

Ministério da Saúde

**FIOCRUZ**

**Fundação Oswaldo Cruz**

**ESCOLA NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA**

**“AVALIAÇÃO DE RISCO DE BENZENO EM VOLTA REDONDA:  
AS INCERTEZAS NA AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO”**

por

**Marcelo Moreno dos Reis**

Dissertação apresentada com vistas à obtenção do título de  
Mestre em Ciências na área de Saúde Pública.

Orientadora: Prof. Dr.<sup>a</sup> Maria de Fátima Barrozo da Costa

Catálogo na fonte  
Centro de Informação Científica e Tecnológica  
Biblioteca da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca

R375a      Reis, Marcelo Moreno dos  
              Avaliação de risco de benzeno em Volta Redonda: as incertezas na  
              avaliação da exposição. / Marcelo Moreno dos Reis. Rio de Janeiro :  
              s.n., 2004.  
              xii, 74 p.

              Orientador: Costa, Maria de Fátima Barrozo da

              Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Nacional de Saúde  
              Pública.

              1.Benzeno. 2.Exposição ambiental-efeitos adversos. 3.Medição de  
              risco. I.Título.

CDD - 20.ed. – 615.9511

*À memória da minha querida  
amiga Luciana Rita Lima Silva pela  
dedicação e garra nos estudos e na  
vida, e pela curta, mas intensa, amizade  
que nos uniu.*

## AGRADECIMENTOS:

À minha família, em especial aos meus pais, Humberto e Eli, pelo apoio, compreensão e carinho;

À minha orientadora, Prof. Dr.<sup>a</sup> Maria de Fátima Barrozo da Costa, pela orientação acadêmica, paciência e compreensão, nos meus momentos de ausência;

Ao Prof. Dr. Carlos Machado de Freitas, pela orientação, principalmente nos momentos de definição do objeto deste estudo;

À Secretaria Municipal de Saúde de Volta Redonda, em especial à secretária de saúde, Analice Silva Martins, pelo apoio, mesmo indireto, para a realização deste trabalho;

À Fátima Sueli Neto Ribeiro, da Assessoria de Saúde do Trabalhador/SES-RJ, pela amizade, apoio e incentivo no meu caminho profissional na área de Saúde do Trabalhador;

À Auxiliadora Tavares Vieira, a *Dodora*, e Vera Regina do Carmo Mendonça, a *Verinha*, da Secretaria Municipal de Saúde de Volta Redonda, pelo constante apoio, e pelas palavras de força e carinho durante a realização desta pesquisa;

À Secretaria de Estado de Saúde do Rio de Janeiro, pelo apoio financeiro;

Aos companheiros do Programa de Saúde do Trabalhador de Volta Redonda;

Ao Clauber Araújo, da Coordenadoria de Defesa do Meio Ambiente de Volta Redonda, e à Maria Isabel, da Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, pelas informações prestadas;

A todos aqueles que me incentivaram e contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho, em especial aos camaradas Cecília, Hara e Eluza.

## RESUMO

A exposição humana aos poluentes químicos pode resultar em efeitos adversos à saúde. Com a intenção de determinar a probabilidade dos efeitos à saúde associados à exposição humana às substâncias químicas, dois métodos são recomendados pela Agência Americana de Proteção Ambiental (US EPA) e pela Agência Americana para Substâncias Tóxicas e Registros de Enfermidades (ATSDR), respectivamente, Avaliação de Riscos e Avaliação de Saúde. Uma das etapas das duas metodologias é a Avaliação da Exposição, cujo objetivo é a determinação da natureza e extensão do contato humano com as substâncias químicas.

Buscando contribuir com o campo da saúde ambiental no Brasil, este estudo foi conduzido para analisar os dados ambientais e de saúde disponíveis para a caracterização e avaliação da exposição humana ao benzeno em Volta Redonda/RJ. A metodologia aplicada consistiu na revisão dos elementos necessários para a avaliação da exposição, recomendados pela EPA e ATSDR, e no levantamento das informações sobre saúde e meio ambiente disponíveis no Município relacionadas à contaminação por benzeno.

Atualmente, as informações disponíveis em Volta Redonda acerca da exposição humana ao benzeno são insuficientes para uma adequada avaliação da exposição a esta substância, devido às incertezas e variabilidades presentes nos dados das medições da exposição.

Este estudo ressalta a importância da integração de várias disciplinas e dos diversos atores sociais, envolvidos em situações ambientais complexas, como a da contaminação ambiental por benzeno em Volta Redonda/RJ, na condução das ações de avaliação e caracterização da exposição humana às substâncias químicas. Também, a não validação, ou legitimação, dos dados ambientais disponíveis no Município, pela população, é um outro aspecto que deve ser levado em consideração para assegurar que o gerenciamento de riscos seja apropriado para a proteção da saúde humana.

*Palavras chaves:* Avaliação da Exposição; Avaliação de Risco; Benzeno; Complexidade; Saúde Ambiental.

## ABSTRACT

Exposure to chemical pollutants can result in adverse health effects. In attempt to determine the likelihood of health effects associated with human exposure to chemicals, two methods are recommended by U.S. Environmental Protection Agency (US EPA) and by Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), they are, respectively, Risk Assessment and Public Health Assessment. One of the steps of each method is the Exposure Assessment, which has the aim of determining the nature and extent of human's contact with chemical substances.

In order to contribute to Brazilian environmental health field, this study was conducted to analyze environmental and health data available to characterize and assess human exposure to benzene in Volta Redonda/RJ. The methodology applied to it, was a review of the theoretical elements needs on human exposure assessment, recommended by EPA and ATSDR, and a survey of environmental and health data available in the municipality related to benzene's contamination.

Currently, data on human's exposure to benzene available in Volta Redonda are insufficient to adequately assess exposures to its chemical, due to uncertainty and variability present in the exposure measurements.

This study highlights the importance of integrating a variety of disciplines and all of social actors involved in situations of complexity, as the issue of benzene environmental contamination in Volta Redonda/RJ. Besides, public non-validation of environmental data available in Volta Redonda is another aspect to be taken into consideration to ensure risk management appropriately to protect human health.

*Key words:* Exposure Assessment; Risk Assessment; Benzene; Complexity; Industrial Cities.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE MAPAS.....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>xi</b>
<b>ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>xii</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
OBJETIVOS DO ESTUDO.....	07
METODOLOGIA.....	08
<b>CAPÍTULO 1: AVALIAÇÃO DE RISCOS: ELEMENTOS NECESSÁRIOS À AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO.....</b>	<b>10</b>
PRINCIPAIS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DAS SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS SOBRE A SAÚDE HUMANA.....	10
A AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO.....	12
<b>CAPÍTULO 2: A COMPLEXIDADE DA CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL POR BENZENO NO MUNICÍPIO DE VOLTA REDONDA.....</b>	<b>18</b>
A EXPOSIÇÃO AO BENZENO E SEUS IMPACTOS SOBRE A SAÚDE HUMANA.....	18
DISPOSITIVOS LEGAIS RELACIONADOS À EXPOSIÇÃO HUMANA AO BENZENO.....	24
A CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL POR BENZENO EM VOLTA REDONDA: ASPECTOS DE SUA COMPLEXIDADE.....	26
ABORDAGENS INTEGRADORAS E ARTICULAÇÃO INTERSETORIAL FRENTE À COMPLEXIDADE DA SITUAÇÃO.....	37

<b>CAPÍTULO 3: AS INFORMAÇÕES DISPONÍVEIS NO MUNICÍPIO PARA A AVALIAÇÃO DA</b>	
<b>EXPOSIÇÃO HUMANA AO BENZENO.....</b>	<b>41</b>
INFORMAÇÕES DO SETOR SAÚDE.....	41
INFORMAÇÕES DO SETOR MEIO AMBIENTE.....	42
INFORMAÇÕES DE ESTUDOS ACADÊMICOS.....	53
A QUALIDADE DAS INFORMAÇÕES SOBRE EXPOSIÇÃO.....	54
A VALIDAÇÃO SOCIAL DAS INFORMAÇÕES.....	57
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>60</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>63</b>

## LISTA DE FIGURAS

2-1	PRINCIPAIS FONTES DE EXPOSIÇÃO AO BENZENO PARA FUMANTES, DE ACORDO COM O ESTUDO TEAM/U.S.EPA. ....	20
2-2	PRINCIPAIS FONTES DE EXPOSIÇÃO AO BENZENO PARA NÃO FUMANTES, DE ACORDO COM O ESTUDO TEAM/U.S.EPA. ....	20

## LISTA DE MAPAS

2-1	LOCALIZAÇÃO REGIONAL DE VOLTA REDONDA.....	30
3-1	MAPA ESQUEMÁTICO DO MUNICÍPIO DE VOLTA REDONDA MOSTRANDO A LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES AUTOMÁTICAS DE MONITORAMENTO.....□	50

## LISTA DE QUADROS

2-1	PROPRIEDADES QUÍMICAS E FÍSICAS DO BENZENO.....	21
2-2	DISTRIBUIÇÃO DOS CASOS DE BENZENISMO NO BRASIL, NO PERÍODO DE 1983 A 1993.....	33
3-1	CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS POLUENTES – PRIMEIRA CAMPANHA.....	45
3-2	CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS POLUENTES – SEGUNDA CAMPANHA.....	46
3-3	CONFIGURAÇÃO DA REDE DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR DO MUNICÍPIO DE VOLTA REDONDA.....	49
3-4	QUADRO COMPARATIVO ENTRE AS INFORMAÇÕES REQUERIDAS EM UMA AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO E OS DADOS DISPONÍVEIS EM VOLTA REDONDA.....	59

## ABREVIATURAS E SIGLAS

atm.....	Atmosfera
ATSDR.....	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
BTX.....	Benzeno, Tolueno e Xilenos
CNTP.....	Condições Normais de Temperatura e Pressão
CO.....	Monóxido de Carbono
CONAMA.....	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COORDEMA.....	Coordenadoria de Defesa do Meio Ambiente de Volta Redonda
COSIPA.....	Companhia Siderúrgica Paulista
COV.....	Compostos orgânicos voláteis
CSN.....	Companhia Siderúrgica Nacional
EC.....	European Commission
FEEMA.....	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente
FUNASA.....	Fundação Nacional de Saúde
Fundacentro.....	Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho
IARC.....	International Agency for Research on Cancer
IBGE.....	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IIA.....	Instituto Inquinamento Atmosferico
IPCS.....	International Programme on Chemical Safety
IPPU.....	Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Volta Redonda
IQA.....	Índice de Qualidade do Ar
m <sup>3</sup> .....	Metro cúbico
MACBETH.....	Monitoring of Atmospheric Concentration of Benzene in European Towns and Homes
MEP.....	Movimento Ética na Política
mg/l.....	Miligrama por litro
mg/m <sup>3</sup> .....	Miligrama por metro cúbico
mmHg.....	Milímetros de mercúrio

NO <sub>2</sub> .....	Dióxido de nitrogênio
NO <sub>x</sub> .....	Óxidos de nitrogênio
° C.....	Graus centígrados
O <sub>3</sub> .....	Ozônio
OMS.....	Organização Mundial de Saúde
PM <sub>10</sub> .....	Partículas inaláveis
PMVR.....	Prefeitura Municipal de Volta Redonda
ppb.....	Partes por bilhão
ppm.....	Partes por milhão
PTS.....	Partículas Totais em Suspensão
SEMADUR.....	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano do Rio de Janeiro
SO <sub>2</sub> .....	Dióxido de enxofre
SUS.....	Sistema Único de Saúde
TAC.....	Termo de Ajustamento e Conduta
TEAM.....	Total Exposure Assessment Methodology
UFRJ.....	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UK.....	United Kingdom
US EPA.....	Environmental Protection Agency
VIGISUS.....	Projeto de Estruturação da Vigilância em Saúde do Sistema Único de Saúde
VRT.....	Valor de Referência Tecnológico
WHO.....	World Health Organization
µg/l.....	Micrograma por litro
µg/m <sup>3</sup> .....	Micrograma por metro cúbico

## INTRODUÇÃO

Na atualidade as relações entre o ambiente e a saúde continuam sendo objeto da preocupação de diversos setores da sociedade, como a academia, as organizações não-governamentais, o poder público, entre outros, em função da exposição humana a diversos tipos de agentes agressivos para a saúde, principalmente, as substâncias químicas. Os efeitos sobre a saúde podem surgir a curto, médio e longo prazos e são relacionados à toxicidade das substâncias.

Neste contexto, as populações podem ser atingidas de forma aguda, pelos acidentes industriais, e de forma crônica, caracterizada pela poluição industrial (Franco & Druck, 1998).

De maneira abrupta, podem ser citados os acidentes químicos ampliados, principalmente aqueles envolvendo emissões acidentais, cuja amplitude pode se dar tanto em termos espaciais, devido à possibilidade de atingir grandes extensões e, um grande número de pessoas, como em termos temporais, uma vez que podem atingir gerações futuras (Freitas et al., 2000).

O desastre de Bhopal configura um excelente exemplo de acidente químico ampliado. Este acidente aconteceu em 1984, na Índia, quando um vazamento na fábrica da Union Carbide liberou, aproximadamente, 40 toneladas de um coquetel de gases letais, entre eles o isocianato de metila (GREENPEACE, 2002). Esta emissão tóxica, resultou na morte de aproximadamente 8.000 trabalhadores e moradores da região e causou lesões em mais de 150.000 pessoas (GREENPEACE, 2002).

No Brasil, mais recentemente, em março de 2003, um derramamento de 1,4 milhões de m<sup>3</sup> de efluente industrial, composto basicamente por licor de madeira e soda cáustica, proveniente do rompimento da barragem de rejeitos da Fábrica Cataguazes de Papel, localizada no estado de Minas Gerais, afetou a qualidade das águas dos rios

Pomba e Paraíba do Sul, provocando a interrupção da oferta de água potável para uma população de aproximadamente 600.000 habitantes, em oito municípios do estado do Rio de Janeiro (Alecrim, 2003).

Lenta e gradualmente, mas de forma constante, a poluição industrial, presente nos espaços urbano-industriais, rompe os limites geográficos das empresas, atingindo insidiosamente as populações residentes nas áreas circunvizinhas às indústrias. Assim, as pessoas expostas aos poluentes oriundos dos processos industriais podem adoecer em função de agentes agressivos específicos, presentes no ambiente em que vivem. Devido, na maioria das vezes, a exposição se dar a baixas concentrações dos poluentes, o longo período de latência entre a exposição e o agravo à saúde resultante, bem como os possíveis fatores de risco associados ao adoecimento, torna-se difícil estabelecer a causalidade entre a exposição a certos contaminantes ambientais, de origem antropogênica, e os efeitos deletérios sobre a saúde humana.

Situações como as citadas anteriormente despertam a reação do público, por conta dos efeitos conhecidos ou desconhecidos da poluição, fazendo com que sejam exigidas respostas e a intervenção do Poder Público para a mitigação dos impactos, sobre a saúde humana e sobre o ambiente, decorrentes da poluição (Brilhante, 1999).

Portanto, a relação ambiente-saúde configura um dos grandes desafios dos órgãos de saúde pública. A incorporação do campo da Saúde Ambiental no Sistema Único de Saúde se torna imprescindível, para que em conjunto com o Setor Meio Ambiente, seja possível prover as respostas demandadas pela sociedade acerca dos riscos ambientais. A estruturação de um sistema de vigilância ambiental em saúde e, conseqüentemente, o desenvolvimento de metodologias que permitam estabelecer as relações existentes entre possíveis efeitos à saúde decorrentes da exposição a agentes agressivos presentes no meio ambiente é a estratégia que vem sendo adotada pelo Setor Saúde. A Fundação Nacional de Saúde (2002), define a Vigilância Ambiental em Saúde como:

*um conjunto de ações que proporcione o conhecimento e a detecção de qualquer mudança nos fatores determinantes e condicionantes do meio ambiente que interferem na saúde humana, com a finalidade de identificar as medidas de prevenção e controle dos fatores de risco ambientais relacionados às doenças ou outros agravos à saúde (p.7).*

A Avaliação de Risco é um dos instrumentos de análise empregado atualmente como uma excelente estratégia para a construção de um sistema de Vigilância Ambiental em Saúde. De acordo com a Agência de Proteção Ambiental Americana (Environmental Protection Agency - US EPA), a Avaliação de Risco é definida como um processo qualitativo e quantitativo conduzido para descrever os potenciais efeitos adversos à saúde pública decorrentes da exposição a substâncias perigosas. Este processo inclui a identificação do perigo, seguido pela avaliação da dose-resposta e pela avaliação da exposição. Todas estas etapas combinadas geram a caracterização do risco, que fornece uma estimativa do risco à saúde humana resultante da exposição a determinado agente ambiental, sob circunstâncias específicas. A caracterização do risco serve como um elo entre a própria avaliação do risco e o seu gerenciamento, constituindo-se em uma etapa-chave no processo de tomada de decisão (Corburn, 2002; Funasa, 2002; IPCS, 1999; Veiga & Fernandes, 1999).

Os processos decisórios, que configuram o gerenciamento do risco, normalmente, consistem na seleção e implementação de medidas apropriadas para o controle e prevenção de riscos, envolvendo a formulação, ou reformulação, de legislação, a utilização de tecnologias de controle e remediação ambiental, a análise de custo/benefício, a aceitação dos riscos e a análise de seus impactos nas políticas públicas (Brilhante, 1999). Todavia, o modelo clássico da avaliação de riscos, pautado na Toxicologia e na Epidemiologia, não permite uma compreensão das inter-relações e interdependências de todos os atores envolvidos, que compõem o meio onde se desenvolve a questão ambiental. Acarretando, assim, na possibilidade de limitação na formulação de estratégias de prevenção e controle dos riscos (Augusto & Freitas, 1998; Freitas et al., 2002).

Partindo do princípio que o objetivo principal de uma avaliação de risco é propiciar os subsídios necessários e, por vezes, imprescindíveis para a tomada racional de decisão por parte do poder público, De Marchi e Ravetz (1999), enfatizam que a compreensão da complexidade do problema é o primeiro passo fundamental para um melhor gerenciamento do risco. Freitas et al.(2002), consideram a relação entre os vários atores sociais envolvidos na questão, uma condição essencial para o efetivo gerenciamento do risco e governança.

Do ponto de vista acadêmico, o município de Volta Redonda, localizado na região Sul, do Estado do Rio de Janeiro, configura um ótimo exemplo de problema ambiental complexo. Uma vez que sedia, em sua área urbana, a maior siderúrgica da América Latina, e traz consigo todos os benefícios e malefícios do processo de desenvolvimento industrial ocorrido no País nas últimas décadas. Uma das principais e mais preocupantes questões ambientais existentes no Município é a contaminação ambiental por benzeno. Tal problemática, configura uma possibilidade ímpar de estudo, haja vista sua vultosa repercussão social, que culmina na formação das chamadas "comunidades ampliadas de pares", por envolver vários segmentos sociais envolvidos na questão (Funtowicz & Ravetz, 1997:220).

A dinâmica do desenvolvimento industrial acelerado, e de certa forma desorganizado de Volta Redonda, aliada aos estudos ambientais sobre qualidade do ar desenvolvidos pela Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), no final da década de 90 (FEEMA, 1999), torna patente a necessidade de se dimensionar os impactos negativos da poluição do ar na saúde da população, caracterizando seus principais danos, a fim de subsidiar estratégias de controle da qualidade do ar e orientar ações de atenção à saúde. Contudo, a contaminação ambiental por benzeno em Volta Redonda ultrapassa os limites das ciências biomédicas, assumindo a conotação de um problema de caráter socioambiental. Portanto, pode-se inferir que qualquer análise que não leve em consideração as repercussões sociais da contaminação química pelo benzeno e as relações estabelecidas ao longo dos anos entre a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) e o município, tende a representar uma fragmentação da realidade vivida em Volta Redonda, podendo acarretar em propostas limitadas de intervenção.

Atualmente, é possível inferir que os problemas causados pelo benzeno extrapolaram os espaços intrafabril, pois, potencialmente, em virtude da atividade econômica, não somente os trabalhadores que desenvolvem atividades laborativas em seu interior podem ser atingidos, mas a população de uma forma geral, principalmente aquela parcela que reside ou desenvolve atividades, laborativas ou não, na área de influência dos poluentes (Franco & Druck, 1998).

Assim, há na população de Volta Redonda a crença de que qualquer pessoa com reduzido número de glóbulos brancos seja portadora de doença ocasionada pela poluição ambiental (Câmara de Deputados, 2001; SMS, 2003a). Esta situação é

observada, empiricamente, na parcela mais carente da população, principalmente dentre aqueles que detêm menos informações acerca dos fatores de risco associados à alteração dos glóbulos brancos, a leucopenia. Por outro lado, quando se busca fazer uma discussão mais detalhada dos problemas decorrentes da poluição ambiental, relatando as causas da doença e as possibilidades de intervenção, observa-se um desvio na condução da discussão e raramente há a culpabilização, ou a intenção de responsabilização, da Companhia Siderúrgica Nacional, como uma das principais geradora da poluição química. Geralmente, o foco da discussão é desviado para o trânsito ou para as empresas com menor influência sobre a vida da cidade (Agenda 21, 1999). É fácil perceber que a população e o governo local apesar de sofrerem com as consequências do desenvolvimento desordenado de Volta Redonda, não tem condições de lutar contra o mito da Grande Empresa, pois acredita-se que enfrentar de forma contundente a situação pode implicar diretamente no encerramento de suas atividades no Município, e conseqüentemente nos impactos negativos em âmbito econômico e social (Agenda 21, 1999).

Este estudo torna-se prioritário neste momento em função das iniciativas locais, por parte do poder público, pressionado pelo movimento social, visando a compreensão dos impactos sobre a saúde humana decorrentes da poluição atmosférica, principalmente relacionada à contaminação por benzeno. E, também, em virtude da maioria dos estudos científicos desenvolvidos no País tendo o benzeno como objeto de pesquisa serem conduzidos sob a vertente da exposição ocupacional. Pretende-se, com o presente trabalho, contribuir com o processo de construção da área da Saúde Ambiental no Sistema Único de Saúde (SUS), a partir da análise dos dados requeridos para a realização da avaliação da exposição humana às substâncias químicas e da qualidade das informações disponíveis, no município de Volta Redonda, para a contaminação ambiental por benzeno.

Esta dissertação é composta por três capítulos. No primeiro, é apresentada uma revisão bibliográfica das metodologias empregadas pela Agência de Proteção Ambiental Americana (Environmental Protection Agency / US EPA), pela Agência Americana para Substâncias Tóxicas e Registros de Enfermidades (Agency for Toxic Substances and Diseases Registry / ATSDR) e pelo Programa Internacional de Segurança Química (International Programme on Chemical Safety / IPCS), para a avaliação da exposição humana às substâncias químicas

O capítulo 2 encontra-se dividido em quatro partes e enfoca o problema da contaminação ambiental pelo benzeno em Volta Redonda / RJ. Nas duas primeiras partes são apresentadas informações acerca da substância química, suas principais fontes de emissão e aspectos toxicológicos, bem como as legislações brasileira e internacional relativas à exposição humana ao benzeno. Outro item constituinte do capítulo, descreve os aspectos que tornam a contaminação ambiental por benzeno uma situação complexa no Município. Por fim, são analisadas as informações organizadas no capítulo e apresentadas possíveis formas de abordagem do problema..

No terceiro capítulo, é feita uma descrição sobre os dados disponíveis no Município para a avaliação da exposição ao benzeno, obtidos junto aos órgãos estaduais e municipais de saúde e meio ambiente, bem como aqueles disponíveis em estudos científicos realizados em Volta Redonda. No final do capítulo, é feita uma discussão acerca das informações obtidas no trabalho de campo, as quais são analisadas à luz da revisão bibliográfica das metodologias empregadas para a avaliação da exposição humana às substâncias químicas e da legitimação social dos dados de monitoramento da qualidade do ar de Volta Redonda.

Finalizando a dissertação são apresentadas as conclusões do estudo.

## **OBJETIVOS DO ESTUDO:**

Buscando contribuir com o campo da Vigilância Ambiental em Saúde, ora em construção no Sistema Único de Saúde (SUS), os objetivos deste estudo foram:

- Revisar as metodologias de avaliação de risco desenvolvidas pela Agência de Proteção Ambiental Americana (Environmental Protection Agency / US EPA), pela Agência Americana para Substâncias Tóxicas e Registros de Enfermidades (Agency for Toxic Substances and Diseases Registry / ATSDR) e pelo Programa Internacional de Segurança Química (International Programme on Chemical Safety / IPCS);
- Analisar se as informações disponíveis sobre contaminação ambiental por benzeno possibilitam o desenvolvimento de avaliação de risco à saúde pública decorrente da exposição humana à substância em Volta Redonda;
- Verificar o envolvimento da sociedade no processo de produção e uso das informações referentes à exposição humana a benzeno em Volta Redonda.

## **METODOLOGIA:**

A metodologia utilizada para a realização da análise qualitativa dos dados disponíveis no município de Volta Redonda, para a avaliação da exposição humana ao benzeno, consistiu das etapas descritas a seguir:

- Pesquisa bibliográfica e documental:

Foram selecionados os dois principais métodos de avaliação da exposição humana, empregados mundialmente, e recomendados pela Agência de Proteção Ambiental Americana (Environmental Protection Agency / US EPA) e pela Agência Americana para Substâncias Tóxicas e Registros de Enfermidades (Agency for Toxic Substances and Diseases Registry / ATSDR), respectivamente a Avaliação de Risco e a Avaliação de Saúde.

A partir desta seleção foi realizado levantamento de material bibliográfico referente às duas metodologias. Verificou-se também o método para avaliação da exposição recomendado pelo Programa Internacional de Segurança Química (International Programme on Chemical Safety / IPCS), do Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas (United Nations Environment Programme / UNEP).

Foram também levantados os estudos científicos, mais recentes, sobre a avaliação da exposição humana ao benzeno, bem como os dispositivos legais nacionais e internacionais relacionados à exposição humana ao benzeno, principalmente aqueles referentes aos parâmetros de qualidade do ar.

Outras informações relevantes para a compreensão do problema em foco, como os aspectos históricos relacionados à formação da cidade e às características gerais do Município também foram pesquisadas.

- Levantamento dos dados disponíveis acerca da contaminação ambiental por benzeno em Volta Redonda:

Estes levantamentos foram conduzidos através de observação participante e diálogos com representantes dos órgãos ambientais do Estado e do Município (Viegas,1999).

Durante a observação participante, o pesquisador participou de várias reuniões, oficinas de trabalho, seminários, entre outros eventos, realizados no município de Volta Redonda que tiveram como tema central a contaminação por benzeno ou a poluição atmosférica. É importante frisar que a participação e inserção do autor nestes eventos não se deu somente em função do estudo, mas também na qualidade de coordenador do Programa de Saúde do Trabalhador, ocupado pelo pesquisador na Secretaria Municipal de Saúde de Volta Redonda. Desta forma, o pesquisador viveu, de fato, como um integrante do problema em estudo (Viegas, 1999).

Os diálogos foram conduzidas com profissionais dos órgãos estadual e municipal de meio ambiente. Essas conversas foram norteadas por perguntas gerais, abertas, conforme a natureza do objeto e a finalidade da pesquisa, cujo principal objetivo foi a identificação das ações realizadas por esses órgãos frente ao problema da contaminação ambiental pelo benzeno em Volta Redonda.

- Análise dos dados:

A análise dos dados disponíveis no Município foi feita a partir dos parâmetros para avaliação da exposição humana às substâncias químicas estabelecidos pela EPA, ATSDR e IPCS, constantes respectivamente no *Guidelines for Exposure Assessment* (US EPA, 1992), *Public Health Assessment Guidance Manual* (ATSDR, 2002) e *Environmental Health Criteria 214 - Human Exposure Assessment* (IPCS, 2000).

## CAPÍTULO 1

### **AVALIAÇÃO DE RISCOS: ELEMENTOS NECESSÁRIOS À AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO**

Este capítulo encontra-se sistematizado de maneira a propiciar o conhecimento sobre as principais metodologias empregadas para a avaliação dos efeitos nocivos à saúde humana decorrentes da exposição à substâncias químicas. Porém, enfatiza uma das etapas primordiais no estabelecimento da associação saúde-ambiente: a Avaliação da Exposição.

#### **Principais Métodos de Avaliação dos Efeitos das Substâncias Químicas sobre a Saúde Humana**

O conhecimento dos efeitos deletérios sobre a saúde humana associados à exposição do homem aos mais diversos agentes ambientais, pode ser obtido através das duas metodologias mais difundidas na atualidade: a *Avaliação de Risco* – metodologia proposta pela Agência de Proteção Ambiental Americana (United States Environmental Protection Agency / US EPA) e difundida pelo Programa Internacional de Segurança Química (International Programme on Chemical Safety / IPCS) – e, a *Avaliação de Saúde* – metodologia proposta pela Agência Americana para Substâncias Tóxicas e Registros de Enfermidades (Agency for Toxic Substances and Diseases Registry / ATSDR).

Apesar de ambas as metodologias apresentarem o mesmo objetivo, possuem distintos enfoques e propósitos, conforme descritos a seguir.

A *Avaliação de Risco* é baseada em evidências científicas, e caracteriza o risco<sup>1</sup> potencial para a saúde pública, a partir de estimativas de exposições presente e futura a determinadas concentrações de substâncias químicas. Este processo é utilizado pelos órgãos reguladores com a finalidade de subsidiar e definir as ações de gerenciamento do risco, com vistas à eliminação, ou quando esta não for possível, à redução do risco a um valor mínimo aceitável, e possível de ser alcançado. Normalmente, os resultados da Avaliação de Risco culminam em legislações que definem os limites para a exposição humana às substâncias, no planejamento das ações de remediação ambiental a ser empregadas em situações específicas e na avaliação destas (IPCS, 1999; Graham et al., 1992).

Por outro lado, a *Avaliação de Saúde* é conduzida para a identificação de exposições – passadas, presentes e futuras – associadas a áreas contaminadas ou outras formas de contaminação ambiental e os problemas de saúde advindos de tais exposições, para a determinação das ações de saúde pública necessárias para a proteção da saúde humana. Outro objetivo desta metodologia é prover a comunidade com as informações obtidas acerca das implicações sobre a saúde decorrente da exposição às substâncias perigosas. Investigações mais detalhadas da exposição, ações de educação em saúde, adequação dos serviços de saúde ao problema e ações de vigilância da saúde das populações expostas, são algumas das atividades desenvolvidas após o resultado da Avaliação (ATSDR, 2002; Brilhante, 1999).

Apesar da diferença entre os propósitos dos métodos, suas etapas são similares, principalmente no que tange à avaliação da exposição e à avaliação toxicológica. A *Avaliação de Risco* é composta de quatro etapas distintas e essenciais para a sua conclusão, a saber: *Identificação do Perigo*, baseada em informações sobre a toxicidade da substância, consiste na identificação das características capazes de provocarem efeitos adversos à saúde; *Avaliação Dose-Resposta*, refere-se à intensidade de um efeito adverso em relação a dose, administrada ou recebida, de determinada substância para um específico de exposição; *Avaliação da Exposição*, corresponde à uma avaliação quantitativa e/ou qualitativa para determinar ou estimar a natureza e extensão do contato experimentado por populações com substâncias químicas; *Caracterização de Risco*, reúne as informações das três etapas anteriores e apresenta uma estimativa quantificada

---

<sup>1</sup> O conceito de Risco utilizado neste trabalho equivale àquele empregado na toxicologia ambiental, que se refere à probabilidade medida ou estimada de dano, doença ou morte causada por um agente químico em um indivíduo a este exposto (Caldas, 1999).

do excesso de risco para o homem provocado pela exposição às substâncias tóxicas (IPCS, 1999, Veiga & Fernandes, 1999, Freitas et al., 1997; Nurminen, 1996; Upton, 1988). Com relação à *Avaliação de Saúde*, ela é desenvolvida para a avaliação de sítios contaminados compreendendo, no mínimo, cinco questões: *Contextualização da área contaminada*, com informações sobre a história do local, ações desenvolvidas pelo poder público, entre outros dados relevantes para a compreensão do problema; *Preocupação da comunidade com a saúde*, incluindo a natureza da preocupação, as populações afetadas e outras informações fornecidas pela comunidade; *Informações sobre a contaminação e trajetória da exposição*, incluindo dados ambientais disponíveis, informações da maneira como as pessoas se expõem à substância perigosa, informações sobre as propriedades químicas, físicas e toxicológicas que podem afetar o destino da substância no ambiente ou no corpo humano; e, *Informações de efeitos à saúde*, incluindo estatísticas relevantes sobre câncer, estudos do estado de saúde da população e dados de monitoramento biológico (ATSDR, 2002).

Apesar da similaridade entre as etapas dos dois processos, observa-se, contudo, que a *Avaliação de Saúde* avança em mais uma importante etapa, que é a incorporação da preocupação e do saber da população frente ao problema ambiental, que pode se expressar através de um efeito particular observado ou temido, como por exemplo o câncer.

### **A Avaliação da Exposição**

A exposição<sup>2</sup> é descrita através de quatro características: *magnitude*, relacionada à concentração do agente<sup>3</sup>; *duração*, representa o tempo que a pessoa permanece em contato com o agente; *frequência*; e, a *via*, se a entrada da substância no organismo ocorre através da inalação, ingestão ou absorção dérmica (Sexton et al., 1992). A concentração da substância química presente no ambiente e no ponto de contato com o corpo humano, é denominada concentração de exposição, normalmente expressa em mg/L, mg/kg, µg/m<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> Neste trabalho adotou-se a definição de exposição proposta pela Agência de Proteção Ambiental Americana (US EPA), que significa o contato das pessoas com as substâncias químicas, ou outro agente, ao nível dos limites externos do corpo (pele, boca, narinas etc) durante determinado período (US EPA, 1992).

<sup>3</sup> Dado o objetivo desta dissertação, o agente ambiental será tratado sempre como uma substância química, apesar de outros agentes (físicos e biológicos) também serem objeto de estudos relacionados à exposição humana.

Matematicamente, a exposição pode ser definida como: 
$$E = \int_{t_1}^{t_2} C(t) dt$$

onde:  $E$  é a magnitude da exposição;  $C(t)$  é a concentração de exposição, que varia em função do tempo;  $t$  é o tempo, sendo  $t_2 - t_1$  a duração da exposição (US EPA, 1992; Liroy, 1990).

A avaliação da exposição é uma das etapas dos processos de Avaliação de Risco e de Avaliação de Saúde, que tem como objetivo mensurar ou estimar a concentração da exposição e o número de pessoas expostas às substâncias tóxicas (IPCS, 2000; Freitas et al., 1997; Sexton et al., 1992), com vistas a subsidiar os processos decisórios para o controle e limitação dos riscos decorrentes da exposição (Burke et al., 1992).

A avaliação da exposição humana a um agente ambiental envolve tanto sua descrição qualitativa, como a estimativa quantificada da exposição e da dose. Embora duas avaliações da exposição não sejam exatamente iguais, existem elementos similares que as permeiam, como: a quantidade de pessoas expostas a concentrações específicas durante o período de interesse; a dose resultante; e a importância da contribuição das fontes e trajetórias da contaminação e dos comportamentos ambientais relacionados à exposição e dose (ATSDR 2002; IPCS, 2000).

Para a condução da avaliação da exposição, vários elementos são requeridos e a integração de todos deve propiciar uma estimativa, com a maior acurácia possível, da exposição às substâncias tóxicas experimentadas pelos indivíduos.

Os elementos, propostos pela US EPA (1992), ATSDR (2002) e ICPS (2000), enfatizam a necessidade de em um primeiro momento conhecer detalhadamente, e qualitativamente, todos os aspectos relacionados à contaminação química, através:

- da identificação das características físico-químicas do poluente, que exercerão grande influência no transporte e destino do mesmo no meio ambiente, tais como: pressão de vapor, que determina a volatilização do poluente; constante de *Henry*, que reflete a tendência da substância passar de uma solução líquida para a fase de vapor; entre outras;

- da identificação dos aspectos toxicológicos da substância química, que implicará no impacto sobre a saúde humana;
- das principais fontes de contaminação, incluindo os aspectos históricos relacionados à área contaminada, como início da contaminação e das formas de controle adotadas pelos órgãos do poder público para o seu controle, bem como a percepção da população frente à poluição química;
- do conhecimento das formas em que se dá o contato entre as pessoas e os poluentes, isto é, a trajetória da exposição, bem como as vias de seu ingresso no organismo;
- da identificação da população potencialmente afetada pelos poluentes, incluindo a relação dos locais onde ocorrem a exposição às substâncias tóxicas e o tempo de duração em cada local;
- dos fatores climáticos que poderão influenciar na dispersão dos poluentes.

Após esta primeira etapa, de caráter qualitativo, deve se proceder à quantificação da exposição, que pode ser realizada através da avaliação pessoal ou de área, ou respectivamente de forma direta ou indireta, segundo Lioy (1990).

A avaliação pessoal inclui dois tipos de medição: (a) *amostragem individual*, que consiste na integração da concentração da substância que alcança o organismo com a duração da exposição, (b) *monitoramento biológico*<sup>4</sup>, se refere à quantificação de uma substância exógena ou de seus metabólitos ou do produto da interação entre o agente xenobiótico com substâncias que ocorrem normalmente no corpo humano e, expressa a exposição total de um indivíduo, independente da via de ingresso da substância no organismo (IPCS, 2001; Dor et al., 1999; Rappaport et al., 1995; Sexton et al., 1992).

A estimativa da exposição através da avaliação de área, combina as concentrações do poluente, medidas em locais específicos, com as informações relativas às atividades desenvolvidas pelo homem nestes locais (IPCS, 2000). Outras estratégias utilizadas são a construção de modelos matemáticos, que tem o objetivo de prever a distribuição da concentração de exposição para determinada população, e a aplicação de questionários, que visam reconstruir a exposição (IPCS, 2000; Sexton et al., 1992).

---

<sup>4</sup> Na avaliação da exposição são usados apenas os indicadores biológicos de exposição. Os outros dois tipos de indicadores, de efeito e de suscetibilidade, possuem definições e aplicações distintas, inclusive em outras etapas do processo de avaliação de risco (IPCS, 2001; Rappaport et al., 1995; IPCS, 1993a).

As três abordagens usualmente empregadas para a estimativa da exposição são independentes, uma vez que são baseadas em informações diferentes. A independência das abordagens permite que seja possível comparar seus resultados, a fim de validá-los e aumentar a credibilidade da avaliação da exposição. A amostragem pessoal é dentre as estratégias possíveis de serem utilizadas a que leva em conta a mobilidade do indivíduo em vários microambientes<sup>5</sup>, o que implica em levar em consideração concentrações ambientais e duração de exposição diferenciadas (Armstrong et al., 1992).

Alguns microambientes são potencialmente importantes para a avaliação da exposição a poluentes atmosféricos. Os microambientes podem ser definidos em dois tipos, ambientes externos e ambientes internos. Os ambientes externos incluem as áreas urbanas e rurais, que são influenciados pelas fontes móveis (veículos) e estacionárias (indústrias). Neste contexto, considerando os poluentes não encontrados nas atividades agrícolas, as áreas rurais devido às suas características são importantes para a compreensão da contribuição das fontes antropogênicas de poluição do ar, permitindo, pois, o estabelecimento, ainda que com reservas, de concentrações *background*<sup>6</sup> (basais) para algumas substâncias tóxicas. Os ambientes internos, podem ser classificados em ocupacionais e não-ocupacionais (IPCS, 2000).

Alguns estudos científicos, tem utilizado diferentes estratégias para a estimativa da exposição do homem às substâncias químicas, como o emprego concomitante de diferentes abordagens de monitoramento direto e/ou indireto (Egeghy et al., 2000; Romieu et al., 1999; Ovrebo et al., 1995; Rappaport et al., 1995) ou avaliações conduzidas simultaneamente em diferentes microambientes (Meininghaus et al., 2003; Tashiro & Taniyama, 2002; Meneses et al., 1999).

Finalizando a avaliação da exposição são conduzidos cálculos para a estimativa da dose média diária da substância química a que os indivíduos são submetidos, considerando a concentração da exposição medida, a duração e frequência da exposição. Contudo estas variáveis podem ser dependentes das atividades humanas e do tempo desperdiçado em cada atividade ou local onde são realizadas. O *Exposure Factors Handbook*, editado pela US EPA em 1997, resume as informações acerca do comportamento e das características humanas que podem contribuir para o incremento

---

<sup>5</sup> Denotam locais específicos onde a concentração do poluente pode ser tratado como homogêneo (US EPA, 1997).

<sup>6</sup> O termo background deve ser compreendido nesta dissertação como os níveis de uma substância no ambiente, que ocorrem naturalmente sem a influência do homem (ATSDR, 2002).

nos níveis da exposição aos contaminantes ambientais, bem como recomenda valores padrões para esses fatores (US EPA, 1997).

Por fim a avaliação da exposição deve levar em consideração dois fatores, a variabilidade e a incerteza, que podem afetar a precisão da estimativa da exposição.

A variabilidade está relacionada à heterogeneidade da exposição e pode ser classificada em três tipos: (a) *espacial*, refere-se ao gradiente da concentração da substância em diferentes locais, como por exemplo em ambientes internos e externos, regionalmente em decorrência de atividades industriais ou em decorrência de fatores climáticos, como direção do vento, entre outros; (b) *temporal*, relacionada à variação na duração, se longa ou curta, este tipo de variabilidade está relacionada à sazonalidade no desenvolvimento de algumas atividades, às condições climáticas, à permanência na execução de atividades em áreas contaminadas etc., e (c) *entre indivíduos*, refere-se tanto às características populacionais, como idade ou peso, quanto às comportamentais, tais como realização de atividades, recreacionais, ocupacionais ou do cotidiano (Zhao & Kaluarachchi, 2002; US EPA, 1997). De acordo com a US EPA (1997), existem quatro maneiras para lidar com a variabilidade na avaliação da exposição: ignorar a variabilidade, estratificar a variabilidade, utilizar um valor médio e utilizar os valores máximos e mínimos. Esta última forma é a mais comum para tratar a variabilidade na avaliação da exposição, embora em alguns casos pode levar a uma superestimativa da exposição ou da dose, e, conseqüentemente, do risco (USEPA, 1997).

As incertezas representam a falta de conhecimento acerca de fatores que influenciam a exposição ou o risco e levam à imprecisão da estimativa. As incertezas podem ser divididas em três categorias, conforme classificação da US EPA (1992):

- Incerteza relacionada à falta de informações ou informações incompletas para uma completa caracterização da exposição ou dose. Este tipo de incerteza refere-se ao cenário da exposição;
- Incerteza relacionada a parâmetros, tais como: erros de medições, erros em amostragens, variabilidades etc. (Moschandreas & Karuchit, 2002);
- Incerteza relacionada à falta de conhecimento científico necessário para realizar inferências acerca da exposição, está relacionada às incertezas dos modelos matemáticos utilizados.

Além das incertezas relacionadas diretamente à exposição, é importante que se tenha em mente também aquelas referentes à toxicologia. As informações sobre a toxicidade das substâncias químicas obtidas a partir de estudos em animais apresentam, no mínimo, dois problemas que devem ser considerados também durante a condução da avaliação de risco: a) geralmente, os animais em estudos experimentais estão expostos à doses altas da substância sob estudo, enquanto que a exposição humana, geralmente, se dá em cenários de baixas doses; 2) os animais e os seres humanos freqüentemente diferem em suscetibilidade, ou seja há diferenças na maneira como diversas espécies interagem com a substância a que estão expostas (Eaton & Klaassen, 1996; Paumgarten, 1993).

Algumas estratégias na redução das incertezas incluem a coleta de dados utilizando uma amostra de maior tamanho, o desenho de um estudo com menos vieses, a adoção de monitoramento direto para a quantificação da exposição ou da dose, a seleção mais apropriada da população exposta e o uso de modelos matemáticos mais sofisticados (US EPA, 1997).

## **CAPÍTULO 2**

### **A COMPLEXIDADE DA CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL POR BENZENO NO MUNICÍPIO DE VOLTA REDONDA**

Este capítulo abordará as questões relacionadas à contaminação ambiental pelo benzeno que caracterizaram-na como uma situação complexa, vivificada no Município. Para uma melhor compreensão este capítulo encontra-se dividido em três partes. Na primeira é apresentada uma breve revisão sobre a substância química, com as principais formas de exposição humana, aspectos toxicológicos e alguns estudos científicos conduzidos acerca da exposição humana ao benzeno. Os dispositivos legais, nacionais e internacionais, aplicados à exposição à substância são tratados na segunda parte do capítulo. A última parte faz uma breve apresentação do Município, buscando retratar as situações que tornam a poluição química por benzeno um problema complexo.

#### **A Exposição ao Benzeno e seus Impactos sobre a Saúde Humana**

O benzeno é um hidrocarboneto aromático, que se apresenta sob a forma líquida e incolor, nas Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTP). É um composto orgânico volátil (COV) altamente inflamável, possuindo odor característico possível de ser identificado no ar em concentrações da ordem de 4,9 mg/m<sup>3</sup> e na água em concentração da ordem de 2,0 mg/m<sup>3</sup> (ATSDR, 1997).

No ambiente o benzeno pode ser encontrado no ar, água e solo. Uma das características mais importantes desta substância, com grande repercussão na contaminação atmosférica, é seu alto poder de volatilização, devido à alta pressão de vapor, da ordem de 95,2 mmHg, a 25 °C (IPCS, 1993b). Outras propriedades que

também influenciarão o transporte e o destino da substância no meio ambiente são apresentadas no Quadro 2-1.

A liberação do benzeno para o ambiente pode ser feita através de fontes naturais e/ou antropogênicas. O fato de ser um componente do petróleo faz com que seja naturalmente encontrado, na concentração aproximada de 0,8 µg/L, nas proximidades de depósitos naturais de petróleo e gás natural. A ocorrência de queimadas em florestas também contribui para sua presença no ambiente (IIA, 1998; IPCS, 1993b). Já a contribuição das fontes antropogênicas, estimada em mais de 90%, é proveniente da exaustão e do abastecimento de veículos, das emissões industriais e da fumaça do cigarro. (IIA, 1998; ATSDR, 1997; IPCS, 1993b).

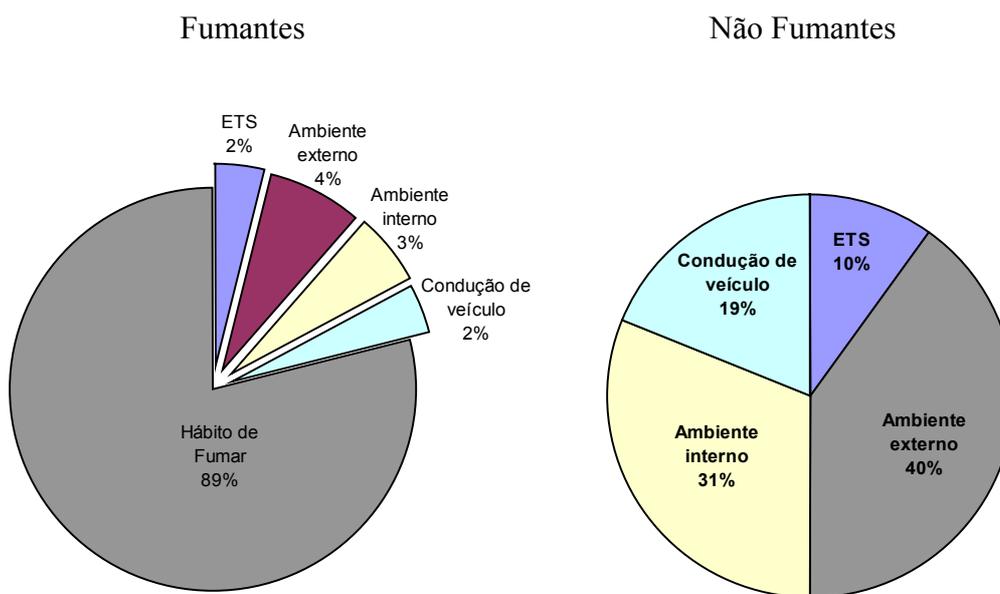
A exposição humana ao benzeno se dá principalmente através do ar, sendo a via inalatória a responsável por mais de 99 % da quantidade de benzeno presente no corpo humano. A população de uma forma geral se expõe ao benzeno, principalmente, pela fumaça de cigarro e pela inalação de ar contaminado, em áreas com intenso tráfego de veículo e ao redor de postos de combustíveis (IIA, 1998; Wallace, 1996). O uso de água contaminada para cozinhar, para o banho etc., também podem configurar uma fonte de exposição pela via respiratória em função da capacidade de volatilização do benzeno da água (Giardino & Wireman, 1998; IIA, 1998). A exposição ao benzeno pode resultar também da ingestão de alimentos ou água contaminados.

Além da exposição ambiental, que acomete a população geral, a exposição pode se dar também ocupacionalmente, em ambientes industriais que utilizam a substância em seus processos produtivos. A magnitude da exposição ocupacional ao benzeno é bem superior àquela observada para a população geral.

Dada sua toxicidade, reconhecidamente uma substância carcinogênica para o homem, (IARC, 1987), a exposição humana ao benzeno tem sido objeto de vários estudos científicos, a nível mundial, para além de mensurar a concentração da exposição identificar as principais formas de contato.

O *Total Exposure Assessment Methodology* (TEAM), um dos mais importantes estudos já conduzido para a avaliação da exposição da população geral aos compostos orgânicos voláteis, foi realizado no período de 1980 a 1987, pela US EPA (Wallace,

1996). Este estudo contribuiu para uma melhor compreensão das possíveis formas de contaminação pelo benzeno, através do monitoramento pessoal de cerca de 800 pessoas, representando aproximadamente 800.000 pessoas em oito áreas dos Estados Unidos (Wallace, 1996). Foram realizadas também medidas do ar em ambientes externos e internos, medidas de água potável e medidas do ar exalado. Os resultados mostraram quantidades insignificantes de benzeno na água, em alimentos e bebidas. As concentrações médias das amostragens individuais excederam as dos ambientes internos, que por sua vez foram superiores as dos ambientes externos (Wallace, 1996). A principal fonte de exposição para os fumantes foi a própria fumaça de cigarro, já para os não fumantes a exposição foi derivada principalmente da exaustão veicular e das emissões de vapores de gasolina (ATSDR, 1997), conforme pode ser observado nas Figuras 2-1 e 2-2 (Wallace, 1996).



Figuras 2-1 e 2-2: Principais fontes de exposição ao benzeno para fumantes e não fumantes, de acordo com o estudo TEAM/US EPA.

Fonte: Wallace, 1996.

No México, foram conduzidas avaliações da exposição humana a compostos orgânicos voláteis, dentre os quais o benzeno, em função da emissão veicular. Nestes trabalhos, os pesquisadores avaliaram a exposição ao benzeno, de três grupos de trabalhadores da Cidade do México, através de amostragens individuais e de medições

**QUADRO 2-1: PROPRIEDADES QUÍMICAS E FÍSICAS DO BENZENO**

<i>Propriedades Químicas e Físicas do Benzeno</i> ( <i>Fórmula Química: C<sub>6</sub>H<sub>6</sub></i> )	
Estado Físico (CNTP)	Líquido, incolor
Peso Molecular	78,11
Ponto de Fusão	5,5 °C
Ponto de Ebulição	80,1 °C, a 760 mmHg
Ponto de Fulgor	-11,1 °C
Ponto de Auto ignição	498 °C
Pressão de Vapor (25 °C)	95,2 mmHg
Densidade	0,878
Densidade Relativa Vapor	2,7 (ar = 1)
Limites de Odor	
Ar	4,9 mg/m <sup>3</sup>
Água	2,0 mg/m <sup>3</sup>
Solubilidade	
Água	1800 mg/L, a 25 °C
Solventes Orgânicos	miscível com a maioria
Coefficientes de Partição	
Log K <sub>ow</sub> (água)	2,13
Log K <sub>oc</sub> (carbono orgânico)	1,8 – 1,9
Constante de Henry	5,5 x 10 <sup>-3</sup> atm/m <sup>3</sup> por mol, a 25 °C
Limites de Inflamabilidade	1,3 – 1,7 %
Fatores de Conversão	1 ppm = 3,24 mg/m <sup>3</sup> , a 20 °C e 1 atm 1 mg/m <sup>3</sup> = 0,31 ppm

Fontes: ATSDR (1997), IPCS (1993b)

da concentração no sangue. Os resultados mostraram diferenças significativas. A concentração de exposição e os níveis de benzeno no sangue do grupo de trabalhadores de postos de gasolina foi maior que a dos grupos de vendedores de rua e dos trabalhadores de escritórios (Romieu et al., 1999; Meneses et al., 1999).

Gilli et al. (1996), demonstrou a contribuição da fumaça do cigarro na exposição ao benzeno. Através do monitoramento individual de 88 alunos, detectou-se uma maior exposição dos fumantes ativos (35,09 ppb), em relação aos fumantes passivos (28,55 ppb) e aos não fumantes (21,9 ppb). Os autores observaram que a exposição ao benzeno é proporcional à intensidade à fumaça do cigarro.

Vários estudos, reportados por Wallace (1996), tem demonstrado as diferenças existentes entre as concentrações de exposição em ambientes internos e externos e nas exposições individuais. As amostragens individuais tem apresentado concentrações maiores de benzeno, que aquelas observadas nos ambientes internos, que por sua vez são maiores que os medidos nos ambientes externos (Wallace, 1996). Esta diferença está normalmente associada às atividades desenvolvidas pelas pessoas em microambientes distintos e o seu tempo de duração (Gilli et al., 1996).

Outra importante informação advinda das pesquisas se refere à diferença da concentração de benzeno observada em diferentes estações do ano, principalmente durante o inverno e o verão. Em um estudos realizado no Alaska, foram identificados concentrações de benzeno em amostragens individuais, ambiente interno e ambiente externo da ordem de 20, 15 e 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, durante o verão, e da ordem de 28, 25 e 11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , durante o inverno (IIA, 1998; Wallace, 1996).

Além de estudos como os relatados anteriormente, algumas ações de monitoramento tem sido conduzidas pelos órgãos governamentais de alguns países da Europa, objetivando subsidiar a tomada de decisões para o controle das emissões.

Um projeto financiado pela Comunidade Européia, denominado MACBETH (*Monitoring of Atmospheric Concentration of Benzene in European Towns and Homes*), foi conduzido para subsidiá-la na formulação de legislação para o controle do nível de poluição urbana por benzeno. Através deste Projeto foram realizadas seis campanhas de monitoramento da concentração de benzeno em ambientes externos, internos e através

de monitorização individual, em seis cidades da Europa, em diferentes países, durante os anos de 1997 e 1998. Os resultados preliminares mostraram uma variação no níveis de benzeno em ambientes externos de  $6,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , em Copenhaga, a  $31,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , em Murcia. Nos ambientes internos as concentrações encontradas variaram de  $4,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , em Copenhaga, a  $23,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , em Atenas. Os monitoramentos individuais apontaram para um exposição da ordem de  $8,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , em Copenhaga, e  $37,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , em Murcia (FSM, 2003).

No período de 1995 a 2000, a Agência Ambiental da Alemanha registrou um declínio nas concentrações médias anuais de benzeno. Cerca de 75% das estações de monitoramento de qualidade do ar registraram níveis de benzeno variando entre 1 e  $<5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , nas demais estações foram registrados níveis da ordem de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . As maiores concentrações de benzeno foram encontradas nas proximidades de estradas com tráfego intenso (Umweltbundesamt, 2002).

Na Inglaterra, as concentrações médias anuais de benzeno tem sido monitoradas continuamente desde 1993. No período de 1997 a 2001, as concentrações médias tem apresentado um decréscimo, variando respectivamente de  $4,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $2,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Environmental Agency UK, 2003)

Anteriores a essas pesquisas e às ações de monitoramento, inúmeros outros estudos foram desenvolvidos para a determinação dos efeitos deletérios do benzeno sobre a saúde humana. A grande maioria foi realizada considerando a exposição ocupacional, invariavelmente maior que a exposição ambiental. Esses estudos encontram-se referenciados em diversas publicações que tratam sobre a substância, como *Toxicological Profile for Benzene* (ATSDR, 1997), *Carcinogenic Effects of Benzene: An Update* (US EPA, 1998), *Environmental Health Criteria n.º 150 - Benzene* (IPCS, 1993), *Paper Position Benzene* (IIA, 1998), *Air Quality Guidelines for Europe* (WHO, 2000), que além de estudos epidemiológicos apresentam também estudos toxicológicos. Estes estudos evidenciam os efeitos tóxicos do benzeno, relacionados à sua carcinogenicidade, hematotoxicidade, mielotoxicidade, neurotoxicidade, imunotoxicidade, bem como os efeitos agudos devido às exposições a altas concentrações.

No Brasil, alguns estudos foram conduzidos nos últimos anos com o intuito de identificar as vantagens e limitações do ácido trans, trans-mucônico urinário como indicador de exposição humana a baixas concentrações ambientais de benzeno (Costa, 2001; Macedo, 1997). Tanto o estudo desenvolvido por Costa (2000), como o conduzido por Macedo (1997), foram realizados através de avaliação ambiental e monitoramento biológico de trabalhadores expostos a baixas concentrações de benzeno. Coutrim (1998), realizou um estudo com vistas ao desenvolvimento de metodologia analítica sensível para a determinação de indicador biológico de exposição a baixas concentrações de benzeno. Estes três estudos subsidiaram a Comissão Nacional Permanente de Acompanhamento do Acordo do Benzeno<sup>7</sup> no estabelecimento de parâmetros normativos de exposição ao benzeno.

### **Dispositivos Legais Relacionados à Exposição Humana ao Benzeno**

No Brasil, os padrões de qualidade do ar, foram estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da Resolução n.º 003, de 28 de junho de 1990, que os define como as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Esta Resolução, que atribui aos estados a competência para o monitoramento da qualidade do ar, define padrões apenas para os poluentes clássicos: Partículas Totais em Suspensão, Fumaça, Partículas Inaláveis, Dióxido de Enxofre, Monóxido de carbono, Ozônio, Dióxido de Nitrogênio. Portanto, com relação à qualidade do ar, a legislação brasileira não define qualquer valor para a exposição não ocupacional ao benzeno.

Os dispositivos legais brasileiros que preconizam valores para a exposição humana ao benzeno são as referentes à qualidade da água para consumo humano e à exposição ocupacional.

A Portaria do Ministério da Saúde n.º 1.469, de 29/12/2000, que dispõe sobre os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da

---

<sup>7</sup> A Comissão Nacional Permanente do Benzeno - CNPBz, funciona como um fórum tripartite (reunindo trabalhadores, empresas e governo) de discussão, negociação e acompanhamento do acordo do benzeno.

água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, preconiza o valor máximo permitido de benzeno na água igual a 5 µg/L, a fim de garantir o seu padrão de potabilidade.

A legislação brasileira para a exposição ocupacional ao benzeno, instituída pela Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho, do Ministério do Trabalho, através da Portaria n.º 14, de 20/12/1995, considerando a inexistência de limite seguro para a exposição à substância, dada sua comprovada carcinogenicidade, institui o Valor de Referência Tecnológico (VRT) como:

*a concentração de benzeno no ar considerada exequível do ponto de vista técnico, definido em processo de negociação tripartite. VRT deve ser considerado como referência para os programas de melhoria contínua das condições dos ambientes de trabalho. O cumprimento do VRT é obrigatório e não exclui risco à saúde.”(Segurança e Medicina do Trabalho, 2002:211).*

Os valores a serem adotados pelas empresas correspondem a 2,5 ppm, para as indústrias siderúrgicas, e 1,0 ppm, para as químicas e petroquímicas (Segurança e Medicina do Trabalho, 2002:212).

Com relação à legislação internacional, a Organização Mundial da Saúde (OMS), em suas diretrizes para a qualidade do ar na Europa, reconhece que o benzeno é uma substância carcinogênica para os humanos e que nenhum limite seguro de exposição pode ser recomendado. Preconiza, então, o cálculo de risco estimado por Crump, em 1994, cuja média geométrica das estimativas do excesso de risco de leucemia em populações expostas durante toda a vida a uma concentração atmosférica de 1µg/m<sup>3</sup> de benzeno é de  $6,0 \times 10^{-6}$ . O que equivale a seis casos de leucemia para cada um milhão de pessoas expostas à referida concentração de benzeno durante toda a sua vida. As concentrações de benzeno no ar associadas a um caso de leucemia para 10.000, 100.000 e 1.000.000 de expostos são, respectivamente, 17, 1,7 e 0,17 µg/m<sup>3</sup> (WHO, 2000).

A US EPA adota o mesmo conceito da OMS e estima o risco de adoecimento por leucemia da ordem de  $2.5 \times 10^{-6}$  a  $7.1 \times 10^{-6}$ , para a exposição humana continuada ao benzeno à concentração de 1µg/m<sup>3</sup> (US EPA, 1998; IIA, 1998).

Os padrões adotados na Inglaterra são aqueles preconizados nos Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (National Air Quality Standards), como parte da Estratégia Nacional de Qualidade do Ar (National Air Quality Strategy), adotada pelo governo em janeiro de 2000, que estabelece a concentração média anual de benzeno igual a 5 ppb ( $16,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), a ser obtida até 31 de dezembro de 2003 (UK Environmental Agency, 2003).

Na Alemanha, com a redução dos níveis de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) nas cidades e aglomerados urbanos, a atenção está sendo direcionada para a poluição atmosférica gerada pelos veículos, em especial para os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), benzeno e fumaça, considerados pela Agência Ambiental Federal da Alemanha como danosos para a saúde humana. Com relação ao benzeno pretende-se alcançar o limite estabelecido pela Comunidade Européia de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , a partir de 1.º de janeiro de 2010 (Umweltbundesamt, 2002).

A Comunidade Européia, através da Diretriz 96/62/EC, vigente desde novembro de 1996, estabeleceu os princípios básicos para uma estratégia comum a ser adotada entre os países para evitar, prevenir ou reduzir os efeitos deletérios para a saúde humana e para o meio ambiente decorrentes da poluição atmosférica. Uma outra diretriz, específica, 2000/69/EC, em vigência a partir de dezembro de 2000, estabeleceu o limite para a concentração de benzeno, visando a proteção da saúde humana, igual a  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , que deverá ser alcançada em 1.º de janeiro de 2010 (EC, 1996).

### **A Contaminação Ambiental por Benzeno em Volta Redonda: aspectos de sua complexidade**

Para uma melhor compreensão da problemática ambiental envolvendo a contaminação ambiental pelo benzeno optou-se por apresentá-lo em quatro breves momentos, os quais são descritos a seguir:

## **Uma breve caracterização do município de Volta Redonda**

O município de Volta Redonda está localizado às margens do Rio Paraíba do Sul, ao sul do Estado do Rio de Janeiro, na região conhecida como Região do Médio Paraíba. Limita-se ao norte, noroeste e oeste com o município de Barra Mansa; a sudoeste com Barra Mansa e Rio Claro; ao sul, sudeste e leste, com Piraí e Pinheiral; e, a nordeste, com Barra do Piraí e Piraí, conforme pode ser observado no Mapa 2-1 (IPPU, 1994).

Volta Redonda abrange uma área de 182 km<sup>2</sup>, dos quais 54 km<sup>2</sup> correspondem ao seu perímetro urbano (IPPU, 1994). Segundo o último Censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a população residente atual corresponde a 242.063 habitantes, culminando em uma densidade demográfica de cerca de 1.337,36 hab/km<sup>2</sup>.

O rio Paraíba do Sul divide Volta Redonda ao meio, estando a área central do Município localizada às margens do Rio, em planície circundada de colinas. A altitude da área varia entre 350 e 707 m acima do nível do mar (IPPU, 1994).

O clima de Volta Redonda pode ser considerado como mesotérmico, com inverno seco e verão quente e chuvoso. A temperatura média mensal é de 21 °C, sendo a média máxima anual de 27,8 °C e a média mínima anual de 16,5 °C. A estação chuvosa vai de outubro a março, englobando o verão, com um índice pluviométrico anual da ordem de 1.337 mm. A umidade relativa do ar é alta, 77%, mesmo nos meses de inverno (FEEMA, 1999).

## **Um breve histórico sobre a formação da cidade**

Originalmente, Volta Redonda era um distrito do município de Barra Mansa. A partir dos anos 40, a vida do pequeno povoado, com população inferior a 3.000 habitantes, começou a se transformar rapidamente, devido à implantação da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), que anos mais tarde constituiria o maior pólo siderúrgico

do País, sendo considerada até os dias atuais como a maior siderúrgica da América Latina. Além do processo de desenvolvimento industrial e econômico em curso no País, na época, a localização geográfica, devido ao eixo viário que interliga as duas maiores metrópoles brasileiras, Rio de Janeiro e São Paulo, foi fator preponderante para a definição da localização da indústria.

A CSN foi criada em 9 de abril de 1941 e no final deste ano começaram a chegar em Volta Redonda os primeiros trabalhadores incumbidos da construção da usina. Esses pioneiros foram abrigados em barracas armadas nos altos dos morros, enquanto eram construídos acampamentos para as famílias operárias. Paralelamente à construção da usina era implantada a Cidade Operária, cujo projeto previa a construção de 4.000 habitações, em área contígua a da Usina, com total disponibilidade de infra-estrutura e diversos equipamentos urbanos (IPPU, 1994).

O povoado se transformava em um grande canteiro de obras, onde eram duras as condições de vida e de trabalho: insalubridade nos alojamentos, tarefas extenuantes, jornada de trabalho diária de 10 horas, disciplina rígida no trabalho e casos de repressão e violência por parte da polícia da CSN, eram comuns naquele tempo (IPPU, 1994).

A década de 40 conheceu considerável incremento populacional, principalmente na sua segunda metade, devido à inauguração da Companhia em 1946. Pessoas oriundas de diversas origens, e com diversos interesses, se dirigiam a Volta Redonda. O espaço urbano começou a se desenvolver como consequência da atividade industrial, o comércio e pequenos estabelecimentos de serviços eram instalados e a atividade industrial, diretamente relacionada à produção da CSN, também foi estimulada logo nos primeiros anos de funcionamento da Usina. Constitui-se não apenas uma usina siderúrgica, mas uma cidade para atendê-la. Em 1948, a Companhia atingia a marca de 3.003 casas entregues aos trabalhadores. Volta Redonda serve então como um modelo de *Company-town* (cidade fábrica) que pode ser definido:

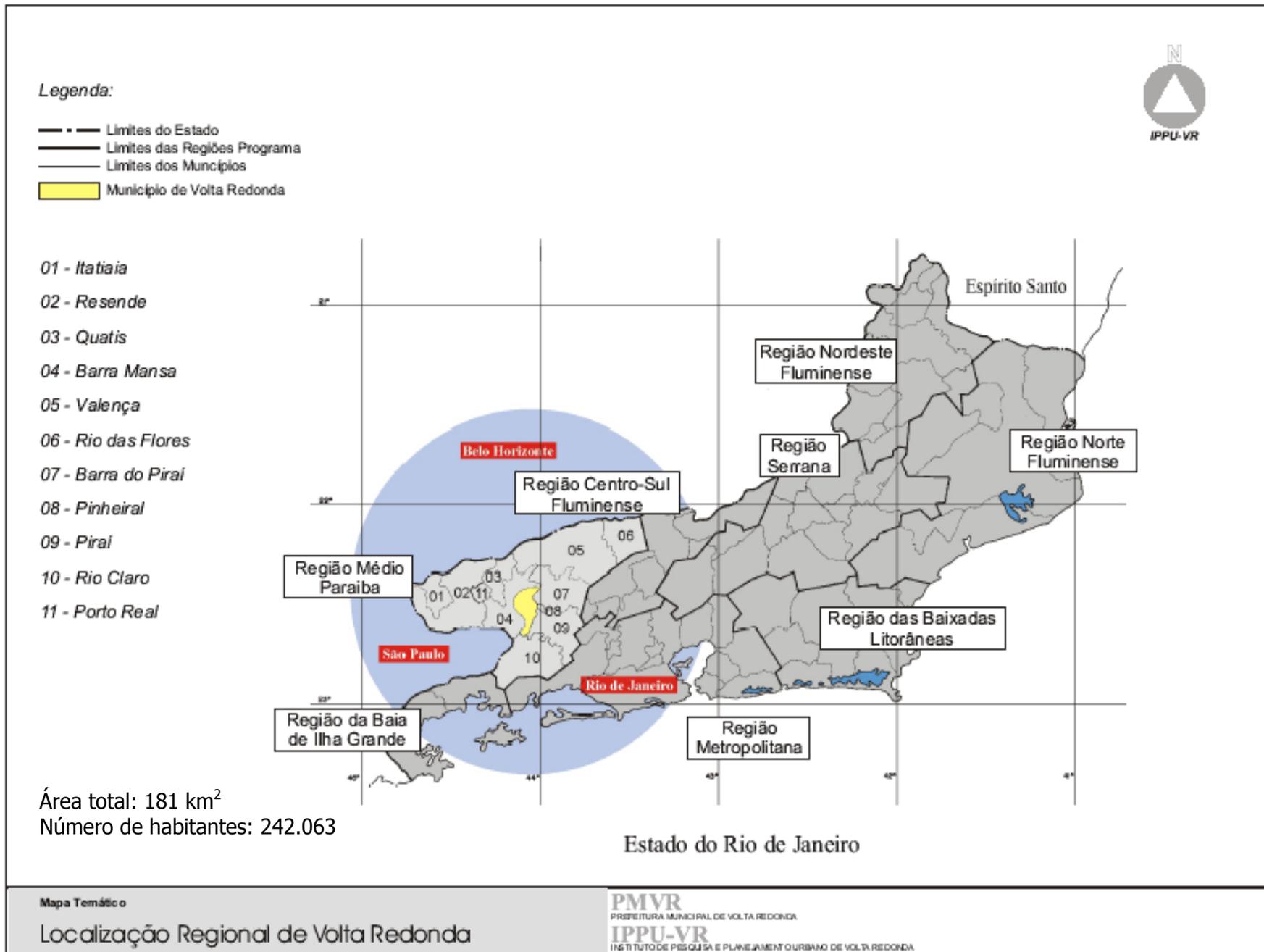
*“... cidades ou regiões controladas por uma empresa, com dupla perspectiva, de um lado suprir com razoável grau de garantia as necessidades de força de trabalho, através da fixação desta pelo fornecimento de moradia e, por outro lado, estender o domínio da empresa ao âmbito privado dos trabalhadores, por meio de vários mecanismos de disciplinamento.”(Gandra, 2000:47).*

A moradia fornecida pela Empresa, cujo valor do aluguel era deduzido diretamente dos salários e era inferior ao do mercado imobiliário, reproduzia em sua construção e localização a hierarquia presente no interior da Usina (IPPU, 1994). De acordo com a escala hierárquica da Empresa, os trabalhadores que ocupavam os menores níveis residiam nas áreas mais próximas da usina, enquanto aqueles que ocupavam altos cargos recebiam moradias mais afastadas, em áreas mais nobres. O fato é, segundo Gandra (2000), que a concessão destas, grandes ou pequena, próximas ou distantes, muito contribuiu para a imagem da companhia doadora ou CSN-mãe.

Este momento é marcado pela grande dicotomia entre a cidade-privada e a cidade-pública, de um lado era erguida uma cidade planejada, sob a ótica do desenvolvimento econômico, necessário para o País, do outro a população original crescia de forma desordenada, sem qualquer planejamento. Com vistas a melhorias urbanas, setores da população da cidade não planejada se mobilizaram em prol da emancipação do distrito, culminando com a criação do município de Volta Redonda no dia 17 de julho de 1954 (IPPU, 1994).

O primeiro governo municipal tomou posse no dia 06 de fevereiro de 1955. Contudo, a instalação do Município não conferiu ao governo local a administração de toda a cidade. A cidade operária continuava a ser gerida pela CSN e a apresentar padrão físico-urbanístico de muito melhor qualidade (em termos de infra-estrutura, equipamento, serviços urbanos, condições habitacionais) que a “outra” Volta Redonda, administrada pela Prefeitura Municipal (IPPU, 1994).

A partir de 1967, a CSN começou a se retirar das tarefas urbanas, com a transferência para o Município do patrimônio público da Empresa – ruas, praças etc. – e encargos decorrentes de sua manutenção. De acordo com Gandra (2000), a ditadura militar e sua conseqüente brutalidade se manifestaram na mudança da relação da CSN para com seus empregados e a cidade, ruindo assim as idéias de cidade-fábrica e CSN-mãe frente a superexploração da força de trabalho num ambiente militarizado de trabalho e de busca de produção a qualquer custo somados à perseguição aos que se levantavam contra esta situação. Em 1.º de janeiro de 1968, Prefeitura e CSN assinaram um termo de entrega e recebimento dos serviços urbanos, dando início ao processo de unificação do espaço urbano, ao reunir sob a mesma administração, a Cidade Operária e a Cidade Velha. A venda das casas da Companhia, iniciada em seguida, completou o processo de integração espacial do município (IPPU, 1994).



## **Breves comentários sobre a relação de dependência econômica entre Cidade e Companhia e a inércia na solução dos problemas ambientais**

A preponderância da Companhia sobre as demais atividades da cidade, fez com que se estabelecesse uma forte relação de dependência econômica entre as duas, Companhia e Cidade. Esta relação foi acirrada a partir da privatização da Empresa em 5 de abril de 1993, haja vista o corte no quadro de funcionários, passando de 17.768, no ano de sua privatização, para 8.657, na atualidade, tendo chegado a aproximadamente 23.000, na década de 80 (Villela, 2003). Assim, a empregabilidade configurou um dos principais problemas sociais decorrentes da privatização, com reflexo direto sobre a inércia para o enfrentamento dos demais problemas associados à relação espaço urbano, indústria e meio ambiente.

Um estudo realizado entre 1997 e 1999, pelo Programa de Pós-Graduação em Antropologia Social, do Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ, 2000), denominado “Participação da população no controle da poluição industrial no Brasil e na Argentina”, constatou que o que obstaculiza uma discussão mais efetiva frente aos problemas ambientais, que incorpore o conjunto da sociedade, é a forte relação de dependência econômica existente entre a Companhia e o Município. Fato esse que pôde ser comprovado com o depoimento de um morador, líder comunitário:

*“Aqui em Volta Redonda tem muita gente que ainda tem saudades dos presidentes coronéis da CSN. A grande mãe que era a CSN, a polícia era da CSN, ela trocava carrapeta, dava presente para as crianças no Natal, era a mãezona. Todo mundo hoje tem medo de ser demitido” (Líder de Associação de Moradores) (UFRJ, 2000:14).*

Segundo o Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Volta Redonda (IPPU), os interesses da CSN se sobrepuseram historicamente ao da localidade, como descrito em um documento oficial: *“Em Volta Redonda quem merece viver é a usina; à cidade cabe acomodar-se ou retirar-se de sua proximidade.”* (IPPU, 1994:15). Esta afirmativa concretiza a concepção segundo a qual os altos custos ambientais urbano a serem arcados pela população compensam o crescimento econômico, ou seja, as

consequências decorrentes de uma baixa qualidade ambiental seriam o preço a ser pago pelo emprego industrial, o acesso à habitação e a outros benefícios (Costa, 2000).

### **Contaminação ambiental por benzeno: da preocupação ocupacional à ambiental**

Segundo Burgess (1997), a indústria siderúrgica, em comparação com quaisquer outras atividades econômicas, possui os mais diversos problemas de saúde do trabalhador, dado que as siderúrgicas integradas incluem todas as operações desde o manuseio do carvão até o carregamento do produto acabado. Dentre os processos industriais da siderurgia, a fabricação de coque é a que apresenta a maior variedade de partículas, gases e vapores, quando comparada com quaisquer outras instalações industriais (Burgess, 1997). Os principais contaminantes do ar oriundos deste processo são o CO, o CO<sub>2</sub>, o H<sub>2</sub>S, o SO<sub>2</sub>, o NH<sub>3</sub>, hidrocarbonetos aromáticos, dentre os quais o benzeno, e hidrocarbonetos aromáticos polinucleares.

Ainda de acordo com Burgess (1997):

*"O trabalhador da coqueria está exposto ao pó de carvão, emissões de particulados dos fornos de coque, com significativa quantidade de componentes solúveis de benzeno, monóxido de carbono, dióxido de enxofre, e uma vasta gama de outros contaminantes em concentrações menores."*  
(Burgess, 1997:24)

O problema da poluição química por benzeno começou a ser tratada no Município, na década de 80, sob a vertente da saúde do trabalhador. Nesta época, o Sindicato dos Metalúrgicos de Volta Redonda identificou cerca de 50 trabalhadores que desenvolviam atividades laborativas no interior da CSN com alterações hematológicas compatíveis com intoxicação por benzeno. Esta situação não era diferente da vivificada em São Paulo, que envolvia trabalhadores da Companhia Siderúrgica Paulista (COSIPA), e em vários outros estados da Federação, que em um período de 10 anos afastou cerca de 3.331 trabalhadores de suas atividades de trabalho em função do benzenismo, conforme demonstrado no Quadro 2.2 (Fundacentro, 1995). Tanto que culminou na realização de duas grandes campanhas nacionais, promovidas pela representação dos trabalhadores, para divulgação da situação junto aos trabalhadores expostos ao benzeno (Fundacentro, 1995).

Em Volta Redonda, com o apoio do Sindicato dos Metalúrgicos, foi criada a Associação dos Trabalhadores Portadores de Benzolismo do Sul Fluminense, entidade representante dos trabalhadores adoecidos nas discussões sobre seus direitos trabalhistas e previdenciários. No decorrer dos anos 90, a Associação tornou-se bastante combativa por melhores condições de trabalho no interior da Usina Presidente Vargas e ganhou espaço na mídia denunciando os casos de trabalhadores intoxicados. A ampla visibilidade da atuação da Associação, em conjunto com o Sindicato e com o Sistema Único de Saúde, gerou uma resposta da Empresa, que valendo-se da sua hegemonia, contra argumentou acerca dos casos de leucopenia, afirmando que a etiologia da patologia não possuía qualquer relação com a substância química, mas sim com outros fatores como raça, uso de medicamentos etc. (Bento & Augusto, 1997). E, nesta época sugeria que se a causa do adoecimento era o processo produtivo a solução seria interrompê-lo, encerrando as atividades da Empresa no Município. Esta situação não só assustou a população, como a dividiu.

**QUADRO 2-2: DISTRIBUIÇÃO DOS CASOS DE BENZENISMO NO BRASIL,  
NO PERÍODO DE 1983 A 1993**

<i>Estado</i>	<i>Número de Trabalhadores Afastados</i>	<i>Período</i>
Bahia	351	Maio/1991 a Junho/1993
Espírito Santo	18	1990 a 1992
Minas Gerais	97	1989 a 1992
Rio de Janeiro <sup>1</sup>	714	1985 a Junho/1993
São Paulo	2.147	1983 a 1993
Piauí	04	1992
<b>TOTAL</b>	<b>3.331</b>	

1 – Dados relativos ao município de Volta Redonda

Fonte: FUNDACENTRO, 1995

Também, nesta época, um outro conflito ocorria no Município, a disputa de duas centrais sindicais pelo comando do Sindicato dos Metalúrgicos. Nesta disputa, a central sindical que comandava o Sindicato, e apoiava a ação da Associação, foi derrotada (Gandra, 2000). Conseqüentemente, pode-se inferir que todos os ataques dirigidos à parte derrotada, de alguma forma, mesmo que indiretamente, atingiram a Associação.

Assim, aliada à contestação e ameaça por parte da Empresa e ao desgaste da Associação, a situação no Município ficou polarizada em dois segmentos da sociedade, de um lado parte da população, atingida direta ou indiretamente, pela doença do trabalho, e do outro a que negava a situação, talvez estabelecendo uma estratégia defensiva para não ter que enfrentar as conseqüências sociais de um possível fechamento da Usina (Dejours, 1992). Dado o alcance da discussão no Município, outras situações emergiram dos embates entre Empresa e trabalhadores, sendo a principal a estigmatização de qualquer trabalhador que apresentasse a taxa de leucócitos reduzida, a leucopenia, fato que os impediam de conseguir emprego mesmo em funções que não os expunham à substâncias mielotóxicas.

A situação dos trabalhadores intoxicados se arrastou, ou melhor, vem se arrastando, ao longo dos anos, com momentos de maior intensidade de luta e outros de profunda apatia. Contudo, a discussão sobre a contaminação pelo benzeno sempre esteve presente no Município, em função dos vários debates promovidos, ao longo dos anos, pela Associação e pela Secretaria Municipal de Saúde, através do seu Programa de Saúde do Trabalhador.

Nos encontros destinados a debater a situação dos trabalhadores adoecidos por benzenismo, uma situação peculiar começou a surgir: a quantidade de pessoas, não ocupacionalmente expostas, preocupadas com a contaminação atmosférica pelo benzeno. Normalmente, estas pessoas referiam-se a casos isolados, existentes nos bairros, de indivíduos com alteração hematológica, leucopenia, similar a dos trabalhadores. Em uma das reuniões, ocorrida em 1997, houve um grande debate acerca dos casos de neoplasias do Município e a possibilidade de relação com a poluição atmosférica. Nesta ocasião, foi apresentado um relatório preliminar de uma campanha de monitoramento da qualidade do ar realizada pela Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), que demonstrava as altas concentrações de benzeno na atmosfera de Volta Redonda. A afirmação de que o ar do Município encontrava-se

altamente contaminado pelo benzeno, fez com que vários segmentos sociais (Conselho Municipal de Saúde, Secretaria Municipal de Saúde, Conselho Gestor de Saúde do Trabalhador, sindicatos etc.) solicitassem, oficialmente, mais informações à FEEMA, que nunca as respondeu (SMS, 1997).

Em 1999, a FEEMA, divulgou o documento “Qualidade do Ar em Volta Redonda – Relatório de resultados obtidos através de campanhas expeditas de monitoramento realizadas de dezembro/95 a maio/96 e de abril a maio/99”. Este documento tão aguardado, mostrava uma poluição considerável no Município. Porém, segmentos da sociedade não acreditavam nos dados apresentados, sugerindo que o decréscimo no níveis de concentração dos poluentes não poderia condizer com a realidade do Município, principalmente em função dos períodos em que foram realizadas as campanhas e do reduzido número de dias em que foi realizada a segunda campanha.

Em função desta desconfiança, a Agenda 21 Local, realizou no final de 1999, o I Fórum Municipal sobre Poluição Atmosférica de Volta Redonda, que contou com a participação, segundo informações da organizadora do Evento, de aproximadamente, 30 representantes da sociedade civil organizada de Volta Redonda (associações de moradores, órgãos do poder público, empresas etc.), para discussão da situação da qualidade do ar da cidade (Agenda 21, 1999).

Logo após a divulgação do Relatório, a Companhia Siderúrgica Nacional e o Governo do Estado do Rio de Janeiro celebraram, em 27 de janeiro de 2000, um Termo de Ajustamento de Conduta Ambiental (TAC), através do qual a Empresa se comprometeu a investir em equipamentos e ações de controle da poluição atmosférica e hídrica, tratamento de resíduos sólidos, monitoramento, estudos para desativação de equipamentos e gestão de risco.

O acompanhamento da execução das ações constantes no TAC foi feito pela Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA) e por uma Comissão Popular, constituída por representantes de 19 entidades de Volta Redonda (Portugal, 2000; Diário do Vale, 2000). Algumas entidades, como a Agenda 21-Local e a Central Única dos Trabalhadores (CUT), se recusaram a tomar parte na Comissão. Estes segmentos sociais não participaram por discordarem das atribuições da Comissão e,

também, por julgarem que o principal interesse para a formação do grupo seria a legitimação social das ações previstas no TAC, sem uma discussão mais crítica e técnica acerca da eficácia das mesmas (Agenda 21, 2000).

Em 2001, por ocasião de uma audiência pública da Comissão de Direitos Humanos, da Câmara dos Deputados Federais, realizada em Volta Redonda para discussão sobre a contaminação ocupacional por benzeno, dada a demanda de representantes da sociedade por respostas acerca dos impactos sobre a saúde da população não-ocupacionalmente exposta, a contaminação ambiental pelo benzeno passou a ser ponto de discussão entre os órgãos da saúde envolvidos: Secretarias Estadual e Municipal de Saúde e Fundação Nacional de Saúde (Câmara de Deputados, 2001).

No ano seguinte, uma entidade não-governamental, chamada Movimento Ética na Política, divulgou os resultados de sondagens realizadas junto à população, nos anos de 1999, 2000, 2001 e 2002, através das quais as pessoas externaram suas opiniões sobre as questões ambientais existentes no Município, principalmente aquelas relacionadas à poluição atmosférica. Segundo estas sondagens, a população acredita sofrer as consequências da contaminação atmosférica e relacionam a leucopenia, dentre os impactos sobre a saúde associados a este tipo de poluição (MEP, 2001). Assim, fica evidente a preocupação da comunidade acerca da alteração hematológica, leucopenia, que acreditam ser em decorrência da poluição química por benzeno. Grande parte dos entrevistados atribuiu a existência de doenças respiratórias e alérgicas à emissão de poluentes pela Companhia Siderúrgica Nacional. Tais resultados foram entregues ao poder público local, com a exigência de que fossem tomadas as medidas cabíveis para a solução do problema.

Como pode ser observado, as relações históricas existentes entre o espaço urbano, a indústria e o meio ambiente compõe um cenário complexo. Haja vista a expansão do espaço urbano como consequência da atividade industrial, no caso a siderurgia, culminando na onipresença da empresa poluidora no cotidiano da população, que por sua vez passa a arcar com os altos custos ambientais urbanos. A baixa qualidade ambiental, neste contexto, seria o preço a ser pago pelo emprego industrial, pelo acesso à habitação e a outros benefícios (Costa, 2000; Funtowicz & Ravetz, 1997). Incorpora-se a este cenário a falta de prioridade das questões ambientais urbanas no elenco das

políticas públicas, aliada à falta de credibilidade de parte da sociedade nos órgãos ambientais.

Contudo pode-se verificar facilmente, a partir do descrito, que há uma franca ampliação dos grupos de discussão, envolvendo todos os afetados pela questão, setores públicos e privados e população, na tentativa do estabelecimento de um diálogo legítimo em torno do problema ambiental causado pelo benzeno, respeitando os interesses de cada um, formando a “comunidade ampliada de pares”, conforme definição de Funtowicz & Ravetz (1997:220).

### **Abordagens Integradoras e Articulação Intersectorial frente à Complexidade da Situação**

A contaminação por benzeno em Volta Redonda, e talvez em tantos outros locais, não configura uma situação simples de ser compreendida, quiçá de ser resolvida. Assim, pode-se constatar que a adoção de uma metodologia, pautada exclusivamente na Toxicologia e na Epidemiologia, para o estabelecimento da probabilidade de danos à saúde humana decorrentes da exposição ao agente ambiental, poderia ser insuficiente para a solução do problema. E, não somente em função das limitações das ciências envolvidas, conforme já evidenciadas por alguns autores (Freitas et al., 1997; Porto & Freitas, 1997; Nelson, 1988). Mas, fundamentalmente, porque ignoram o contexto mais amplo da situação, sob o qual se desenvolvem as relações associadas à problemática ambiental (Porto & Freitas, 1997), apresentando uma fragmentação da realidade estudada.

O conjunto de problemas oriundos da contaminação por benzeno em Volta Redonda, envolve aspectos ambientais, tecnológicos, econômicos, políticos e sociais, e não pode ser tratado de forma compartimentada. O número de variáveis, explícita e implicitamente relacionadas à questão, tende a inviabilizar a realização de um estudo isolado, requerendo uma abordagem integradora<sup>8</sup>, dada a impossibilidade da

---

<sup>8</sup> O termo “abordagens integradoras” refere-se, neste trabalho, conforme proposto por Almeida (2000), às perspectivas multidisciplinar, interdisciplinar ou transdisciplinar.

compreensão do problema, como um todo, apenas por uma disciplina (Porto & Almeida, 2002; Almeida, 2000).

A análise global da realidade de Volta Redonda frente à contaminação por benzeno deve envolver diversos campos do conhecimento para o seu detalhamento, entendimento e para o direcionamento das possibilidades de intervenção, além da toxicologia e da epidemiologia, já implícitas na avaliação de risco. Na perspectiva das abordagens integradoras, as seguintes disciplinas poderiam contribuir na análise do objeto: a Antropologia, através da descrição da população de Volta Redonda, dando ênfase, desde a formação da cidade até a atualidade, às diferenças e variações entre os diversos grupos frente ao problema; a Sociologia, que se encarregaria do estudo da coexistência social, em função das relações entre espaço urbano, indústria e ambiente; a Psicologia, que se ocuparia do conhecimento da percepção que a comunidade, ou grupos sociais representativos, tem do risco a que estão expostos em decorrência da contaminação por benzeno; a Meteorologia, que investigaria os fenômenos atmosféricos importantes para o transporte e destino do poluente na cidade; a Geografia, que permitiria a compreensão das áreas mais afetadas pela poluição química, em função dos acidentes físicos e do clima característicos do Município; a Demografia, através de estudos que destacariam os problemas relativos ao tamanho da população atingida e à sua distribuição espacial, e que poderiam também evidenciar grupos mais vulneráveis em função da distribuição de renda, estrutura etária etc. (Torres, 2000), conforme evidenciado no estudo de Peiter & Tobar (1998); a Medicina, que se encarregaria da investigação clínica dos casos de adoecimento associados à exposição à substância química e seria responsável pela eliminação daqueles com outras causas etiológicas; a Educação, responsável pela etapa de comunicação de risco com a sociedade.

Além da abordagem integradora, torna-se imprescindível a integração social, ou seja o comprometimento de todos os atores sociais envolvidos com a questão, através da formação, como sugerem alguns autores, da “comunidade ampliada de pares” (De Marchi & Ravetz, 1999; Funtowicz & Ravetz, 1997:220) . A construção de um diálogo social e da confiança, entre o poder público, a iniciativa privada e a população, em torno da contaminação ambiental por benzeno, no qual todos os participantes são tratados como pares e seja estimulado o respeito mútuo, facilita o entendimento da complexidade deste problema ambiental (De Marchi & Ravetz, 1999).

Na situação de Volta Redonda, pode-se verificar a tentativa do resgate do diálogo social, a partir da demanda do Movimento Ética na Política. Até então, o que podia se observar eram discursos inflamados e isolados, exemplificando bem os interesses peculiares de cada ator (público, privado, população), sem a perspectiva do desenvolvimento de um trabalho comum. Esta situação simbolizava o rompimento na confiança entre os diversos atores sociais, em função dos conflitos históricos que permearam a questão. Por um lado, o poder público, mais especificamente o Setor Saúde, que sempre tratou a contaminação pelo benzeno sob a vertente ocupacional, sem conseguir resolvê-lo, dadas as limitações de sua competência institucional. Por outro lado, o Setor Meio Ambiente nunca assumiu a contaminação por benzeno como um problema ambiental a ser enfrentado no Município. A Companhia Siderúrgica Nacional, por sua vez, assinou alguns termos de compromisso com o Estado do Rio de Janeiro, anteriores ao TAC assinado em 2000, sem cumpri-los (Agenda 21, 2000).

A articulação intersetorial, portanto, configura uma necessidade ímpar para o progresso na compreensão da complexidade da contaminação ambiental pelo benzeno em Volta Redonda e, evidentemente, para o estabelecimento de ações de gerenciamento do risco. Um outro aspecto importante de ser salientado, diz respeito à articulação entre os diversos setores do poder público que precisam comungar com a questão ambiental, tendo como norte a garantia da qualidade de vida da população. Nesta perspectiva, é imperioso que os dois principais setores, Saúde e Meio Ambiente, trabalhem de forma compartilhada e complementar, sob a compreensão das atribuições institucionais de cada um no processo, sem que um interfira nas atividades do outro. Outros setores, como planejamento, desenvolvimento econômico, educação, transporte, também precisam fazer parte do processo para que sejam efetivadas as possíveis ações de gerenciamento do risco.

Nota-se, pois, que as possíveis estratégias de intervenção sobre os problemas ambientais complexos podem ser e eficazes se forem estabelecidos mecanismos de envolvimento e cooperação entre os diversos atores sociais envolvidos, sob a égide do consenso e do respeito mútuo. De acordo com Augusto et al. (2001), as abordagens integradoras e a articulação intersetorial *exigem uma relação entre as partes que não seja de subordinação, mas sim de cooperação entre os especialistas das distintas instituições requeridas no processo de ação (p.31)*, e acrescente-se, entre os diversos representantes da sociedade. Acredita-se que a partir desta estratégia, seja possível

provocar uma mudança no processo de avaliação, com o rompimento do discurso do risco pautado em um paradigma cartesiano de análise para a tomada de decisões, rumo a um modelo mais democrático, onde o conhecimento da comunidade (população) possa ser capaz de aperfeiçoar a avaliação técnica e a imparcialidade nos processos políticos de tomada de decisões (Corburn, 2002).

## **CAPÍTULO 3**

### **AS INFORMAÇÕES DISPONÍVEIS NO MUNICÍPIO PARA A AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO HUMANA AO BENZENO**

Neste capítulo são apresentadas as informações obtidas junto aos órgãos municipais e estaduais de Saúde e Meio Ambiente, com relação aos dados disponíveis sobre a contaminação ambiental por benzeno no município de Volta Redonda. Bem como, informações oriundas de estudos acadêmicos desenvolvidos no Município acerca do Tema.

#### **Informações do Setor Saúde**

O objeto de preocupação do Setor Saúde, tanto por parte da Secretaria de Estado de Saúde do Rio de Janeiro como da Secretaria Municipal de Saúde de Volta Redonda, com relação à a substância química em questão, sempre se deu no campo da Saúde do Trabalhador.

As únicas informações disponíveis encontram-se na Secretaria Municipal de Saúde de Volta Redonda e são relacionadas à exposição ocupacional ao benzeno. No Relatório sobre os Casos de Benzenismo no Município de Volta Redonda (SMS, 1999), há o registro de 688 (seiscentos e oitenta e oito) casos confirmados e suspeitos de trabalhadores intoxicados pelo benzeno.

A atuação do Setor Saúde frente à contaminação atmosférica começa a tomar corpo com a implementação do Projeto de Estruturação da Vigilância em Saúde do Sistema Único de Saúde (Projeto VIGISUS), que incorporou uma visão mais ampla do

conjunto de fatores ambientais, de origem antropogênica ou não, que condicionam o estado de saúde das populações expostas (FUNASA, 2002).

Aliada à demanda popular por respostas acerca dos possíveis efeitos da exposição humana ao benzeno, a discussão para a implantação de um Programa de Vigilância Ambiental em Saúde Relacionada à Qualidade do Ar, em curso na Fundação Nacional da Saúde (FUNASA) culminou na escolha do Município de Volta Redonda para a realização de um projeto piloto, que além de estruturar o referido Programa, pretende, também, correlacionar a exposição humana ao benzeno a possíveis efeitos sobre a saúde.

Portanto, segundo a Secretaria Municipal de Saúde, apesar do Município não dispor no Setor Saúde de quaisquer informações que possam subsidiar a correlação entre os níveis de concentração de benzeno dispersos no ar e o estado de saúde da população, estão sendo envidados os esforços necessários, com a assessoria técnica da Coordenação Geral de Vigilância Ambiental da FUNASA, para a construção de indicadores de saúde ambiental que permitam conhecer os impactos do benzeno no ar sobre a saúde humana (SMS, 2003).

### **Informações do Setor Meio Ambiente**

As informações relativas ao meio ambiente foram obtidas junto a técnicos e documentos dos órgãos estadual e municipal de meio ambiente, respectivamente, Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente e Coordenadoria de Defesa do Meio Ambiente.

#### **Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente**

A Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), criada em 1975, é o órgão ambiental estadual, sob a direção da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano do Rio de Janeiro (SEMADUR), responsável pela

busca de alternativas inovadoras de defesa e proteção, de combate à poluição, de educação ambiental, e de gerenciamento e controle das atividades impactantes ao meio ambiente do Estado do Rio de Janeiro.

O monitoramento da qualidade do ar, sob a responsabilidade do Órgão Ambiental Estadual, é realizado para determinar o nível de concentração dos poluentes presentes na atmosfera. Os resultados obtidos permitem um acompanhamento sistemático da qualidade do ar na área monitorada e constituem elementos básicos para elaboração de diagnóstico da qualidade do ar, com vistas ao subsídio de ações governamentais para o controle das emissões. Segundo a FEEMA, o Estado do Rio de Janeiro apresenta duas áreas críticas em termos de poluição do ar e, portanto, consideradas prioritárias com relação a ações de controle: a Região Metropolitana e a Região do Médio Paraíba.

Uma vez que não é objeto do presente estudo realizar uma descrição detalhada das atividades da FEEMA relacionadas ao monitoramento da qualidade do ar, serão somente apresentadas informações relativas às campanhas de monitoramento da qualidade do ar realizadas no município de Volta Redonda e sobre a atual rede de monitoramento.

#### Campanhas Expeditas de Monitoramento da Qualidade do Ar

No âmbito da Cooperação Técnica Brasil/Alemanha, a FEEMA, através da Divisão de Qualidade do Ar e em conjunto com a GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH), realizou duas campanhas de monitoramento da qualidade do ar em Volta Redonda. A primeira realizada no período de dezembro/95 a maio/96 e a segunda no período de abril a maio/99. Nestas duas campanhas foram selecionados para o monitoramento, de acordo com a Resolução CONAMA n.º 003/90, os seguintes poluentes: partículas totais em suspensão, partículas inaláveis (somente na segunda campanha) e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), além destes, também foram monitorados compostos orgânicos representados pelo grupo de benzeno, tolueno e xilenos, em função da especificidade industrial local, e parâmetros meteorológicos.

De acordo com o relatório da FEEMA (1999), intitulado *Qualidade do Ar em Volta Redonda – Relatório de resultados obtidos através de duas campanhas expeditas*

de monitoramento realizadas em dez/95 a mai/96 e em abr/99 a mai/99, a definição dos cinco pontos para a amostragem seguiram os critérios descritos abaixo:

*A escolha dos pontos para amostragem na campanha de monitoramento seguiu basicamente dois critérios: primeiro, o de cobrir de forma representativa a região, em áreas com alta densidade populacional ou grande movimento e, segundo, nos arredores das fontes emissoras principais, considerando as direções dos ventos predominantes. (p.7)*

Os resultados obtidos, apresentados nos Quadros 3-1 e 3-2, subsidiaram a elaboração de um diagnóstico da qualidade do ar. As conclusões da FEEMA, constantes no Relatório supracitado, com ênfase naquelas relacionadas ao benzeno, foram:

- *As campanhas de monitoramento foram realizadas com frequência de amostragem bem maior do que a regular, o que, no caso da primeira, foi obtido um número de dados equivalente a quase um ano de amostragem possibilitando a comparação com os padrões anuais. As investigações também revelaram que, no período correspondente à primeira campanha, os efeitos transientes e sazonais, bem como os desvios de diversos parâmetros meteorológicos, estiveram enquadrados na normalidade dinâmica-climatológica, o que permite afirmar terem sido estes períodos representativos ao longo do ano. Por analogia fisicamente sustentada, pode-se, com segurança, estender as comparações das médias de curto e médio períodos aos seus respectivos valores anuais.*
- *Já a segunda campanha, apesar da frequência de amostragem também ter sido bem maior do que a regular, o período de amostragem foi bem mais curto, apenas 20 dias, uma vez que o objetivo foi validar os dados obtidos na primeira campanha e verificar a ocorrência de alguma alteração nos níveis de qualidade do ar, face às ações de controle implantadas pela CSN. No tocante às situações meteorológicas observadas ao longo da segunda campanha, pode-se também afirmar que estas estiveram regulares sob o ponto de vista dinâmico-climatológico.*
- *As concentrações medidas de benzeno durante as campanhas de monitoramento de qualidade do ar em Volta Redonda ultrapassaram muitas vezes a concentração anual de referência recomendada. As concentrações de tolueno e xilenos não atingiram os padrões, elas ficaram nitidamente abaixo. As coincidências temporais das variações das concentrações de benzeno e de dióxido de enxofre indicaram serem esses poluentes gerados pelo mesmo grupo de fontes de emissão.*
- *A composição do ar monitorado, considerando as concentrações de tolueno e benzeno, apresentada através da razão entre as concentrações destes, indica a produção de benzeno como a fonte principal de contaminação por compostos orgânicos. Considerando as concentrações de*

benzeno e tolueno, a composição do ar monitorado em Volta Redonda correspondeu à composição das emissões geradas nos processos de coqueria, lavagem de gás de coqueira e estocagem de benzeno cru. Por isso, a contribuição do trânsito à poluição por benzeno é de menor importância.

- As concentrações de benzeno registradas na segunda campanha de monitoramento apresentaram um decaimento considerável, em média de 70% em relação à primeira. Tal fato confirma que as medidas de controle implantadas pela CSN, tais como a instalação de sistema de controle de vazamento de benzeno dos tanques de estocagem, através de membranas flutuantes e a mudança do sistema de controle das portas dos fornos de coque, resultaram em grande impacto na qualidade do ar da região monitorada.

Segundo informações da própria CSN, os níveis de benzeno na área interna da Usina foram reduzidos em até 3.000 vezes.

- As medições das concentrações de compostos orgânicos nas áreas rurais, longe das fontes de emissão, mostraram que os níveis de background desses compostos é em torno de zero (FEEMA, 1999:78-79).

**QUADRO 3-1: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS POLUENTES – PRIMEIRA CAMPANHA**

<i>Estação</i>	<i>Poluentes</i>					
	PTS <sup>1</sup>	Benzeno <sup>2</sup>	Tolueno <sup>2</sup>	m/p-xileno <sup>2</sup>	o-xileno <sup>2</sup>	SO <sub>2</sub> <sup>3</sup>
FEEMA	153	83,1	21,0	3,0	0,7	186
Belmonte	111	51,8	29,6	2,3	1,1	---
Retiro	91	92,9	25,4	2,7	0,6	---
Aeroclube	50	57,7	19,7	2,3	0,4	---
Conforto	77	65,0	17,5	3,0	0,8	---

1 – Partículas Totais em Suspensão: Média Geométrica, µg/m<sup>3</sup>

2 – Concentração Média, µg/m<sup>3</sup>

3 – Dióxido de Enxofre: Concentração Média, µg/m<sup>3</sup>

Fonte: FEEMA, 1999

O resultado das campanhas mostraram uma poluição considerável. E, a partir daí, uma das propostas feitas pelo Órgão Ambiental Estadual foi o monitoramento continuado das concentrações dos poluentes atmosféricos. Apesar de não estar

compreendido nas avaliações tradicionais da contaminação atmosférica, o grupo de compostos orgânicos, formado pelo benzeno, tolueno e xilenos, também foi sugerido para monitoramento contínuo.

**QUADRO 3-2: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS POLUENTES – SEGUNDA CAMPANHA**

<i>Estação</i>	<i>Poluentes</i>						
	PTS <sup>1</sup>	PI <sup>2</sup>	Benzeno <sup>3</sup>	Tolueno <sup>3</sup>	m/p-xileno <sup>3</sup>	o-xileno <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> <sup>4</sup>
FEEMA	133	78	20,0	4,4	1,1	0,5	73
Belmonte	108	65	---	---	---	---	---
Retiro	89	---	26,4	3,7	<1*	<1*	---
Aeroclube	66	---	---	---	---	---	---
Conforto	82	44	---	---	---	---	---

1 – Partículas Totais em Suspensão: Média Geométrica, µg/m<sup>3</sup>

2 – Partículas Inaláveis: Concentração Média, µg/m<sup>3</sup>

3 – Concentração Média, µg/m<sup>3</sup>

4 – Dióxido de Enxofre: Concentração Média, µg/m<sup>3</sup>

\* abaixo do limite de detecção de 1µg/m<sup>3</sup>

Fonte: FEEMA, 1999

#### Monitoramento da Qualidade do Ar em Volta Redonda

Com a celebração do Termo de Ajustamento e Conduta Ambiental, firmado entre a Companhia Siderúrgica Nacional e a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano do Rio de Janeiro (SEMADUR), no ano de 2000, dentre as ações compreendidas no Programa de Controle Ambiental, a Empresa foi obrigada a executar três ações específicas relacionadas à qualidade do ar, a saber: (a) apresentar plano de monitoramento do ar, com diagnóstico da área a ser monitorada, projeto de rede de monitoramento, especificação dos equipamentos a serem adquiridos, software a ser utilizado, tratamento e disponibilização das informações, localização e caracterização das estações, entre outras exigências; (b) implantar e operar a rede de monitoramento automático proposta, com composição mínima de duas estações fixas e uma estação móvel, de amostragem contínua, a serem instaladas na área de influência

da Usina Presidente Vargas, equipadas para o monitoramento dos parâmetros relacionados no Quadro 03; (c) reestruturar e ampliar a rede manual de monitoramento de material particulado.

Atualmente, o monitoramento continuado da qualidade do ar em Volta Redonda é realizado por três estações automáticas adquiridas pela Companhia Siderúrgica Nacional - CSN, em cumprimento ao Termo de Ajustamento e Conduta (TAC), assumido com o Governo do Estado. As estações automáticas da Rede CSN cobrem parte da área urbana da cidade, monitorando a contribuição/influência dos poluentes gerados na CSN sobre a qualidade do ar do Município.

Segundo informações da FEEMA (Carvalho, 2003), as estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar utilizam o que existe de mais moderno em termos de tecnologia de monitoramento ambiental, permitindo que se obtenha informações precisas e continuadas sobre a concentração de poluentes atmosféricos clássicos ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{PTS}$  e  $\text{PM}_{10}$ ) e não-clássicos (hidrocarbonetos e compostos orgânicos voláteis) presentes na atmosfera do Município. Através destas estações são monitorados ainda outros fatores que influenciam a concentração dos poluentes atmosféricos, por interferirem diretamente na dispersão dos mesmos, tais como: direção e velocidade do vento, temperatura do ar, umidade relativa etc.

Estas estações são compostas por um conjunto de instrumentos analíticos e eletrônicos, que geram continuamente informações sobre a qualidade do ar dos locais onde estão instaladas. Os dados gerados nas estações são armazenados nas mesmas, de onde são coletados por linha telefônica e levados a um computador central localizado no Centro Supervisório da CSN. A transmissão de dados é feita 24 horas por dia, de maneira totalmente automatizada (Carvalho, 2003).

Os analisadores de gases destas estações succionam o ar ambiente e analisam os componentes de interesse presentes na amostra de ar coletada, gerando diretamente a concentração ( $\text{ppm}$ ,  $\text{ppb}$ ,  $\text{mg/m}^3$  ou  $\mu\text{g/m}^3$ ) do poluente presente no ar no instante da amostragem. Os valores das concentrações dos poluentes medidas são armazenadas em um microcomputador controlador, *datalogger*, que coleta estes dados e os processa, gerando médias de 1 minuto, 15 minutos e 1 hora, ou em outros intervalos, conforme programação desejada. Posteriormente, a cada hora, o Centro Supervisório da CSN

realiza o *pooling*, que consiste na discagem conduzida pelo computador do Centro para cada estação com o objetivo de recolher os dados para o seu banco de dados, configurando desta maneira um monitoramento a distância e permitindo uma análise global dos diversos pontos da cidade de Volta Redonda onde estão instaladas as estações. Esta ação é realizada automaticamente e ininterruptamente uma vez por hora, 24 horas por dia, 7 dias por semana e 30 dias por mês (Carvalho, 2003).

Todos os analisadores são calibrados, através de comparação com gases padrões de concentrações conhecidas, de forma a permitir a obtenção de leitura precisa das concentrações dos gases sob análise. A aferição é executada uma vez por dia, automaticamente, quando os gases padrões são enviados aos analisadores para a identificação de possíveis desvios e, quando presentes, é verificado se os mesmos estão de acordo com as normas de tolerância adotadas, no caso as preconizadas pela US EPA. Em intervalos de quatro meses, ou quando o desvio estiver na faixa de tolerância, é realizada uma calibração manual, acompanhada por técnicos da Divisão de Qualidade do Ar da FEEMA. Esta auditoria realizada pela FEEMA se dá em duas etapas: primeiro, são avaliadas qualitativamente as atividades executadas pelos técnicos da CSN no momento da calibração, a etapa seguinte é realizada quantitativamente, utilizando uma concentração conhecida de determinado poluente da FEEMA e desconhecida pela Empresa (Carvalho, 2003)

Em um esquema operacional de rotina, a coleta de dados das estações é realizada de forma totalmente automatizada e os mesmos são imediatamente replicados para a sede da FEEMA, no Rio de Janeiro. Assim, os dados repassados para a FEEMA passam apenas pela validação automática realizada pelo sistema. Dessa forma, é eventualmente possível que alguns dados recebidos pelo órgão ambiental sejam inválidos, uma vez que não passaram pela validação manual. Essa situação é corrigida uma vez por dia, quando um lote de dados referente ao dia anterior é validado manualmente e reenviado à FEEMA, sobrepondo os anteriormente enviados. Todas as validações manuais são acompanhadas de justificativas técnicas, detalhando os motivos pelas quais foram realizadas. Estes motivos são avaliados e também validados pelos técnicos da FEEMA (Carvalho, 2003)

A localização das estações automáticas fixas foi definida por uma empresa contratada para o desenvolvimento de estudo de dispersão atmosférica, pautado em

modelagem matemática. O Quadro 3-3 e o Mapa 3-1 mostram os locais onde encontram-se instaladas as estações automáticas de monitoramento.

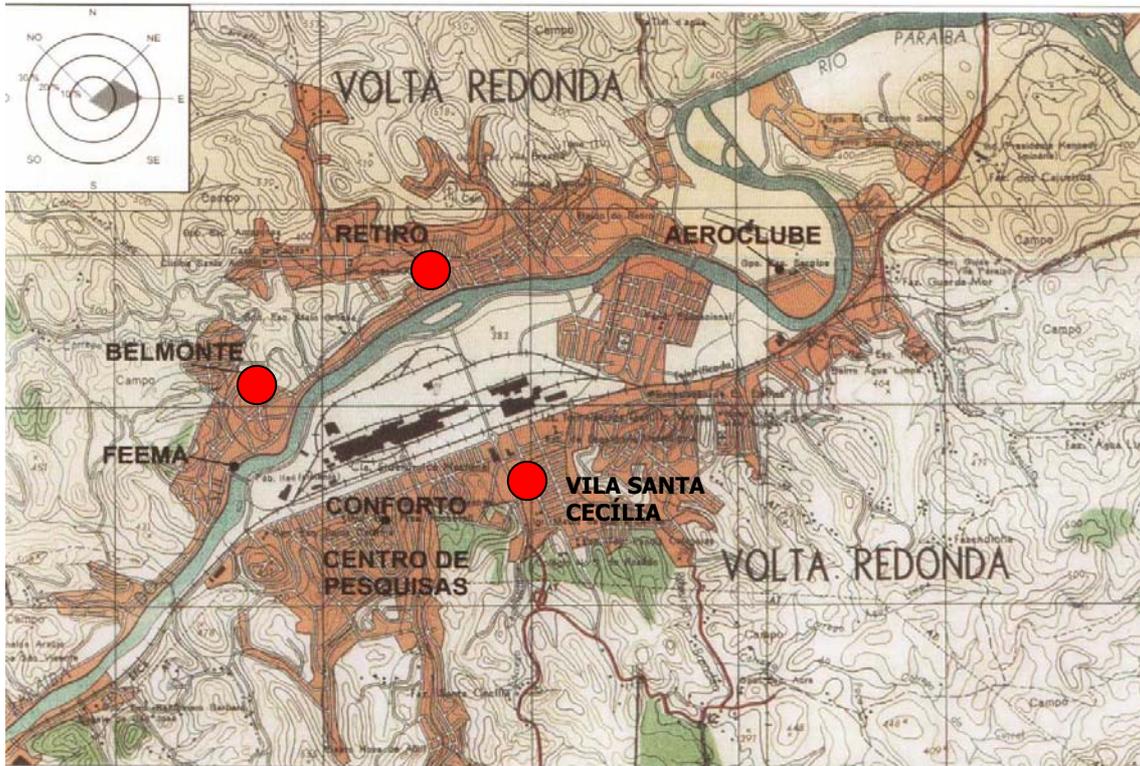
A Rede de Monitoramento da Companhia Siderúrgica Nacional foi implantada em 2000, e ficou sob testes operacionais, para avaliação da performance dos equipamentos até o início do ano de 2001. Com a utilização de um *software*, chamado ATMOS, é possível obter a concentração dos poluentes monitorados em qualquer ponto da Cidade, porém os dados gerados representam apenas a contribuição dos contaminantes oriundos da CSN. Este programa de computador permite a geração de relatórios com as concentrações médias das substância monitoradas em cada estação, em intervalos de 15 minutos, ou em outros períodos desejados.

**QUADRO 3-3: CONFIGURAÇÃO DA REDE DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR DO MUNICÍPIO DE VOLTA REDONDA**

<i>Estações Automáticas</i>	<i>Estação Meteorológica</i>
<p><b>Localização:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estação Santa Cecília (Recreio do Trabalhador)</li> <li>- Estação Retiro (CIEP, Avenida Jaraguá)</li> <li>- Estação Belmonte (CIEP, Rua Pres. Kennedy)</li> </ul>	<p><b>Localização:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ilha das Águas Cruas (Usina Presidente Vargas)</li> </ul>
<p><b>Poluentes Monitorados:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Partículas Totais em Suspensão (PTS)</li> <li>- Partículas Inaláveis (PI)</li> <li>- Monóxido de Carbono (CO)</li> <li>- Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>)</li> <li>- Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>)</li> <li>- Hidrocarbonetos Totais menos Metano (HCNM)</li> <li>- Ozônio (O<sub>3</sub>)</li> <li>- Benzeno, Tolueno e Xilenos (BTX)</li> <li>- Direção e velocidade do vento</li> <li>- Temperatura</li> <li>- Umidade relativa do ar</li> </ul>	<p><b>Parâmetros Monitorados:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Direção e velocidade do vento</li> <li>- Temperatura</li> <li>- Umidade relativa do ar</li> <li>- Pressão atmosférica</li> <li>- Radiação solar</li> <li>- Precipitação pluviométrica</li> </ul>

Diariamente, a FEEMA divulga, através de sua página na Internet, o Índice de Qualidade do Ar (IQA), este Índice, segundo a Divisão da Qualidade do Ar da FEEMA, não inclui o benzeno em razão deste ser um poluente cancerígeno, sem limite seguro de exposição (Carvalho, 2003).

**MAPA 3-1: MAPA ESQUEMÁTICO DO MUNICÍPIO DE VOLTA REDONDA MOSTRANDO A LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES AUTOMÁTICAS DE MONITORAMENTO**



Fonte: FEEMA, 1999

**Coordenadoria de Defesa do Meio Ambiente**

A Coordenação de Defesa do Meio Ambiente (COORDEMA), existente desde 1995, com *status* de Secretaria Municipal, configura o órgão ambiental da Prefeitura Municipal de Volta Redonda. A partir de 1997, quando foi sancionado o Código Ambiental Municipal, através da Lei Municipal n.º 3.326, de 04/02/97, que instituiu as diretrizes gerais para a política ambiental do Município, as competências e atribuições da COORDEMA foram melhores definidas, tendo como princípio norteador a garantia do direito de toda a população ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, essencial à sadia qualidade de vida, e o compromisso do Poder Público de defendê-lo e preservá-lo para as gerações, presente e futura.

Com relação à poluição atmosférica, o Código Ambiental, em seu *Capítulo X – Dos Resíduos Gasosos*, estabelece, no artigo 76, quatro padrões de qualidade do ar - *partículas em suspensão, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e oxidantes fotoquímicos* - com vistas a subsidiar a elaboração dos planos municipais de controle da poluição do ar. As concentrações destes poluentes seguem as estabelecidas na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n.º 03, de 28/06/90. Também, o artigo 81, dispõe que para o controle das emissões atmosféricas o órgão ambiental municipal estabelecerá uma rede de amostragem e monitoramento sistemático. Contudo, os dois parágrafos constantes do artigo preconizam que a critério da COORDEMA, as empresas responsáveis por fontes de maior impacto na atmosfera, poderão ter a exigência de instalação de rede de amostragem e monitoramento de suas emissões de poluentes, devendo encaminhar à mesma, sempre que exigido, os dados provenientes da rede.

A COORDEMA, de acordo com sua Assessoria Técnica, não possui rede de monitoramento própria. Porém, recebe informações das concentrações geradas a partir das estações automáticas da Rede Automática da Companhia Siderúrgica Nacional. Os dados brutos de monitoramento são enviados, trimestralmente, via meio magnético (CD-ROM), pela Empresa. A intenção do órgão ambiental municipal é constituir uma rede própria de monitoramento, para tanto pretende adquirir, ainda sem previsão e dotação orçamentária municipal, equipamentos para a medição de partículas inaláveis (PM<sub>10</sub>), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e fumaça (Aguiar, 2003).

Com relação à contaminação atmosférica pelo benzeno, a COORDEMA o reconhece como um importante problema a ser enfrentado. Sua preocupação toma corpo devido aos possíveis efeitos sobre a saúde decorrentes da exposição humana à substância, bem como em virtude da demanda da população por informações acerca dos riscos à saúde e por medidas de intervenção que garantam a mitigação dos efeitos deletérios da exposição ao benzeno (Aguiar, 2003).

Segundo a COORDEMA, a avaliação ambiental que vem sendo conduzida é boa, pois os equipamentos empregados nas três estações automáticas que o monitoram são de excelente qualidade tecnológica, ou de acordo com as próprias palavras de sua

Assessoria “*de primeiro mundo*” (Aguiar, 2003). Não obstante à qualidade dos equipamentos, alguns equívocos são considerados quanto à localização das três estações de monitoramento, a saber: (a) Estação Santa Cecília: nesta área, haja vista a direção dos ventos, as concentrações de benzeno são relativas à emissão veicular, ou seja a contribuição industrial pode ser considerada desprezível, ou nula; (b) Estação Retiro: na área onde se encontra instalada a estação há uma elevação geográfica, que pode dificultar a captação do poluente, além de não estar localizada na direção predominante dos ventos, acredita que durante o ano podem ocorrer até, no máximo, dez inversões na direção dos ventos; (c) Estação Belmonte: a única, segundo a COORDEMA, estação bem localizada, em função da direção dos ventos e de constituir, realmente, uma área de influência das emissões industriais, além de contar com pouco tráfego (Aguiar, 2003).

Apesar do dispositivo legal, que permite a atuação do órgão ambiental municipal frente à situação, as dificuldades encontradas para a tomada de decisões estão relacionadas à falta de condições técnicas e operacionais, aliada ao alto custo dos equipamentos empregados no monitoramento da qualidade do ar. Outrossim, a ausência de um inventário de fontes de emissão, contribui para obstaculizar a adoção de medidas contra os poluidores, uma vez que não é possível determinar as fontes de origem, ou seja, a contribuição dos agentes poluidores, principalmente, se veicular ou industrial, na emissão de benzeno. Segundo a COORDEMA, até mesmo a realização de campanhas educativas é dificultada pelos motivos acima descritos. E, afirma “*Nem o Estado fez nada além do trabalho em conjunto com a GTZ*” (Aguiar, 2003).

Através do Termo de Ajustamento e Conduta, o órgão ambiental municipal enfatiza o alto investimento feito pela Companhia no controle da poluição atmosférica. E, conclui:

*“Os índices de poluição atmosférica do Município estão sempre abaixo dos padrões estabelecidos pela Portaria n.º 03 do CONAMA, não colocando a saúde da população em risco. O estado atual de Volta Redonda é bem diferente do observado na década de 80, ou o de Cubatão, na mesma época. Com relação ao benzeno os dados mostram uma queda nos níveis ambientais”* (Aguiar, 2003).

---

<sup>9</sup> Conforme já descrito anteriormente, refere-se às Campanhas de Monitoramento da Qualidade do Ar em Volta Redonda, realizadas no âmbito da Cooperação Técnica Brasil/Alemanha, Projeto “Controle Ambiental do Estado do Rio de Janeiro” – FEEMA / GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH).

## Informações de Estudos Acadêmicos

A literatura disponível apresenta um estudo conduzido em Volta Redonda com relação à poluição atmosférica. O estudo de Peiter & Tobar (1998), intitulado “*Poluição do Ar e Condições de Vida: uma análise geográfica de riscos à saúde em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil*”, teve como objetivo identificar áreas e grupos populacionais mais vulneráveis à poluição atmosférica, tendo sido desenvolvido no período de novembro de 1995 a março de 1997.

O poluente selecionado para o desenvolvimento do estudo foi o dióxido de nitrogênio (SO<sub>2</sub>). O estudo constou de três fases, a saber: (1) *mapeamento da dispersão dos poluentes emitidos pela CSN, para a identificação dos diferenciais de poluição em cada bairro do Município;* (2) *estratificação e mapeamento da cidade por níveis de condições materiais de vida, definida como uma aproximação à situação da infraestrutura de saneamento básico dos bairros e nível de escolaridade e renda dos chefes de domicílio;* (3) *identificação dos espaços críticos relacionando os diferentes níveis de condições materiais de vida, ou seja os bairros com piores condições de vida e níveis de poluição elevados.*

A zona noroeste (bairros Retiro, Belo Horizonte, Vila Brasília etc.) da cidade foi a que apresentou a situação mais crítica para os aspectos ambientais e sócio-econômicos.

O resultado deste, assim como o resultado do monitoramento da qualidade do ar realizado pela FEEMA, apontou o bairro Retiro como uma das áreas mais críticas do Município com relação aos aspectos sócio-ambientais.

## A Qualidade das Informações sobre Exposição

As informações sobre exposição são usadas para a caracterização do risco que determinada população pode experimentar, em função da magnitude da exposição a uma específica substância durante determinado período de tempo. Esta caracterização tem a finalidade de guiar as ações de gerenciamento do risco. Desta forma os dados de exposição devem representar a contaminação ambiental com a maior precisão possível. As discussões em torno da qualidade das informações podem ser conduzidas em torno de três tópicos, a saber: (a) questões relacionadas à(s) amostragem(ns); (b) questões relacionadas à(s) população(ões) de interesse(s), e (c) questões relacionadas aos dados de exposição (Burke et al., 1992).

A primeira questão refere-se à representatividade das amostragens para a compreensão da extensão espacial da contaminação por benzeno em Volta Redonda. As estações de monitoramento<sup>10</sup> instaladas não cobrem todo o Município, apesar de estarem localizadas em dois dos bairros mais povoados, Retiro e Belmonte (FEEMA, 1999). Estes dois bairros, segundo estudos meteorológicos e de dispersão de poluentes, configuram as áreas mais impactadas pela poluição atmosférica gerada pela Companhia Siderúrgica Nacional, na área de predominância dos ventos. (Carvalho, 2003).

Contudo, outras áreas, fora da área de influência da CSN, como aquelas situadas ao longo da Rodovia BR 393 (eixo de ligação entre a Via Dutra, Rio-São Paulo, e a BR 116, Rio-Bahia), via de intenso tráfego, não possuem qualquer tipo de monitoramento. Mesmo o modelo, ATMOS, utilizado pela FEEMA para a estimativa da concentração dos poluentes não permite uma estimativa da exposição em todo o território do Município, uma vez que a modelagem utiliza apenas os dados gerados nas três estações de monitoramento para a extrapolação das concentrações dos poluentes, que levam em conta, principalmente, a contribuição da poluição gerada pela CSN. Logo, pode se deduzir que esta modelagem subestima a exposição total por não levar em conta outras possíveis fontes de emissão, como a emissão veicular.

---

<sup>10</sup> Neste Capítulo “estações de monitoramento” referem-se às estações automáticas que realizam o monitoramento do benzeno na atmosfera do Município.

Com relação à temporalidade dos dados, duas situações figuram no Município: as campanhas expeditas de monitoramento e o monitoramento continuado. As campanhas apresentam como fatores limitadores a duração e o período em que foram realizadas. A primeira campanha foi realizada durante seis meses, englobando o verão e parte do outono. Já a segunda campanha foi conduzida no período do outono e durou 22 dias. Como visto no Capítulo 1, alguns estudos demonstraram a variação nas concentrações de benzeno no ar exterior durante as estações do ano, principalmente durante o inverno e o verão. Com respeito à duração das campanhas, por ocasião da divulgação do documento “Qualidade do Ar em Volta Redonda – Relatório de resultados obtidos através de campanhas expeditas de monitoramento realizadas de dezembro/95 a maio/96 e de abril a maio/99”, o Sindicato dos Engenheiros de Volta Redonda questionou a produção da Empresa no período de realização da segunda campanha, sugerindo que as condições da produção diferiam daquelas encontradas durante a primeira campanha, o que poderia ter contribuído para a redução dos níveis de benzeno (Agenda 21, 1999). Logo, pode-se constatar duas situações de incerteza nas campanhas expeditas, o fato de não terem sido conduzidas no inverno, estação em que alguns estudos tem apontado uma elevação na concentração da exposição, e a outra situação relacionada às condições de produção da Empresa, possivelmente não terem sido similares nos dois momentos.

Com relação ao monitoramento continuado, em operação desde janeiro de 2001 (Carvalho, 2003), pode-se inferir que a partir deste momento o Município, em função da frequência das amostragens, conta com dados satisfatórios para a condução de estudos específicos nas áreas circunscritas pelas estações de monitoramento. Estas informações podem possibilitar, em alguns anos, o conhecimento da tendência da contaminação ambiental por benzeno no Município, contribuindo para a avaliação das ações de controle que possam ser adotadas para a mitigação da exposição (Goldman, 1992).

Com relação à população de interesse, ou aos subgrupos populacionais, não existem dados no Município que possibilitem a estimativa da exposição da população, levando em conta sua heterogeneidade. Os únicos dados do Município estão relacionados ao grupo de trabalhadores expostos ocupacionalmente e adoecidos por benzenismo. Contudo a realização de estudos mais específicos para estimar a exposição da população geral ao benzeno, deveriam ser conduzidos com a avaliação de área, cujos

dados são proveniente das estações automáticas de monitoramento, e com a utilização de estratégias de avaliação pessoal, como a amostragem individual.

Através da avaliação individual da exposição seria possível aumentar a precisão na avaliação da exposição, através da construção de cenários de exposição, que levassem em conta as três categorias de variabilidade (espacial, temporal, inter e intra-individual). A estimativa da exposição, por sua vez, não seria subestimada para grupos específicos da população, como por exemplo aquele residente em uma área considerada menos poluída, mas que em função das atividades cotidianas, como trabalho, escola, entre outras, tivesse que passar a maior parte do dia em uma outra área com maior nível de contaminação.

Assim, a partir da avaliação de indivíduos, ou de grupos de indivíduos, representativos da população geral, poderiam ser conhecidos os microambientes e os tipos de atividades responsáveis pela exposição ao benzeno. Este tipo de avaliação aliado a uma pesquisa de caráter qualitativo que buscasse identificar as características socioeconômicas das populações nas áreas de risco, proporcionaria também a identificação dos grupos mais vulneráveis. A possibilidade da identificação de grupos vulneráveis poderia configurar uma aproximação com a discussão da desigualdade ambiental, que emerge da hipótese de que determinadas minorias e grupos de baixa renda estariam potencialmente mais expostos ao risco (Corburn, 2002; Torres, 2000; Graham et al., 1992) e da possibilidade do estabelecimento de locais prioritários para a adoção de medidas de intervenção.

Analisando, portanto, os pressupostos teóricos relacionados à avaliação da exposição humana aos agentes ambientais, e comparando-os com as informações disponíveis no município de Volta Redonda, pode-se observar a insuficiência dos dados, em alguns aspectos, para a condução da avaliação da exposição.

De uma forma geral pode-se dizer que os dados da contaminação ambiental por benzeno são insuficientes para uma precisa avaliação da exposição, em virtude da falta de controle das variabilidades e do grande número de incertezas, que poderiam levar a uma sub ou superestimativa da exposição. O Quadro 3-4, apresenta uma síntese dos elementos requeridos na avaliação da exposição às substâncias químicas, de acordo com a US EPA (1992), ATSDR (2002) e IPCS (2000), conforme apresentado no capítulo 1, e

das informações disponíveis no Município para a realização da avaliação da exposição ao benzeno.

### **A Validação Social das Informações**

O envolvimento da população é reconhecido por vários segmentos da sociedade civil organizada como um dos componentes fundamentais nos processos de avaliação ambiental (Diduck & Sinclair, 2002). Todavia, apesar das boas intenções, principalmente dos tomadores de decisão, concernentes ao incremento da participação popular, pouca atenção tem se dado ao rompimento das barreiras que desfavorecem esta participação (Diduck & Sinclair, 2002). Dentre as principais barreiras elencadas por Diduck & Sinclair (2002), para a não participação da população, duas encontram eco na realidade vivificada em Volta Redonda, a saber: a deficiência de informações e aquelas relacionadas às oportunidades de participação.

As duas barreiras ao envolvimento da população somada à descrença no poder público e nas empresas, normalmente levam a um distanciamento da discussão e, conseqüentemente, a uma desconfiança nas informações e soluções referentes à questão. No município de Volta Redonda, há na atualidade uma descrença com relação aos dados gerados nas estações de monitoramento, e conseqüentemente com órgão estadual ambiental, uma vez que as estações pertencem à Companhia Siderúrgica Nacional. Não há como afirmar que esta descrença se dê de maneira generalizada, mas pode ser observada em alguns segmentos bastante atuantes da sociedade civil organizada (SMS, 2002; SMS, 2001).

Quatro situações podem ter contribuído para esta situação de descrédito com relação às informações da qualidade do ar de Volta Redonda, a saber: não divulgação, em 1997, do relatório preliminar da primeira campanha de monitoramento da qualidade do ar realizada pela FEEMA; divulgação, em 1999, do relatório com os resultados das duas campanhas de monitoramento da qualidade do ar, apresentando decréscimo nos níveis da poluição; celebração do Termo de Ajustamento e Conduta entre a Companhia Siderúrgica Nacional e o Governo do Estado do Rio de Janeiro, em 2000, logo após a divulgação do Relatório da Qualidade do Ar; operação e manutenção das estações de

monitoramento pela CSN. Durante estes acontecimentos algumas tentativas de diálogo foram ensaiadas pelos diversos atores sociais envolvidos, mas a racionalidade técnica não permitiu que se concretizassem de maneira eficaz. Esses momentos, foram então pontuados de circunstâncias em que as informações não foram transmitidas de maneira acessível para o conjunto de participantes. Outros episódios evidenciaram a prevalência da supremacia da argumentação técnica como verdade absoluta sobre qualquer comentário. Enfim, esses encontros além de não favorecerem a participação da população, propiciaram o distanciamento e a descrença da população nos técnicos do órgão ambiental estadual e da Empresa.

**QUADRO 3-4: QUADRO COMPARATIVO ENTRE AS INFORMAÇÕES REQUERIDAS EM UMA AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO E OS DADOS DISPONÍVEIS EM VOLTA REDONDA**

<i>Elementos</i>	<i>Informações Necessárias</i>	<i>Dados de Volta Redonda</i>
Causas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Descrição dos aspectos relacionados à contaminação ambiental</li> <li>- Fonte(s) de contaminação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aspectos relacionados ao planejamento urbano municipal</li> <li>- Indústria siderúrgica, emissão veicular, fumaça de cigarro, porém sem possibilidade de estimar a contribuição de cada fonte, devido à falta de inventário de emissões</li> </ul>
Exposição	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificação do agente ambiental</li> <li>- Meio onde ocorre a contaminação, destino e transporte dos poluentes</li> <li>- Trajetória do poluente até a população</li> <li>- Vias de exposição</li> <li>- Concentração do poluente</li> <li>- Duração</li> <li>- Frequência</li> <li>- População potencialmente exposta</li> <li>- Local(is) de contato com o poluente</li> <li>- Alcance geográfico da contaminação</li> <li>- Fatores e condições climáticas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Benzeno</li> <li>- Ar, o transporte e destino estão relacionados às características do benzeno e às condições meteorológicas do Município (conhecidos)</li> <li>- Atmosfera</li> <li>- Respiratória</li> <li>- Conhecida em três pontos do Município</li> <li>- Estimada em 24 horas</li> <li>- Diária</li> <li>- População geral, sem distinção para os grupos possivelmente mais afetados</li> <li>- Município</li> <li>- Possivelmente a área do Município</li> <li>- Conhecidos</li> </ul>
Variabilidades	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Variabilidade Espacial;</li> <li>- Variabilidade Temporal;</li> <li>- Variabilidade Inter e Intra-individual.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não controlada</li> <li>- Não controlada</li> <li>- Não controlada</li> </ul>
Incertezas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incertezas relativas ao cenário da exposição;</li> <li>- Incertezas relativas aos parâmetros utilizados;</li> <li>- Incertezas relativas aos modelos empregados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possíveis de serem identificadas</li> <li>- Identificadas</li> <li>- Identificada, com relação ao software ATMOS</li> </ul>

## CONCLUSÕES

Ao iniciar este estudo o que se apresentava como objeto da pesquisa era a condução da avaliação do risco à saúde humana relacionado à contaminação por benzeno no município de Volta Redonda, seguindo o paradigma proposto pela EPA. Desta forma, pretendia-se informar a população sobre os riscos à saúde advindos da exposição a este contaminante e, também, subsidiar o poder público local com informações científicas para a tomada das medidas necessárias para a eliminação ou, ao menos, a redução da concentração de exposição à substância.

Todavia, com o avançar do estudo, foi possível compreender que a aplicação isolada do método talvez não resultasse no esperado. Apesar dos métodos para avaliação de risco e de saúde, propostos respectivamente pela US EPA e pela ATSDR, configurarem instrumentos valiosos para o campo da Vigilância Ambiental em Saúde, a adoção destas metodologias deve ser feita com cautela, não tratando-as como “pacotes fechados para a pronta aplicação”, mas como ferramentas que devem ser adequadas aos problemas ambientais, levando em consideração todas relações sociais estabelecidas no território contaminado. Uma vez que para algumas situações, principalmente aquelas envolvendo sistemas complexos, como a situação da contaminação ambiental por benzeno em Volta Redonda, o resultado lógico formal das avaliações pode não culminar em ações efetivas de gerenciamento de risco.

Diante do cenário complexo e, por vezes, conflitivo, que configura a realidade de Volta Redonda frente à poluição química por benzeno, emerge a necessidade de não tratar esta questão sob os vieses de disciplinas isoladas, como a Toxicologia e a Epidemiologia, o que propiciaria a fragmentação do objeto de estudo. Mas, sim de uma abordagem que facilitasse a integração entre as várias disciplinas relacionadas às dimensões do problema ambiental, e que contribuíssem para a compreensão da situação em sua totalidade.

A integração entre os vários setores da sociedade envolvidos na questão ambiental, também, deve ser assegurada em todos os momentos da avaliação. Esta articulação, no caso de Volta Redonda deve ser promovida intrasetorialmente, haja vista o descompasso observado entre os órgãos ambientais do Estado e do Município, em algumas situações, como por exemplo na definição dos locais de instalação das estações de monitoramento da qualidade do ar.

A articulação intersetorial, também deve ser garantida, uma vez que as relações entre os diversos atores sociais, envolvidos na contaminação por benzeno, representam os maiores entraves para o enfrentamento da situação, em função dos interesses distintos de cada setor envolvido. E, em virtude, das relações históricas em torno do problema ambiental mantidas entre o poder público, as empresas e a população, sempre terem se dado sob situações conflitivas, relações de poder, falta de interesse do poder público, entre outras situações, que geraram a desconfiança mútua entre os segmentos da sociedade envolvidos. Daí a necessidade do resgate da confiança e do estabelecimento de uma relação harmoniosa, porém independente, entre os envolvidos.

Contudo, dado o objetivo deste trabalho de analisar as informações disponíveis em Volta Redonda acerca da exposição humana ao benzeno, à luz das metodologias de avaliação da exposição recomendadas pela US EPA, ATSDR e IPCS, pode-se concluir em função dos levantamentos realizados que os dados da contaminação ambiental por benzeno são insuficientes para uma avaliação precisa da exposição, em virtude, principalmente:

- das informações serem provenientes de uma avaliação de área, não sendo possível o controle das variabilidades (espacial, temporal, inter e intra-individual), situação esta possível de levar à sub ou superestimação da exposição de determinados grupos populacionais;
- da modelagem matemática de dispersão para o poluente, ser baseada somente nas concentrações medidas nas estações de monitoramento, não levando em consideração outras fontes de emissão;
- dos dados das campanhas expeditas de monitoramento apresentarem um elevado número de incertezas e não possuírem controle das variabilidades;
- da ausência, ou da não utilização, dos dados do Setor Saúde para a correlação com os dados ambientais.

Outro ponto analisado, referiu-se à validação social das informações da qualidade do ar de Volta Redonda, e dada descrença de parcela da população nos dados gerados pelas estações de monitoramento, por serem operadas e mantidas pela CSN, pode-se inferir que a realização de qualquer estudo ou ação de intervenção no município de Volta Redonda, baseados nos dados gerados pelas estações de monitoramento da qualidade do ar, pode não contar com a legitimação da população. Inviabilizando, assim, qualquer ação de controle ou simplesmente perpetuando o conflito entre as partes envolvidas

Enfim, para problemas ambientais complexos como o do município de Volta Redonda, recomenda-se que a condução de uma avaliação de risco, independente da metodologia a ser adotada, seja planejada incorporando estratégias integradoras tanto das disciplinas quanto dos segmentos sociais envolvidos. A incorporação das representações sociais deve se dar em todo o processo, desde a sua concepção até a obtenção e discussão dos resultados da avaliação, com vistas à compreensão holística do problema e à implantação de políticas públicas saudáveis, que tenham como premissa básica o desenvolvimento sustentável.

Acredita-se que este trabalho, neste momento de construção do campo da Vigilância Ambiental em Saúde, no Brasil, contribua para apontar caminhos que podem ser seguidos na condução das avaliações de riscos para saúde humana decorrentes da exposição a agentes xenobióticos. Contudo, este estudo não se esgota em si mesmo, outros estudos devem ser realizados no município de Volta Redonda integrando outras disciplinas, conforme já abordado anteriormente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 1997. Toxicological Profile for Benzene. ATSDR. ATSDR. [online]. Set. 1997. Disponível na World Wide Web: <<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp3.html>> [30 Jul. 2002].
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 2002. Public Health Assessment Guidance Manual (Update). ATSDR. [online]. 3 Jun 2002. Disponível na World Wide Web: <<http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/PHAMManual/cover.html>> [30 Jul. 2002].
- AGENDA 21-VOLTA REDONDA. Comunicação pessoal. I Fórum sobre Poluição Atmosférica de Volta Redonda. Volta Redonda, 11 de dezembro de 1999.
- AGENDA 21-VOLTA REDONDA. Comunicação pessoal. Reuniões Grupo Temático Poluição Atmosférica. Volta Redonda, 2000.
- AGUIAR, C.A. Comunicação pessoal. Volta Redonda, 26 de março de 2003.
- ALECRIM, M., 2003. Água contaminada continua vazando em Minas. O Globo. Rio de Janeiro, 5 abr. 2003.
- ALMEIDA, G.E.S., 2000. Pra Que Somar se a Gente Pode Dividir? Abordagens integradoras em Saúde, Trabalho e Ambiente. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro: Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz.

- ARMSTRONG, B.; WHITE, E.; SARACCI, R., 1992. Principles of Exposure Measurement in Epidemiology. New York: Oxford University Press. p. 236-293.
- AUGUSTO, L.G.S.; CARNEIRO, R.M.; COSTA, A.M., 2001. Vigilância Ambiental: um Novo Conceito uma Nova Abordagem. In: Augusto, L.G.S. et al. (org.). Pesquisa(ação) em Saúde Ambiental: contexto-complexidade-compromisso social. Recife: Editora Universitária. p. 31-38.
- AUGUSTO, L.G.S. & FREITAS, C.M., 1998. O Princípio da Precaução no uso de indicadores de riscos químicos ambientais em saúde do trabalhador. *Ciência & Saúde Coletiva*, 3(2):85-95.
- BARBOSA, E. M., 1997. Exposição Ocupacional ao Benzeno: O Ácido trans,trans-Mucônico como Indicador biológico de Exposição na Indústria de Refino do Petróleo. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro: Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz.
- BENTO, M.A.S & AUGUSTO, L.G.S., 1997. Insalubridade no trabalho, meio ambiente e raça. São Paulo: CEERT, 1997.
- BRANDT, E. N., 1988. Risk Assessment and Public Policy. in: Gordis, L. (ed). *Epidemiology and Health Risk Assessment*. New York: Oxford University Press. pp. 275-279.
- BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Vigilância ambiental em saúde/Fundação Nacional de Saúde. Brasília: FUNASA, 2002.
- BRILHANTE, O. M., 1999. Gestão e Avaliação da Poluição, Impacto e Risco na Saúde Ambiental. In: Brilhante, O. M. (coord.). *Gestão e avaliação de risco em saúde ambiental*. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 1999. p. 19-73.
- BURGESS, W.A., 1997. Identificação de possíveis riscos à saúde do trabalhador nos diversos processos industriais. Trad. Ricardo Baptista. Belo Horizonte: Ergo Editora, 1999.

- BURKE, T.; ANDERSON, H.; BEACH, N.; COLOME, S.; DREW, R. T.; FIRESTONE, M.; HAUCHMAN, F. S.; MILLER, T. O.; WAGENER, D. K.; ZEISE, L.; TRAN, N., 1992. Role of Exposure Databases in Risk Management. *Archives of Environmental Health*, 47(6):421-429.
- CALDAS, L.Q.A, 1999. Risco Potencial em Toxicologia Ambiental. In: Brilhante, O. M. (coord.). Gestão e avaliação de risco em saúde ambiental. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 1999. p. 93-117.
- CÂMARA DE DEPUTADOS/Comissão de Direitos Humanos. Comunicação pessoal. Audiência Pública. Volta Redonda, 19 de outubro de 2001.
- CARVALHO, M.I., 2003. Comunicação Pessoal. Rio de Janeiro, 23 de maio de 2003.
- COSTA, M. F. B., 2001. Estudo da Aplicabilidade do Ácido Trans, Trans-Mucônico Urinário como Indicador biológico de Exposição ao Benzeno. Tese de Doutorado, Rio de Janeiro: Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz.
- COSTA, H.S.M., 2000. Indústria, produção do espaço e custos socioambientais: reflexões a partir do exemplo do Vale do Aço, Minas Gerais. In: Torres, H. & Costa, H. (org.). População e Meio Ambiente: debates e desafios. São Paulo: Editora SENAC São Paulo, 2000. p. 191-212.
- CORBURN, J., 2002. Environmental justice, Local Knowledge, and Risk: The Discourse of a Community-Based Cumulative Exposure Assessment. *Environmental Management*, 29(4):451-466.
- COSTANZA, R.; FUNTOWICZ, S. O.; RAVETZ, J. R., 1992. Assessing and Communicating Data Quality in Policy-Relevant Research. *Environmental Management*, 6(1):121-131.
- COUTRIM, M. X., 1998. Desenvolvimento de metodologia analítica para a determinação de indicador biológico de exposição ao benzeno. Tese de Doutorado, São Paulo: Instituto de Química, Universidade de São Paulo.

- DEJOURS, C., 1992. A loucura do trabalho: estudo de psicopatologia do trabalho. São Paulo: Editora Cortez – Oboré, 1992.
- DE MARCHI, B.; RAVETZ, J. R., 1999. Risk management and governance: a post-normal science approach. *Futures*, 31:743-757.
- DIÁRIO DO VALE, 2000. Comissão de Acompanhamento do TAC visita obras na CSN. Diário do Vale. Volta Redonda, 11 ago. 2000.
- DIDUCK, A.; SINCLAIR, A. J., 2002. Public Involvement in Environmental Assessment: The Case of the Nonparticipant. *Environmental Management*, 29(4):578-588.
- DOR, F.; DAB, W.; EMPEREUR-BISSONNET, P.; ZMIROU, D., 1999. Validity of Biomarkers in Environmental Health Studies: The Case of PAHs and Benzene. *Critical Reviews in Toxicology*, 29(2):129-168.
- EATON, D.L., KLAASSEN, C.D., 1996. Principles of toxicology. In: Casarett and Doull's Toxicology: the science of basic poisons. 5 ed. New York McGraw-Hill, Inc., 1996. p. 13-33
- EC (European Communities), 1996. Council Directive on ambient air quality assessment and management, 96/62/EC. Official Journal of the European Communities L296 1996.
- EGEGHY, P. P.; TORNERO-VALEZ, R.; RAPPAPORT, S.M., 2000. Environmental and Biological Monitoring of Benzene during Self-Service Automobile Refueling. *Environmental Health Perspectives*, 108(12):1195-1201.
- ENVIRONMENTAL AGENCY UK, 2003. Air Quality - benzene and 1,3 butadiene. Environmental Agency UK. [online]. Disponível na World Wide Web: <[http://www.environmentagency.gov.uk/yourenv/eff/air/222825/222898/?lang=\\_e&region=&projectstatus=&theme=&subject=&searchfor=benzene&topic=&area=&month=>](http://www.environmentagency.gov.uk/yourenv/eff/air/222825/222898/?lang=_e&region=&projectstatus=&theme=&subject=&searchfor=benzene&topic=&area=&month=>) [25 Jan. 2003].

- FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente), 1999. Qualidade do Ar em Volta Redonda – Relatório de resultados obtidos através de duas campanhas expeditas de monitoramento realizadas em dez/95 a mai/96 e em abr/99 a mai/99. Rio de Janeiro: FEEMA.
- FRANCO, T. & DRUCK, G., 1998. Padrões de industrialização, riscos e meio ambiente. *Ciência & Saúde Coletiva*, 3(2):61-72.
- FREITAS, C. M. et al., 1997. Exercício Prático de Avaliação e Gerenciamento de Riscos - o caso dos trabalhadores expostos ao benzeno. Rio de Janeiro: CESTEH / ENSP / FIOCRUZ.
- FREITAS, C. M.; PORTO, M. F. S.; MOREIRA, J. C.; PIVETTA, F.; MACHADO, J. H. M.; FREITAS, N. B. B.; ARCURI, A. S., 2002. Segurança química, saúde e ambiente – perspectivas para a governança no contexto brasileiro. *Cadernos de Saúde Pública*, 18(1):249-256.
- FREITAS, C. M.; PORTO, M. F. S. & MACHADO, J. H. M., 2000. A Questão dos Acidentes Industriais Ampliados. in: Freitas, C.M. (org.). *Acidentes Químicos Ampliados: desafios e perspectivas para o controle e prevenção*. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2000. p. 25-45.
- FSM (Fondazione Salvatore Maugeri), 2003. MACBETH (Monitoring of Atmospheric Concentration of Benzene in European Towns and Homes). FSM. [online]. Disponível na World Wide Web: <<http://www.pc4.fsm.it:81/padova/homepage.html>> [30 Abr. 2003].
- FUNDACENTRO (Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho, Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho / Ministério do Trabalho), 1993. *Benzeno: subsídios técnicos à Secretaria de Segurança e Saúde do Trabalho*. 2.<sup>a</sup> : São Paulo: FUNDACENTRO: FUNDUNESP, 1995.

- FUNTOWICZ, S. O.; MARTINEZ-ALIER, J.; MUNDA, G.; RAVETZ, J. R., 1999. Information tools for environmental policy under conditions of complexity. European Environment Agency, Copenhagen.
- FUNTOWICZ, S.; RAVETZ, J., 1997. Ciência pós normal e comunidades ampliadas de pares face aos desafios ambientais. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, IV(2):219-230.
- GANDRA, M.A.R., 2000. O Novo Sindicalismo em Volta Redonda: greves, relação com os outros movimentos sociais, controle operário e resistência à privatização da CSN. Monografia de Bacharelado em História. Universidade Federal Fluminense, Niterói.
- GIARDINO, N. J.; WIREMAN, J. R., 1998. Total body burden from inhalation during showering with benzene-contaminated drinking water: implications for cancer risk. *Journal of Hazardous Materials*, 62:35-40.
- GILLI, G.; SCURSATONE, E.; BONO, R., 1996. Geographical Distribution of Benzene in Air in Northwestern Italy and Personal Exposure. *Environmental Health Perspectives*, 104(Supp. 6):1137-1140.
- GLASS, D. C.; GRAY, C. N., 2001. Estimating Mean Exposure from Censored Data: Exposure to Benzene in the Australian Petroleum Industry. *Ann. Occup. Hyg.*, 45(4):275-282.
- GOLDMAN, L.R.; GOMEZ, M.; GREENFIELD, S.; HALL, L.; HULKA, B.S.; KAYE, W.E.; LYBARGER, J.A.; MCKENZIE, D.H.; MURPHY, R.S.; WELLINGTON, D.G.; WOODRUFF, T., 1992. Use of Exposure Databases for Status and Trends Analysis. *Archives of Environmental Health*, 47(6):430-438.
- GOLDSTEIN, B. D., 1988. The Scientific Basis for Policy Decisions. in: Gordis, L. (ed). *Epidemiology and Health Risk Assessment*. New York: Oxford University Press. pp. 11-17.

GRAHAM, J.; WALKER, K. D.; BERRY, M.; BRYAN, E. F.; CALLAHAN, M. A.; FAN, A.; FINLEY, B.; LYNCH, J.; McKONE, T.; OZKAYNAK, H.; SEXTON, K., 1992. Role of Exposure Databases in Risk Assessment. *Archives of Environmental Health*, 47(6):408-420.

GREENPEACE, 2002. Crimes Ambientais Corporativos no Brasil. Greenpeace [online]. Jun.. 2002. Disponível na World Wide Web: <<http://www.greenpeace.org.br>> [20 Jan. 2003].

IARC (International Agency for Research on Cancer), 1987. Summaries & Evaluations Benzene (Group 1). Lyon, International Agency for Research on Cancer, 120 pp. (Supplement 7).

IIA (Istituto Inquinamento Atmosferico), 1998. Position Paper Benzene. Commission of European Communities, Council Directive on Ambient Air Quality Assessment and Management, working Group on Benzene.

IPCS (International Programme on Chemical Safety), 1993a. Environmental Health Criteria 155 – Biomarkers and Risk Assessment: Concepts and Principles. Geneva: IPCS (United Nations Environment Programme), World Health Organization.

IPCS (International Programme on Chemical Safety), 1993b. Environmental Health Criteria 150 – Benzene. Geneva: IPCS (United Nations Environment Programme), World Health Organization.

IPCS (International Programme on Chemical Safety), 1999. Environmental Health Criteria 210 – Principles for the Assessment of Risks to Human Health from Exposure to Chemicals. Geneva: IPCS (United Nations Environment Programme), World Health Organization.

IPCS (International Programme on Chemical Safety), 2000. Environmental Health Criteria 214 - Human Exposure Assessment. Geneva: IPCS (United Nations Environment Programme), World Health Organization.

- IPCS (International Programme on Chemical Safety), 2001. Environmental Health Criteria 222 - Biomarkers in Risk Assessment: Validity and Validation. Geneva: IPCS (United Nations Environment Programme), World Health Organization.
- IPPU (Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Volta Redonda), 1994. Informações para o Plano Diretor – Coleção Cadernos de Planejamento. Volta Redonda: IPPU-VR.
- LIOY, P. J., 1990. Assessing total human exposure to contaminants. *Environ. Sci. Technol.*, 24(7):938-945.
- MEININGHAUS, R.; KOUNIALI, A.; MANDIN, C.; CICOLELLA, A., 2003. Risk assessment of sensory irritants in indoor air – a case study in a French school. *Environment International*, 28:553-557.
- MENESES, F.; ROMIEU, I.; RAMIREZ, M.; COLOME, S.; FUNG, K.; ASHLEY, D.; HERNANDEZ-AVILA, M., 1999. A Survey of Personal Exposures to Benzene in Mexico City. *Archives of Environmental Health*, 54(5):359-363.
- MEP (Movimento Ética na Política), 2002. Qualidade de Vida em Volta Redonda, na Visão Popular: a sondagem popular e os grandes desafios. Movimento Ética na Política. Volta Redonda (Mimeo).
- MOSCHANDREAS, D. J.; KARUCHIT, S., 2002. Scenario-model-parameter: a new method of cumulative risk uncertainty analysis. *Environment International*, 28:247-261.
- NELSON, N., 1988. Toxicology and Epidemiology: Strengths and Limitations. In: Gordis, L. (ed). *Epidemiology and Health Risk Assessment*. New York: Oxford University Press. pp. 37-48.

- NURMINEN, T.; NURMINEN, M.; CORVALÁN, C.; BRIGGS, D., 1996. Exposure Assessment. In: Briggs, D. et al. (ed). Linkage Methods for Environment and Health Analysis: General Guidelines. A Report of the Health and Environment Analysis for Decision-making (HEADLAMP) Project. Geneva: Office of Global and Integrated Environmental Health, World Health Organization. p. 55-67.
- OVREBO, S.; FJELDSTAD, P.E., GRZYBOWSKA, E.; KURE, E.H.; CHORAZY, M.; HAUGEN, A., 1995. Biological Monitoring of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Exposure in a Highly Polluted area of Poland. *Environmental Health Perspectives*, 103(9):838-843.
- PAUMGARTTEN, F.J.R., 1993. Risk assessment for chemical substances: the link between toxicology and public health. *Cadernos de Saúde Pública*, 1993; 9(4): 439-47
- PEITER, P.; TOBAR, C., 1998. Poluição do ar e condições de vida: uma análise geográfica de riscos à saúde em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, 14(3):473-485.
- PORTO, M. F. S.; FREITAS, C. M., 1997. Análise de riscos tecnológicos ambientais: perspectivas para o campo da saúde do trabalhador. *Cadernos de Saúde Pública*, 13(Supl. 2):59-72.
- PORTO, M. F. S.; ALMEIDA, G. E. S., 2002. Significados e limites das estratégias de integração disciplinar: uma reflexão sobre as contribuições da saúde do trabalhador. *Ciência & Saúde Coletiva*, 7(2):335-347.
- PORTUGAL, G., 2000. Comissão Popular de Acompanhamento do TAC. Diário do Vale. Volta Redonda, 18 ago. 2000.
- RAPPAPORT, S.M.; SYMANSKI, E.; YAGER, J.W.; KUPPER, L.L., 1995. The Relationship between Environmental Monitoring and Biological Markers in Exposure Assessment. *Environmental Health Perspectives*, 103(Supp. 3):49-53.

ROMIEU, I.; RAMIREZ, M.; MENESES, F.; ASHLEY, D; LEMIRE, S.; COLOME, S.; FUNG, K.; HERNADEZ-AVILA, M., 1999. Environmental Exposure to Volatile Organic Compounds among Workers in Mexico City as Assessed by Personal Monitors and Blood Concentrations. *Environmental Health Perspectives*, 107(7):511-515.

SMS (Secretaria Municipal de Saúde de Volta Redonda). Comunicação pessoal. Seminário sobre Benzeno. Volta Redonda, 1997.

SMS (Secretaria Municipal de Saúde de Volta Redonda), 1999. Relatório de Casos de Benzenismo em Volta Redonda. Volta Redonda. (Mimeo)

SMS (Secretaria Municipal de Saúde de Volta Redonda), 2001. Comunicação pessoal. Reunião Contaminação Química por Benzeno. Volta Redonda, 09 de novembro de 2001.

SMS (Secretaria Municipal de Saúde de Volta Redonda), 2002. Comunicação pessoal. Oficina de Trabalho sobre Benzeno. Volta Redonda, 30 de abril de 2002.

SMS (Secretaria Municipal de Saúde de Volta Redonda), 2003a. Comunicação pessoal. I Seminário sobre Qualidade do Ar e Saúde Humana de Volta Redonda. Volta Redonda, 21 e 22 de março de 2003.

SMS (Secretaria Municipal de Saúde de Volta Redonda), 2003b. Comunicação pessoal. Volta Redonda, 08 de maio de 2003.

SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO, 2002. Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho. Manuais de Legislação . (51.<sup>a</sup> ed.). São Paulo: Editora Atlas.

SEXTON, K.; SELEVAN, S. G.; WAGENER, D. K.; LYBARGER, J. A., 1992. Estimating human Exposures to Environmental Pollutants: Availability and Utility of Existing Databases. *Archives of Environmental Health*, 47(6):398-407.

- TASHIRO, Y.; TANIYAMA, T., 2002. Atmospheric NO<sub>2</sub> and CO concentration in Lima, Peru. *Environment International*, 28:227-233.
- TORRES, H.G., 2000. A demografia do risco ambiental. In: Torres, H. & Costa, H. (org.). *População e Meio Ambiente: debates e desafios*. São Paulo: Editora SENAC São Paulo, 2000. p. 53-73.
- UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro), 2000. *Participação Popular no Controle da Poluição Industrial*. Programa de Pós-Graduação em Antropologia Social, Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro (Mimeo).
- UMWELTBUNDESAMT, 2002. Environmental Data Germany 2002. Umweltbundesamt. [online]. Disponível na World Wide Web: <<http://www.umweltbundesamt.org/fdpf-1/2148.pdf>> [25 Jan. 2003].
- UPTON, A. C., 1988. Epidemiology and Risk Assessment. in: Gordis, L. (ed). *Epidemiology and Health Risk Assessment*. New York: Oxford University Press. pp. 18-36.
- US EPA (U.S. Environmental Protection Agency), 1992. *Guidelines for Exposure Assessment*. U.S. EPA, Risk Assessment Forum, Washington, DC.
- US EPA (U.S. Environmental Protection Agency), 1997. *Exposure Factors Handbook: Update to Exposure Factors Handbook*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, Washington, DC.
- US EPA (U.S. Environmental Protection Agency), 1998. *Carcinogenic Effects of Benzene: An update (Final)*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, Washington, DC.

- VEIGA, L. H. S. & FERNANDES, H. M., 1999. Avaliação de Risco para a Saúde Humana e Ecossistemas. in: Brilhante, O. M. (coord.). Gestão e avaliação de risco em saúde ambiental. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 1999. p. 119-144.
- VIEGAS, W., 1999. Fundamentos de metodologia científica. Brasília: Paralelo 15, Editora Universidade de Brasília.
- VILLELA, G., 2003. CSN, 10 anos de privatização em Volta Redonda. O Globo. Rio de Janeiro, 6 de abr. 2003.
- WALLACE, L., 1996. Environmental Exposure to Benzene. *Environmental Health Perspectives*, 104(Suppl. 6):1129-1135.
- WEISEL, C.; YU, R.; ROY, A.; GEORGOPOULOS, P., 1996. Biomarkers of Environmental Benzene Exposure. *Environmental Health Perspectives*, 104(Suppl. 6):1141-1146.
- WHO (World Health Organization), 2000. Air quality guidelines for Europe; second edition. WHO. [online]. Disponível na World Wide Web: <[http://www.who.int/environmental\\_information/Air/Guidelines/AQGUDEpref.pdf](http://www.who.int/environmental_information/Air/Guidelines/AQGUDEpref.pdf)> [25 Jan. 2003].
- ZHAO, Q.; KALUARACHCHI, J.J., 2002. Risk assessment at hazardous waste-contaminated sites with variability of population characteristics. *Environment International*, 28:41-53.