recuperação das áreas nem sempre é viável tecnicamente (por exemplo, encostas muito inclinadas), podendo apresentar custos elevadíssimos. Outro problema sério relativamente aos solos é a erosão, em geral acelerada pela atividade de mineração e que, além da inutilização do solo, implica um grau elevado de poluição hídrica, em virtude da sedimentação de partículas arrastadas pelas águas e pelos ventos.

Atualmente, na mineração a céu aberto no exterior, a recuperação dos solos processa-se paralelamente à mineração. No Brasil, apesar da pouca experiência existente neste sentido, o esquema de lavra recomendado é semelhante àquele que será utilizado pela Petrobrás na sua Usina Industrial de Xisto, a ser instalada em São Mateus do Sul (PR). Ela consiste basicamente na separação do solo original da camada estéril que, depois de compactada e nivelada, é recoberta com o solo original de cortes posteriores. A área assim recuperada é posteriormente revegetada. Em cada uma destas etapas devem ser tomadas medidas de controle, como o conhecimento da composição do material estéril (overburden) e a execução de medidas para evitar a formação de substâncias á

cidas ou tóxicas. Estas substâncias mais as águas oriundas das frentes de mineração constituem a drenagem ácida, que será discutida nos parágrafos seguintes relativos à poluição hídrica.

A mineração subterrânea também acarreta impactos aos solos localizados acima das minas, basicamente pela possibilidade de sua subsidência, que pode decorrer da quebra dos pilares de sustentação, quando da mineração em câmaras e pilares, ou da queda natural, quando da mineração pelo esquema longwall⁽⁷⁾. Apesar de neste caso o impacto ser menor e ocorrer num instante conhecido, ambas causam problemas para o futuro aproveitamento dos solos. Outro fator que ocasiona a subsidência são as modificações causadas aos lençóis freáticos, que acabam por acarretar uma reacomodação das camadas subterrâneas, atingindo a superfície. O controle possível de ser feito no caso da mineração pelo método de câmaras e pilares consiste ou em deixar pilares de sustentação maiores (e, portanto, mais resistentes) ou em preencher a mina com rejeitos de carvão; ambos, porém, acarretam custos elevados, sendo a primeira técnica utilizada principalmente por uma questão de segurança. Um dos problemas freqüentes ocasionados pela subsidência são os danos causados às estruturas das edificações construídas sobre áreas mineradas no subsolo. Além disso, a subsidência em geral implica alterações na drenagem e topografia das áreas, sendo a composição dos solos e a profundidade das minas elementos relevantes na determinação do instante e da "inten

(7) Apenas a mina do Leão utilizará este sistema no Brasil.

cidade" da sua queda.

A poluição hídrica decorrente da mineração representa juntamente com a disposição dos rejeitos e as águas negras do beneficiamento, o problema mais sério dentre todos associados ao uso do carvão no Brasil. Um primeiro fator que contribui neste sentido é que depois da lavra da mineração a céu aberto o material estéril, originalmente encoberto permanece amontoado em pilhas completamente expostas, ficando então sujeito à ação da erosão e das chuvas, que trazem como consequência alterações físicas nos recursos hídricos locais, além de provocarem sua poluição química.

Esta poluição ocorre, primeiramente porque as pilhas de rejeito contêm material solúvel que é dissolvido pela ação das águas pluviais, implicando uma elevação dos índices de sólidos dissolvidos nas águas⁽⁸⁾. A segunda e principal forma de poluição química é a drenagem ácida, que é séria tanto em minas em operação como nas desativadas, a céu aberto ou subterrâneas. Resumidamente, segundo a CETESB-ref. |3| -, "a drenagem ácida das minas resulta da passagem da água através da mina onde a pirita está exposta à ação da oxidação do ar, água e bactérias. O carvão e as rochas das camadas vizinhas enterradas no solo contêm enxofre sob a forma de vários compostos. No processo de mineração, os materiais contendo enxofre são removidos e expostos ao ar e umidade, resultando na oxidação do sulfeto para sulfato ferroso e ácido sulfúrico". Após uma seqüência de reações químicas

(8) O problema de sólidos dissolvidos é muito mais intenso como decorrência da lavagem do carvão, discutida adiante.

cas, "todo o enxofre, a princípio presente em uma forma insolúvel, está agora dissolvido no corpo receptor como ácido sulfúrico". O baixo pH destas águas tende ainda a dissolver e, em consequência, a arrastar os metais pesados, como o ferro, o alumínio, etc., que juntamente com os ácidos têm efeitos danosos muito severos, pois são tóxicos à vida aquática, tornam as águas inapropriadas para uso doméstico, agrícola e, eventualmente, industrial (o conteúdo ácido tem efeito corrosivo em equipamentos metálicos).

Na mineração a céu aberto existe ainda o problema já mencionado da erosão das pilhas de rejeitos, que implica eventualmente a ocorrência de grandes quantidades de sólidos em suspensão nas águas e o seu conseqüente assoreamento. Além disso, deve ser mencionada ainda a alteração da hidrologia de riachos, que são, via de regra, desviados das frentes de mineração.

Quanto à mineração subterrânea, especificamente, há a possibilidade de rebaixamento do lençol freático com entrada da água na mina, exigindo o seu bombeamento contínuo para fora da frente de mineração.

Embora existam diversas soluções propostas para minimizar os efeitos dos problemas acima enumerados, todas, porém, dependem do fato de a mineração ser subterrânea ou a céu aberto e também de uma série de condições locais. Algumas medidas devem ser tomadas a priori, envolvendo o conhecimento da hidrologia da mina, a disponibilidade de material para revegetação, a geologia e os

fluxos das águas subterrâneas, a estabilidade dos solos e as condições locais do meio ambiente, que indiquem a dificuldade e a eficiência das técnicas de recuperação das áreas mineradas.

Evidentemente, algumas medidas — basicamente as de controle na fonte (prevenção da formação dos poluentes) ou de tratamento do material contaminado — minimizam mais de um dos efeitos acima enumerados. Frequentemente utilizam-se associações de algumas destas técnicas, uma vez que apenas uma delas não consegue resolver todos os problemas, como também porque cada uma apresenta alguma ineficiência, que pode ser então diminuída conjugando-se o uso de várias delas. Algumas técnicas, principalmente as de manuseio e disposição dos rejeitos e tratamento e controle das águas poluídas (drenagem ácida), são comuns à mineração subterrânea e a céu aberto. Os objetivos básicos são recompor o solo, de forma a torná-lo próprio para o aproveitamento econômico e evitar a formação de poluentes durante e também depois da desativação das minas. É importante ressaltar que a poluição causada pelas minas desativadas é frequentemente maior que a das minas em operação, notadamente a carga ácida das águas que percolam por entre o material piritoso.

II.2 - BENEFICIAMENTO

Os problemas de poluição atmosférica decorrentes do beneficiamento do carvão podem ser considerados desprezíveis (a combustão espontânea dos rejeitos do beneficiamento é analisada na seção seguinte). Dependendo do processo e da existência ou não de tecnologia de controle, pode haver emissão principalmente de particulados na britagem e na classificação do carvão ROM na boca do lavador. Entretanto, além de as emissões serem em geral de pequena monta, a tecnologia de controle é de baixo custo e bem conhecida.

No processo de beneficiamento do carvão o problema certamente mais relevante é a poluição hídrica que pode ocorrer. O mecanismo que a propicia é o simples descarte final das águas de lavagem nos rios onde elas são captadas, conferindo-lhes características semelhantes às das águas de drenagem ácida, porém em diferentes concentrações e quantidades. Além disso, as águas de lavagem podem trazer grandes quantidades de sólidos em suspensão, dependendo do processo de beneficiamento utilizado e, principalmente, do sistema e eficiência de recuperação de finos. O problema é ainda agravado, em geral, pelo grande consumo de água das unidades de beneficiamento.

Tanto a descarga ácida quanto o problema dos sólidos em suspensão podem ser evitados com a utilização da água em circuito fechado. Basicamente, procede-se a uma correção do pH da á-

gua residuária com cal, uma vez que o equipamento, não sendo de aço inoxidável, não suporta pH muito baixo. O uso de espessadores com conseqüente sedimentação dos sólidos em lagoas possibilita a recirculação das águas clarificadas para o processo. Esta tecnologia é amplamente conhecida, não demanda grandes investimentos adicionais, permite o cumprimento de legislações bastante rigorosas (nos Estados Unidos a carga poluidora das plantas de beneficiamento deve ser nula) e possibilita uma redução no volume de água limpa captada de cerca de 75%.

Além do uso de circuito fechado, existe a possibilidade de simples tratamento da água antes do descarte — lagoas de evaporação, injeção das águas na subsuperfície, etc. — o que não parece ser interessante, tanto do ponto de vista econômico como do ecológico, se comparado com o tratamento e recirculação; de fato, o procedimento a ser adotado no Brasil para as águas dos lavadores por todas as empresas mineradoras é o fechamento do circuito.

II.3 - DISPOSIÇÃO DOS REJEITOS DO BENEFICIAMENTO

A disposição dos rejeitos da mineração e do beneficiamento do carvão implica, como já salientado, os maiores problemas ambientais no Brasil, os quais estão intimamente ligados às atividades de mineração e beneficiamento em si, sendo que os da mineração já foram abordados especificamente na Seção II.1. Os problemas da disposição dos rejeitos do beneficiamento são semelhantes aos da mineração e quase sempre decorrentes da existência de pirita e ferro nos carvões e dos finos do beneficiamento.

A poluição atmosférica nesta atividade decorre essencialmente da combustão espontânea do material carbonoso dos rejeitos do beneficiamento. Esta combustão é função de diversos elementos, notadamente da presença de oxigênio e de umidade, da temperatura e da composição do material. As substâncias emitidas, são basicamente particulados, óxidos de enxofre, nitrogênio e carbono e hidrocarbonetos. Nos Estados Unidos, por exemplo, estima-se que, em 1968, 2% das emissões totais de óxidos de enxofre (SOx) no ar foram decorrentes da combustão espontânea dos rejeitos da mineração/beneficiamento do carvão (Office of Technology Assessment- ref. [7]).

Além de pouco utilizados, os métodos de controle são ineficientes e caros, em face da dispersão geográfica das áreas de disposição dos rejeitos. Isto torna o problema bastante sério, porque em geral, atinge as cidades próximas a estas áreas, com intensidade que depende principalmente da dispersão dos poluentes no ar, da distância e das condições meteorológicas. As

técnicas básicas de prevenção, que tentam evitar o contato das pilhas de rejeitos com o ar e/ou a umidade, são a redução da infiltração de ar (com compactação e/ou recobrimento do material), a minimização da concentração de material combustível e o resfriamento, além do nivelamento com diminuição da altura das pilhas, evitando a formação de bolsões de ar.

Um dos impactos que apresenta ainda certa polêmica quanto aos seus efeitos, mas que certamente decorre das emissões da combustão espontânea (e também da combustão no uso final do carvão), são as chuvas ácidas, e podem ocorrer tanto nas águas, principalmente pela redução do pH (que, ao atingir certos níveis, pode ser insuficiente para a sobrevivência de organismos vivos, como nos solos. Os impactos produzidos na vegetação são de compreensão mais difícil, embora existam diversos estudos que apontem efeitos na folhagem, na disponibilidade de nitrogênio no solo, alterações na germinação de sementes, etc., que são mais ou menos intensos conforme a natureza ácida ou alcalina dos solos.

Com relação à poluição hídrica que pode decorrer da disposição dos rejeitos da lavagem do carvão, o problema é semelhante à disposição dos "rejeitos" da mineração. Os efeitos são essencialmente os mesmos que os da drenagem ácida, embora as concentrações da lixívia dos rejeitos sejam maiores que as da mineração. O processo de formação destes rejeitos decorre novamente da oxidação da pirita pelo ar, água e bactérias, transformando

finalmente o enxofre em forma dissolvida como ácido sulfúrico que, ao ser arrastado pelas águas de drenagem superficiais, contamina os rios e/ou o lençol de água subterrâneo. A fim de evitar este tipo de poluição, conjugam-se basicamente a compactação dos rejeitos e o recobrimento do material, em geral com solo e com posterior revegetação da área, controlando-se o fluxo das águas a fim de diminuir a percolação por entre os rejeitos, através do isolamento da área com a colocação das valas.

Os impactos sobre os solos são também relevantes porque, em geral, necessitam-se grandes áreas para disposição dos rejeitos, cuja quantidade por tonelada de carvão ROM depende, obviamente, da recuperação no beneficiamento. Neste particular, a situação brasileira apresenta-se extremamente desfavorável, uma vez que os baixos teores de matéria carbonosa por material minerado originam uma fração de rejeitos do lavador de até 2/3 do total alimentado ⁽⁹⁾, além de outros 10% serem de lama do lavador, que, depois de decantada na bacia, também é rejeitada ou aproveitada em coquearias locais. Nos principais países produtores de carvão, a fração de rejeitos do lavador não chega em geral a 1/3 e, além disso, dada a melhor qualidade do carvão destes países, grande parte não é beneficiada, indo diretamente para consumo. Nos Estados Unidos, por exemplo, a fração beneficiada é de apenas 50% do total minerado (referência [7]).

(9) Há casos em que a relação carvão pré-lavado/carvão ROM vale 0,11; em Santa Catarina, a percentagem média de rejeitos é de 74,9%; no Rio Grande do Sul, 33,5%; no Paraná, 31,4%; e a média nacional é de 67,4% (FINEP- ref. |12| e DNPM- ref. |14|).

II.4 - TRANSPORTE E ESTOCAGEM

De maneira geral, os problemas de poluição causados pelas atividades de transporte, manuseio e estocagem do carvão ocorrem porque raramente se tomam medidas de controle, que, via de regra, são de custo desprezível. A intensidade das emissões nestas atividades é pequena, principalmente se comparadas às que se verificam na mineração, beneficiamento e uso final. Por outro lado, como estas atividades ocorrem freqüentemente dentro de centros urbanos, atingindo maior número de pessoas, o problema passa a ser relevante e preocupante em certas regiões. A situação brasileira é particularmente agravada pelo fato de o setor como um todo vir crescendo muito bruscamente sem que se tenha implementado as estruturas de estocagem e transporte de modo a satisfazer o fluxo de material demandado, sem comprometer a qualidade do ar e das águas, principalmente. Do ponto de vista econômico, entretanto, as medidas de controle propostas, por serem de custo reduzido, não interferem de forma perceptível no custo médio da tonelada de carvão queimada. Esta questão já foi abordada na introdução do trabalho, quando indicamos que procedemos apenas a uma descrição qualitativa dos problemas de transporte e estocagem, sem a preocupação de nos atermos ao aspecto de custos envolvidos na interação com o modelo.

Para se fazer uma descrição do problema é preciso acompanhar todo o manuseio do carvão, desde a mina até os consumidores finais, analisando-se as possibilidades existentes para se fazer

este "percurso". O primeiro transporte de carvão é feito em geral por caminhões em vias não pavimentadas⁽¹⁰⁾, das minas até o lavador ou pré-lavador (os problemas que aí ocorrem já foram descritos nas seções anteriores). A etapa seguinte é em geral o encaminhamento do carvão lavado ou pré-lavado para entrepostos de distribuição, portos ou, ainda, lavadores de maior porte, caso típico de Santa Catarina, que envia essencialmente todo o seu carvão pré-lavado para o lavador central de Capivari. Esta etapa é em geral precedida pela estocagem do carvão. Seja ele pré-lavado ou não, os problemas de poluição na estocagem em todas as etapas onde existe esta atividade, são os seguintes: poluição atmosférica pela ação do arraste dos finos das pilhas de carvão e pela emissão de gases decorrente da eventual combustão espontânea destas pilhas; poluição hídrica decorrente da percolação das águas pluviais pelas pilhas de carvão, propiciando a formação e o arraste de poluentes num processo semelhante à poluição causada pelas pilhas de rejeito da mineração e do beneficiamento; e, finalmente, a utilização das áreas é prejudicada principalmente no que se refere ao uso agrícola, pois a contaminação dos rios e/ou lençóis freáticos prejudica os solos e diminui sua produtividade. Na estocagem nos portos não há prejuízo para a agricultura pois a drenagem ácida é, via de regra, lançada ao mar.

(10) Isto ocorre nas minas a céu aberto, ao passo que nas subterrâneas o primeiro transporte é feito em vagonetes seguindo posteriormente como apresentado no texto.

Prosseguindo o ciclo do manuseio do carvão, o transporte das minas ou lavadores para os portos (ou entrepostos de distribuição ou lavadores) é feito basicamente por trens ou caminhões. Quando se dá através de trens, há dois problemas de poluição atmosférica: no carregamento dos trens, em geral feito por caixas de embarque, sistema freqüentemente associado a transportadoras de correia, havendo emissão de particulados nos pontos de descarga; e no próprio transporte no trem, também com a emissão de particulados, que é, entretanto, um problema menos sério que a própria emissão de fumaça das locomotivas a carvão. Um fator relevante na quantidade de particulados emitidos é a granulometria do carvão transportado, uma vez que maior presença de finos implica maior emissão.

O transporte feito por caminhões apresenta também problemas no carregamento. A emissão no transporte propriamente é semelhante à que ocorre com os trens, porém as soluções podem ser ainda mais simples. O que via de regra acontece é que a passagem destes caminhões pelos centros das cidades próximas às minas e/ou lavadores freqüentemente ocasiona problemas de emissão de poeira preta, que se tornam ainda mais sérios caso as vias de passagem não sejam pavimentadas.

Uma vez nos portos de distribuição, o transporte para os portos dos centros consumidores apresenta problemas apenas quando feito por trens, pois quando utilizada a via marítima, não ocorre qualquer problema ambiental.

O descarregamento, a estocagem e o novo carregamento de trens e/ou caminhões (para entrepostos de distribuição ou diretamente para os consumidores finais) apresentam problemas semelhantes aos já enumerados.

As soluções para os diversos problemas apontados são, como já mencionado, relativamente simples e de baixo custo. Com relação à estocagem, os depósitos devem possuir uma drenagem de águas que permita sua coleta para eventual tratamento antes de serem lançadas nos rios ou qualquer outro receptor final, além de um sistema de valas ao redor dos pátios de estocagem. O alinhamento das pilhas perpendicularmente à direção dos ventos predominantes minimiza a área de contato com estes ventos e, portanto, a emissão dos finos. O uso de cinturões verdes é outra opção, além da humectação, bastante difundida, que freqüentemente é feita com água (paliativo de efeito menor) ou com outros agentes, visando adicionalmente minimizar a possibilidade da combustão espontânea do carvão. A compactação é bastante difundida e, apesar de utilizada principalmente para diminuir a demanda de área de estocagem, também controla em boa medida o problema de combustão espontânea. A cobertura das pilhas de carvão com lonas (eventualmente caro) minimizaria efeitos de poluição atmosférica e hídrica.

Com relação ao manuseio por correias transportadoras, além do seu recobrimento, pode-se proceder a um molhamento no ponto de descarga, quando as emissões aí forem relevantes.

Com relação ao transporte por trens, o cobrimento dos vagões com lonas minimiza as emissões de partículas, o mesmo ocorrendo com os caminhões. A substituição do carvão na propulsão dos trens por energia elétrica pode diminuir o efeito da poluição atmosférica, apesar de ser uma opção quase inexecutável em se tratando de transporte de carvão. O transporte por meio de caminhões deve ser feito fora dos centros urbanos, as vias principais de acesso devem ser asfaltadas (ou cobertas com rejeitos do beneficiamento, uma prática difundida) e as não pavimentadas podem ser molhadas regularmente (solução que, embora não pareça interessante economicamente, ocorre em algumas localidades).

II.5 - SAÚDE DOS MINEIROS

Dois impactos gerados pela mineração do carvão mineral, não propriamente de meio ambiente, dizem respeito à saúde dos mineiros e à degradação da qualidade de vida da população local. Estas questões, juntamente com as alterações produzidas na estética das áreas de mineração e beneficiamento do carvão, são afetadas à poluição gerada na produção do carvão e, portanto, implicam custos sociais de degradação, os quais tentamos quantificar.

As questões de saúde da população e da estética são extremamente dependentes das condições locais, razão pela qual achamos conveniente fazer uma descrição destes problemas apenas na seção seguinte, específica da situação brasileira.

As questões de saúde dos mineiros são menos dependentes destas condições locais, além de terem sido quantificadas na interação com o modelo, e por estes motivos são tratadas mais detalhadamente nessa seção. Na introdução do trabalho levantamos dois aspectos que voltamos a abordar. O primeiro deles refere-se à própria ligação entre as questões de saúde dos mineiros e os problemas de meio ambiente. De fato, como se verá adiante, os problemas de saúde que incorrem os mineiros são basicamente consequentes da poluição atmosférica gerada nas minas subterrâneas e, portanto, de uma poluição ambiental.

O segundo aspecto refere-se à quase impossibilidade de lidar quantitativamente das questões de saúde independentemente dos de segurança dos mineiros, devido à dificuldade de separar que parcela do custo de um equipamento de alto grau de segurança e baixo nível de poluição, por exemplo, refere-se a um e a outro item. Entretanto, nos parece claro que as questões de segurança per si não representam problemas propriamente de meio ambiente, como é o caso das questões de saúde. E neste sentido não fazemos uma descrição qualitativa específica das questões de segurança dos trabalhadores.

Com relação à saúde dos mineiros, vários aspectos devem ser ressaltados inicialmente. O primeiro refere-se à falta de dados e informações específicos (condições de trabalho, incidência das doenças, medidas preventivas, cumprimento de padrões, situação dos aposentados, entre outras), além da impossibilidade prática de se obter certos dados, como, por exemplo, incidência de casos de surdez, bronquites e dificuldades respiratórias. O segundo refere-se ao tempo de manifestação das doenças que, por não ser imediato, dificulta avaliações tanto sobre a saúde dos mineiros quanto sobre a eficiência de medidas preventivas que hoje sejam tomadas. Em terceiro lugar deve-se falar da interdependência (efeito sinérgico) dos diversos problemas criados; por um lado, existe a questão da cadeia de problemas que se pode originar de uma doença (internação, aumento de gastos com saúde, efeitos econômicos de esgotamento e na família, pequena perspectiva de reversão e melhoria do quadro, etc.), e, por outro, a "corre-

lação" das diversas doenças (respiratórias, cardíacas, cânceres de estômago e de pulmão, hipertensão e surdez), não só no seu surgimento (aparecem freqüentemente conjuntas) como nos efeitos que causam, que não são somente aditivos. O quarto aspecto que achamos relevante mencionar refere-se a uma certa falta de conhecimento sobre o assunto: quais são exatamente os efeitos das poeiras do carvão e sua relação com os cânceres de pulmão e de estômago?; qual o efeito das partículas não respiráveis?; quais os efeitos dos elementos não carbônicos e dos radioativos em particular?; qual a extensão do efeito sinérgicos das doenças?; etc. Finalmente, deve-se falar da distinção que deve ser feita entre os mineiros que trabalham nas minas subterrâneas e nas a céu aberto. Apesar de os riscos de segurança e saúde serem semelhantes em termos dos problemas envolvidos, sua dimensão é extremamente aumentada no caso da mineração subterrânea, por motivos evidentes. Em função disto, muito mais atenção vem sendo dada à questão das minas subterrâneas, o que particularmente fazemos neste trabalho.

Indubitavelmente, o problema mais sério das minas de carvão é a poeira originada das inúmeras atividades, o que faz com que as doenças com maior incidência sejam, obviamente, as respiratórias, podendo-se mesmo considerar todas as outras como de segunda importância. A referência [7], do Office of Technology Assessment do Congresso americano, apresenta o seguinte sobre

as poeiras⁽¹¹⁾ :

"Todas as poeiras das minas — das quais a do carvão é a mais proeminente — são classificadas em respiráveis ou não respiráveis, de acordo com seu tamanho. Em geral, é aceito que somente as menores partículas (menores que 5 μ em tamanho) são respiráveis, ficando retidas nos alvéolos e causando pneumoconiose, enquanto as maiores (poeiras não respiráveis) não penetram nos alvéolos e, por isso, parece que não causam a doença".

Ambos os tipos de partículas podem danificar o funcionamento dos pulmões quando inaladas em grande quantidade ao longo do tempo (as maiores estão provavelmente ligadas à bronquite dos mineiros). Apesar de as partículas geralmente não ficarem retidas nos pulmões, a exposição contínua ao longo dos anos de trabalho produz uma irritação mais ou menos constante no trato respiratório superior. A falta de ar também é significativa, mesmo entre os mineiros que não apresentam evidência de pneumoconiose ao raio X. Todos os pesquisadores acreditam que esta falta de ar é relacionada com uma doença broncopulmonar obstrutiva crônica não específica.

"... A lei americana de 1969 ("The 1969 Act") regulava a exposição às poeiras respiráveis, mas não às não respiráveis. Aquelas, que são invisíveis a olho nu, representam menos que 1% da poeira de uma frente de mineração. Não é certo quanto de poei

(11) As poeiras das minas são compostas de proporções variadas de carvão, quartzo, mica, caulim, óxidos de ferro e alumínio e outros elementos em menores concentrações.

ra respirável fica retida nos pulmões quando o padrão federal (2 mg/m³ de ar) é atingido".

Com relação à pneumoconiose, a mesma referência |7| e a referência |16|, brasileira, tratam do assunto, cujos principais aspectos são levantados a seguir.

As pneumoconioses são doenças ocupacionais produzidas pela aspiração contínua e prolongada de poeiras, que se acumulam nos pulmões, provocando uma reação tissular. A pneumoconiose dos trabalhadores das minas de carvão (PTMC), que é a que nos interessa, tem evolução lenta e sem regressão. Após um período de exposição de cerca de 10 a 15 anos, já aparece uma acentuada relação de "dose-resposta".

Os diferentes estágios da doença são classificados em categorias conforme a gravidade, e a sintomatologia é, portanto, variada, indo desde um exame clínico praticamente normal, eventualmente associado à bronquite crônica ou à chamada asma dos mineiros (categoria 1), até aos tipos A, B, ou C, com queda do estado geral, apatia, emagrecimento, diminuição da força muscular e dispnéia aos médios e pequenos esforços. Nas fases finais da doença (fibrose maciça) o paciente encontra-se em estado grave, obrigado a permanecer no leito sob oxigênio constante, totalmente desabilitado.

A incidência da PTMC varia conforme a composição geológica do solo e o tipo de mineração empregada; a crescente mecaniza

ção das minas de subsolo tem gerado maior quantidade de poeiras finas, aumentando a incidência da doença. Além da sensibilidade individual, que tem papel importante no seu aparecimento, sabe-se também que o tipo de atividade exercida pelo trabalhador (furador, foguista, ajudante, eletricista, etc.) e o tempo de exposição às poeiras são fatores preponderantes na incidência da doença. O tempo médio do aparecimento para furadores e operadores de máquinas, por exemplo, é de apenas cerca de cinco anos.

Nos Estados Unidos, a incidência de PTMC varia de 4% em Utah a 11% na região Apalachia. No Reino Unido, a variação é de 3% na Escócia, 1,5% em North Durhan e 20% no País de Gales. Na Austrália, a incidência é de 3%, enquanto na Alemanha e na França as cifras se elevam a 20% e na Iugoslávia há uma variação de 4 a 15%, conforme a localização das minas (referência [16]). As variações estatísticas podem ser explicadas pela diversidade da composição geológica, pelas diferentes condições de trabalho das regiões carboníferas destes países e também pela falta de uniformização na metodologia empregada nestes levantamentos.

Para controle e prevenção da PTMC, o método mais eficiente parece ser a aspersão de água nas máquinas formadoras de pó, como as cortadeiras, perfuratrizes, etc. Nos Estados Unidos existem padrões federais de ventilação nas galerias, exigência de aspersão de água, monitoramento de metano e poeiras, além do já referido padrão de poeira de 2 mg/m^3 . As empresas mineradoras devem submeter seus planos de controle para aprovação federal e enviar amostras do ar para análise várias vezes por ano, além de

receberem inspeção direta duas vezes por ano. O cumprimento da legislação está bastante aquém do desejado, os métodos de amostragem são inadequados, assim como são freqüentes os casos de suborno e, principalmente, o medo de delações por parte dos mineiros, que temem represálias.

Apesar da situação insatisfatória quanto ao aspecto de cumprimento do padrão de qualidade do ar, as medidas de tratamento e exame médico são bem melhor implementadas, situação que não ocorre no Brasil. "Além do uso de máscaras (que geram grande desconforto, não sendo praticamente utilizadas pelos mineiros), são fundamentais o exame pré-admissional, que deve constar no mínimo de exame clínico e de radiografia do tórax, e de exames de controle periódicos, que deveriam ser efetuados a cada seis meses para os trabalhadores do subsolo que lidam diretamente com o carvão. Além disso, detectado um caso de pneumoconiose em suas fases iniciais, o trabalhador deve ser afastado dos locais insalubres e removido para o trabalho a céu aberto, sendo submetido ao programa de reabilitação profissional" (referência |16|).

Existem outros elementos tóxicos nas poeiras além do carvão, como benzenos, fenóis, naftalenos, sílica e outros considerados malignos, como arsênico, berílio, cádmio, flúor, mercúrio, e selênio. Um estudo baseado em autópsia revelou concentrações nos pulmões dos mineiros acima do normal de alumínio, bário, boro, cromo, germânio, ferro, chumbo, magnésio, manganês, níquel, prata, estanho, titânio e vanádio, todos constituintes comuns dos carvões. No entanto, poucos estudos existem sobre os efeitos

dos elementos-traços das poeiras ou da composição do carvão na saúde dos mineiros.

Além das poeiras, são produzidos nas minas gases e vapores, como nitrogênio e seus óxidos, dióxido de carbono, metano, outros HC, dióxido de enxofre e gás sulfídrico. A emissão destas substâncias produzirá efeitos bastante diminuídos caso haja boa ventilação na mina.

Antes de encerrar esta seção, levantaremos dois outros problemas ainda relativos à saúde dos mineiros. O primeiro deles refere-se ao nível de ruído a que estão sujeitos: apesar de não se conhecer, por exemplo, como e qual o nível exato de barulho no ambiente de trabalho que pode danificar parte do aparelho auditivo, sabe-se os possíveis efeitos que podem ocasionar: além dos diretos ao aparelho auditivo, existem aqueles sobre as funções cardiovasculares, endócrinas, neurológicas e psicológicas. O controle direto pelos mineiros não é recomendado por questões de segurança, e a redução do ruído pelas máquinas implica modificações de engenharia que, além do alto custo, não seriam viáveis a curto prazo. O segundo aspecto que nos parece relevante são os efeitos do estresse do trabalho, tanto na saúde quanto na segurança (e na própria produtividade) do mineiro. Este estresse, que seria comum para trabalhadores da construção civil ou de indústrias pesadas, p. ex., é gravado pelas pró

prias condições do ambiente de trabalho (esquema de plantão⁽¹²⁾, tetos baixos⁽¹³⁾, escuridão, poeiras, ruídos, etc.). Apesar de existirem estudos indicando que os mineiros não consideram seu local de trabalho mais estressante, estes mesmos estudos mostram que são os mineiros que apresentam maior incidência de ansiedade, depressão, exaustão física e fadiga. O estresse psicológico implica ainda maior incidência de problemas circulatórios, gastrointestinais, de desordens do sistema nervoso, do trato urinário e da musculatura.

(12) Os trabalhadores em esquemas de plantão apresentam insônia, problemas relativos ao relaxamento ao dormir, problemas digestivos, estados de nervosismo e excesso de distúrbios gastrointestinais,

(13) Que implicam péssima postura e condição de trabalho.

III - LEVANTAMENTO DA SITUAÇÃO BRASILEIRA

Como salientado na seção I.1, dividimos o levantamento da situação brasileira em duas partes, uma relativa ao meio-ambiente propriamente e a outra aos impactos causados às comunidades urbanas locais.

III.1 - MEIO-AMBIENTE

Em função de o carvão mineral ainda não vir sendo utilizado em larga escala pelas indústrias nos grandes centros urbanos, o problema de meio ambiente mais relevante no momento é aquele decorrente das atividades de mineração, beneficiamento e disposição dos rejeitos, todos próximos às áreas de mineração, sendo particularmente grave no Estado de Santa Catarina. De maneira geral, pode-se dizer que quase nenhum cuidado é tomado na mineração e disposição dos rejeitos, assim como no beneficiamento e tratamento das águas, que só é executado (quando o é) por uma questão de escassez delas e/ou controle da corrosão do material, e não propriamente tendo em vista a preservação do meio ambiente, já que a água residuária é jogada diretamente nos rios, sem tratamento.

A situação vem atingindo um nível crítico por razões que tentaremos expor a seguir. De qualquer modo, deve-se lembrar que sempre esteve previsto na legislação algum tipo de controle ambiental, o que simplesmente não era atendido, nem mesmo pelas empresas do Estado. Os órgãos que regulam a lavra e a situação do

meio-ambiente dela decorrente são o DNPM e a SEMA, sendo a secretaria de meio-ambiente estadual encarregada de acompanhar a operação das minas no tocante à parte ambiental.

Em março de 1981 foi criado por uma Portaria um Grupo Interministerial do qual fazem parte representantes dos Ministérios da Indústria e Comércio, Minas e Energia (DNPM) e Interior (SEMA) e atualmente da SEPLAN. Na época foi concluído um estudo preliminar que apontou a criticidade da situação. Uma de suas implicações foi, então, a criação da Portaria 917, baixada em julho de 1982. Esta Portaria determina, basicamente, que sejam tomadas medidas de proteção ambiental, tanto na mineração quanto no beneficiamento, além de exigir a recuperação das áreas de mineração abandonadas e daquelas cobertas com rejeitos de beneficiamento, que atualmente são um dos principais focos de poluição. Ela faz exigências também aos consumidores e transportadores de carvão. Como principais sanções, na parte da produção, estão o condicionamento da concessão de lavra e incentivos fiscais e/ou financeiros à aprovação pela SEMA e pelo DNPM das medidas exigidas na Portaria. Na descrição da situação de cada um dos estados produtores, apresentadas a seguir, nos deteremos na parte relativa ao cumprimento desta Portaria.

Trataremos aqui apenas da situação dos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, responsáveis por cerca de 98% da produção de carvão mineral no Brasil.

No Rio Grande do Sul a situação é menos grave, por vários motivos: inicialmente, em face da produção atual representar apenas cerca de 17% da produção nacional de ROM (cerca de $3,3 \times 10^6$ t de ROM em 1982); em segundo lugar, por existirem apenas cinco minas em operação (Candiota, Leão I, Recreio, Charqueadas e Iruí); em terceiro lugar, pelo fato de a recuperação média dos carvões ser bem superior à observada em Santa Catarina, diminuindo o volume dos rejeitos; em quarto lugar, em virtude de boa parte do carvão ser consumido bem próximo às minas, minimizando problemas de transporte e estocagem; e, finalmente, por existirem atualmente dois lavadores em todo o Estado, diminuindo a dispersão dos problemas decorrentes da atividade do beneficiamento.

As informações e dados que se seguem foram obtidos diretamente do Departamento do Meio Ambiente do Estado, da CRM e da CIENTEC.

Na Mina de Candiota (Município de Bagé), que é a céu aberto, encontra-se a maior jazida de carvão do País, onde atualmente todo carvão produzido é utilizado para queima na termelétrica de Candiota, sem qualquer beneficiamento. Na região da mina ocorre escassez de águas, não havendo significativo volume de água de drenagem ácida da lavra. A única forma de poluição hídrica é oriunda das águas de chuvas que percolam por entre os rejeitos e não são tratadas. Até o momento, todavia, não houve queixas por parte dos pecuaristas vizinhos (atividade econômica típica de região adjacente). As condições econômicas de lavra favoráveis (re-

lação estéril/substância minerada de 20% e cobertura de cerca de 10m) implicam a perspectiva de acentuado crescimento da produção, em princípio com a mesma finalidade de queima em termelétricas (também a serem instaladas). Em vista deste crescimento e com o objetivo de atender à nova legislação, está prevista a construção de diques de retenção para tratamento destas águas, e a eventual unidade de beneficiamento funcionará com reciclo total do efluente, através de um espessador. Quanto à mineração, não existe atualmente qualquer cuidado, pois os rejeitos ficam nas próprias áreas de mineração, sem qualquer recomposição topográfica e/ou recuperação dos solos (atualmente, a área coberta com estes rejeitos é de cerca de 120 ha). Em dezembro de 1982 foi concluído o projeto de preservação ambiental da mina, elaborado pela própria CRM.

As demais minas do Estado localizam-se na bacia do rio Jacuí (de classe 2). O lançamento dos poluentes da mineração e do beneficiamento dos carvões destas minas ocorre, entretanto, num ponto em que o rio tem um volume maior e aumentada sua capacidade de diluição. Apesar de atualmente as águas do rio não ferirem os padrões da sua classificação⁽¹⁴⁾, as dos riachos existentes nas áreas de mineração são críticas, com uma qualidade completamente comprometida. O Departamento de Meio Ambiente somente agora começa a fazer medições nestes rios, com o intuito de poder monitorar e exigir o controle das empresas.

(14) Em verdade, alguns parâmetros críticos são ultrapassados; o índice de fenóis antes de São Jerônimo (onde começa a área de mineração) é de 0,003 mg/l e depois é de 0,03 mg/l, portanto, 30 vezes maior que o estabelecido na legislação (0,001 mg/l).

Na mina do Leão (I), que é de subsolo e possui também uma unidade de beneficiamento de carvão, praticamente não há necessidade de drenagem do subsolo, não ocorrendo, assim, significativo recebimento de efluentes na superfície. A unidade de beneficiamento, que opera desde 1977 com uma capacidade de 130 tph, atualmente lava também o carvão de Iruí. O efluente não sofre tratamento⁽¹⁵⁾, mas a partir do final de 1983 o lavador já deverá estar operando em circuito fechado (consumo de até 15% de água limpa). O rejeito, que atualmente é disposto em antigas cavas de mineração a céu aberto, ocupando uma área de 10 ha, futuramente o será em área da mina do Leão II.

Em parte da área minerada a céu aberto (jazida de Boa Vista) foi feito o único trabalho conhecido no Brasil de recuperação paralela da área, em termos de mineração de carvão. Esta área possui cerca de 40 hectares (ver referência [17]).

A Mina do Iruí vem operando desde agosto de 1981 a céu aberto com simples recolocação da terra vegetal por cima das pilhas de rejeito, sem atender ao exigido pela legislação. Para esta mina, em particular, já existe um projeto de mineração com recuperação simultânea do solo sendo analisado pela SEMA. O carvão atualmente é transportado por caminhões para o beneficiamento na Mina do Leão I, mas está prevista a implantação de uma unidade local para o primeiro trimestre de 1984, com capacidade de 400 tph e com reciclo do efluente.

(15) O Departamento do Meio Ambiente informou, contrariamente, a existência de bacias de decantação para os sólidos suspensos (teor de 2%) com recirculação parcial da água final do processo.

A mina do Recreio, situada no Município de Butiá, é a céu aberto. A água resultante do processo de lavra fica contida dentro da área de mineração em lagos, visando uma futura utilização na unidade de beneficiamento, já implantada em janeiro de 1983, com circuito fechado de águas e capacidade de 400 tph. O esquema de lavra já permite a colocação do rejeito em cortes anteriores, suavizando a topografia, mas sem outros trabalhos complementares. O carvão ROM é atualmente transportado por caminhões ao lavador de Charqueadas, que tem uma vazão de efluente de $78\text{m}^3/\text{h}$ e cerca de 30% em sólidos e é lançado diretamente no rio Jacuí, sem tratamento⁽¹⁶⁾. O rejeito graúdo é disposto em um terreno fora da área industrial para aterro e o rejeito fino queimado na termelétrica de Charqueadas.

Finalmente, existe a mina subterrânea de Charqueadas, no município do mesmo nome, que não gera significativa quantidade de efluentes líquidos de drenagem. O carvão sofre apenas uma escolha manual antes de seguir para a termelétrica, e o rejeito retorna à própria mina, em galerias abandonadas, ou é transportado para recuperar áreas alagadiças. A área destes rejeitos, juntamente com os do lavador da Aços Finos Piratini, está se tornando crítica devido à inexistência de novas áreas para bacias.

(16) As últimas informações recebidas são de que já existe um projeto de fechamento do circuito deste lavador.

As minas com implantação já bastante adiantadas são as do Leão II (subsolo, esquema longwall), no Município de Butiã, e do Faxinal (céu aberto), no Município de Arroio dos Ratos, ambas prevendo unidades de beneficiamento (jigagem) com circuito fechado de águas. Os rejeitos do beneficiamento do Leão II devem juntar-se aos do Leão (I) e ser colocados em áreas preparadas para tal fim, que não existem até o momento. Os rejeitos graúdos do lavador do Faxinal devem retornar à cava de mineração, e a lama deve ir para um espessador; o espessado (underflow) retornará à cava, misturado com a fração graúda, e o overflow deverá ir para uma bacia de decantação (já pronta). A última informação obtida é de que a mina já está em início de operação e o lavador já está em operação, com capacidade efetiva de 280 tph.

A situação de Santa Catarina é bem mais delicada que a do Rio Grande do Sul, como já salientado. A quantidade minerada no Estado, em 1982, foi de cerca de 15.500 mil toneladas de carvão ROM, que representam cerca de 81% da produção de ROM nacional. Atualmente, existem 32 setores de mineração, pertencentes a 11 empresas mineradoras.

A gravidade dos problemas no Estado decorre de uma série de fatores que se sobrepõem, sendo o principal deles, sem dúvida, a inexistência até o momento de uma legislação que regule a mineração e o beneficiamento do carvão e que, acompanhada de uma fiscalização adequada, tente minimizar os problemas. Somente agora esta situação tende a melhorar, como já salientado. De qualquer modo, a inexistência de controle hoje observada pelo setor

produtor não pode ser considerada unicamente como falta de preocupação das empresas mineradoras para com o assunto. Associados à falta de controle tanto na mineração quanto no beneficiamento, colocam-se: em primeiro lugar, a muito baixa recuperação média dos carvões catarinenses, que situa-se na faixa de 30%⁽¹⁷⁾; em segundo lugar, os volumes minerados e de rejeitos são grandes, conforme acima mencionado; e, em terceiro lugar, o beneficiamento na boca das minas (pré-lavagem) gera uma dispersão dos problemas dele decorrentes e o beneficiamento final se dá em Tubarão, no lavador central de Capivari, havendo dupla estocagem e transporte do carvão e, conseqüentemente, os problemas oriundos destas atividades.

Um aspecto extremamente importante refere-se à viabilidade técnica e principalmente econômica não só de se fazer o controle daqui para o futuro como de recuperar as áreas abandonadas. Ambas as medidas implicam uma elevação no custo da tonelada produzida, e é de se supor que o cumprimento de certos padrões só será alcançável caso estejam embutidos os custos de recuperação e controle no preço da tonelada pago ao minerador. Este ponto nos parece crucial para a determinação e cumprimento de políticas futuras, em particular para a grave situação de Santa Catarina.

(17) Como mais de 90% da produção provém das minas subterrâneas, a maior quantidade de rejeitos decorre do beneficiamento. Em particular, a fração de finos de cada pré-lavador é diferente, em alguns casos sendo misturada com a fração mais grossa, noutros rejeitada com os efluentes do lavador e em outros comercializada (ultrafinos metalúrgicos ou finos para coquearias de fundições). De qualquer forma, do carvão bruto alimentado no lavador são típicas as frações de 25 a 30% de carvão pré-lavado, 65 a 60% de rejeitos e 10% de lama, que vai em geral para uma bacia de decantação.

Em decorrência da Portaria 917, as empresas mineradoras do Estado entregaram conjuntamente, via seu Sindicato, um Pré-Projeto de controle ambiental que trata dos principais aspectos exigidos pela Portaria. Este Projeto (referência |15|) contém dados, projeções e estimativas que serão valiosas para nosso trabalho e parece representar um primeiro passo efetivo para se tentar solucionar a grave situação da região.

Outra medida importante no mesmo sentido refere-se à execução de um estudo-piloto contratado pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado (FATMA/SC), que apresenta um levantamento detalhado da situação atual das áreas afetadas e que analisa a viabilidade técnica de recuperação destas áreas juntamente com algumas estimativas de custos. Deste trabalho (referência |29|), iniciado no final de 1981 e estendido até meados de 1982, também foi possível obter informações bastante valiosas para o contexto de nosso estudo, tanto na parte qualitativa quanto na relativa às quantificações. Seus principais dados são as medições. Quanto à qualidade do ar, parece ser o primeiro feito para a região, embora o período de observação tenha sido curto, tanto para as estações fixas (novembro de 1981/abril de 1982) quanto para a estação móvel (apenas uma medição em cada localidade), além do fato de os métodos de medição das estações fixas, apesar de serem os exigidos pela legislação, apresentarem sabidamente algumas limitações.

As áreas cobertas em ambos os levantamentos (estações fixas e móvel) foram essencialmente as mesmas, e os parâmetros obtidos foram taxa de sulfatação, concentração de partículas sedimentáveis, pH da água de chuva e os teores de SO_2 , NO_2 , O_3 , H_2O e partículas em suspensão. Com base nesses índices fica praticamente impossível identificar quais as parcelas oriundas de cada uma das atividades poluidoras (produção de carvão, queima de carvão, queima de outros energéticos, transporte, etc.), como seria de nosso interesse. Assim, por exemplo, não se sabe que parcela das emissões de enxofre decorre do uso do óleo combustível. Também a parcela deste e dos outros elementos gerada pela combustão espontânea dos rejeitos é também de difícil ou quase impossível quantificação, dado que são emissões extremamente dispersas. De qualquer maneira, percebe-se claramente a forte correlação entre os altos índices dos poluentes e as áreas próximas às de disposição de rejeitos, de atividade industrial, de tráfego intenso em rodovias não pavimentadas, etc.

Apresentamos a seguir (Tabelas 1 e 2) alguns dos resultados das medições feitas, tecendo posteriormente alguns comentários.

Das áreas selecionadas para análise em comparação com as Background e com os valores exigidos pela Legislação do Estado, foram consideradas críticas Criciúma, Tubarão, Imbituba, Siderópolis, Içara, Urussanga e Lauro Müller. Com relação à atividade mineradora propriamente, além das emissões de material particula

TABELA 1

MEDIÇÕES DAS ESTAÇÕES FIXAS - VALORES MÉDIOS POR ESTAÇÃO⁽¹⁾

Município da Estação	Tipo de área (2)	Taxa de Sulfação mgSO ₃ /m ³ /30dias	Partículas Sedimentáveis g/m ² /30 dias	pH das chuvas
BRAÇO DO NORTE (2)	B	0.032	10.21	5.7
SOMBRIO (3)	B	0.030	5.16	5.6
ARARANGUÁ	T	0.040	6.84	5.8
CRICIÚMA i (4)	I	0.170	11.82	5.5
ii	I,R,M,D	0.254	18.42	5.1
iii	I,R	0.258	10.12	- (5)
iv	I,M	0.158	14.10	5.2
v	T,I	0.108	13.67	5.0
vi	M,R	0.220	9.87	5.7
vii	A	0.210	9.92	- (5)
GRAVATAL	T	0.043	8.16	5.6
IÇARA	A	0.062	7.30	5.1
IMBITUBA i (4)	C	0.932	22.64 (6)	4.4
ii	C	0.046	29.35 (6)	5.2
iii	C,I	0.168	19.91 (6)	5.1
LAGUNA	S	0.059	7.11 (6)	5.9
LAURO MULLER i (4)	I,A	0.248	6.10	5.4
ii	I,A	0.260	9.07	5.2
MORRO DA FUMAÇA	T,I	0.132	8.03	5.2
NOVA VENEZA	T	0.055	5.21	5.2
ORLÉANS	A	0.029	11.76	5.7
SIDERÓPOLIS i (4)	A	0.122	4.54	5.6
ii	R,A	0.178	10.45	5.5
iii	T	0.058	5.54	5.4
TUBARÃO i (4)	U	0.198	5.16	4.9
ii	U	0.240	7.44	5.2
iii	U	0.212(7)	15.07	4.8
iv	U	0.110	11.50	5.1
URUSSANGA i (4)	T	0.050	7.31	5.3
ii	R,M	0.146	10.15	5.4
iii	T	0.103	6.07	5.6
JAGUARUNA	S	0.043	12.19 (6)	5.9

(1) Média das observações obtidas dos cinco meses seguidos de medições.

(2) B-Background; I-industrial; R-rejeito; M-mineração; D-rodovias não pavimentadas; C-área da ICC; S-costeira; T-centro da cidade ou distrito; U-termelê trica, cinzas e estoques de carvão; A-centro urbano próximo à área de mineração

(3) ESTAÇÕES "BACKGROUND" (supostamente não atingidas pela produção ou queima do carvão.

(4) Obviamente, utilizou-se o centro da cidade maior do município como local da medição, a menos de municípios com mais de uma estação, quando também deslocou-se do centro: (Criciúma vi e vii são Forquilha e Rio Maina, respectivamente, Siderópolis ii e iii são Rio Fiorita e Treviso, respectivamente, Urussanga ii e iii são Santana e Cocal, respectivamente, e Lauro Muller ii é Guatá.

(5) Não houve medição/estação avariada.

(6) Valores não representativos por serem regiões costeiras.

(7) Valores abaixo do esperado provavelmente como consequência da ação desfavorável dos ventos.

FONTE: Referência |29|.

TABELA 2

NÍVEIS DE CONCENTRAÇÃO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) DE GASES E PARTICULADOS - UNIDADE MÓVEL

LOCALIDADE	SO ₂	NO ₂	H ₂ S	Partic.Sus- pensão	O ₃
CRICIÚMA A	43,83	30,07	0,17	107,48	28,37
B	158,06	4,58	0,69	187,33	34,78
C	103,33	18,47	0,69	103,48	390,00
D	200,82	37,81	0,97	49,65	520,00
E	201,03	21,71	0,69	43,06	651,00
F(19/5)	99,85	43,96	6,89	102,50	304,00
F(20/5)	133,26	52,91	0,69	232,30	148,89
SIDERÓPOLIS A	299,48	14,04	0,69	69,95	418,60
B	276,86	18,86	1,39	448,00	520,00
C	142,00	3,66	0,69	39,00	776,00
IÇARA	413,00	16,75	66,75	1.309,90	269,00
URUSSANGA	153,00	19,84	14,60	264,10	251,00
LAURO MULLER A	146,70	31,95	0,69	100,60	84,40
B	139,87	30,61	2,78	155,70	182,40
TUBARÃO A(26/4)	92,95	34,36	2,78	133,30	166,82
A(13/5)	125,36	40,82	0,00	183,70	165,16
B	115,99	33,78	0,00	83,90	123,00
C	150,18	28,12	0,69	42,80	144,00
IMBITUBA (6/5)	215,28	36,62	0,00	74,40	44,33
(10/5)	211,70	20,78	1,00	139,60	71,03
ARARANGUÁ	45,91	5,71	0,00	239,30	134,58

FONTE: Referência |29|

do decorrentes da mineração a céu aberto e, em menor escala, das emissões provocadas pelas correias transportadoras (principalmente nos pontos de descarga), é a disposição dos rejeitos do beneficiamento que merece maior atenção. Atualmente, são jogados sem qualquer critério em rios, áreas urbanas, beira de estradas e até mesmo em áreas de florestas, como pudemos atestar em visita aos locais. Além da poluição hídrica, tratada adiante, e do impacto sobre o aspecto estético e visual da região, a dispersão destas áreas agrava o problema, representando permanentes focos de combustão espontânea e, portanto, de emissão de SO_2 , H_2S , CO e HC .

Em Criciúma, onde se encontram vários tipos de atividades industriais que consomem óleos com alto teor de enxofre e carvão mineral, atividades de mineração, beneficiamento e transformação do carvão, concentram-se em particular 50% da coqueificação do carvão da região sul do Estado que, sendo frequentemente feita de modo rudimentar, sem chaminés, provoca aumentos das concentrações no ar de particulados, SO_2 , HC e CO . Lauro Müller, Urussanga e Içara apresentam os mesmos tipos de problemas.

Tubarão e Imbituba sofrem influência de atividades consumidoras do carvão, a primeira afetada basicamente pelas termelétricas Jorge Lacerda e Capivari, por estoques de carvão da CAEEB e por cerâmicas e a segunda essencialmente poluída pela operação da ICC, inclusive gerando o baixo pH das chuvas da região.

A referência |29| apresenta ainda as "microlocalidades" de cada um dos municípios considerados críticos que se encontram seriamente afetadas em termos de poluição do ar, mas uma descrição a este nível de detalhe foge ao objetivo do presente trabalho.

Uma última observação que deve ser feita relativamente aos dados da referência |29| sobre a poluição atmosférica é que vários técnicos contatados consideram muito baixos os valores apresentados, uma vez que poucos são os valores que ultrapassam os limites da legislação, que é relativamente severa. Apesar deste "sentimento generalizado" de subestimação dos valores reais, estes são os únicos dados disponíveis sobre a poluição atmosférica local.

A poluição hídrica parece ser um dos problemas mais sérios com que se defronta atualmente a região, com perspectivas de solução incertas, em face das dificuldades técnicas e econômicas que se terá de superar. A descrição de parâmetros que se pode fazer retrata apenas parcialmente o que de fato acontece na região. A drenagem ácida das frentes de mineração e das áreas de rejeitos, a grande presença de sólidos nas águas de beneficiamento e todas as reações decorrentes da presença dos poluentes vêm causando a total inutilização dos rios e matando a vegetação ribeirinha; a coloração avermelhada ou esverdeada da drenagem ácida e preta das águas dos lavadores (black-waters) evidenciam os níveis de poluição dos rios. O espalhamento e a dispersão das pi

lhas de rejeito, a ausência freqüente de vegetação, a poluição atmosférica e as condições de habitação da população local, que usualmente tem casas dentro das áreas de rejeito (freqüentemente sobre as pilhas de rejeitos), criam um quadro chocante e preocupante quanto às perspectivas de reversão e solução. Pode-se dizer com tranqüilidade que nenhum cuidado é tomado pelas empresas mineradoras do Estado no sentido de tentar minimizar qualquer um dos problemas ocorrentes, cujo quadro é particularmente impressionante à saída dos lavadores.

Tanto a referência |28| quanto o estudo recentemente feito em convênio pela FATMA (referência |29|) apresentam medições de parâmetros de qualidade das águas. A referência |28| trabalha com dados de 1977, e dos resultados lá obtidos achamos interessante apresentar a comparação entre a população servida por água e o equivalente populacional do volume captado e despejado pelas empresas mineradoras. A estimativa para o equivalente populacional é feita considerando que uma pessoa consome 150 litros por dia, 80% dos quais retornam aos rios. Os resultados estão apresentados na Tabela 3 a seguir.

TABELA 3

EQUIVALENTES POPULACIONAIS DOS CONSUMOS E DESPEJOS NAS TRÊS BACIAS DA REGIÃO
SUL DE SANTA CATARINA

BACIA	População ser vida por água (hab.)	Equiv.pop. do volume capta- do pelas mine- radoras (hab.)	Equiv.pop.dos despejos das mineradoras (hab.)	Retorno aos rios (%)
Araranguá	75.929	609.386	562.950	82,14
Tubarão	5.160	666.800	8.253.733	122,83*
Urussanga	10.527	97.400	78.033	72,34
TOTAL	91.616	1.373.586	8.894.766	-

FONTE: Ref. | 28 |

* Na bacia do Tubarão, além de o volume de água drenada das minas não ter sido quantificado, há a circulação criada pelas mineradoras entre as bacias, retirando águas de uma e lançando em outra.

O recém-elaborado estudo da FATMA (ref. | 29 |) apresenta pa-
râmetros medidos ao longo dos principais rios das três bacias
da região (Araranguá, Urussanga e Tubarão), cujos resultados des-
crevemos resumidamente a seguir.

A despeito do crescimento da poluição provocada pelo de-
senvolvimento industrial e pelo crescimento da população urbana,
a mineração é a principal responsável pelos níveis de poluição
encontrados. Os municípios com áreas mais críticas são os mesmos
em que a situação foi igualmente considerada grave com relação à
poluição do ar (ã exceção de Içara), quais sejam: Criciúma, Side

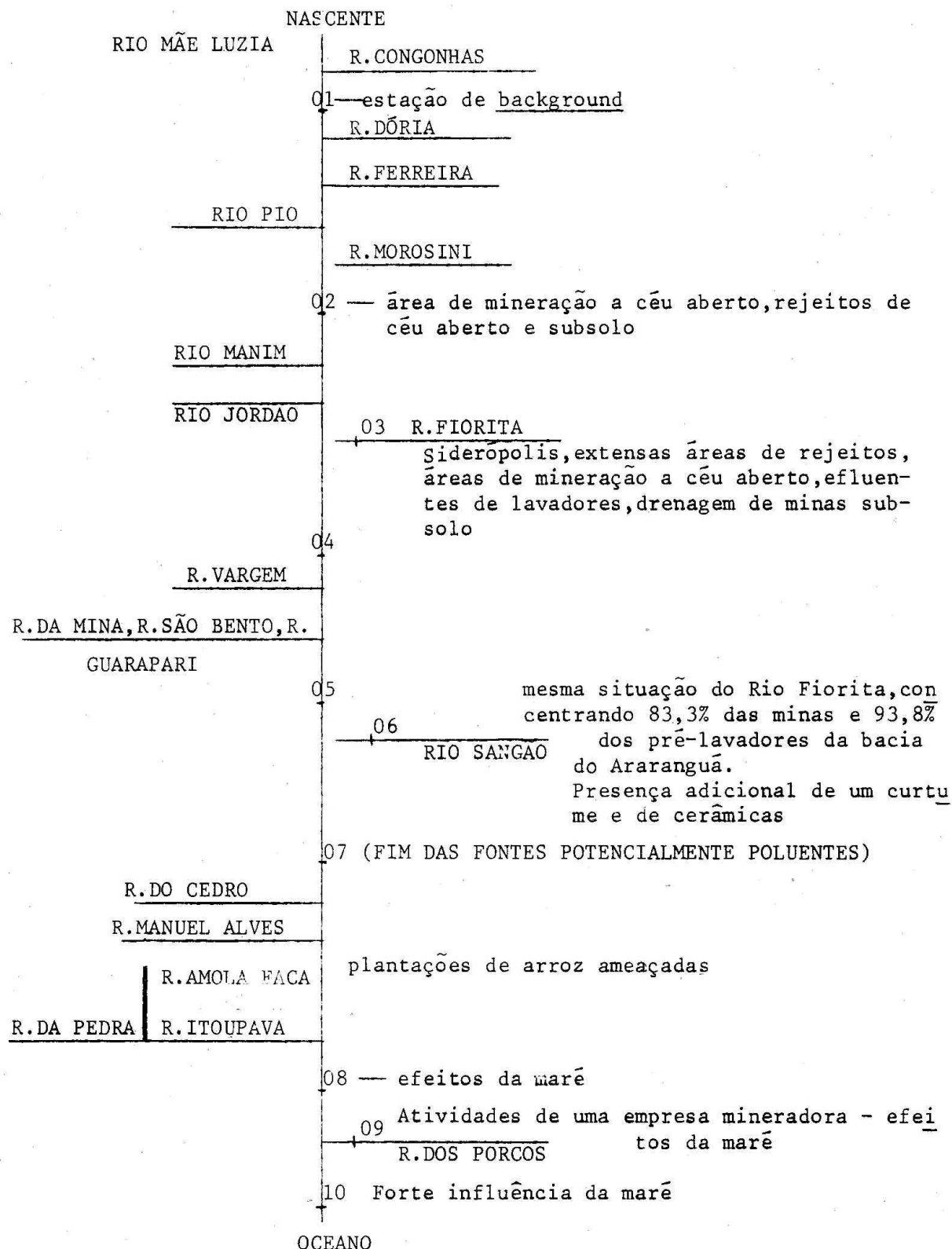
rópolis, Urussanga, Lauro Müller, Tubarão e Imbituba. Foram feitas 9 medições por bacia, no período novembro de 1981/abril de 1982, em pontos considerados estratégicos. Os esgotos domésticos lançados diretamente nos rios causam impactos quase desprezíveis em comparação com aqueles das atividades mineradoras.

A bacia do rio Araranguá recebe contribuição de 51,5% das minas em atividade na região sul do Estado e 66,7% dos lavadores, passando por áreas de rejeitos ao longo de todo o seu percurso. O Diagrama 2 e a Tabela 4, a seguir, apresentam esquematicamente a localização das estações medidoras e os valores destas medições dos principais parâmetros, respectivamente.

Como se pode depreender dos resultados, além do evidente impacto causado por todas as fontes potenciais de poluição (mineração, drenagem ácida, águas de lavagem, etc.) e da diluição provocada por rios fora das áreas de mineração, com melhoria da qualidade das águas, merece especial atenção a situação dos rios Fiorita e Sangão. O próprio estudo (referência |29|) apresenta o seguinte:

"O ponto 04, sem dúvida, mostra o grande impacto provocado pelas áreas de mineração a céu aberto localizadas no município de Siderópolis, onde se concentra um dos problemas críticos de poluição, visto que nesta região o rio Fiorita percola extensas áreas de rejeitos, seu curso atravessa lagoas formadas pelas escavações da mineração, recebe contribuição de outras lagoas á-

DIAGRAMA 2 - BACIA DO ARARANGUÁ



FONTE: Referência | 29 |

TABELA 4

MEDIÇÕES DAS 10 ESTAÇÕES DA BACIA DO ARARANGUÁ

ESTAÇÃO PARÂMETRO	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
pH	6,0	3,1 a 6,0	2,0	1,4 a 5,7	4,0	1,5 a 2,9	2,0 a 3,1	2,6 a 4,1	6,0	3,0 a 6,0
SULFATOS (mg/l)	6,6	29,6 a 1.002,4	1.625,0	116,4 a 1.884,5	164,8	364,0 a 1.439,4	234,7 a 1.456,5	80,8 a 1.374,7	409,4	124,1 a 1.620,0
ACIDEZ (mg/l)	6,9	5,0 a 31,0	1.010,8	42,0 a 318,0	78,0	223,0 a 1.190,2	133,0 a 1.050,0	20,0 a 104,5	8,1	11,0 a 103,4
SÓLIDOS TOTAIS (mg/l)	60,0	94,0 a 325,0	3.033,0	407,0 a 1.156,0	250,0	750,0 a 5.063,0	527,0 a 4.103,0	105,0 a 2.353,5	5.734,0	720,0 a 7.731,0
CONDUTIVIDADE (μ mho/cm)	60,0	95,0 a 200,0	3.000,0	450,0 a 1.250,0	500,0	1.900,0 a 3.000,0	650,0 a 1.550,0	205,0 a 3.500,0	9.000,0	6.000,0 a 5.800,0
FERRO TOTAL (mg/l)	TRAÇOS	1,4 a 4,0	212,0	13,0 a 32,0	5,6	155,0 a 235,0	28,0 a 46,0	0,8 a 2,1	4,9	0,8 a 1,2

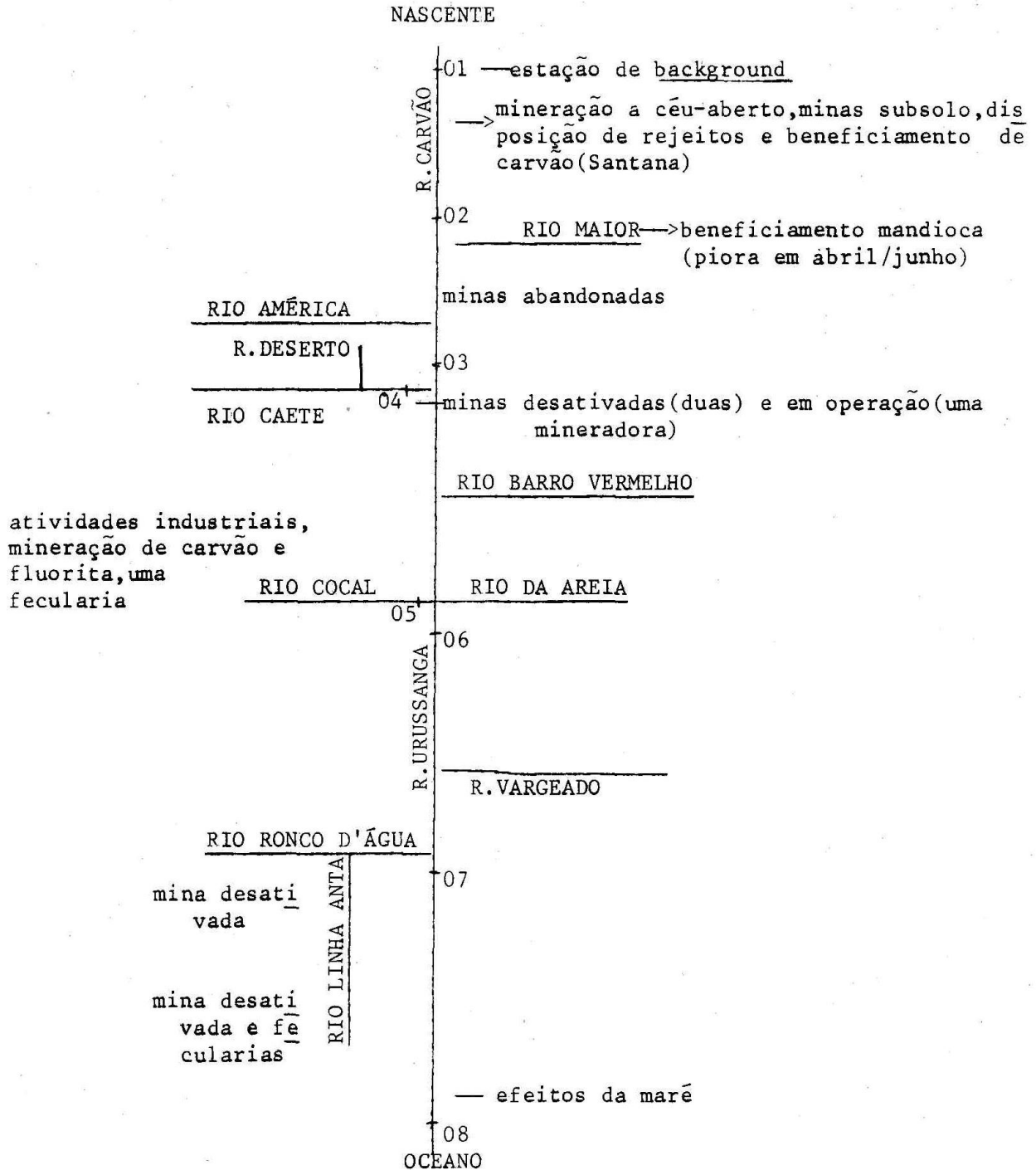
FONTE: Referência |29|

cidas formadas na área e de efluentes originados no pré-lavador existente, chegando finalmente ao rio Mãe Luzia com suas águas degradadas e completamente estéreis em termos de vida. ... Na subbacia do Sangão concentra-se a grande maioria das minas e pré-lavadores em atividade na área drenada pela bacia do rio Araran-guá (83,3 e 93,8%, respectivamente). Em vista disso, o rio Sangão situa-se no mesmo plano crítico do rio Fiorita quanto à poluição das águas, superando a este somente quanto à contribuição de sólidos totais, devido à maior concentração de pré-lavadores existentes ao longo desta subbacia... Alguns rios que drenam esta subbacia também encontram-se em níveis críticos de qualidade da água, como os rios Maina e Criciúma, que apresentam em suas nascentes áreas de rejeitos provenientes de atividades de mineração desativadas".

O estudo também considera crítica a situação da subbacia do rio dos Porcos, decorrente da atividade de apenas uma empresa mineradora.

O mesmo tipo de avaliação é feita para a bacia do rio Urussanga — com oito estações de amostragem —, que recebe a contribuição de 24,2% das minas em operação e de 16,7% dos lavadores da região sul de Santa Catarina, além das drenagens das áreas de rejeito e minas abandonadas e contribuições de outras atividades industriais (mineração de fluorita, cerâmicas, beneficiamento de mandioca, etc.). O Diagrama 3 e a Tabela 5, a seguir, apresentam a localização das estações e os resultados das medições na bacia do Urussanga.

DIAGRAMA 3 - BACIA DO URUSSANGA



FONTE: Referência |29|

TABELA 5

MEDIÇÕES DAS OITO ESTAÇÕES DA BACIA DO URUSSANGA

ESTAÇÃO PARÂMETRO	01	02	03	04	05	06	07	08
pH	7,5	1,6	1,4	1,4	4,2	1,4	1,6	1,8
		a 3,0	a 3,1	a 4,0	a 6,2	a 4,0	a 5,3	a 6,0
SULFATOS (mg/l)	3,6	1.404,9	1.150,7	358,0	15,9	84,4	120,1	12,7
		a 1.888,3	a 1.600,1	a 709,1	a 29,0	a 3.820,0	a 611,0	a 523,1
ACIDEZ (mg/l)	4,6	1.297,0	908,0	285,0	4,6	26,0	18,0	85,0
		a 3.674,5	a 2.378,2	a 711,8	a 18,7	a 737,0	a 500,0	a 354,0
SÓLIDOS TOTAIS (mg/l)	83,0	3.050,5	2.559,0	645,0	60,0	101,0	446,5	298,0
		a 29.196,0	a 5.966,0	a 1.201,0	a 283,0	a 3.000,0	a 1.669,0	a 1.425,0
CONDUTIVIDADE (µmho/cm)	70,0	2.500,0	2.000,0	1.050,0	100,0	105,0	350,0	1.300,0
		a 5.000,0	a 3.500,0	a 1.650,0	a 135,0	a 1.750,0	a 1.650,0	a 6.000,0
FERRO TOTAL (mg/l)	N.D.	474,3	183,7	60,0	0,4	24,5	14,1	9,3
		a 668,4	a 270,0	a 85,0	a 0,9	a 60,0	a 30,0	a 17,0

FONTE: Referência | 29 |

As conclusões a que se pode chegar são semelhantes às inferidas no caso da bacia do Araranguá. Os níveis de poluição são mais críticos na região da cabeceira do rio Carvão, onde se localiza a maior parte das fontes de poluição. A mesma referência conclui ainda que "as minerações desativadas ainda contribuem de maneira acentuada, em comparação com o observado para a bacia do Araranguá, na degradação da qualidade ambiental da região. Isto pode ser comprovado através dos altos níveis de sulfato, acidez, sólidos e ferro totais ao longo de todo o curso, devido, provavelmente, à vazão do drenante principal se apresentar baixa (em comparação com os rios Araranguá e Mãe Luzia). As áreas consideradas críticas, em termos de poluição das águas, na bacia do Urussanga, são:

i) Subbacia do Carvão, entre Belvedere e a foz, onde de encontram 81,8% das indústrias carboníferas em atividade na área drenada pela bacia do Urussanga.

ii) Subbacia do Caeté, entre sua confluência com o rio Deserto até sua foz. Esse rio também se encontra em níveis críticos de poluição no trecho entre a mineradora que atravessa e a sua foz. Ressente-se também da influência das fecularias (efluente com altas concentrações de cianeto), engenhos de farinha e vinícolas aí instaladas.

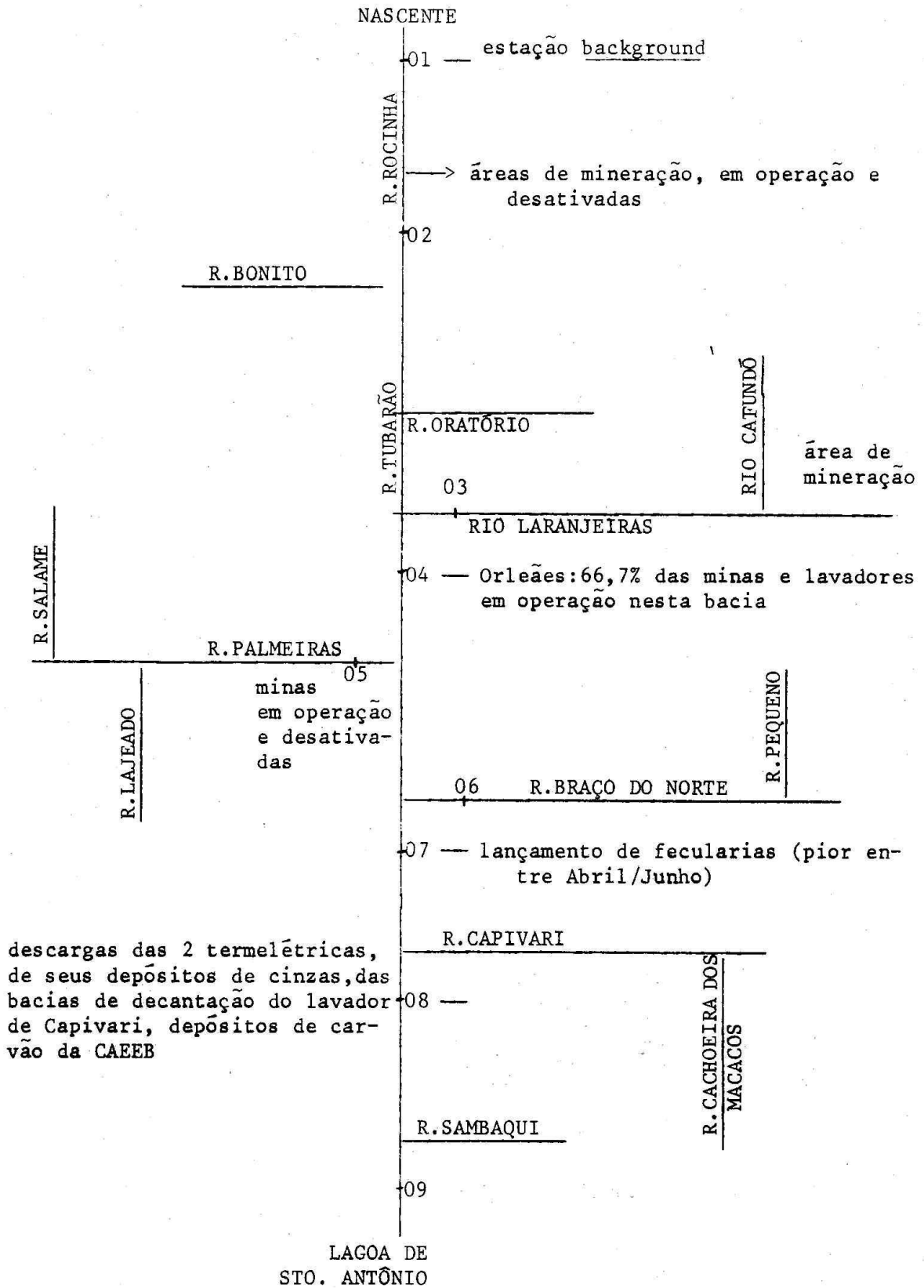
iii) Subbacia do rio Cocal — nos trechos a partir da influência de grandes cerâmicas, extração de fluorita e um engenho de farinha.

iv) Subbacia do rio Ronco d'Água — nos trechos a partir das áreas de minerações abandonadas e da cerâmica existente".

Finalmente, resta a bacia do rio Tubarão, onde se concentram 24,2% das minas e 16,7% dos lavadores em atividade na região sul do Estado. O Diagrama 4 e a Tabela 6 apresentam, respectivamente, a localização esquemática das estações de medição e os resultados das medições da bacia do rio Tubarão.

O estudo apresenta as seguintes conclusões principais: " a variação espacial dos poluentes ao longo da bacia de Tubarão foi, em comparação com as bacias do Araranguá e do Urussanga, de menor amplitude e localizada próxima às fontes de poluição. O sistema apresenta, em seu conjunto, grande efeito diluidor sobre a concentração dos poluentes. Pode-se concluir que entre a nascente do rio Rocinha e a confluência com o rio Tubarão, juntamente com as áreas drenadas pelas subbacias dos rios Palmeiras e Capivari, encontram-se os problemas mais críticos, em termos de poluição das águas, da bacia". O estudo apresenta detalhadamente os trechos críticos, todos basicamente nas áreas de mineração, ativas ou abandonadas (entre estações 01 e 02, rio Bonito, rio Carrapatos até a foz do Oratório, rio Palmeiras e rio Lageado), além da subbacia do Capivari, "desde as áreas onde se localizam as bacias de decantação do lavador central de Capivari até a confluência com o rio Tubarão. Neste trecho incluem-se as descargas das Usinas Termelétricas Jorge Lacerda e Capivari".

DIAGRAMA 4 - BACIA DO TUBARÃO



FONTE: Referência | 29 |

TABELA 6
MEDIÇÕES DAS NOVE ESTAÇÕES DA BACIA DO TUBARÃO

ESTAÇÃO PARÂMETRO	01	02	03	04	05	06	07	08	09
pH	5,5 a 7,1	3,3	5,4 a 7,2	2,2 a 6,0	2,8	5,3 a 6,6	4,0 a 7,1	5,3 a 6,5	5,5 a 6,7
SULFATOS (mg/l)	1,6 a 31,6	469,1	6,9 a 38,2	5,8 a 78,3	159,6	1,0 a 7,6	10,0 a 43,6	11,5 a 230,1	173,3 a 566,3
ACIDEZ (mg/l)	2,3 a 14,6	334,2	1,2 a 7,0	4,8 a 32,0	109,0	3,5 a 16,0	3,0 a 20,0	3,5 a 22,0	4,0 a 13,0
SÓLIDOS TOTAIS (mg/l)	23,0 a 136,0	1.589,0	20,0 a 130,0	64,0 a 166,0	300,0	21,0 a 78,0	24,0 a 720,0	41,0 a 350,0	938,0 a 8.016,0
CONDUTIVIDADE (µmho/cm)	75,0 a 120,0	-	60,0 a 85,0	130,0 a 200,0	-	40,0 a 80,0	45,0 a 90,0	55,0 a 125,0	1.050,0 a 15.500,0
FERRO TOTAL (mg/l)	1,0 a 2,0	-	5,7 a 11,0	23,0 a 27,5	-	0,7 a 1,3	1,5 a 10,0	2,0 a 99,0	0,9 a 2,5

FONTE: Referência |29|

Além do problema dos mananciais de superfície, acima descrito, o mesmo trabalho |29| faz avaliações acerca da qualidade das águas subterrâneas. Dos 28 poços inventariados das três bacias, todos eram do tipo doméstico, com profundidade entre 2 e 10 metros. As águas subsuperficiais apresentam um pH sempre mais elevado que o da superfície, mesmo quando estes poços localizam-se próximos aos cursos d'água superficiais. Os sulfatos, a não ser nas áreas de mineração, não atingem valores altos, assim como a acidez e os sólidos totais, mesmo em alguns pontos próximos às áreas de mineração.

As principais fontes potenciais de degradação das águas subterrâneas são a extração e o beneficiamento do carvão via, principalmente, drenagens das lixívias de rejeitos sólidos associados ao carvão mineral — de mineração, beneficiamento, cinzas de coquerias, termelétricas, etc.—, bacias de decantação de finos, drenagem ácida das minas e estoques de carvão a céu aberto. Apesar de em certas regiões não se ter comprovado a contaminação efetiva dos lençóis subterrâneos associados à produção ou uso do carvão, não está anulado o potencial de contaminação pela percolação das águas pluviais e fluviais sobre as pilhas de rejeito. Mina do Mato (Criciúma), Ronco d'Água (Morro da Fumaça), a área urbana de Siderópolis e Santana (Urussanga) já apresentam valores alterados, embora dentro dos padrões da legislação para consumo humano.

Para encerrar a parte de poluição hídrica, cabe levantar um aspecto relevante no contexto deste trabalho que é o impacto causado ao sistema de abastecimento de água na região, que merecerá apenas uma descrição qualitativa, visto que os custos de captação d'água a maior distância, não são de grande monta. A mesma referência |29| considera mais ameaçados 12 dos 32 municípios da região sul do Estado: Araranguá, Maracajá, Nova Veneza, Criciúma e Siderópolis (bacia do Araranguá); Içara, Morro da Fumaça e Urussanga (bacia do Urussanga); e Tubarão, Pedras Grandes, Orleães e Lauro Müller (bacia do Tubarão). A partir das projeções populacionais até o ano 2000 e de alguns parâmetros básicos de consumo⁽¹⁸⁾, juntamente com estudos sobre a qualidade das águas dos atuais sistemas, chega-se a uma avaliação acerca da capacidade de abastecimento por estes sistemas até aquele ano. As principais conclusões a que se chegou são as seguintes:

i) As cidades-sede dos municípios de Araranguá, Lauro Müller e Maracajá apresentam atualmente problemas sérios de qualidade da água servida às populações, porém com soluções a serem implementadas no curto prazo, à exceção de Araranguá.

ii) Araranguá, Lauro Müller, Nova Veneza e Içara apresentam problemas de insuficiência no abastecimento atual ou futuro, o que também poderá ocorrer em Criciúma caso não se solucione a questão da competição da água para a rizicultura do município adjacente de Nova Veneza.

(18) Consumo médio de 150 l/hab/dia, capacidade de abastecimento de 80% e coeficiente do dia de maior consumo de 1,2.

iii) A maioria das vilas destes municípios consome água de poços rasos caseiros, o que aumenta os índices endêmicos da região. Os casos mais graves são os das vilas de Hercílio Luz (Araucária), São Bento do Barro (Nova Veneza), Vila Cocal (Urussanga), Pindotiba e Rio de Furnas (Orleães), além da provável futura insuficiência de águas para as vilas de Barro Branco e Guatá (Layro Müller).

III.2 - IMPACTOS NAS COMUNIDADES URBANAS LOCAIS

A situação desfavorável do meio físico urbano da região, as más condições de saneamento, educação, etc., são atribuíveis a dois fatores básicos que são a má distribuição da renda gerada e as péssimas condições ambientais (recursos hídricos, solos e ar). Em princípio, seria desejável separar os efeitos destes dois fatores, mas eles evidentemente se sobrepõem. Ademais, entraríamos num nível de microlocalidade tecendo considerações sobre condições de saneamento, habitação, assistência médica e transporte da região, o que não achamos interessante em nosso contexto.

Neste sentido, consideraremos nesta subseção apenas as questões de saúde da população local, que nos parece a mais intimamente ligada às de meio ambiente. Inicialmente, apresentamos um capítulo da referência [28], trabalho já apresentado na revisão bibliográfica, feito pela FATMA. O capítulo é específico sobre a saúde pública da região carbonífera e os dados utilizados são de 1975/76. Apesar da deficiência de alguns dados e da dificuldade de sua classificação, o estudo divide a mortalidade da região em três grupos, segundo critérios da OMS: I) por doenças do aparelho respiratório e correlacionáveis com a poluição atmosférica (como pneumonias e pneumopatias não especificadas, bronquites crônica e aguda, etc.); II) por doenças atribuíveis às circunstâncias da poluição das águas e dos solos (doenças diarréicas, hepatite infecciosa, poliomieli-

te); e III) por outras causas. Foi utilizado então um teste qui-quadrado para se testar a hipótese de que a frequência da distribuição da mortalidade pelas mesmas causas, no mesmo período, era a mesma na região como em todo o Estado, hipótese esta que foi rejeitada no nível 0,1% com relação às doenças do grupo I, no nível 1% para as do grupo II e no nível 5% para as do grupo III. Com todas as eventuais deficiências de dados e das próprias limitações do teste utilizado, achamos significativo o resultado observado.

Na referência |29|, o recém-elaborado convênio da FATMA para levantamento da situação ambiental da região carbonífera do estado, as doenças cujas origens podem ser atribuídas à produção ou uso do carvão são divididas em respiratórias e outras, dentre as quais as atribuíveis à poluição das águas. Quanto às respiratórias, é praticamente impossível que o receptor as controle, ao contrário das relacionadas ao consumo de água, que pode ser filtrada ou fervida. Ademais, visto que a incidência das doenças respiratórias é primordialmente função da resistência do indivíduo, não é de estranhar que as crianças sejam mais afetadas pela poluição atmosférica, uma vez que têm "uma árvore respiratória de pequeno calibre e extensão, baixa resistência orgânica e mecanismos imunológicos não desenvolvidos na sua totalidade" (referência |16|).

Como as doenças decorrem da interação e do efeito sinérgico de uma série de fatores — más condições de habitação, saneamento, poluição atmosférica, péssima qualidade das águas, p.ex. —, achamos não ser muito interessante discutir aqui os efeitos individuais das diversas doenças ou como elas se propagam no indivíduo. Entretanto, é possível inferir razoavelmente bem o quadro que se configura, como são originadas as doenças e, portanto — um dos pontos que muito nos interessa—, qual a origem das internações nos hospitais e do número de atendimentos observado.

Uma vez que as doenças respiratórias encontram-se em níveis mais críticos e — provavelmente por isso — são as únicas para as quais existem estatísticas disponíveis, achamos interessante apresentar, na Tabela 7 a seguir, os dados sobre o motivo e o número de internações no Hospital de Criciúma, que serviram de base nas tentativas de quantificação para interação com o modelo.

Além das informações contidas na tabela, podem ser salientados alguns outros aspectos: Criciúma foi considerada por decreto presidencial como área crítica de poluição⁽¹⁹⁾; com relação às estatísticas, 83,1% das internações na pediatria foram por

(19) Mais especificamente, a 9.^a cidade mais poluída do País (ou a 3.^a, caso não se considerem as 7 maiores regiões metropolitanas do país; Cubatão e Volta Redonda são as mais críticas).

TABELA 7

DISTRIBUIÇÃO DOS CASOS DE PNEUMOPATIAS NA CLÍNICA MÉDICA, NA PEDIATRIA E NO TOTAL DO HOSPITAL SÃO JOSÉ, DE CRICIÚMA⁽¹⁾

UNIDADE	INTERNAÇÕES		PNEUMOPATIAS	
	Número	Porcentagem	Número	Porcentagem
Clínica Médica	5.441	29,9	1.180	6,5 do Total ou 21,7 da Clínica Médica
Clínica Pediátrica	3.226	17,9	1.814	10,0 do Total ou 55,5 da Clínica Pediátrica
Total 2 Clínicas	8.707	47,8	2.994	34,38 do Total das 2 Clínicas
Outras	9.492	52,2	-	-
Total Geral	18.199	100,0	2.994	16,5 do Total

(1) - Internações entre junho de 1981 a maio de 1982

FONTE: Ref. |29|

broncopneumonia, 7,6% por pneumonia e menos de 3% por asma; e na clínica médica, 48,1% das internações foram por DPOC⁽²⁰⁾, 21% por pneumonia, 7% por asma, 4,3% por pneumoconiose (51 casos) e 3% por insuficiência respiratória. Segundo a própria referência, muitas alterações pulmonares ocasionadas pela poluição não são registradas, o que leva a pensar na necessidade de se realizar um trabalho nos indivíduos que habitam locais próximos às minas, onde há maior quantidade de rejeitos. Estas conclusões, pois, devem ser consideradas parciais, uma vez que as estatísticas ainda são subestimativas do número de pessoas atingidas pela poluição e/ou pelas doenças.

(20) Doença pulmonar obstrutiva crônica

IV - AVALIAÇÕES QUANTITATIVAS

Esta seção consta de três partes distintas. Na primeira delas levantam-se alguns aspectos estruturais do modelo matemático a partir dos quais se define como os dados quantificados neste trabalho podem alimentar o modelo. Em outras palavras, como cada um dos dados de custos de controle e recuperação ambiental podem entrar no modelo, de que modo podem afetar seus resultados e como será possível identificar estas eventuais alterações. Na segunda parte são apresentadas as quantificações propriamente ditas: a metodologia, os dados disponíveis e os valores finais que são usados na interação com o modelo. Na terceira parte são apresentados e discutidos os resultados observados no modelo quando rodado com os dados de meio ambiente e sumarizadas as principais conclusões acerca dos aspectos quantitativos abordados nesta seção.

Inicialmente, resumimos todos os aspectos tratados no trabalho sobre os quais tentou-se fazer avaliações quantificadas e que são em número de quatro. O primeiro refere-se aos custos de mineração a céu aberto a ser feita daqui para o futuro de modo a resguardar os padrões ambientais. O segundo é semelhante ao anterior, referindo-se ao beneficiamento. São seus sub-ítems a disposição dos rejeitos e o tratamento da drenagem ácida das minas. O terceiro refere-se à poluição já gerada — custos de recuperação das áreas cobertas com rejeitos de mineração a céu aberto e de beneficiamento. Finalmente, o quarto aspecto refe

re-se ao custo de "recuperação e controle" da saúde e segurança dos mineiros.

As questões de saúde da população local e da estética das áreas de mineração representam também custos sociais de degradação. Na execução do trabalho tentamos quantificar ambos os itens, mas os dados disponíveis não eram de confiabilidade razoável, além do fato de que todos os valores a que chegamos foram de segunda ordem, em comparação com aqueles obtidos para os outros itens aqui apresentados. Em função disto, optamos por não incluir estes custos na interação com o modelo, acreditando que eles não representam de fato uma parcela de peso nos custos de degradação associados à poluição gerada na produção de carvão.

Dois aspectos estruturais do modelo são extremamente relevantes para permitir a interação com as questões ambientais. O primeiro é que, em face da função objetivo do modelo ser a de minimizar os custos totais, percebe-se que quaisquer custos fixos adicionais, como é o caso típico dos de recuperação de áreas de mineração abandonadas, não acarretam nenhuma alteração na solução ótima, mas somente no valor da função objetivo e no custo médio da tonelada produzida, que é um resultado do dual do programa. Assim, os custos fixos não precisam ser considerados pelo modelo; procede-se a uma rodada sem eles e, ao final, em função da quantidade total a ser produzida num dado período de tempo, dividem-se os custos fixos por esta tonelagem total, obtendo-se o acréscimo no custo da tonelada média produzida. Este acréscimo

corresponderá ao custo social de recuperação das áreas abandonadas, por exemplo, que estaria embutido na tonelada média a ser produzida no futuro.

O segundo aspecto é relativo ao beneficiamento dos carvões catarinenses. Neste trabalho, referimo-nos à pré-lavagem do carvão na boca das minas como sendo o beneficiamento. No modelo, entretanto, não se considera esta atividade da pré-lavagem, mas somente a do beneficiamento final do Lavador de Capivari. Assim, no modelo existem apenas a mineração que produz diretamente o CPL(carvão pré-lavado) e o beneficiamento final de Capivari. Portanto, os custos de pré-beneficiamento aqui identificados devem ser aglutinados aos custos da mineração (para os carvões catarinenses).

Apresentamos a seguir as quantificações propriamente ditas. Como em toda bibliografia, estas quantificações envolvem uma série de dificuldades já apontadas na Introdução do Trabalho, relacionando-se a aspectos até mesmo subjetivos sobre como se medir os impactos, particularmente os referentes às questões de saúde e segurança dos mineiros. Alguns dos dados apresentados são bastante detalhados, com custos explicitados item a item, outros são estimativas baseadas em bibliografia internacional, outros ainda provêm de contatos diretos mantidos com técnicos dos assuntos. De qualquer maneira, percebe-se uma disponibilidade bastante limitada de dados, o que não surpreende, visto tratar-se de um assunto que somente agora recebe a atenção devida. Adicionalmente, os custos de mineração, beneficiamento e de recuperação de áreas a-

bandonadas, principalmente, são extremamente distintos de uma região para outra, de uma mina para outra, de um lavador para outro. Assim, os custos que levantamos tentam ser típicos e significativos para a média dos casos ocorrentes; entretanto, podem não ser nada realistas para situações particulares.

Os valores são apresentados em dólares constantes, que é a unidade utilizada pelo modelo. As conversões de cruzeiros para dólar foram feitas em Julho/83 com o dólar considerado ao câmbio oficial. Também foi considerada a atualização do dólar pelo Índice de Preços por Atacado dos Estados Unidos, ano base 1975.

1) Mineração a céu aberto com recuperação paralela

Este é o item sobre o qual há maior disponibilidade de dados. É importante salientar que entende-se por custo de recuperação paralela basicamente a recomposição topográfica e nivelamento (grading), recuperação do solo (calagem e adubação), revegetação e mais o transporte do solo de uma frente de mineração para uma de recuperação, em geral no corte precedente. O manuseio do material estéril (overburden) supõe-se incluído no custo de mineração.

Os custos adicionais em que se incorre variam demasiadamente de uma mina para outra, sendo um parâmetro fundamental a espessura da cobertura do carvão. Se medirmos os custos em dólares/tonelada de ROM, como precisamos para alimentar o modelo, torna-se crítica também a espessura do veio de carvão.

O valor adotado foi o de Misolek e Noser |20|, de US\$ 1,00/t de ROM, que parece se adequar às condições típicas do Brasil, coincide aproximadamente com os valores encontrados no trabalho pioneiro feito no Brasil pela CRM e está no intervalo de valores das referências estrangeiras. Como apresentado na revisão bibliográfica, a referência |20| consiste exatamente de uma simulação para os custos de recuperação paralela de mineração a céu aberto de carvão. O modelo toma como parâmetros básicos a espessura da cobertura e do veio de carvão e a produção anual da mina. Como o modelo em si não é apresentado, utilizamos o resultado do Estado americano com carvões com características mais semelhantes à dos brasileiros, no caso o Colorado⁽²¹⁾ que, atualizado é de US\$0,81 t de ROM ou US\$ 23.627/ha. Considerando-se que a espessura do veio de carvão é um parâmetro fundamental na determinação do custo por tonelada de ROM, ajustamos este valor para US\$ 1,03/t de ROM, considerando a espessura de 5,25 pés típicos de Candiota, no Brasil.

Ilustrativamente os custos operacionais de mineração a céu aberto utilizados no modelo variam de US\$ 4,50/t de ROM a US\$ 16,00/t de ROM, ou seja, a mineração a céu aberto pode ter seus custos operacionais aumentados em mais de 20% para atender os padrões ambientais.

Outros estudos apresentam valores diferentes do adotado, por razões que comentamos a seguir.

(21) Capeamento de 47 pés, veio de carvão de 6,7 pés, produção anual de 2×10^6 t de ROM - comparáveis com os 45 pés de capeamento e 5,25 pés de veio de carvão tipicamente encontrados no Brasil - referência |14|.

O valor médio apresentado em IESA |15|, contratado com vista a atender a Portaria da SEMA/DNPM, só consta dos custos operacionais e foi de US\$ 4.720/ha ou US\$ 0,20/t de ROM. Em comunicações pessoais com os autores, houve concordância de que alguns dados e parâmetros precisam ser revistos, pois o valor final de fato parece subestimado.

Klippel |17| relata a única experiência brasileira de recuperação paralela na mineração a céu aberto de carvão, feita no Rio Grande do Sul pela CRM, nas jazidas de Boa Vista e Shumaikal. Como o experimento incluía a recuperação de áreas abandonadas, além da recuperação paralela, os custos podem estar discretamente superestimados. Os valores médios apresentados foram de US\$ 15.000/ha⁽²²⁾ ou US\$ 1,02/t de ROM⁽²³⁾ e US\$ 1,95/t de ROM, que representaram 11% e 14% do custo de mineração de cada uma das jazidas de Boa Vista e Shumaikal, respectivamente.

O "World Coal Study" - |33|- apresenta os mesmos valores da referência |31| - trabalho da International Energy Agency sobre carvão - US\$ 0,27 a US\$ 4,98/t de ROM ou US\$ 12.700 a US\$ 33.800/ha, valores encontrados no Oeste dos Estados Unidos com

(22) O valor apresentado na referência é de US\$ 12.806/ha. Entretanto, foram incluídos os hectares das áreas antigas e na produção de ROM, somente aquela referente aos anos 77 a 81. Nosso valor considera apenas os hectares correspondentes a estes anos e desconta 30% do custo total, relativos à proporção das áreas antigas.

(23) Há uma suposição implícita de 14.000 t de ROM/ha.

veios grossos de carvão e no Leste com veios finos, respectivamente.

Finalmente, o estudo da FATMA [29] sobre recuperação de áreas abandonadas, permite derivar uma estimativa sobre recuperação paralela. Os autores do trabalho estimam que os custos desta corresponderiam a 1/3 dos valores apresentados no relatório final para recuperação das áreas abandonadas. O valor de US\$ 0,21/t de ROM a que assim chegamos, parece por demais subestimado.

2) Beneficiamento

Existem quatro aspectos distintos neste ítem: o primeiro é o custo do fechamento dos circuitos dos atuais lavadores; o segundo refere-se ao custo operacional adicional do beneficiamento que se incorrerá, sendo ele em circuito fechado; o terceiro é o custo operacional adicional de se fazer uma disposição "cuidadosa" dos rejeitos do beneficiamento; o quarto aspecto é relativo ao tratamento da drenagem, que não refere-se diretamente ao beneficiamento. Entretanto, como ele geralmente se dá junto com o das águas de lavagem e, adicionalmente, porque é a melhor maneira de entrar com estes custos no modelo, optamos por abordá-los aqui.

Nossa estimativa sobre este ítem baseia-se essencialmente em IESA - [15], tendo-se adotado entretanto, uma avaliação diferente da apresentada na referência para os custos de investimento para fechamento dos circuitos, e isto deve-se a duas razões

principais. A primeira resulta do reconhecimento dos autores que os valores estão subestimados. A segunda decorre da importância deste ítem, para que se vejam implementadas as exigências da Portaria 917, uma vez que o fechamento dos circuitos constitui, provavelmente, a medida mais importante para minimizar os impactos ambientais ora observados. Sendo assim, lançamos mão de outra estimativa, apresentada adiante.

Em IESA - |15| - são tratados separadamente efluentes líquidos (que incluem fechamento dos circuitos e tratamento das águas de lavagem, de drenagem de mina e das pilhas de carvão) e rejeitos sólidos, ou mais precisamente, a disposição "adequada" dos rejeitos sólidos do beneficiamento. Com a finalidade de trabalhar unicamente com valores medidos em dólares por tonelada, fizemos ligeiras modificações nos valores apresentados pela referência e adicionalmente anualizamos e remuneramos em 10% ao ano os investimentos fixos ao longo da vida útil média dos equipamentos, conforme apresentados na própria referência, somando a estes os custos operacionais.

O fechamento do circuito dos lavadores para tratamento dos efluentes líquidos demanda um investimento de US\$ 10.698.000. Sendo a vida útil de 10 anos chegamos a um custo equivalente de US\$ 0,10/t de ROM (produção anual estimada de 16.400.000 t de ROM — dados de Santa Catarina), enquanto o custo operacional é de US\$ 0,36/t de ROM. Quanto à disposição dos rejeitos sólidos, o investimento anualizado é de US\$ 0,02/t de ROM e o custo operacional US\$ 0,08/t de ROM (a vida útil é de 13 anos). Assim, a es

timativa do custo total segundo os valores da referência |15| seria de US\$ 0,56/t de ROM.

Como mencionado anteriormente, optamos por utilizar uma estimativa dos custos de investimento necessários igual à 10 a 15% do investimento por capacidade de operação, obtida em contatos pessoais com a CIENTEC.

Baseando-nos em dados sobre capacidade dos lavadores constantes em |12|, |14| e |15|, calculamos que os investimentos necessários ao fechamento dos circuitos dos pré-lavadores de Santa Catarina situam-se na faixa de US\$ 17,5 milhões, portanto quase o dobro do valor apresentado por IESA - |15|. Este valor medido em dólares por tonelada fica, segundo o mesmo procedimento utilizado anteriormente, em US\$ 0,16/t de ROM. Somando este item aos outros apresentados em |15|, chegamos à estimativa final de US\$ 0,62/t de ROM para o item beneficiamento do carvão.

Ilustrativamente, o custo operacional do beneficiamento a dotado pelo modelo era de US\$ 1,00/t de ROM(JIG) ou de US\$ 2,00/t de ROM(meio denso), ou seja, o beneficiamento feito de modo a atender as exigências da legislação ambiental pode ter seus custos operacionais aumentados em até 60%.

3) Recuperação das áreas cobertas com rejeitos (poluição já gerada)

Relembramos aqui que estes custos são fixos e, portanto, não alimentam o modelo e serão utilizados apenas na determinação do aumento do custo total de produção de carvão.

Neste ítem existem dois aspectos distintos que são recuperação das áreas cobertas com rejeitos da mineração a céu aberto e daquelas com rejeitos do beneficiamento (pré-lavagem), com custos também distintos.

Os rejeitos da mineração constituem-se parcialmente de pedras grandes e pesadas e formam pilhas com uma altura extremamente variável, chegando até 20m. Em outros casos, preenchem antigas cavas de mineração, não alterando tanto a topografia. Os rejeitos do beneficiamento caracterizam-se por serem formados apenas de material de pequena granulometria e apresentam o inconveniente de serem mais espalhados que os rejeitos da mineração, ocorrendo mesmo em regiões urbanas e hoje em dia já cobertos por loteamentos, sendo de quase impossível recuperação.

As estimativas conhecidas (|15| e |29|) das áreas cobertas com os rejeitos em Santa Catarina apresentam alguma discrepância. Adotaremos os valores estimados pela FATMA: 2.000 ha cobertos com rejeitos da mineração a céu aberto em Santa Catarina e 200 no Rio Grande do Sul; 1.000 ha cobertos com rejeitos do beneficiamento em Santa Catarina e apenas 80 ha no Rio Grande do Sul.

As estimativas dos custos de recuperação das áreas com rejeitos da mineração a céu aberto não são discutidos em detalhes nas referências internacionais (|7|, |9| e |10|), sendo necessários contatos com os autores de quatro instituições (CRM, IESA, CIENTEC e ECP); todos indicam que estes custos devem ser de duas

a quatro vezes os custos de recuperação simultânea. Conservadoramente, adotamos a menor destas estimativas que, medida em dólares por hectare, corresponde a US\$ 40.000/ha (US\$ 2,00/t de ROM na recuperação paralela vezes cerca de 20.000 toneladas de ROM por hectare).

Assim, o custo total de recuperação das áreas cobertas com rejeitos da mineração a céu aberto no Brasil é de cerca de US\$ 88.000.000, dos quais US\$ 80.000.000 referentes ao Estado de Santa Catarina.

Quanto aos custos de recuperação das áreas cobertas com rejeitos do beneficiamento⁽²⁴⁾, só encontramos a estimativa do estudo piloto da FATMA (referência |29|), cuja estrutura de custos aparece bastante detalhada, para diferentes técnicas de controle e para diferentes tipos de área (urbana, suburbana ou rural). O custo médio final obtido foi de US\$ 7.400/ha que multiplicado pela estimativa de 1.080 ha a recuperar fornece um custo fixo adicional de US\$ 8.000.000, dos quais US\$ 7.400.000 referentes ao Estado de Santa Catarina.

(24) Devemos salientar aqui que os rejeitos piritosos do pré-beneficiamento dos carvões catarinenses vem sendo utilizados pela ICC como matéria-prima para a produção de ácido sulfúrico. Entretanto, os volumes são de pequena monta, de modo que não achamos relevante quantificar o benefício proporcionado por este processo. Como em qualquer questão de disposição de resíduos poluentes, a solução econômica (e ambiental) evidentemente mais indicada é o reaproveitamento por outras indústrias, situação aqui também recomendada (ver referências |2| e |11|).

4) Recuperação e Controle da Saúde e Segurança dos Mineiros

Antes de entrar no assunto propriamente dito, ressaltamos mais uma vez a observação feita na introdução deste trabalho acerca do próprio sentido de se fazer alguma avaliação quantificável sobre este item. Os valores aqui apresentados são certamente subestimativas daqueles que seriam possíveis de se atribuir à saúde e à vida de uma pessoa. Mais ainda, nossa estimativa definitivamente não tenta captar estes valores, mas apenas fazer as medidas tradicionalmente empregadas na literatura, quais sejam, a produção econômica que se perde, os custos de tratamento das diversas doenças e o salário insalubridade pago aos trabalhadores. Como já salientado, a motivação para se proceder desta maneira é a constatação de que a solução ótima dada pelo modelo de oferta de carvão poderá se alterar caso se considerem estes custos, bem como deverá aumentar o custo médio da tonelada produzida. Estamos certos de que o alcance destas medidas é bastante limitado, uma vez que, no caso da segurança dos mineiros, por exemplo, a consideração do incremento dos custos medidos em dólares/tonelada de ROM não será o único determinante da opção por uma tecnologia de mineração segura.

Outra motivação para termos estudado e feito uma avaliação quantificada sobre as questões de saúde dos mineiros foi a de que ela nos parece afeta ao meio-ambiente, no sentido de que estas questões tem sua origem básica na poluição atmosférica dentro das minas. Como salientado na Introdução, também são quantificadas as questões de segurança dos trabalhadores.

Pensemos inicialmente apenas nas questões de saúde. Há dois tipos de custos envolvidos: o primeiro é o salário insalubridade pago ao trabalhador, que é uma medida⁽²⁵⁾ de quanto a sociedade está disposta a pagar aos mineiros para que eles desçam e trabalhem nas minas, correndo riscos de saúde conhecidos (inclusive por eles). Este valor, que é aceito pelos mineiros, já está internalizado no custo da tonelada de carvão produzida. O segundo refere-se ao fato de que, independentemente do pagamento do salário insalubridade, persistem as doenças pulmonares dos trabalhadores, que demandam um tratamento e implicam um sofrimento, tendo, portanto, um custo associado. Abandonando a questão do sofrimento, que é de quase impossível quantificação, tem-se que analisar como é financiado o tratamento destas doenças; se pela Previdência Social, se pela empresa mineradora ou se pelo próprio trabalhador.

De fato, é a Previdência Social que paga o tratamento de qualquer doença ou acidente de trabalho, desde que, obviamente, o hospital a que se recorra tenha convênio com o INPS, situação mais comum. Evidentemente, os riscos que aqui se incorre são muito maiores que a média nacional, havendo portanto uma distorção no custo social da tonelada de carvão produzida, no sentido que os setores com menores riscos de acidentes estão contribuindo para o tratamento da saúde dos mineiros e, portanto, "escondendo" parcialmente o verdadeiro custo social de se produzir carvão. Uma medida

(25) Supomos, em princípio, que não há grande poder de barganha da classe, de modo a "superestimar" os custos que aqui discutimos.

para esta distorção seria a diferença entre o custo do tratamento e a contribuição feita (trabalhador mais empresa). Este custo social não está embutido no preço da tonelada de carvão e, portanto, deve-se adicioná-lo ao salário insalubridade para se ter uma medida dos custos sociais relativos à degradação da saúde dos trabalhadores.

A inclusão das questões de segurança nas quantificações deve-se unicamente, como já salientado, ao fato de que o salário insalubridade reflete, em verdade, o risco de se trabalhar numa mina subterrânea, e as questões que propiciam este risco são conjuntamente de saúde e segurança dos trabalhadores (riscos de acidentes com máquinas, com desabamentos, com explosivos, etc.), ou seja, é impossível distinguir que parcela do salário insalubridade refere-se à saúde dos mineiros e que parcela refere-se aos acidentes.

Resumindo, em função do que foi apresentado, temos que nossa estimativa dos custos associados à degradação da saúde dos mineiros consiste da soma do salário insalubridade pago ao mineiro com os custos de tratamento das doenças; parte destes já estava internalizada no modelo, sob a forma de contribuição à Previdência Social.

A medição da parte relativa ao salário insalubridade é simples, mas devemos ressaltar o importante aspecto de que ele, per si, pode não refletir a disposição do trabalhador de incorrer em riscos, pois o que lhe importa é o salário total. De fato,

no Brasil, nem existe o salário insalubridade, uma vez que os trabalhadores conseguiram aglutiná-lo ao salário base. Como, entretanto, a qualificação dos trabalhadores das minas subterrâneas que ganham o piso-salarial é igual a de um trabalhador da construção civil (que ganha basicamente um salário-mínimo), é razoável considerarmos a diferença entre o piso-salarial dos mineiros e um salário-mínimo como sendo a medida do salário-insalubridade. No 2º semestre de 83, o piso salarial dos mineiros será de Cr\$ 112.000,00/mês (dissídio em Julho e Janeiro); em outubro, portanto, a diferença será de cerca de US\$ 82/mês⁽²⁶⁾. Adicionalmente, o turno de trabalho dos mineiros é de 6 horas, o que dá, convertendo a diferença de horas para salários, um valor de US\$100/mês para o salário-insalubridade, equivalentes a US\$ 0,57/t de ROM⁽²⁷⁾

Com relação aos custos de tratamento das doenças, não apresentaremos detalhadamente todos os cálculos e dados levantados. Apenas, ilustrativamente, podemos dizer que a metodologia consistiu em identificar as taxas médias de incidência das doenças e acidentes e multiplicá-las pelos respectivos custos médios

(26) O Salário Mínimo real em outubro/83, que é o mês em que consideramos os CR\$ 112.000,00 como o piso salarial real dos mineiros, será de cerca de CR\$ 47.900,00 (deflacionado em ORTN's) ou seja, a diferença de ambos será de Cr\$ 64.000,00 o que equivalerá a aproximadamente US\$ 82/mês.

(27) Usando os dados do DNPM|14|- em 1982 o número de trabalhadores das minas subterrâneas era 8.423 e a produção brasileira foi de 19.103.980 t de ROM. Multiplicando então os US\$ 100/mês por 13 salários/ano e o resultado por 8.423 mineiros obtemos o total pago em salários-insalubridade; US\$ 10.949.900. Dividindo este número pela produção do ano obtemos o valor apresentado de US\$ 0,57/t de ROM

de tratamento. Os números a que assim chegamos foram de US\$0,03/t de ROM para os acidentes fatais⁽²⁸⁾, US\$ 0,12/t de ROM para os acidentes não fatais e US\$ 0,08/t de ROM para as doenças pulmonares. Quanto às contribuições feitas à Previdência Social, pela empresa e pelo trabalhador, nossa estimativa é de US\$ 0,15/t de ROM⁽²⁹⁾.

Sumarizando, temos que o valor que atribuímos ao custo social da degradação da saúde dos mineiros nas minas subterrâneas é de US\$ 0,80/t de ROM (US\$ 0,57/t de ROM do salário insalubridade mais US\$ 0,23/t de ROM associados ao tratamento das doenças). A contribuição feita à Previdência Social é de US\$ 0,15/t de ROM e já estava internalizada no modelo, bem como o salário insalubridade.

(28) Os custos associados aos acidentes fatais são medidos usualmente pela perda da produção que a morte (ou a incapacitação total) do trabalhador acarreta; esta perda é feita multiplicando-se a vida útil do trabalhador pelo salário recebido. O sistema do INPS de compensação por acidentes fatais (ou incapacitação total), por exemplo, considera 6000 dias como a vida útil do trabalhador. Usamos basicamente este procedimento e chegamos ao valor apresentado no texto.

(29) Consideramos a contribuição de 8% do trabalhador e 10% da empresa. Como o salário é de US\$ 144/mês, temos uma contribuição anual de US\$ 336/trabalhador. Multiplicando pelos 8.423 mineiros e dividindo pela produção de 19.103.980 t de ROM, chegamos ao valor apresentado de US\$ 0.15/t de ROM.

5 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

Inicialmente, sumarizamos os valores adotados na interação com o modelo. Os custos operacionais da mineração a céu aberto ficam aumentados em US\$ 1,00/t de ROM, os do beneficiamento em US\$ 0,62/t de ROM, as questões de saúde dos mineiros representam um custo de US\$ 0,80/t de ROM e os custos de recuperação das áreas abandonadas somam US\$ 96.000.000,00.

Como salientado na Introdução, em face de os únicos aspectos de meio-ambiente quantificados terem sido relativos ao módulo de produção e beneficiamento, é de se esperar que as alterações que estas questões causem à solução do modelo sejam perceptíveis praticamente apenas nestas etapas do ciclo do carvão. Por conseguinte também, só nos parece interessante analisar aqui duas principais alterações. Uma que é nos tipos de carvões a serem produzidos e em que regiões e a outra, que é a variação percentual do total ótimo a ser gasto na produção do carvão, quando são consideradas as duas situações: a que leva e a que não leva em conta os aspectos do meio-ambiente.

Apenas para ilustrar que as alterações "relevantes" dão-se unicamente no módulo de produção do carvão, observamos que o valor da função objetivo do modelo quando rodado com e sem os dados de meio-ambiente altera-se em apenas 4,49% (obviamente aumentando no primeiro caso). Percebe-se com isto o peso com que entram na função objetivo os custos de transporte, abertura de

de portos e de distribuição dentro dos centros consumidores.

Com relação às alterações esperadas na produção dos diferentes tipos de carvões podemos dizer que elas são praticamente desprezíveis. O total de carvão ROM a ser produzido em cada período diminui, na rodada com os dados de meio-ambiente, no máximo 5% em um dos períodos. Idêntica observação aplica-se para o total a ser beneficiado. Além disso, nenhuma mina entra ou sai quando comparadas as duas rodadas. As duas únicas alterações que podem merecer algum comentário são, primeiramente, o deslocamento da produção de ROM no Rio Grande do Sul no longo prazo, de Candiota C.A. para Leão Butiã/subsolo (há uma queda na produção da primeira de 34 milhões de t de ROM entre 1989 e 2000 e um aumento na da segunda de 47 milhões de t de ROM no mesmo período - o que dá uma diminuição percentual média por ano de 21% em Candiota e um correspondente aumento de 57% em Leão Butiã). Atribuímos esta alteração basicamente ao fato de o custo da mineração a céu aberto em Candiota ter aumentado percentualmente 22% (US\$ 1,00/t de ROM), enquanto que em Leão Butiã apenas 5,6% (US\$ 0,80/t de ROM).

A outra alteração refere-se à produção de ROM em Santa Catarina nas minas de subsolo. Na rodada inicial, sem os dados de meio-ambiente, já havia uma preferência pelas minas semi-mecanizadas. Na rodada com os dados de meio-ambiente esta preferência fica mais acentuada, principalmente no curto prazo. Especificamente, entre 1983 e 1988 a produção das minas semi-mecanizadas cresce 27% e a das mecanizadas decresce 48%. Atribuímos esta al-

teração ao fato de o aumento do custo de mineração para ambos os métodos ter sido de US\$ 1,40/t⁽³⁰⁾ de ROM e, percentualmente isto significou um aumento maior para a mineração mais barata, no caso, a mecanizada.

Com relação à identificação da variação percentual do total ótimo a ser gasto na produção do carvão, temos a observar o seguinte. O valor atribuído às questões de saúde dos mineiros foi de US\$ 0,80/t de ROM. Entretanto, parte destes custos (US\$ 0,57/t de ROM relativos ao salário insalubridade mais US\$ 0,15/t de ROM sob a forma de contribuição à Previdência Social) já estava embutida nos dados originais do modelo. Assim, na rodada em que não são considerados estes aspectos, nem os de meio-ambiente propriamente, nós retiramos US\$ 0,72/t de ROM dos custos originais da mineração subterrânea. Na rodada em que entram estas questões, consideramos esse valor e somamos US\$ 0,08/t de ROM correspondentes à diferença entre custo estimado de tratamento das doenças e acidentes (US\$ 0,23/t de ROM) e a contribuição total feita à Previdência (US\$ 0,15/t de ROM).

Ainda, na rodada com os dados de meio-ambiente, são incluídos também os custos operacionais adicionais de mineração a céu aberto e de beneficiamento. Além disso, ao final, somamos os custos totais de recuperação de áreas abandonadas ao total ótimo a ser gasto na produção e beneficiamento de carvão (lembrando que os custos fixos não entram na rodada propriamente, já que não interferem na solução ótima).

(30) US\$ 0,80/t de ROM relativos à saúde dos mineiros mais US\$ 0,60/t de ROM referentes à pré-lavagem em SC, explicados a diante.

O total ótimo a ser gasto em mineração e em beneficiamento (incluindo custos de investimentos e operacionais) não é fornecido diretamente pelo modelo. Sendo assim, tivemos que fazer este cálculo "fora" do modelo, lançando mão, porém, do seguinte procedimento: a combinação ótima da produção e dos respectivos custos de todas as minas em operação em cada ano não é constante (por exemplo, a mina de Candiota pode produzir 5% do total brasileiro e os custos associados representarem 2% do total e num período seguinte produzir 10% com os custos representando 7% do total). Em função disto, para podermos comparar a parcela do meio ambiente no total de mineração e beneficiamento, transformamos em valor presente a tonelagem a ser produzida e beneficiada. Entendemos por "valor presente da produção" o volume de carvão que deveria ser produzido hoje de modo a representar a mesma satisfação (atendimento da demanda) que num ano futuro; ou seja, simplesmente aplicar à produção a taxa de desconto de 10% com que trabalha o modelo para o capital, trazendo para valor presente. A soma das produções (em valor presente) de todas as minas multiplicadas pelos respectivos custos de mineração mais os investimentos necessários dão o total a ser gasto em mineração, no caso US\$ 3.264.179.000 até o ano 2000. Como sabemos a parcela do meio ambiente para cada mina (basta multiplicar os "custos de meio ambiente" da mineração a céu aberto - US\$ 1,00/t de ROM - e os da mineração de sub-solo - US\$ 0,80/t de ROM - pela produção da mina), se somarmos estes valores para todas as minas obteremos o total de mineração correspondente ao meio-ambiente e saúde e segurança dos mineiros. Idêntico raciocínio aplica-se ao beneficiamento.

Para tornar mais claro o procedimento, apresentamos na Tabela 8 a seguir, os cálculos feitos e os valores finais obtidos.

Como se depreende da tabela, a parcela de meio ambiente na mineração representa 9,71% (US\$ 317.025.000 ÷ US\$ 3.264.179.000) e no beneficiamento representa 13,90% (US\$ 136.573.000 ÷ US\$ 982.228.000).

Assim, lembrando adicionalmente dos custos fixos (US\$ 96.000.000,00) relativos à recuperação das áreas abandonadas que não entram no modelo, podemos calcular a parcela total de meio ambiente. Segundo nossas estimativas, ela representa, no total dos custos de mineração e beneficiamento do carvão, cerca de 12,94 por cento, obtíveis do quociente das "parcelas de meio ambiente" de cada uma destas atividades somadas aos custos fixos, ou seja, US\$ 317.025.000 + US\$ 136.573.000 + US\$ 96.000.000, pelo total a ser gasto na produção (mineração e beneficiamento), ou seja, US\$ 3.264.179.000 + US\$ 982.228.000. Se abandonássemos os custos fixos relativos à poluição já gerada, esta parcela cairia a 10,68 por cento.

Estes números são extremamente coerentes com as estimativas conhecidas das referências internacionais, que situam esta parcela de meio ambiente na produção em cerca de 10 a 20% do total.

TABELA 8

"VALORES PRESENTES DA PRODUÇÃO"⁽¹⁾ E PARCELAS DO MEIO AMBIENTE

MINA ⁽²⁾	PRODUÇÃO DE ROM ATÉ ANO 2000 (10 ³ t)	CUSTO MINERAÇÃO ⁽³⁾ (10 ³ US\$)	PARCELA DO M.A. ⁽⁴⁾ (10 ³ US\$)	BENEFICIA- MENTO (10 ³ t)	CUSTO BENEFICIA- MENTO ⁽³⁾ (10 ³ US\$)	PARCELA DO M.A. ⁽⁴⁾ (10 ³ US\$)
CANDIOTA CA	57.010	457.739	57.010	57.010	190.386	34.206
LEÃO BUTIÁ CA	13.798	113.624	13.798	13.665	} 279.727	27.218
LEÃO BUTIÁ SS/MM	31.698	629.836	25.358	31.698		
IRUÍ CA	18.032	213.191	18.032	18.032	108.046	10.819
SC CA	33.082	264.924	33.082	21.774	} 404.807	64.330
SC ME/SM	} 117.456	2.454.926	164.438	106.886		
SC ME/MM						
SC SS/SM						
SC SS/MM						
CAMBUÍ MAN	7.884	129.939	6.307	0	0	0
TOTAL	278.960	3.264.179	317.025	249.065	982.228	136.573

(1) Explicação no texto

(2) CA = céu aberto; SS = sub-solo; ME = meia-encosta; SM = semi-mecanizada; MM = mecanizada; MAN = manual

(3) CUSTO MINERAÇÃO : (PRODUÇÃO X CUSTO OPERACIONAL DE CADA MINA) + (INVESTIMENTO).
Em SC está incluído o pré-beneficiamento e sua correspondente parcela de Meio Ambiente (US\$ 0.60/t de ROM).

- CUSTO BENEFICIAMENTO : (BENEFICIAMENTO X CUSTO OPERACIONAL DO LAVADOR) + (INVESTIMENTO). O custo operacional é de US\$ 2.60/t de ROM (meio-denso) ou US\$ 1.60/t de ROM (JIG) para RS e PR. Em SC, o beneficiamento propriamente é só o de Capivari; como praticamente não há disposição de rejeitos sólidos, os custos do beneficiamento são apenas US\$ 2.50/t de ROM, de acordo com nossa estimativa dos custos de disposição "adequada" dos rejeitos sólidos do lavador.

(4) Parcela do meio ambiente:

Mineração : CA - Produção X US\$ 1.00/t de ROM
 SS } - Produção X US\$ 0.80/t de ROM - RS e PR
 { - Produção X US\$ 1.40/t de ROM - SC - pois, novamente, os custos de mineração neste estado incluem os custos do pré-beneficiamento e, portanto, os US\$ 0.60/t de ROM relativos a parcela de meio-ambiente.

Beneficiamento: MD e JIG - Beneficiamento X US\$ 0.60/t de ROM - RS
 - Beneficiamento X US\$ 0.50/t de ROM - SC (em Capivari não há disposição de rejeitos sólidos)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- |01| - BAUMOL, William J. and OATES, Wallace E. The theory of environmental policy; externalities, public outlays and the quality of life. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1975. 272 p.
- |02| - CARVÃO DE PEDRA, Rio de Janeiro, v.14 n.70/71, jul/ago 1982.
- |03| - CETESB. Controle de poluição em minas de carvão. São Paulo, s.d. 37 p. (xerox).
- |04| - CONTADOR, Cláudio Roberto. Avaliação social de projetos. São Paulo, Atlas, 1981. 301 p.- cap.8.
- |05| - DE CICCIO, Francesco M.G.A.F. Brasil, 1980: estatísticas de acidentes do trabalho. São Paulo, FUNDACENTRO, 1982, 53 p.
- |06| - DIAS, Artur Cordon. Recuperação de áreas mineradas. Poços de Caldas, Alcoa Alumínio SA, 1980. (Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Conservação do Solo, Brasília, 27-31 out. 1980).
- |07| - THE DIRECT use of coal; prospects and problems of production and combustion. Washington, D.C., Office of Technology Assessment, s.d. 411 p.
- |08| - DOYLE, William S. Deep coal mining; waste disposal technology. Park Ridge, New Jersey, Noyes Data Corporation, 1976. p.290-389.
- |09| - DOYLE, William S. Strip mining of coal; environmental solutions. Park Ridge, New Jersey, Noyes Data Corporation, 1976. p.287-347 (xerox).

- [10] - ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. Processes, procedures, and methods to control pollution from mining activities. Washington, D.C., Oct. 1973. 182 p. xerox (EPA-430/9-73-011).
- [11] - FEUERSCHUETTE, Irmoto José. O carvão nacional como matéria prima para a indústria química. Imbituba, Indústria Carboquímica Catarinense SA, 1983.
- [12] - FINEP. Informações técnicas e econômicas preliminares para a elaboração de um modelo de otimização para o carvão mineral no Brasil. Rio de Janeiro, maio 1981. 534p.
- [13] - FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (CIENTEC). Projeto conceitual de proteção ambiental - Mina de Gravataí. Porto Alegre, s.d.
- [14] - INFORMATIVO ANUAL DA INDÚSTRIA CARBONÍFERA, Brasília, Jul. 1982 e Jul.1983.
- [15] - INTERNACIONAL DE ENGENHARIA S.A. Preservação do meio ambiente; relatório conceitual. Rio de Janeiro, 1983.vol. 1.(Relatório preparado para o Sindicato Nacional da Indústria da Extração de Carvão -SNIEC. Diretoria de Santa Catarina).
- [16] - JORNAL DE PNEUMOLOGIA, v.7 n.2, Junho 1981, p.57-66.
- [17] - KLIPPEL, Altair Flamarion. Regeneração de solos em áreas mineradas a céu aberto nas jazidas Boa Vista e Shumai - kal. Porto Alegre, Companhia Riograndense de Mineração, s.d.
- [18] - LEUSIN, João Carlos. Minas do Leão I e II e Mina do Iruí; preservação do meio ambiente. Porto Alegre, Companhia Riograndense de Mineração, 1983.

- |19| - LIN, William, et alii. Land reclamation and strip - mined coal production in Appalachia. Journal of Environmental Economics and Management, 3 (3):236-52, Oct.1976.
- |20| - MISIOLEK, Walter and NOSER, Thomas C. Coal surface mine land reclamation costs. Land Economics, 58(1): 67-85, Feb. 1982.
- |21| - MODIANO, Eduardo M. e TOURINHO, Octávio A.F. A economia do carvão mineral. Pesquisa e Planejamento Econômico, Rio de Janeiro, 12(1): 51-86, abr. 1982.
- |22| - MORGAN, M. Granger, et alii. The social costs of producing electric power from coal: a first-order calculation. Proceedings of the IEEE, 61(10): 1431-42, Oct.1973. xerox
- |23| - THE PAST societal costs of coal use in electricity generation. In: PENNER, S.S. and ICERMAN, L., ed. Energy; demands, resources, impact, technology and policy. Reading, Mass, Addison.Wesley Publ.Co., 1974. v.1, Chapter 7, p.313-333. xerox.
- |24| - PEARCE, D.W. Environmental economics. London, Longman, 1976 202 p. (Modern economics).
- |25| - PIATNICK, Slawomir. Beneficiamento de carvões. s.l., s.ed., 1980. 38 p. (xerox).
- |26| - RANDALL, Alan et alii. Reclaiming coal surface mines in Central Appalachia: a case study of the benefits and costs. Land Economics, 54(4):472-89, Nov. 1978.
- |27| - RELATÓRIO do Grupo de Trabalho Interministerial criado pela Portaria nº 330 de 16.3.1981. Brasília, junho 1981. v.1 e relatório final.

- |28| - RIO GRANDE DO SUL. Universidade Federal. Núcleo Interde -
partamental de Estudos Ecológicos. Estudos sobre o im
pacto ecológico da mineração e do beneficiamento do car
vão na região sul do Estado de Santa Catarina. Porto Ale
gre, jan. 1978. 337 p. (Em convênio com a FATMA de San
ta Catarina).
- |29| - Santa Catarina (Estado). Convênio FATMA/ECP(Engenheiros
Consultores e Projetistas). Avaliação ambiental da re
gião carbonífera do Estado de Santa Catarina. Florianô
polis, s.d.
- |30| - SIDDIQI, Toufig and JAMES, David. Coal use in Asia and
the Pacific: some environmental considerations. Energy,
7(3):281-300, March 1982.
- |31| - STEAM coal, prospects to 2000. Paris, OECD, 1978. 157 p.
- |32| - THUROW, Delmar. Mina de Candiota, preservação do meio am
biente - reabilitação do meio ambiente. Porto Alegre ,
Companhia Riograndense de Mineração, 1983.
- |33| - WORLD COAL STUDY (WOCOL). Coal;bridge to the future.
Cambridge, Mass. Ballinger Publ. Co., 1980. v.1, v.2(p.
473-491).

TEXTOS PARA DISCUSSÃO DO GRUPO DE ENERGIA (TDE)

- Nº I - "Uma Avaliação dos Impactos Ambientais e Socio-Econômicos Locais Decorrentes da Industrialização do Xisto", Sérgio Margulis e Ricardo Paes de Barros, Dezembro 1981, 30 p.
- Nº II - "Recursos Nacionais de Xistos Oleígenos: Um Levantamento com Vistas ao Planejamento Estratégico do Setor". Lauro R. A. Ramos e Ricardo Paes de Barros, Dezembro 1981, 76p.
- Nº III- "Agricultura e Produção de Energia: Avaliação do Custo da Matéria-Prima para Produção de Alcool", Equipe IPEA/IPT, Janeiro 1982, 64 p.
- Nº IV - "Um Modelo de Crescimento para a Indústria do Xisto", Ricardo Paes de Barros e Lauro R. A. Ramos, Fevereiro 1982, 57 p.
- Nº V - "Um Modelo de Planejamento de Oferta de Energia Elétrica", Octávio A. F. Tourinho, Março 1982, 12 p.
- Nº VI - "A Economia do Carvão Mineral", Eduardo M. Modiano e Octávio A. F. Tourinho, Março 1982, 48 p.
- Nº VII- "Um Modelo Econométrico para a Demanda de Gasolina pelos Automóveis de Passeio", Ricardo Paes de Barros e Silvério Soares Ferreira, Maio 1982, 135 p.
- NºVIII- "A Critical Look at the Theories of Household Demand for Energy", Ali Shamsavari, Junho 1982, 32 p.
- Nº IX - "Análise do Consumo Energético no Setor Industrial da Região Central do País", Flávio Freitas Faria e Luiz Carlos Guimarães Costa, Junho 1982, 30 p.

- Nº X - "Vinhoto: Poluição Hídrica, Perspectivas de Aproveitamento e Interação com o Modelo Matemático de Biomassa", Sérgio Margulis, Julho 1982, 108 p.
- Nº XI - "Um Modelo de Análise da Produção de Energia pela Agricultura", Fernando Curi Peres, Jose R. Mendonça de Barros, Léo da Rocha Ferreira e Luiz Moricochi, Agosto 1982, 24 p.
- Nº XII- "Xistos Oleígenos: Natureza, Formas de Aproveitamento e Principais Produtos", Lauro R. A. Ramos e Ricardo Paes de Barros, Fevereiro 1983, 55 p.
- Nº XIII- "Consumo de Energia para Cocção - Análise das Informações Disponíveis", Ricardo Paes de Barros e Luis Carlos P. J. Boluda, Março 1983, 113 p.
- Nº XIV- "Consumo de Energia no Meio Rural", Milton da Mata, Março 1983, 41 p.
- Nº XV - "Usina Industrial de Xisto", Lauro R. A. Ramos e Ricardo Paes de Barros, Abril 1983, 87 p.
- Nº XVI- "Cenários de Demanda de Derivados de Petrôleo", Lauro R. A. Ramos, Dezembro 1983, 88 p.
- Nº XVII- "Sobre a Dieselização da Frota Brasileira de Caminhões", Armando M. Castelar Pinheiro, Dezembro 1983, 87 p.

O INPES edita ainda as seguintes publicações: Pesquisa e Planejamento Econômico (quadrimestral), desde 1971; Literatura Econômica (bimestral), desde 1977; Brazilian Economic Studies (semestral), desde 1975; Coleção Relatório de Pesquisa; Série de Textos para Discussão Interna (TDI); Série Monográfica; e Série PNPE.