

Economia e meio ambiente: uma abordagem de insumo-produto *

CLÁUDIO DA ROCHA MIRANDA **

O problema ambiental é, via de regra, originado pelas atividades econômicas. Mesmo assim, dificilmente é tratado dentro de uma só estrutura analítica. A análise de insumo-produto e meio ambiente aqui desenvolvida, a partir da experiência do modelo de Isard e Victor, e aplicada à região industrial do Médio Paraíba do Sul, fornece subsídios à administração ambiental, tendo em vista a qualidade das águas desse rio, cujo principal uso é o abastecimento público do Estado do Rio de Janeiro e, em particular, da cidade do Rio de Janeiro. Esta análise delineou a periculosidade da produção industrial de alguns setores, tendo em vista o problema ambiental, a projeção da poluição oriunda dos processos de transformação industrial nos anos de 1978 e 1982, os limites de crescimento industrial da região face a alguns aspectos econômicos e de poluição e, finalmente, a possibilidade de se chegar a algum resultado em termos do custo do controle da poluição transferida do Estado de São Paulo.

1 — Introdução

Nos últimos anos, a preocupação com o meio ambiente vem aumentando sensivelmente. A causa disso, naturalmente, é a queda na qualidade de vida, cujos efeitos as populações vêm enfrentando. A razão desta queda, na maioria das vezes, deve-se ao fato de os sistemas visarem cada vez mais ao crescimento econômico, a qualquer custo.

As tabelas de insumo-produto econômico-ecológicas vêm sendo utilizadas como instrumento que permite descrever as relações eco-

* Este artigo baseia-se na dissertação apresentada pelo autor à Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE-UF RJ), em novembro de 1979.

** Da Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA).

nômicas de uma região com seu meio ambiente e, portanto, auxiliar na administração dos problemas ambientais gerados pelo crescimento econômico.

A adoção deste tipo de metodologia vem certamente preencher uma lacuna existente entre os profissionais envolvidos com o planejamento ambiental. Via de regra, embora exista a óbvia percepção de que os danos ambientais são, na maior parte das vezes, causados pelas atividades econômicas, os problemas ambientais são enfrentados com uma visão parcial de engenharia sanitária ou de controle da poluição. Certamente que a visão proporcionada por essas ciências e disciplinas é da maior utilidade. Entretanto, muitas vezes, fica comprometida quando utilizada sem que outros fatores sejam considerados.

Quanto à dificuldade de se desenvolverem estudos que explicitem os aspectos econômicos e ambientais de uma região, julgamos poder debitá-la a dois fatores. O primeiro pode ser atribuído ao fato de os próprios economistas estarem, até bem pouco tempo, somente preocupados com os problemas que julgavam, de fato, diretamente ligados a esta ciência, como, por exemplo, a inflação, o desemprego, o balanço de pagamentos, etc. Aspectos relativos ao ambiente, talvez pela própria visão contábil de custo que despreza o ônus social, estão muito mais ligados ao controle da poluição propriamente dita, tarefa esta afeta diretamente à engenharia. No entanto, com a ação predatória do homem, a crescente concentração da população em zonas urbanas e a sofisticação das relações econômicas, os problemas ambientais estão tomando proporções que requerem, cada vez mais, um desenvolvimento analítico numa perspectiva mais ampla, onde o homem, não somente restrito a suas relações materiais, vem sendo, cada vez mais, o centro das atenções. O segundo fator está ligado ao desconhecimento de técnicas que de fato integrem, dentro de uma mesma estrutura, economia e meio ambiente.

É exatamente levando em conta estes dois fatores que colocamos em relevo a necessidade da difusão da abordagem de insumo-produto e meio ambiente como instrumento capaz de fornecer subsídios à administração ambiental, tendo em vista um escopo analítico mais amplo.

O ensaio que se segue consiste na análise de dois modelos que se utilizam desta metodologia e num estudo de caso cuja aplicação

levanta as relações interindustriais da região industrial do Médio Paraíba do Sul e seus impactos sobre a qualidade de suas águas no que diz respeito ao uso para o abastecimento público.

Na Seção 2 é feita uma revisão, pretendendo familiarizar o leitor com os modelos de Isard e Victor,¹ que julgamos serem os mais abrangentes e os que, certamente, mais contribuíram para o desenvolvimento metodológico desta técnica.

A Seção 3 ilustra os passos necessários para a obtenção da matriz de coeficientes técnicos de produção e matriz de Leontief para a região, uma vez que estas tabelas são estimadas a partir da Matriz de Relações Interindustriais do Brasil para 1970.² Ilustra também o tratamento dado aos efluentes das principais indústrias locais, isto é, a forma com que eles são relacionados à produção setorial.

A Seção 4 apresenta os resultados obtidos a partir da ligação das tabelas econômicas de insumo-produto e dos dados de despejos industriais. Estes resultados, subdivididos em quatro itens, permitem uma visão da qualidade das águas do rio Paraíba, tendo em vista as relações interindustriais da área.

Finalmente, na Seção 5 são apresentadas algumas conclusões do estudo e recomendações para seu aprimoramento numa etapa posterior.

2 — Uma revisão da metodologia de insumo-produto e meio ambiente

2.1 — Considerações gerais

Dentre os modelos de insumo-produto que incorporam o meio ambiente, os mais conhecidos foram desenvolvidos por Cumberland,

¹ W. Isard *et alii*, *Ecological-Economic Analysis for Regional Development* (Nova York: Free Press, 1972); e Peter A. Victor, *Pollution Economy and Environment* (Londres: George Allen & Unwin Ltd., 1972).

² IBGE/Departamento de Estatísticas Derivadas, *Matriz de Relações Interindustriais: Versão Preliminar Restrita às Indústrias de Transformação e Extrativa Mineral, Brasil, 1970* (Rio de Janeiro, 1976).

Daly, Ayres e Kneese, Leontief e os de Isard e Victor.³ Além destes, naturalmente, outros no gênero têm sido implementados, buscando fornecer subsídios ao planejamento de regiões cujo desenvolvimento sócio-econômico quase sempre envolve a manutenção da qualidade ambiental dentro de certos padrões.

Particularmente, deteremos nossa atenção nas metodologias desenvolvidas por Isard e Victor, uma vez que estas são, respectivamente, a teoricamente mais completa e a empiricamente mais factível.

2.2 — O modelo de Isard

Isard e seus colaboradores utilizaram a análise de insumo-produto econômico-ecológica na Baía de Plymouth, nos Estados Unidos. Seu objetivo foi relacionar as atividades econômicas e ecológicas da região, tendo em vista a escolha do local mais adequado para a instalação de um complexo turístico, cujos custos ecológicos e de engenharia fossem minimizados.

A montagem das tabelas abandonou a idéia clássica de que cada setor produz um único produto. Seu modelo permite que vários produtos sejam classificados dentro de um mesmo setor. Assim sendo, as tabelas são dispostas na forma produto-setor. A diagramação pode ser melhor entendida com o auxílio da figura a seguir.

Os setores econômicos e ecológicos são categorizados dentro de cada quadrante de acordo com sua origem terrestre ou marinha. Analisando cada quadrante, temos:

Quadrante I: expressa os coeficientes relativos aos fluxos entre as atividades e mercadorias econômicas e ecológicas terrestres;

³ J. H. Cumberland, *A Regional Interindustry Model for Analysis of Development Objectives* (Regional Science Association, 1966), pp. 65-94; H. E. Daly, "On Economics as a Life Science", in *Journal of Political Economy*, vol. 76 (Chicago, maio/junho de 1968), pp. 392-405; R. V. Ayres e A. V. Kneese, "Production Consumption and Externalities", in *American Economic Review*, vol. 59 (Nova York, 1969), pp. 282-297; W. W. Leontief, "Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach", in *The Review of Economics and Statistics*, vol. 52 (1970), pp. 232-271; W. Isard *et alii*, *op. cit.*; e Peter A. Victor, *op. cit.*

Figura 1
ESTRUTURA DO MODELO DE ISARD

		ATIVIDADES			
		TERRA		MARINHAS	
		ECONOMIA	ECOLOGIA	ECONOMIA	ECOLOGIA
MERCADORIAS	TERRA	I		II	
	MARINHAS	III		IV	

FONTE: W. Isard *et alii*, *op. cit.*, p. 96.

Quadrante II: expressa os fluxos das mercadorias econômicas e ecológicas terrestres, sendo absorvidas pelas atividades econômicas e ecológicas marinhas;

Quadrante III: expressa os coeficientes econômicos e ecológicos das mercadorias marinhas absorvidas pelas atividades terrestres; e

Quadrante IV: expressa as relações entre as atividades e mercadorias econômicas e ecológicas marinhas.

Os setores e mercadorias ecológicas são ainda subdivididos por Isard em elementos abióticos, compreendendo o clima, geologia, hidrologia e solos, e elementos bióticos, compreendendo as plantas e os animais.

A desagregação permitida pela composição produto-setor, com número de produtos superior ao de setores, reflete de forma mais precisa as características da estrutura produtiva.⁴ Os coeficientes extraídos são subdivididos em econômicos e ecológicos, uma vez que os econômicos são derivados endogenamente, isto é, dentro da própria estrutura de insumo-produto, e os ecológicos exogenamente, ou seja, diretamente a partir dos dados técnicos e da experiência

⁴ Para uma discussão mais detalhada a este respeito, ver IBGE/Departamento de Estatísticas Derivadas, *op. cit.*, p. 9.

nas indústrias. Quanto aos coeficientes relativos às matrizes que dizem respeito aos insumos ecológicos (bens livres) para a produção econômica e aos produtos ecológicos (despejos) oriundos dos processos de transformação econômica, são derivadas relações entre as quantidades físicas ecológicas (de insumo ou de produção) e os valores da produção econômica.

A complexidade do modelo consiste na elaboração da tabela referente às inter-relações das espécies num ecossistema. Esta complexidade se deve ao rigor técnico exigido por sua montagem e à inexistência de dados a respeito. Mesmo assim, Isard e sua equipe montaram um modelo para alguns processos ecológicos. A figura a seguir indica os coeficientes da cadeia alimentar do bacalhau, onde as linhas representam as mercadorias e as colunas as atividades.

Figura 2
CADEIA ALIMENTAR PARA A PRODUÇÃO DE BACALHAU

	PLÂNCTON	PLANTAS MARINHAS	DETRITOS	HERBÍVOROS INVERTEBRADOS	ARENQUE	PEQUENOS PEIXES	CARNÍVOROS INVERTEBRADOS	BACALHAU
PLÂNCTON	+ 1				-10			
PLANTAS MARINHAS		+ 1	- 1					
DETRITOS			+ 1	-10				
HERBÍVOROS INVERTEBRADOS				+ 1		-10	-10	
ARENQUE					+ 1			-1,167
PEQUENOS PEIXES						+ 1		-1,667
CARNÍVOROS INVERTEBRADOS							+ 1	-8,333
BACALHAU								+ 1

FONTE: W. Isard *et alii*, *op. cit.*, p. 70.

A Figura 2 tem a forma $I-A$, onde I é a matriz de identidade e A a matriz de coeficientes diretos da produção de bacalhau. A coluna bacalhau indica, por exemplo, que sua unidade demanda 1,167, 1,667 e 8,333 unidades respectivamente de arenque, peixes e invertebrados carnívoros (nesta figura, o sinal negativo indica um insumo e o positivo uma oferta); da mesma forma, arenque, peixes e invertebrados carnívoros requerem 10 unidades de plâncton, herbívoros invertibrados, respectivamente, para gerarem uma unidade deles próprios.

As críticas feitas a esta metodologia podem ser resumidas em duas: a primeira é quanto à sua aplicabilidade face à excessiva necessidade de dados, sobretudo no que se refere às tabelas relativas às inter-relações ecológicas; a segunda refere-se à hipótese geral de funções lineares dos modelos de insumo-produto. Se, para as relações econômicas, esta hipótese já é fortemente vulnerável, muito mais se torna quando tratada para as inter-relações ecológicas.

Se, por um lado, sua aplicabilidade é comprometida pela dificuldade de obtenção de dados, por outro, sua elaboração contribuiu fortemente para o desenvolvimento deste segmento, sobretudo pela implementação das tabelas retangulares produto-setor.

2.3 — O modelo de Victor

A metodologia utilizada por Victor é a experiência mais de acordo com as concepções teóricas e aplicabilidade da abordagem de insumo-produto econômico-ecológica divulgada. Aplicada no Canadá, Victor incluiu na matriz econômica de insumo-produto, do tipo produto x setor, algumas linhas referentes aos insumos ecológicos demandados pela produção econômica e os correspondentes subprodutos ecológicos oriundos dos processos de transformação econômica (ver figura a seguir).

Na figura, temos as seguintes matrizes:

V é uma matriz $m \times n$ na qual um elemento v_{ji} corresponde ao insumo do j -ésimo setor ofertado para o i -ésimo produto;

U é uma matriz $n \times m$ na qual um elemento u_{ij} corresponde ao insumo do i -ésimo produto ofertado para o j -ésimo setor;

Figura 3
ESTRUTURA DO MODELO DE VICTOR

		ECONOMIA		ECOLOGIA	
		PRODUTO	SETOR	PRODUÇÃO	SETORES ECOLÓGICOS
ECONOMIA	PRO-DUTO		u		u
	SETOR	v		v	v^s u
INSUMOS ECOL.	TERRA		r	s^s r^s v^s u	
	AR				
	ÁGUA	s	s^s r		

s é uma matriz na qual um elemento s_{ij} corresponde ao i -ésimo insumo ecológico usado pelo j -ésimo produto econômico (este insumo pode ser ofertado pela terra, ar ou água);

r é uma matriz na qual um elemento r_{ij} corresponde ao i -ésimo insumo ecológico usado pelo j -ésimo setor (este insumo pode também ser ofertado pela terra, ar ou água);

v é uma matriz na qual um elemento v_{ij} corresponde à descarga do i -ésimo produto ecológico pelo j -ésimo setor econômico (esta descarga pode ser feita na terra, ar ou água); e

u é uma matriz na qual um elemento u_{ij} corresponde à descarga do i -ésimo produto ecológico pelo j -ésimo produto econômico (esta descarga pode também ser feita na terra, ar ou água).

As identidades contábeis $s = r = v = u$, referentes aos setores ecológicos, destacam o princípio do equilíbrio de materiais, cuja

equação indica que “numa economia fechada, não ocorrendo variações na massa de equipamento de capital, nos estoques de produtos finais e semifinais e de bens de consumo duráveis, a massa de insumos ecológicos deve ser igual à massa de seus produtos ecológicos”.⁵

Os dados ecológicos utilizados por Victor são pouco precisos. No entanto, a qualidade de seu modelo está muito mais no caráter metodológico do que nos resultados. A utilização de tabelas retangulares produto-setor permitiu que fosse superada a maior dificuldade deste tipo de abordagem, qual seja, a tentativa de valorar monetariamente os insumos e produtos ecológicos. Como, por este critério, a hipótese da produção de produtos conjuntos, isto é, produção principal e os equivalentes resíduos, é explicitada, pode-se abrir mão da tentativa de medir toda a produção numa mesma unidade. Como forma alternativa, foram pesquisados pesos para as variáveis ecológicas subdivididas nos subsetores água, ar e solo. Assim sendo, sua metodologia, embora não chegue aos requintes da submatriz ecológica proposta por Isard e seja omissa quanto ao *feedback* que os impactos sobre o meio ambiente geram sobre os setores econômicos, está de acordo com o princípio do equilíbrio de materiais e é, sobretudo, factível.

3 — Aplicação à região industrial do Médio Paraíba do Sul

3.1 — Aspectos gerais da metodologia e da região

Na seção anterior, analisamos os modelos mais importantes, metodologicamente, dentro desta técnica. Foi possível observar que, dentro de uma estrutura de poucas variações, cada um deles procurou

⁵ Harry W. Richardson, *Insumo-Produto e Economia Regional* (Rio de Janeiro: Zahar, 1978), p. 218.

desenvolver um segmento que melhor se adequasse aos objetivos de cada estudo, via de regra ligados à necessidade de fornecer subsídios a determinado tipo de problema numa região.

Em nosso caso, utilizamos a abordagem de insumo-produto, visando a auxiliar a administração da região industrial do Médio Paraíba do Sul no que diz respeito ao impacto industrial na qualidade das águas desse rio.

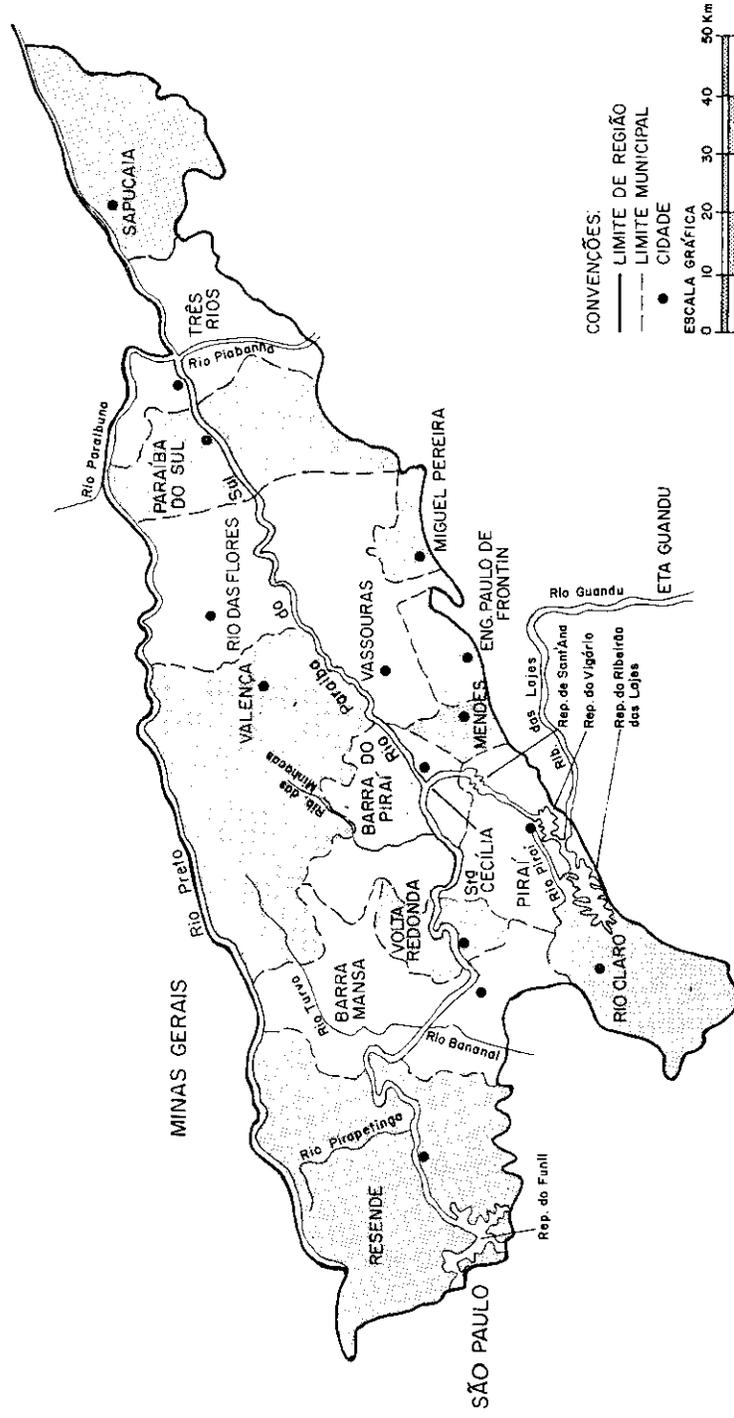
Nosso *approach*, embora mais simplificado, guarda maior semelhança com a metodologia de Victor, uma vez que nenhuma tentativa é feita no sentido de relacionar os processos ecológicos entre si, como proposto por Isard. No entanto, face à precariedade de dados, não se faz aqui menção aos insumos ambientais demandados pela produção econômica. Neste ponto, é omissivo, não somente quanto ao *feedback* que os impactos sobre o meio ambiente geram sobre os setores econômicos (problema este igualmente não considerado por Victor), como também ao princípio do equilíbrio de materiais.

Quanto à região estudada, sua importância é grande para o desenvolvimento do País e, principalmente, do Estado do Rio de Janeiro. Esta importância é devida principalmente à sua equidistância dos principais centros consumidores do País, São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, e dos portos de Santos, Angra dos Reis e Rio de Janeiro, que permitem o rápido escoamento da produção para o resto do Brasil e para o exterior. Além disso, pelo fato de possuir terras planas e de sua área ser cruzada pelo rio Paraíba do Sul, surgiu na região uma grande concentração industrial e o conseqüente crescimento urbano.

O rio Paraíba do Sul nasce no Estado de São Paulo. Em seu percurso, recebe as águas que descem das serras da Mantiqueira e do Mar, definindo o seu rumo para nordeste, até alcançar o Oceano Atlântico, no município de São João da Barra, na região norte fluminense (ver Figura 4).

Ao longo de seu curso, recebe despejos de importantes indústrias localizadas nos municípios de sua bacia. Além da poluição industrial, o rio é receptor, também, de despejos domésticos (muitas vezes

Figura 4
REGIÃO INDUSTRIAL DO MÉDIO PARAÍBA DO SUL



sem tratamento) oriundos de grande parte dos municípios ribeirinhos, de resíduos de fertilizantes, pesticidas e herbicidas usados na agricultura e de detritos urbanos e rurais em geral.

O crescimento industrial e o conseqüente adensamento demográfico, geralmente causado pela oferta de empregos, aliados à ausência de uma infra-estrutura adequada, vêm fazendo temer pelo surgimento, em breve, de “uma só megalópole ou favelão Rio—São Paulo”.⁶ Este quadro, no entanto, não condiz com o principal uso das águas do rio, ou seja, o abastecimento público. Além dos municípios ribeirinhos de São Paulo, o Paraíba é responsável pelo abastecimento de aproximadamente 80% da população do Estado do Rio de Janeiro, isto é, algo em torno de nove milhões de habitantes em 1979.⁷

Tendo a poluição industrial, em alguns casos, conseqüências letais, entendemos que a saúde das populações que de alguma forma se utilizam das águas do Paraíba depende cada vez mais do tipo de política a ser adotada no vale.

Este ensaio ficará restrito à região industrial do Médio Paraíba do Sul. É sabido que, a rigor, qualquer estudo que leve em conta a qualidade das águas neste trecho deve também considerar o que está rio acima (a montante). Nesta etapa, no entanto, limitamos a área apenas ao Médio Paraíba basicamente pelos seguintes fatores: por dispormos somente dos dados referentes aos despejos das indústrias localizadas no Estado do Rio de Janeiro; por aceitarmos a eficácia do reservatório de Funil como decantador de parte significativa dos poluentes oriundos dos processos de transformação industrial do vale do Paraíba paulista; e, em conseqüência disto, por serem as indústrias localizadas no trecho Funil—Santa Cecília—Guandu as maiores responsáveis pela poluição das águas a montante da principal tomada de água da Estação de Água do Guandu, que abastece a maior parte da cidade do Rio de Janeiro e que, por conseguinte, mais diretamente nos diz respeito.

⁶ Noel de Carvalho Neto, “Palestra Proferida pelo Prefeito de Resende em 13 de setembro de 1979 na COPPE-UFRJ”, p. 4.

⁷ IBGE, *Anuário Estatístico do Brasil, 1977* (Rio de Janeiro, 1977), p. 85.

3.2 — A matriz de relações interindustriais estimada para o vale ⁸

O quadro de relações interindustriais para a área em estudo foi obtido a partir da regionalização da Matriz de Relações Interindustriais do Brasil,⁹ elaborada com base nos dados do Censo de 1970 pelo IBGE.

Algumas das razões que nos levaram a regionalizar a matriz nacional foram: a necessidade de fornecer subsídios ao planejamento ambiental de uma importante bacia para o abastecimento público de água; as dificuldades técnicas e de recursos que envolveriam a tentativa de elaboração de uma matriz de insumo-produto especificamente para a região; além de estarem os setores industriais, maiores responsáveis pela poluição tóxica do rio, altamente concentrados na área, do que é exemplo o parque metalúrgico.

A elaboração da matriz interindustrial regional tem, então, sua origem nas matrizes de produção $[V]$ e insumos $[U]$ nacionais.

A tabela de produção descreve, a nível nacional, a distribuição da produção setorial entre os diversos produtos. Sua dimensão é de 58 setores por 98 produtos. A descrição dos setores, quando tratados para a área-objeto, tornou-se por demais desagregada, não só devido à estrutura industrial do vale (menos diversificada), mas também pela instabilidade dos coeficientes redundantes de um mesmo tratamento, face à pouca representatividade da produção industrial regional em relação à nacional (2,3% em 1970). Estes aspectos nos conduziram a um reagrupamento desses setores.

A reagregação dos 58 setores nacionais para a região do Médio Paraíba não foi, no entanto, uma regra rígida. Assim, foi mantida a mesma classificação nacional quando da existência de um setor cujo parque industrial, na região, é desenvolvido. É exemplo disto

⁸ Os detalhes técnicos relativos à regionalização foram no texto, por motivos de espaço, superficialmente tratados. Recomendamos ao leitor interessado a leitura do original: Cláudio da Rocha Miranda, *Análise de Insumo-Produto e Meio Ambiente: Estudo da Região Industrial do Médio Paraíba do Sul*, tese de M. Sc. (Rio de Janeiro: COPPE-UFRJ, 1979).

⁹ IBGE/Departamento de Estatísticas Derivadas, *op. cit.*

Expressando a matriz $[V^{2*}]$ em coeficientes, obtemos a matriz $[V^{3*}]$, referente à *market-share* regional, onde cada elemento ij é representado por:

$$V_{ij}^{3*} = \frac{V_{ij}^{2*}}{\sum_{k=1}^{25} V_{ik}^{2*}} \quad (3)$$

Na matriz de *market-share* regional $[V^{3*}]$, que ilustra a participação setorial no mercado de produtos industriais, constam as importações efetuadas pela região e procedentes do resto do País, fato que, sem dúvida, torna seus coeficientes pouco expressivos da realidade regional. Visando a contornar esta imperfeição, utilizamo-nos de um artifício capaz de excluir tais importações, tornando os coeficientes dessa tabela menos viesados. Assim, calculando a expressão a seguir, obtivemos a matriz $[\bar{D}]$, ou *market-share* regional, excluídas as importações competitivas efetuadas pela região do resto do País, de 25 x 98 elementos:

$$[\bar{D}] = [V^{3*}] [I - \hat{u}] [\hat{Q}] \quad (4)$$

onde: $[I]$ é uma matriz identidade de dimensão 98 x 98; $[\hat{u}]$ é a matriz diagonal de 98 x 98 elementos relativa à proporção da produção nacional importada; e $[\hat{Q}]$ é a matriz diagonal de 98 x 98 elementos relativa ao coeficiente de localização a nível de produto.

Quanto à tabela de insumos do setor industrial $[U]$, ou sua equivalente em termos relativos $[B]$ para a região, optamos por não regionalizar os coeficientes nacionais. Para tal, tomamos como hipótese considerar a função de produção nacional como semelhante à da região em estudo. A adoção desta hipótese vem simplificar razoavelmente o trabalho, sem contudo comprometê-lo, isto porque, muito embora as diferenças tecnológicas existentes num país em vias de desenvolvimento e da extensão do Brasil tendam a ser bastante sensíveis, a região em estudo caracteriza-se por estar entre os quatro maiores pólos industriais do País, o que contribui para a redução dessas diferenças, já que certamente possui considerável peso nesses coeficientes. Assim, se para alguns setores a tecnologia utilizada é

obsoleta em relação à média nacional, para outros é sofisticada, permitindo a aceitação da hipótese de que, na média, essas relações se compensam.

Mesmo considerando a função de produção setorial da região como semelhante à nacional, são necessárias algumas agregações na matriz relativa à estrutura de insumos do setor industrial brasileiro $[B]$. Caso contrário, seria impossível a pré-multiplicação desta última, de dimensão 98×58 , pela matriz $[\bar{D}]$, de dimensão 25×98 , buscando a matriz de coeficientes técnicos dos setores industriais $[\bar{D}B^*]$ estimada para a região industrial do Médio Paraíba.

Assim, temos que compatibilizar os setores da matriz $[B]$, nacional, de acordo com a reagregação setorial feita inicialmente na matriz de produção $[V]$, nacional, isto é, alterar sua dimensão, transformando seus 58 setores em 25. Como não é possível a simples soma das colunas referentes aos setores industriais, por tratar-se de uma matriz de coeficientes, a extração de novos valores para esses coeficientes fez-se necessária. Para tal, cada coeficiente setorial (original) foi ponderado pelo valor da produção do setor equivalente, determinado pela reagregação dos setores, efetuada na matriz de produção industrial $[V^*]$. Assim, cada elemento da matriz de estrutura de insumos do setor industrial $[B]$, após a agregação de seus 58 setores (colunas) para 25, isto é, da matriz $[B^*]$, pode ser expresso na forma abaixo:

$$B_{ij}^* = \frac{\sum_{k \in A_j} b_{ik} \cdot G_k}{\sum_{k \in A_j} G_k} \quad \begin{array}{l} k = 1, \dots, 58 \\ j = 1, \dots, 25 \\ i = 1, \dots, 98 \end{array} \quad (5)$$

onde: $G_k = \sum_{i=1}^{98} b_{ik}$; $A_j =$ conjunto de índice k , tal que estes índices pertençam à j -ésima agregação, onde $j = 1, \dots, 25$; e $b_{ik} =$ elementos da matriz $[B]$ de estrutura de insumos do setor industrial na sua forma original de 98×58 elementos.

Baseados na matriz de *market-share* $[\bar{D}]$ estimada e na matriz relativa à estrutura de insumos do setor industrial $[B^*]$, ambas compatibilizadas para a região, segundo as hipóteses comentadas acima,

obtivemos a matriz de coeficientes diretos ou técnicos de produção $[\overline{DB}^*]$ de 25 x 25 elementos, bem como a inversa de $[I - \overline{DB}^*]$ de 25 x 25 elementos, ambas demonstrando as inter-relações dos fluxos industriais na região do Médio Paraíba do Sul.

3.3 — O tratamento dado aos efluentes industriais

Para finalizar esta seção, resta comentar o tratamento dado às variáveis ambientais, ou seja, os tipos de poluentes que decorrem da produção industrial do vale do Médio Paraíba. De posse das matrizes que expressam as relações entre os setores produtivos da região, poderemos estabelecer as conseqüências que variações nos seus totais de produção, causadas por níveis distintos de demanda final, trazem à qualidade das águas do rio Paraíba do Sul, em termos de abastecimento público.

Como a classificação utilizada neste trabalho é a nível setorial, e a medição e análise dos efluentes são obtidas a nível das indústrias localizadas na área, algumas considerações devem ser feitas.

Foram consideradas 29 indústrias, observando-se um critério segundo a localização, importância relativa, em termos de valor da produção, além da quantidade e periculosidade dos efluentes industriais.

Os dados relativos aos efluentes industriais têm como fonte básica as medições e análises efetuadas pelo Departamento de Controle de Poluição da FEEMA e a literatura¹¹ disponível a esse respeito. As medições realizadas pela FEEMA concentram-se basicamente nas indústrias cuja produção origina o lançamento de poluentes conservativos (zínco, cianeto, chumbo, níquel e cádmio). Estas medições correspondem à média dos despejos de épocas distintas dos anos de 1974, 1975 e 1978. As cargas obtidas por meio da literatura referem-se às indústrias cuja produção origina o lançamento de poluentes

¹¹ Ver, entre outros, FEEMA/Departamento de Apoio Técnico e Científico, *Estudo da Bacia do Rio Paraíba do Sul (Trecho Funil—Santa Cecília—Guanãu)*, trabalho apresentado ao Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária (Rio de Janeiro, 1977), p. 36; e Karl Imnhoff, *Manual de Tratamento de Águas Residuárias* (São Paulo: Edgard Blucher Ltda./Ed. USP, 1966), pp. 148-154.

não conservativos (demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo, nitrogênio e fenol) e que não tiveram medições feitas pela FEEMA. Os efluentes conhecidos com auxílio da literatura são obtidos através de relações de equivalência populacional estabelecidas entre o número de empregados, quantidade de matéria-prima ou de produto gerado pela indústria e as cargas referentes aos diversos tipos de poluentes. Assim, por exemplo, um matadouro cuja média de abate é de 2,5 porcos por dia possui um equivalente populacional da ordem de 70 a 200 habitantes, o que, por sua vez, gera uma carga estimada de, segundo o padrão alemão,¹² 0,054 kg/dia de DBO por habitante, ou seja, uma carga total média de 135 hab x 0,054 kg/dia = 7,29 kg/d de DBO para o abate dessa quantidade.

Com o objetivo, então, de estabelecermos uma relação entre as cargas estimadas e as quantidades produzidas por unidade de tempo — a nível de setor — é necessário que contornemos duas dificuldades.

A primeira delas advém do fato de as 29 indústrias, e seus diversos tipos de poluentes, estarem classificadas, em alguns casos, no mesmo setor. Isto significa que podemos ter em mais de uma indústria j , com a mesma classificação, diversos poluentes i , cada qual, por sua vez, oriundo de uma quantidade de produto Q_t . Dito de outra forma, podemos ter três coeficientes de poluição (p_1 , p_2 e p_3), relativos a uma mesma descarga i , dentro de um mesmo setor. Assim, procuramos buscar um valor que represente de forma mais estável esse coeficiente, estabelecendo uma ponderação conforme indica a expressão abaixo:

$$P_{ik} = \frac{\sum Cg_{ij}}{\sum Q_{tj}} \quad (6)$$

onde: Cg_{ij} é a carga (concentração x vazão) do i -ésimo poluente da j -ésima indústria pertencente ao setor industrial k ; Q_{tj} é a produção principal no tempo t referente à j -ésima indústria pertencente ao setor industrial k ; e P_{ik} é o coeficiente relativo ao poluente i no setor industrial k .

¹² Karl Imnhoff, *op. cit.*, p. 148.

Esta relação, no entanto, traz em si algumas hipóteses discutíveis. Uma delas diz respeito à linearidade entre a carga despejada por quantidade produzida. Face ao reduzido número de indústrias e medições, o coeficiente obtido pode não ser representativo, em que pese a agregação feita ao nível de setor. Outro aspecto vulnerável implica aceitar que a carga referente a um vertedouro se distribua proporcionalmente à produção de mais de um produto cujos despejos equivalham a essa saída. A adoção dessas hipóteses, no entanto, justifica-se pela necessidade de tratamento a nível setorial (compatível com as matrizes econômicas), pela escassez de dados e, sobretudo, pelo caráter metodológico de que se reveste este estudo.

Outra dificuldade decorre de os dados relativos à produção setorial da região estarem expressos em unidades monetárias (Cr\$) e não em unidades físicas. Isto implica dizer da impossibilidade de se multiplicar o coeficiente P_{ik} (expresso em unidades físicas) pelos valores da produção setorial (expressos em unidades monetárias).

Para contornar esse problema, foram utilizados os preços¹³ de mercado dos produtos (excluindo a margem referente à comercialização e transporte) produzidos pelas indústrias. Como os preços originalmente estavam expressos em valores de 1978 e 1979 e pelo fato de os vetores de produção e demanda, além dos coeficientes das matrizes econômicas, serem obtidos a preços de 1970, foi necessário um ajuste. Desta forma, foram utilizados os deflatores relativos ao Índice de Preços por Atacado (IPA)¹⁴ para o ano-base de 1970. Como os preços referem-se às quantidades, cuja produção deu origem aos despejos, foi necessária a utilização de procedimento análogo ao da expressão anterior, isto é, um coeficiente que estabelecesse um preço equivalente às quantidades consideradas em (6). Esta relação está expressa a seguir:

$$Pr_i = \frac{\sum pr_j \cdot Q_{tj}}{\sum Q_{tj}} \quad (7)$$

¹³ Estes preços nos foram gentilmente cedidos pelo Conselho Interministerial de Preços (CIP), Estaleiro Mauá e Superintendência Nacional de Abastecimento (SUNAB).

¹⁴ Índices econômicos nacionais e regionais; índices econômicos — resumo — janeiro/79. *Conjuntura Econômica*, vol. 33, n.º 2 (fevereiro de 1979), pp. 303-342.

onde: pr_j = preço de 1970 da j -ésima mercadoria; e Q_{ij} = quantidade produzida pela j -ésima indústria.

De posse das relações (6) e (7) e fazendo

$$\hat{p}_{ik} = \frac{I}{Pr_i} \quad (8)$$

obtemos a matriz $[w]$ relativa aos coeficientes de poluição a nível setorial, indicando o quanto para uma unidade monetária produzida se despeja dos i -ésimos efluentes.

4 — Resultados

4.1 — Considerações gerais

Com base nas matrizes de relações interindustriais estimadas para a região $[\bar{D}B^*]$ e $[I - \bar{D}B^*]^{-1}$ e na matriz $[W]$ referente aos coeficientes de poluição das principais indústrias, a seguir descreveremos algumas articulações cabíveis entre o setor industrial e o meio ambiente, além de comentários sobre a situação ambiental do vale do Médio Paraíba, tendo em vista o seu parque industrial e a qualidade das águas de seu principal manancial.

4.2 — As tabelas de impacto

A forma de se relacionarem os despejos industriais às unidades monetárias de demanda final se dá através das tabelas de impacto. Estas tabelas são mais consistentes quando comparadas às que indicam a simples relação entre uma unidade monetária produzida e os despejos gerados (matriz $[W]$), na medida em que medem os impactos diretos e indiretos que uma dada unidade monetária de demanda final doméstica exerce sobre o ambiente via produção de despejos industriais. Podemos expressá-la na forma abaixo:

$$IC = w \{ [I - \bar{D}B^*]^{-1} \bar{D} \} \quad (9)$$

$$IS = w [I - \bar{D}B^*]^{-1} \quad (10)$$

A tabela de impacto a nível de produto (*IC*) mostra a produção do *i*-ésimo despejo associado à oferta de uma unidade monetária da *j*-ésima mercadoria. Um elemento W_{ij} da matriz [*W*] indica a quantidade do *i*-ésimo despejo produzido por uma unidade monetária de produto do *j*-ésimo setor. O *ij*-ésimo elemento $\{[I - DB^*]^{-1} \bar{D}\}$ da expressão (9) explicita os impactos diretos e indiretos da produção de uma unidade monetária da *j*-ésima mercadoria no *i*-ésimo setor.

A expressão (10) refere-se à tabela de impacto num nível mais agregado, isto é, setorial, onde a produção do *i*-ésimo despejo é associada à oferta de uma unidade monetária do *j*-ésimo setor. A Tabela 1 ilustra o impacto em quilogramas de um mil cruzeiros de demanda final sobre os setores de gusa e lingotes, laminados de aço, fundidos de ferro e aço e químico. Nela observamos, por exemplo,

TABELA 1
Quatro setores matriz [IS]
(kg/Cr\$ 10³₁₉₇₀)

[IS]	Gusa e Lingotes	Laminados de Aço	Fundidos de Ferro e Aço	Químico
1— Ferro	0,017515	0,090976	0,674002	0,100232
2— Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,275327	0,117890	0,126392	2,513227
3— Solúveis em Éter	0,111206	0,090895	15,731481	0,710104
4— Demanda Química de Oxigênio	3,472884	1,723791	1,762283	33,396591
5— Cloro	0,009078	0,098039	0,005118	0,000608
6— Fenol	0,019957	0,009492	0,141564	0,133802
7— Zinco	0,001202	0,000951	0,001094	0,011130
8— Cromo	0,000030	0,000375	0,000019	0,000002
9— Sulfato	0,277953	4,311917	0,209130	0,020347
10— Fosfato	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
11— Cobre	0,000079	0,000087	0,000115	0,000246
12— Cianeto	0,004401	0,001897	0,022090	0,042616
13— Chumbo	0,000001	0,000000	0,000088	0,000003
14— Níquel	0,000001	0,000001	0,000011	0,000007
15— Cádmio	0,000000	0,000000	0,000001	0,000000
16— Res.n/Filtr.Total	0,000014	0,000019	0,010078	0,000008
17— Magnésio	0,154218	0,065547	0,068254	1,502189
18— Fósforo Total	0,000104	0,000048	0,000056	0,000688
19— Nitrogênio Total	0,000450	0,000206	0,000244	0,002976
20— Detergente	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
21— Manganês	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

que este valor de demanda (Cr\$ 10³) sobre o setor químico gera 0,02 kg de sulfato e 1,50 kg de magnésio, assim como sobre os setores laminados de aço e fundidos de ferro e aço gera respectivamente 1,72 kg de DQO e 0,67 kg de ferro.

Este tipo de matriz permite certa sensibilidade quanto aos impactos gerados por variações nos níveis de consumo e investimento. Assim, por exemplo, verificamos na tabela a elevada influência dos setores gusa, laminados, fundidos e químico sobre a qualidade do rio. Como existe uma tendência para a elevação dos níveis de consumo e, portanto, de investimento, por esses setores, podemos constatar a necessidade de cuidados especiais para com as indústrias do gênero, já em funcionamento, e aquelas ainda por se instalarem.

4.3 — A poluição industrial estimada para 1978/82

Tendo em vista a análise da situação atual e de um futuro próximo do rio Paraíba do Sul, no que diz respeito à qualidade de suas águas em termos de poluição industrial, abordaremos nesta subseção os meios utilizados para estimarmos a poluição relativa à produção dos setores industriais.

Com base na matriz $[w]$, correspondente aos coeficientes de poluição por unidade monetária produzida setorialmente, e no vetor G , relativo à produção anual de cada setor, estamos em condições de obter as cargas totais por tipo de poluente para qualquer nível da produção setorial. Estas cargas totais, quando comparadas com os padrões de poluição (\bar{w}), tidos como aceitáveis para o corpo receptor em questão, permitem avaliar sua situação para um dado período de tempo (equivalente ao da produção setorial).

Os valores da produção setorial da região industrial do Médio Paraíba do Sul para os anos de 1978 e 1982 foram estimados a partir dos dados da Pesquisa Industrial do IBGE relativa ao ano de 1974. Como as matrizes econômicas partem de dados monetários medidos a preços de 1970, apresentamos o valor da produção de qualquer período também a preços de 1970. Desta forma, os valores da produção equivalente ao ano de 1974 foram deflacionados segundo os

Índices de Preços por Atacado (IPA) por setor.¹⁵ De posse da produção setorial de 1974 a preços de 1970, os respectivos valores de 1975 a 1978 foram obtidos a partir das taxas de crescimento do produto real do setor industrial para a indústria de transformação do Estado do Rio de Janeiro. Essas taxas¹⁶ correspondem a 4,6, 11,2, 5 e 6,9%, respectivamente, para os anos de 1975, 1976, 1977 e 1978. A atribuição destes percentuais indistintamente aos setores industriais do vale é um critério simplificador, já que o perfil da economia regional certamente não permaneceu inalterado no período (1974/78). A falta de outras fontes de dados, aliada à necessidade de obtenção desses valores de produção, entretanto, justifica este método. Quanto à estimativa dos valores de produção relativa ao ano de 1982, ajustamos uma parábola pelo método dos mínimos quadrados.

Os níveis de poluição, por tipo de poluente, aceitáveis para o rio Paraíba do Sul para fins de abastecimento público, (\bar{w}), são obtidos a partir da literatura disponível.¹⁷ Como estes padrões são fornecidos em concentrações (mg/l) e estamos trabalhando em unidade de massa (kg/d), partimos da vazão média mínima¹⁸ do rio no trecho que vai de Funil a Santa Cecília (ver Figura 4 anterior), que é da ordem de 220m³/s. Como, no entanto, este estudo visa

¹⁵ Ver *Conjuntura Econômica*, *op. cit.*, pp. 309-313.

¹⁶ "Desempenho da Economia Estadual em 1978; Panorama Geral", in *Boletim de Conjuntura*, vol. 3, n.º 11 (Rio de Janeiro, janeiro de 1979), p. 21.

¹⁷ Basicamente, esta literatura consiste nos padrões utilizados para a "qualidade de água para o abastecimento público com tratamento convencional" pela NT 307: Critérios de qualidade de água para abastecimento público com tratamento convencional. Ver FEEMA, "Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras - SLAP", in *Manual do Meio Ambiente* (Rio de Janeiro: AGGS, 1979), pp. 152-154; Brasil, Ministério do Interior, "Portaria GM/n. 0013, de 15 de janeiro de 1976", publicada no *Informativo SEMA*, n.º 2 (janeiro de 1976); R. N. McNecly e V. P. Neimanis, "Parameter Descriptions", in *Water Quality Interpretive Report, Prince Edward Island, 1961-1973* (Ottawa, Canadá: Inland Waters Directory, 1978), pp. 89-119; e United States Environmental Protection Agency, "Public Water Supplies", in *Water Quality Criteria: A Report of the Committee on Water Quality Criteria* (Washington, D. C., 1972), pp. 48-92.

¹⁸ FEEMA/Serviço de Hidrologia e Meteorologia, "Estudo das Vazões Médias Mensais da Bacia do Rio Paraíba do Sul a Jusante de Funil" (no prelo).

à análise da qualidade de um importante manancial, consideramos uma vazão mais conservadora, isto é, de $200\text{m}^3/\text{s}$.

Este exercício tem ainda duas hipóteses simplificadoras que devem ser explicitadas. Uma delas considera o corpo receptor no trecho analisado como sendo inteiramente não poluído. Como o rio Paraíba do Sul nasce no Estado de São Paulo e lá atravessa uma zona altamente industrializada e de elevada densidade demográfica a montante da área em estudo, na verdade estamos admitindo que o reservatório de Funil sedimenta a totalidade das cargas que a ele chegam. Outra hipótese é a de não atribuir nenhum decaimento aos poluentes considerados. Isto significa tratar as suas cargas como sendo conservativas e com o mesmo nível de impacto para a qualidade das águas do manancial em questão, independentemente do tipo de poluente.

Com o objetivo, então, de estimar as cargas relativas aos períodos de 1978 e 1982, fazemos $[w]G$ (10), onde, repetindo, $[w]$ é a matriz dos coeficientes de poluição por unidade monetária produzida setorialmente de dimensão 25×25 e G é o vetor coluna relativo às estimativas dos valores da produção setorial para os respectivos períodos de 25 elementos. Comparando os resultados obtidos pela expressão (10) fornecidos em carga (unidade de massa: kg/ano) com \bar{w} , vetor de 21 elementos relativo aos padrões por tipo de poluente, também expresso em carga, kg/ano, podemos extrair algumas conclusões com base na Tabela 2 apresentada adiante.

Para os anos analisados (1978/82), esses resultados expressam uma situação aceitável do manancial para os padrões relativos ao uso estabelecido (abastecimento público). Em 1978, as cargas estimadas para os vários poluentes situaram-se bem abaixo dos respectivos padrões (\bar{w}), à exceção de ferro, DBO, SE, DQO e fenol, sendo que nos casos de DBO e fenol as cargas estimadas se apresentam superiores aos respectivos padrões. Este fato, no entanto, não desperta maiores preocupações, dado que, como já salientado, não se atribuiu nenhum decaimento aos poluentes, o que para DBO e fenol é uma hipótese muito forte.

É sabido, por exemplo, que o poluente fenol é proveniente das descargas industriais resultantes de processos metalúrgicos. Embora

TABELA 2

Cargas totais (WG) projetadas para os anos de 1978/82 e cargas toleráveis (\bar{W}) (Em kg/ano)

Parâmetros	WG ₇₈	WG ₈₂	\bar{W}
1 -- Ferro	862.862	1.098.224	1.892.160
2 -- DBO	63.075.416	80.280.516	63.072.000
3 -- SE	3.876.324	4.933.664	6.307.200
4 -- DQO	33.194.963	42.249.574	189.216.000
5 -- Cloro	335.475	426.982	1.576.800.000
6 -- Fenol	21.238.158	27.031.294	6.307
7 -- Zinco	63.450	80.765	31.536.000
8 -- Cromo	1.042	1.326	315.360
9 -- Sulfato	11.977.314	15.244.371	1.576.800.000
10 -- Fosfato	4	5	1.261.440
11 -- Cobre	5.287	6.729	6.307.200
12 -- Cianeto	41.815	53.221	1.261.440
13 -- Chumbo	601	764	630.720
14 -- Níquel	1.275	1.623	6.307.200
15 -- Cádmio	40	51	63.072
16 -- RNFT	6.551	8.338	3.153.600.000
17 -- Magnésio	1.377.096	1.752.727	946.080.000
18 -- Fósforo	120.470	153.330	1.261.440
19 -- Nitrogênio	518.324	659.708	63.072.000
20 -- Detergente	10	12	3.153.600
21 -- Manganês	3	4	315.360

OBS.: Os valores estimados dos poluentes em grifo significam que estão excedendo os limites.

sejam observados em pontos bem distantes do lançamento, sua concentração sofre uma razoável diluição -- a jusante do vertedouro -- face à sua elevada taxa de decaimento.

Quanto à DBO, sabe-se também que vários fatores não considerados, como temperatura, quantidade de oxigênio dissolvido e bactérias existentes, influenciam seu nível de decaimento. Assim sendo, tanto a DBO existente como a concentração de fenol são detectáveis no rio em quantidades não-significativas, embora possuam seus valores, calculados pelas hipóteses feitas, acima dos limites admitidos.

Com relação aos nutrientes fósforo, nitrogênio e seus compostos, observamos que as cargas estimadas encontram-se bem abaixo dos padrões, indicando que, mesmo levando em conta que os despejos

domésticos das populações ribeirinhas não foram considerados, estão longe de se constituírem em carga significativa no manancial analisado.

Quanto aos metais pesados, zinco, cromo, cobre, chumbo, níquel, cádmio e manganês, observamos que as cargas estimadas apresentam-se bem abaixo do limite superior aceitável, indicando que apenas em situações esporádicas — via de regra causadas por acidentes — podemos detectar concentrações elevadas desses poluentes.

Em 1982, o comportamento dos resultados não foi alterado, dado que as projeções dos valores da produção setorial foram efetuadas com base no mesmo perfil industrial, já que a taxa de crescimento considerada foi a da indústria de transformação do Estado e igualmente aceita para todos os setores produtivos. Além disso, como os resultados em 1978 foram sensivelmente inferiores aos padrões, o intervalo de quatro anos não foi suficiente para alterar o significado das cargas projetadas para 1982.

4.4 — A produção máxima e a poluição industrial

Na subseção anterior, foram apresentadas as estimativas das cargas para os anos de 1978 e 1982, permitindo uma idéia parcial da situação do rio no que diz respeito a cada um dos parâmetros analisados. Descreveremos aqui os métodos utilizados para obter a produção máxima de cada setor na região.

A capacidade máxima produtiva da região levará em conta, além de aspectos econômicos, a poluição das águas do rio. A vantagem desses resultados consiste em que os padrões de qualidade ambiental, configurados pelo setor água, são devidamente considerados, integrados entre si, e com variáveis econômicas.

A produção máxima, levando em conta esses fatores, permitirá ao analista uma perspectiva temporal quanto aos limites do crescimento industrial na área. Além disso, visa a propiciar a indicação da necessidade de elementos capazes de alterar as tendências de crescimento delineadas.

Esses resultados foram obtidos articulando-se à análise de insumo-produto um modelo de otimização, cuja função-objetivo visa à maxi-

mização do escalar relativo ao somatório das demandas finais dos setores industriais tratados na região.

O modelo leva em conta os seguintes aspectos: a demanda final, já atendida pela produção de 1970; o número total de empregos gerados por esta produção; e a capacidade de o rio Paraíba suportar, na qualidade de corpo receptor, os subprodutos da produção industrial (despejos industriais). Genericamente, podemos expressá-lo da seguinte maneira:

$$\text{Maximizar } L_{25} (I - \overline{DB}^*) G$$

sujeito a:

$$\text{a) } (I - \overline{DB}^*) G \geq De_{70}$$

$$\text{b) } nG \geq \bar{n}_{70}$$

$$\text{c) } wG \leq \overline{W}$$

$$\text{d) } G \geq 0$$

onde:

L_{25} é o vetor linha com 25 elementos iguais a 1;

I é a matriz de identidade, de 25 x 25 elementos;

\overline{DB}^* é a matriz de coeficientes diretos da produção ou matriz tecnológica da região do Médio Paraíba do Sul, de 25 x 25 elementos;

De_{70} é o vetor coluna relativo à demanda final setorial de 1970, de 25 elementos;

n é o vetor coluna, de 25 elementos, relativo à participação da mão-de-obra total empregada por unidade monetária produzida setorialmente;

\bar{n} é o escalar representativo do número total de empregos gerados pela produção setorial da região no ano de 1970;

w é a matriz dos coeficientes de poluição por unidade monetária produzida setorialmente, de dimensão 21 x 25;

\overline{W} é o vetor coluna relativo aos limites toleráveis de poluição por tipo de poluente (ver Tabela 2 anterior), de dimensão 21 x 1; e

G é o valor da produção setorial, explicitado pelo programa, que atende à demanda final setorial maximizada.

A hipótese de considerarmos todos os subprodutos do processo industrial como sendo pontuais, não lhes atribuindo nenhuma taxa de decaimento, é por demais rígida nos casos particulares de DBO e fenol, haja vista os resultados de suas projeções (Tabela 2). Assim, alteramos o modelo de otimização proposto, permitindo que as cargas toleráveis (\bar{W}) para esses parâmetros fossem tão grandes quanto o necessário. Além disso, por serem, sabidamente, os setores pertencentes ao gênero metalúrgico os que maior impacto exercem sobre a qualidade das águas e os responsáveis por grande parte da produção regional (em 1970, esses setores participaram com 65% do total produzido na região), optamos por maximizar apenas o somatório das demandas de gusa, laminados, fundidos, metalurgia de não-ferrosos e outros.¹⁹

Os resultados desse exercício são mostrados na Tabela 3.²⁰ Nela observamos que a soma dos valores da produção setorial máxima, comparada com a soma equivalente para 1978, é aproximadamente seis vezes maior. Setorialmente, dos 19 resultados com valores da produção maiores que zero, 13 possuem seus valores inferiores a 1978, e o setor "outros metalúrgicos" o valor da produção entre as estimativas para 1982 e 1978. Quanto aos cinco restantes, cujas produções apresentaram valores superiores aos de 1982 e 1978, apenas o setor "extração de minerais" não possui indústria que o represente dentre as 29 consideradas em nosso estudo. Dos setores maximizados, apenas gusa, laminados e metalurgia de não-ferrosos apresentaram valores da produção bem acima dos estimados.

¹⁹ Para tal, a função-objetivo do modelo de otimização proposto foi alterada para: maximizar $L_s (I - \bar{D}B^*)G$, sendo L_s o vetor linha com apenas os cinco elementos correspondentes aos subsectores metalúrgicos iguais a 1, isto é, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 0 ... 0.

²⁰ O programa explicita, além da função-objetivo, relativa ao escalar, a soma das demandas finais de cada setor e os valores da produção de cada setor. Apresentamos aqui os resultados em termos de valor da produção setorial por serem mais facilmente interpretáveis.

TABELA 3
Maximização dos subsetores metalúrgicos
(Em Cr\$ 1.000,00)

Sectores	$G_{mat\ mac}$	%	G_{sg}	%	G_{73}	%	G_{70}	%
1 ... Extração de Minerais	156.490	0,22	12.683	0,08	9.965	0,08	4.461	0,16
2 ... Minerais Não-Metálicos	158.981	0,23	686.918	4,5	539.706	4,5	95.525	3,47
3 ... Gusa	7.730.678	11,06	2.709.471	17,75	2.128.802	17,75	631.985	22,94
4 ... Laminados	16.786.968	24,03	3.883.583	25,45	3.051.285	25,45	902.836	32,77
5 ... Fundidos	76.619	0,11	174.810	1,15	137.347	1,15	35.113	1,31
6 ... Metalurgia de Não-Ferrosos	42.029.554	60,16	416.750	2,73	327.434	2,73	90.283	3,28
7 ... Outros	612.193	0,88	632.217	4,14	496.722	4,14	144.453	5,24
8 ... Mecânica	138.692	0,20	1.174.701	7,70	922.950	7,70	124.833	4,53
9 ... Material Elétrico e de Comunicação	1.704	0,002	278.932	1,83	219.154	1,83	1.091	0,04
10 ... Material de Transporte	9.956	0,01	69.663	0,46	54.731	0,46	9.054	0,33
11 ... Madeira	949	0,001	2.844	0,02	2.236	0,02	664	0,02
12 ... Mobilário	2.526	0,004	20.997	0,14	16.964	0,14	2.485	0,09
13 ... Papel e Papelão	...	...	...	...	...	...	...	...
14 ... Borracha	...	...	...	...	...	...	...	...
15 ... Couros e Peles	...	...	...	...	...	...	...	...
16 ... Química	1.667.504	2,39	1.243.069	8,15	976.664	8,14	249.229	9,05
17 ... Farmacêutica	75.511	0,11	873.483	5,72	686.285	5,72	68.515	2,49
18 ... Perfumaria	...	...	...	...	...	...	...	...
19 ... Material Plástico	...	...	...	...	...	...	...	...
20 ... Têxtil	51.275	0,04	258.730	1,70	203.281	1,70	28.648	1,0
21 ... Vestuário e Calçados	154	0,0002	7.784	0,05	6.114	0,05	154	0,0
22 ... Alimentos e Bebidas	312.754	0,45	1.688.421	10,93	1.310.858	10,93	231.075	10,5
23 ... Fumo	...	...	...	...	...	...	...	...
24 ... Editorial e Gráfica	7.282	0,01	487.501	3,19	383.021	3,19	6.872	0,2
25 ... Diversos	68.118	0,10	659.031	4,32	517.794	4,32	65.490	2,4
Totais	69.867.808		15.261.588		11.931.313		2.754.674	

OBS.: Os valores da produção setorial maximizados em grifo significam que estão abaixo dos dois valores estimados para 1982 e 1978 (para este ano, apenas o setor "outros").

Além disso, o setor químico, bastante significativo em termos de poluição na região, apresentou-se 34 e 71% maior do que seus respectivos valores da produção, estimados para 1982 e 1978.

Na verdade, esses resultados indicam que, para se ter um valor da produção total da ordem de cinco vezes o valor da produção total estimado para 1982, vários setores, cujos despejos são desprezíveis em termos de poluição, como Material de Transporte, Material Elétrico e de Comunicação, Vestuário e Calçados, além de outros, necessitam ter seus valores restringidos a algo pouco maior que sua produção em 1970.

Este fato dificulta uma conclusão mais precisa. Entretanto, indica que, para setores potencialmente poluidores crescerem, vários outros, cujo processo de produção não gera, a princípio, nenhum impacto na qualidade das águas, precisam reduzir sua produção a níveis bem inferiores aos já obtidos em 1978, de onde podemos deduzir que a região, ao menos em se tratando de setores potencialmente poluidores, está prestes a alcançar seu limite máximo de produção, dentro de condições desejáveis no que diz respeito ao problema da poluição.

Do exposto, concluímos que os resultados estão indicando uma situação de alerta quanto à qualidade das águas do rio com o fim de abastecimento público e o perfil de crescimento industrial apresentado nos últimos anos.

É verdade que alguns pontos merecem ser revistos para que se possa chegar a conclusões mais concretas. Por exemplo, é necessário que se inclua um número maior de indústrias na análise, de forma a se obterem relações mais significativas a nível setorial. Da mesma forma, é necessário que sejam incluídos os devidos coeficientes de decaimento para os diversos efluentes analisados. Ainda assim, em termos de crescimento industrial, parece ter ficado evidente que devemos intensificar o controle das indústrias responsáveis pela maior parte da poluição e/ou aumentar a eficiência das políticas que visam ao redirecionamento para outras áreas dos investimentos de atividades tipicamente poluidoras.

4.5 — A inclusão das concentrações oriundas da região paulista do vale no modelo

Fizemos alguns comentários acerca dos prováveis limites de crescimento industrial da região. Até aqui a premissa básica adotada é que o Reservatório de Funil serve de decantador das concentrações oriundas das indústrias situadas na parte paulista do vale do Paraíba. Esta hipótese é um tanto otimista: se, por um lado, não temos dados precisos quanto às concentrações existentes, quando por ocasião das descargas de fundo, dadas quinzenalmente no reservatório, por outro, mesmo considerando que a decantação se dê integralmente, não se sabe ao certo por quanto tempo ele terá capacidade de reter todas as substâncias decantadas. Isto significa dizer que, num dado momento, esta situação pode inverter-se, de forma que Funil, de decantador, passe a se comportar como um agente poluidor, não retendo as substâncias vindas do vale do Paraíba paulista e gerando, através de processos de eutroficação e suas conseqüências, substâncias que afetarão o rio a sua jusante.

Faremos então um exercício, supondo a inexistência deste reservatório, ou seja, incluindo as concentrações referentes a cianeto, cádmio, chumbo, zinco e níquel que nele entram, como, por hipótese, provenientes de uma só indústria localizada em São Paulo. Esta indústria, presume-se, produz uma quantidade de produto por unidade de tempo equivalente à produção dos 29 estabelecimentos tratados em nosso estudo.

Desse modo, o que estamos propondo é uma simulação capaz de avaliar o impacto que a produção industrial do trecho paulista do vale exerce sobre a capacidade produtiva do trecho situado no Estado do Rio de Janeiro. Assim, estamos obtendo uma aproximação dos dois extremos, isto é, o Reservatório de Funil atuando, de um lado, como decantador integral das concentrações e, de outro, não decantando absolutamente nada.

É certo que ambas as hipóteses são muito fortes, sendo, portanto, necessário não perdê-las de vista quando analisarmos os resultados. No entanto, estaremos em condições de obter respostas mais confiáveis quando dispusermos de mais dados com relação às concentrações existentes à saída de Funil.

As cargas incorporadas ao modelo foram obtidas no posto de coleta, entre o Município de Queluz, no Estado de São Paulo, e o reservatório. Os valores referem-se à média das observações entre o dia e a noite de cinco medições consecutivas, no mês de novembro de 1978. Os parâmetros analisados foram cianeto, cádmio, chumbo, cobre, zinco e níquel. Os valores obtidos foram transformados em unidade de massa por meio da multiplicação das concentrações dos parâmetros medidos, pela vazão média mínima de 200m³/s.

Como forma de incluí-las no mesmo modelo, essas cargas foram relacionadas aos totais produzidos das indústrias que, quando tratados a nível de setor, deram origem à matriz $[w]$ "coeficientes de poluição por unidade monetária produzida setorialmente". Assim sendo, obtivemos a matriz $[w^*]$, que equivale à matriz $[w]$ com suas linhas referentes aos poluentes cianeto, cádmio, chumbo, cobre e zinco, acrescidas de uma parcela (w') resultante das cargas oriundas do vale do Paraíba paulista. A matriz $[w^*]$ foi obtida da seguinte maneira:

Sendo $\frac{Cg_{ij}}{Qt_j \cdot Pr_j 70}$ a representação genérica do elemento w_{ij} da matriz $[w]$ (onde: Cg_{ij} é a carga do i -ésimo poluente atribuído ao j -ésimo setor (kg/dia); Qt_j é a quantidade de produto produzido pela indústria atribuída ao j -ésimo setor (kg/dia); e $Pr_j 70$ é o preço dos produtos industriais dos períodos de 1978 e 1979, quando deflacionados para 1970, segundo o IPA, e atribuídos ao j -ésimo setor) e $\overline{Cg_{ij}} = Cg_{i SP} \cdot \frac{Cg_{ij RJ}}{\sum_i Cg_{ij RJ}}$ a expressão que distribui a carga do poluente " i " oriunda da produção do vale do Paraíba paulista, como proporcional à participação do mesmo poluente em relação a todos os demais no Médio Paraíba no Estado do Rio de Janeiro (onde: $Cg_{i SP}$ é a carga do i -ésimo poluente oriunda do vale do Paraíba paulista (kg/dia); $Cg_{ij RJ}$ é a carga do i -ésimo poluente atribuído à produção do j -ésimo setor (kg/dia) no Médio Paraíba no Estado do Rio de Janeiro; e $\sum Cg_{ij RJ}$ é o somatório das cargas dos i -ésimos poluentes atribuídos aos j -ésimos setores (kg/dia) no Médio Paraíba no Estado do Rio de Janeiro), obtemos $w'_{ij} = \frac{\overline{Cg_{ij}}}{Qt_j \cdot Pr_j 70}$, isto é,

o elemento w'_{ij} atribuído à relação onde o numerador é a carga da parcela do poluente "i", oriundo do vale do Paraíba paulista, e o denominador é o valor da produção, a preços de 1970, do j -ésimo setor, e, finalmente, $w^*_{ij} = w_{ij} + w'_{ij}$, que é o elemento ij da nova matriz de coeficientes de poluição por Cr\$ produzido setorialmente na região industrial do Médio Paraíba do Sul, no Estado do Rio de Janeiro, e no vale do Paraíba paulista.

Os resultados do modelo de otimização, alterado pela substituição de $[w]$ por $[w^*]$ e pela maximização apenas dos subsetores metalúrgicos, foram bastante pessimistas. O escalar maximizado do somatório das demandas finais dos subsetores metalúrgicos é igual a 1.072.753 (Cr\$ 10^3) contra 1.069.570 (Cr\$ 10^3) em 1970, ou seja, menos de 1% maior do que o limite inferior, o que pode ser considerado como igual ao valor da produção atingido em 1970.

Esta simulação mostra a sensibilidade do modelo a certas premissas, assim como a importância que o reservatório de Funil tem como regulador da qualidade das águas do rio. Além disso, ilustra a potencialidade deste tipo de abordagem como fornecedora de subsídios a um planejamento integrado da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, tendo em vista o desenvolvimento industrial do vale e a importância da qualidade de suas águas.

5 — Conclusões e recomendações

O presente estudo foi motivado pelo reconhecimento da necessidade de se dominar um método, já relativamente difundido em todo o mundo, que de forma direta relacione a economia de uma região a seu meio ambiente. Sua aplicação à região industrial do Médio Paraíba do Sul deveu-se aos problemas fundamentais relacionados ao seu desenvolvimento industrial e ao papel desempenhado pelo rio de supridor de água às populações urbanas do Estado do Rio de Janeiro.

A análise dos resultados permite-nos de imediato aquilatar a importância desta abordagem como subsídio à administração de uma área. Assim sendo, em que pesem os resultados terem ficado bastante

comprometidos pela insuficiência e qualidade dos dados disponíveis, particularmente sobre os efluentes das indústrias, uma análise geral indica que a situação do rio Paraíba nos dias atuais não apresenta riscos para a saúde das populações que, de alguma forma, se utilizam de suas águas. No entanto, em situações esporádicas, sobretudo em locais específicos, verificamos que essas águas apresentam elevadas concentrações tóxicas, cujos efeitos podem vir a ser letais para essas populações. Este tipo de problema é, via de regra, de origem acidental, e por ser de caráter pontual as maiores prejudicadas evidentemente são as populações localizadas imediatamente a jusante do lançamento.

Se, por um lado, a situação nos dias atuais não é ainda calamitosa, por outro, é preocupante a médio prazo, a continuarem as tendências até aqui apresentadas.

Isto indica a necessidade de um planejamento mais efetivo quanto à localização industrial, buscando contornar os impactos ambientais trazidos pela ocupação populacional ao seu redor. Além disso, a tendência para a concentração industrial requer medidas que possibilitem o redirecionamento dos investimentos destinados à ampliação ou instalação de atividades, cujo impacto sobre o meio ambiente é elevado.

Essas medidas são, via de regra, de difícil delimitação e muitas vezes se complementam. Por exemplo, um controle de poluição intenso das indústrias de determinado setor tornam-no pouco atraente, face aos elevados custos deste controle, diminuindo por conseguinte sua rentabilidade. Desta forma, as iniciativas de investimento neste setor tendem a se deslocar para outras áreas.

Pela conjugação desses aspectos e por acreditarmos que o mérito desta pesquisa está na elaboração de uma metodologia aplicável não somente a outras regiões, mas, e principalmente, a toda a bacia do rio Paraíba do Sul, os seguintes itens são recomendáveis ao seu prosseguimento:

a) Expansão do modelo econômico de insumo-produto, de forma a incluir todos os setores não industriais na análise. Esta tarefa em curto prazo será facilitada pela publicação da versão final da matriz nacional de Relações Intersetoriais para 1970,²¹ que discrimina

²¹ IBGE, *Matriz de Relações Intersetoriais, Brasil, 1970* (Rio de Janeiro, 1979).

as inter-relações de todos os setores, industriais e não industriais, da economia brasileira.

b) Utilização de métodos capazes de atualizar os coeficientes inter-setoriais, uma vez que a matriz do IBGE foi construída com dados de 1970, menos representativos da atual estrutura produtiva.

c) Inclusão de todos os setores ecológicos no modelo, isto é, além do setor água, os setores ar e solo.

d) Ampliação da área de aplicação do modelo, em nosso estudo de caso, para toda a bacia do Paraíba do Sul, introduzindo os municípios equivalentes dos Estados de São Paulo e Minas Gerais. Esta expansão é fundamental pelos seguintes aspectos:

i) como o estudo tem por objetivo analisar uma região a partir de uma de suas características mais importantes, um curso d'água, e que transporta grande quantidade de sólidos, obteremos resultados muito mais proveitosos se a pesquisa envolver todos os municípios ao longo da bacia do rio;

ii) melhorará sensivelmente a eficiência da análise de insumo-produto, já que, tratando-se de uma região maior, suas ligações inter-setoriais serão provavelmente mais diversificadas e intensas, ao mesmo tempo em que deverá diminuir a dependência do resto do País; e

iii) sendo os coeficientes interindustriais extraídos de uma tabela nacional, uma região maior possui certamente seus coeficientes mais próximos dos nacionais, o que minimiza a imprecisão gerada pela regionalização.

e) Análise espacial da periculosidade dos poluentes. Para tanto, é fundamental que sejam levados em conta os coeficientes de decaimento, relativos a cada parâmetro (poluente) considerado.

f) Inclusão de setores afetos ao controle da poluição, permitindo que sejam avaliados os impactos gerados sobre os demais setores pelos gastos efetuados em equipamentos e instalações antipoluição. No curto prazo, naturalmente, esses impactos tendem a ser pequenos, já que na maior parte das vezes os equipamentos de controle ainda

são importados pela região, ou do exterior ou de outras regiões. No entanto, num prazo mais dilatado, com o desenvolvimento do parque industrial regional e o crescimento da demanda desses produtos, a região estudada pode ter seu nível de dependência alterado.

(Originais recebidos em janeiro de 1980. Revistos em maio de 1980.)