



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
ESCOLA POLITÉCNICA**



**MICHELLE CRUZ COSTA**

**AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL POR ESTIRENO  
ORIUNDO DE RESINAS UTILIZADAS NAS ATIVIDADES DE  
BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NOS MUNICÍPIOS  
DE JACOBINA E OUROLANDIA – BAHIA.**

Salvador, Bahia

2010

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
ESCOLA POLITÉCNICA**



**MICHELLE CRUZ COSTA**

**AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL POR ESTIRENO  
ORIUNDO DE RESINAS UTILIZADAS NAS ATIVIDADES DE  
BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NOS MUNICÍPIOS  
DE JACOBINA E OUROLANDIA – BAHIA.**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial à aprovação na disciplina Seminário de Pesquisa.

Orientadora: Dr<sup>a</sup> Magda Beretta

Salvador, Bahia

2010

---

C837 Costa, Michelle Cruz

Avaliação da contaminação ambiental por estireno oriundo de resinas utilizadas nas atividades de beneficiamento de rochas ornamentais nos municípios de Jacobina e Ourolandia – Bahia / Michelle Cruz Costa. – Salvador, 2010.

90 f.+ anexos. : il. color.

Orientador: Prof. Doutora Magda Beretta

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2010.

1. Resíduos industriais - Aspectos ambientais. 2. Rochas ornamentais. 3. Beneficiamento de minério - aspectos ambientais. I. Beretta, Magda. II. Universidade Federal da Bahia. III. Título.

CDD.: 363.7

---

MICHELLE CRUZ COSTA CALHAU

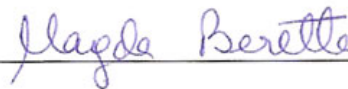
AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL POR ESTIRENO ORIUNDO DE  
RESINAS UTILIZADAS NAS ATIVIDADES DE BENEFICIAMENTO DE ROCHAS  
ORNAMENTAIS NOS MUNICÍPIOS DE JACOBINA E OUROLANDIA – BAHIA

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental Urbana.

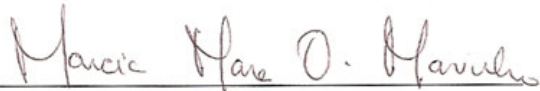
Salvador, 05 de maio de 2010

Banca Examinadora:

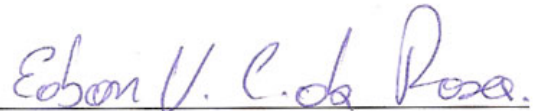
Profa. Dra. Magda Beretta  
Universidade Federal da Bahia –UFBA



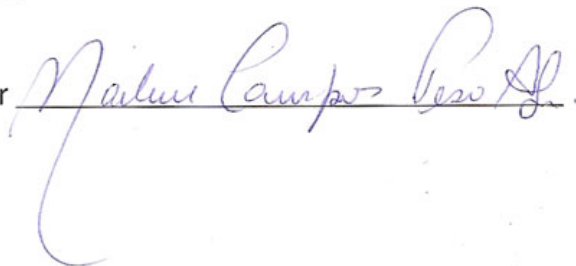
Profa. .PhD. Márcia Mara Oliveira Marinho  
Universidade Federal da Bahia –UFBA



Prof. Dr. Edson Valmir Córdova da Rosa  
SENAI - Departamento Regional da Bahia, SENAI/DR/BA



Profa. Dra. Marlene Campos Peso Aguiar  
Universidade Federal da Bahia –UFBA



Dedico este trabalho à minha família, meus pais pelo apoio e incentivo,  
meu esposo e filhas por acreditar no meu potencial e,  
aos meus amigos que tanto contribuíram para essa realização.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me dar capacidade e energia necessárias para o meu desenvolvimento e evolução como profissional, mãe, esposa, filha, mulher.

Aos meus pais, pelo apoio incondicional e confiança no meu trabalho.

A meu esposo, pelo companheirismo e incentivo nos momentos de cansaço e desânimo.

A todos os amigos e colegas de trabalho do SENAI, pela ajuda e incentivo, em especial Edisiene Correia, Lucas Neiva, Ubirajara Lira, Mário Alberto Santos, Antônio Gustavo Bittencourt, Kátia Góes, Márcia Macedo.

A minha querida amiga e chefe Arlinda Coelho, pelo apoio, incentivo e por acreditar no meu potencial.

A Profa. Magda Beretta, pela compreensão e apoio, sendo mais que minha orientadora, um modelo de profissional competente e dedicada.

*“Seja você a mudança que espera ver no mundo.”*

Mahatma Gandhi



## RESUMO

O mármore Bege Bahia é uma rocha ornamental calcária com ampla aceitação no mercado nacional, principalmente na construção civil, movelaria e decoração interna. Na Bahia, as maiores jazidas dessa rocha estão no município de Ourolândia, localizado no semi-árido nordestino, em uma região denominada “Piemonte da Chapada Diamantina”. Este estudo teve como objetivo avaliar a contaminação ambiental por monômeros de estireno, oriundo de resinas poliésteres utilizadas da atividade de beneficiamento do mármore Bege Bahia. A pesquisa consistiu na investigação da contaminação por estireno em amostras de resíduos industriais gerados em empresas do segmento beneficiamento, nos diferentes compartimentos ambientais (ar, água, solo e sedimento) da área de estudo e nos organismos aquáticos (peixes) presentes nos rios da região. Os procedimentos de amostragem seguiram critérios definidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e referências adotadas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). A determinação das concentrações de estireno nas amostras coletadas foi executada através da técnica de Cromatografia Gasosa Capilar, acoplada a Espectrometria de Massas com Purge & Trap. Os resultados encontrados a partir das análises para determinação dos níveis de estireno em sua forma monomérica, evidenciam a contaminação dos resíduos industriais em concentrações elevadas, bem como de águas superficiais. O estireno na forma monomérica não foi detectado nas amostras de solo, sedimento e biota, estando esse fato associado à sua natureza físico-química e as características ambientais da área de estudo. A contaminação das águas superficiais nos afluentes dos rios Salitre e Itapicuru por estireno ocorrem principalmente em função da inadequada disposição dos resíduos industriais gerados no processo de beneficiamento de mármore Bege Bahia, sendo estes depositados diretamente no ambiente, sem o devido tratamento prévio.

Palavras-chaves: Estireno, rochas ornamentais, contaminação ambiental.

## **ABSTRACT**

Beige Bahia Marble is an ornamental limestone rock with wide acceptance in the internal market, mainly in construction, furniture and interior decoration. In Bahia, the largest deposits of this rock are in the city of Ourolândia, located in semi-arid Northeast, in a region called "Piemonte da Chapada Diamantina". This study aimed to evaluate environmental contamination by styrene monomers, derived from polyester resins used in the activity of processing Beige Bahia marble. The research consisted in the investigation of contamination by styrene in samples of industrial waste generated in companies of processing, through different environmental compartments (Air, Water, Soil and Sediment) of the area under study and in aquatic organisms (fish) existent in the rivers of this region. The sampling procedures followed criteria established by the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT) and references adopted by the Environmental Company of São Paulo (CETESB). The concentration of styrene in the collected samples was performed using the technique of Capillary Gas Chromatography coupled to Mass Spectrometry with Purge & Trap. The results from the analysis to determine the concentration of styrene in its monomeric form, evidence the contamination of industrial wastes in high concentrations, as well as surface water. The styrene in the monomeric form was not detected in soil, sediment and biota samples, being this fact associated with its physical-chemical and environmental characteristics of the area under evaluation. The contamination of surface waters in the tributaries of the Salitre and Itapicuru river's by styrene is mainly due to improper disposal of industrial waste generated in the processing of Beige Bahia marble, which are deposited directly into the environment without proper pretreatment.

**Keywords:** styrene, ornamental rocks, environmental contamination.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquerda: extração de blocos na pedreira. Direita: preparação de blocos para o beneficiamento. Foto: Calhau, 2008. ....	17
Figura 2: Esquerda: Tear convencional. Direita: Talha bloco. Foto: Calhau, 2008. ....	18
Figura 3: Esquerda: chapas de mármore. Direita: pisos de mármore. Foto: Calhau, 2008. ....	19
Figura 4: Detalhamento da chapa bruta de mármore Bege Bahia evidenciando as imperfeições naturais da rocha. Foto: Calhau, 2008. ....	20
Figura 5: Etapa de levigamento evidenciando chapa lisa e plana. Foto: Calhau, 2008. ....	20
Figura 6: Etapa de resinagem. Foto: Calhau, 2008. ....	21
Figura 7: Polimento feito com a Politriz manual. Foto: Calhau, 2008. ....	22
Figura 8: Cortadeira de bancada (esquerda) e lixadeira manual (direita). Foto: Calhau, 2008. ....	22
Figura 9: Fluxo esquemático dos processos operacionais na marmoraria. ....	23
Figura 10: Resíduos sólidos gerados no processo de beneficiamento do mármore Bege. Foto: Calhau, 2008. ....	26
Figura 11: O metabolismo do estireno no fígado humano (com base na Watabe et al. 1981; Korn et al. 1984). <i>Fonte:</i> Warhurst e Fewson (1994). ....	31
Figura 12: Rede amostral em Jacobina-Ba. ....	47
Figura 13: Rede amostral em Ourolândia-Ba. ....	48
Figura 14: Amostragem de Resíduos sólidos gerados no processo de beneficiamento do mármore Bege. Foto: Calhau, 2008. ....	49
Figura 15: Amostragem de efluentes líquidos gerados no processo de beneficiamento do mármore Bege. Foto: Calhau, 2008. ....	50
Figura 16: Amostrador de Grandes Volumes (AVG). ....	50
Figura 17: Amostragem de material particulado gerados no processo de beneficiamento do mármore Bege. Foto: Calhau, 2008. ....	52
Figura 18: Esquerda: frasco utilizado para coleta de água superficial. Direita: ponto de amostragem situado na Barragem de Ourolândia. Foto: Calhau, 2008. ....	54
Figura 19: Esquerda: amostragem de solo. Direita: Draga de Van Veen. Foto: Calhau, 2008. ....	54
Figura 20: Esquerda: Área do “bota-fora” da empresa 1. Direita: Área do “bota-fora” da empresa 2 Foto: Calhau, 2008. ....	55
Figura 21: Esquerda: Malha amostral para amostragem de solo. Direita: Procedimento para amostragem de solo em diferentes profundidades. ....	56
Figura 22: Espécies de peixe coletadas. Espécie 1 - <i>Serrasalmus brandti</i> (Piranha), espécie 2 - <i>Astronotus ocellatus</i> (Oscar ou Apanhari) e, espécie 3 - <i>Hoplias malabaricus</i> (Traíra). Foto: Calhau, 2008. ....	57
Figura 23: Esquerda: Pesagem dos indivíduos coletados. Direita: Dissecção para separação e preparação de amostras de vísceras e músculos. Foto: Calhau, 2008. ....	59
Figura 24: Gráfico para apresentação dos resultados das análises para caracterização do resíduo sólido. ....	64
Figura 25: Gráfico para apresentação dos resultados das análises para determinação da concentração de estireno no resíduo sólido depositado no bota-fora das empresas. ....	65
Figura 26: Gráfico para apresentação dos resultados das análises para determinação da concentração de estireno no efluente líquido das empresas. ....	66
Figura 27: Gráfico para apresentação dos resultados das análises para determinação da concentração de estireno no material particulado gerado na etapa de acabamento. ....	67

Figura 28: Gráfico para apresentação dos resultados da análise granulométrica da amostra de solo da área de estudo. ....	70
Figura 29: Gráfico para apresentação dos resultados obtidos em amostras de águas superficiais da área de estudo. ....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades físico-químicas e ambientais .....	28
Tabela 2: Propriedades físicas-químicas e ambientais.....	29
Tabela 3: Toxicidade do estireno para os organismos aquáticos.....	33
Tabela 4: Valores de referencia para o estireno. ....	39
Tabela 5: Tipologia climática do município de Ourolândia.....	41
Tabela 6: Tipologia climática do município de Jacobina.....	41
Tabela 7: Biometria dos peixes coletados. ....	58
Tabela 8: Limite de Detecção do Método (LDM) dos ensaios para determinação de estireno.....	61
Tabela 9: Limite de Detecção do Método (LDM) dos ensaios na matriz solo.....	61
Tabela 10: Resultado das análises para determinação da concentração de estireno no resíduo sólido (lama abrasiva). ....	63
Tabela 11: Resultado das análises para determinação da concentração de estireno no resíduo sólido (lama abrasiva e pó de mármore). ....	63
Tabela 12: Resultado das análises para determinação da concentração de estireno no efluente líquido das empresas. ....	65
Tabela 13: Resultado das análises para determinação da concentração de estireno no material particulado gerado na etapa de acabamento. ....	67
Tabela 14: Resultado das análises para a caracterização do solo presente na área de estudo..	69
Tabela 15: Resultado das análises das amostras de águas superficiais da área de estudo. ....	72

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Diagrama de bloco do processo de beneficiamento do mármore Bege Bahia.....	25
Quadro 2: Legislação Ambiental referente ao estireno.....	38
Quadro 3: Rede de Amostragem.....	46
Quadro 4: Espécies de peixe coletadas. ....	58

## **LISTA DE ABREVIATURAS E CÓDIGOS**

ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química  
ABIROCHAS - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais.  
ANA – Agencia Nacional de Águas  
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.  
APL - Arranjo Produtivo Local  
ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry  
CBE – Companhia Brasileira de Estireno  
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.  
CNM - Confederação Nacional dos Municípios  
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente  
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais  
FISPQ - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos  
IARC - International Agency for Research on Cancer  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia  
INGA - Instituto de Gerenciamento das Águas e Clima  
NCI – National Cancer Institute  
PLANGIS - Plano de Gerenciamento Integrado da Bacia do Rio Salitre  
SEI/BA - Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia  
SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial  
U. S. EPA – United States Environmental Protection Agency

## **LISTA DE ANEXOS**

- Anexo 1:** Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos – FISPQ. Resina Poliéster Orto-Tereftálica Insaturada Diluída em Monômero de Estireno (Novapol).
- Anexo 2:** Mapa de Localização das Amostras - Jacobina / Ourolândia. Resíduo Sólido / Efluente / Material Particulado.
- Anexo 3:** Mapa de Localização das Amostras Jacobina / Ourolândia. Água Superficial / Sedimento / Solo / Biota.
- Anexo 4:** Calibração e Operação do AGV PTS pela versão atualizada da Norma ABNT NBR 9547. (ENERGÉTICA).
- Anexo 5:** Determinação de Compostos Orgânicos Voláteis em Águas por Purge & Trap.

## SUMÁRIO

Ficha Catalográfica .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2. JUSTIFICATIVA</b> .....	16
<b>2.1. Objetivo Geral</b> .....	16
<b>2.2. Objetivos Específicos</b> .....	16
<b>2.3. Questões</b> .....	17
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	17
<b>3.1. O processo de beneficiamento do mármore Bege Bahia</b> .....	17
<b>3.1.1. Os resíduos gerados no processo industrial</b> .....	26
<b>3.2. Estireno</b> .....	27
<b>3.2.1. Propriedades físico-químicas e comportamento no ambiente</b> .....	28
Características físico-químicas .....	28
<b>3.2.2. Efeitos no ambiente</b> .....	31
<b>3.2.3. Revisão bibliográfica: estudos sobre estireno no mundo</b> .....	34
<b>3.2.4. Legislação ambiental referente à presença de estireno no ambiente</b> .....	37
<b>4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	39
<b>4.1. Área de Estudo</b> .....	40
<b>4.1.1. Características ambientais da região de ocorrência do Bege Bahia</b> .....	40
Município de Ourolândia .....	40
Município de Jacobina .....	41
Bacia Hidrográfica do rio Salitre .....	42
Bacia Hidrográfica do rio Itapicuru .....	43
<b>4.1.2. Rede Amostral</b> .....	44
<b>4.2. Métodos de amostragem</b> .....	49
<b>4.2.1. Amostragem do resíduo sólido</b> .....	49
<b>4.2.2. Amostragem de efluente líquido</b> .....	49
<b>4.2.3. Amostragem de material particulado</b> .....	50
Cálculo da Concentração de Partículas Totais em Suspensão (PTS) .....	52
<b>4.2.4. Amostragem de água superficial</b> .....	53
<b>4.2.5. Amostragem de solo e sedimento</b> .....	54
<b>4.2.6. Amostragem do biota</b> .....	56
<b>4.3. Método para determinação de compostos orgânicos voláteis – estireno</b> .....	59
<b>4.4. Método para caracterização do solo</b> .....	61
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	62
<b>5.1. Concentração se estireno no resíduo industrial</b> .....	62
<b>5.1.1. Resíduos sólidos</b> .....	62
<b>5.1.2. Efluente Líquido</b> .....	65
<b>5.2. Concentração de estireno nos compartimentos ambientais</b> .....	66
<b>5.2.1. Material Particulado Atmosférico</b> .....	66
<b>5.2.2. Matriz: solo do “bota fora”</b> .....	68
<b>5.2.3. Matriz: água superficial</b> .....	72
<b>5.2.4. Matriz: sedimento</b> .....	74
<b>5.2.5. Matriz: biota aquática</b> .....	74
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	76
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES</b> .....	78
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	81
<b>9. ANEXOS</b> .....	90

## **1. INTRODUÇÃO**

Segundo a ABIROCHAS, o Brasil é o quarto produtor mundial, com uma produção anual de seis milhões de toneladas de rochas em 2002. As rochas ornamentais e de revestimento, também designadas pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria, abrangem os tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados através de esquadrejamento, polimento e lustro (ABIROCHAS, 2009). No Estado da Bahia, a indústria de rochas ornamentais está organizada na forma de Arranjo Produtivo Local (APL), envolvendo os municípios de Lauro de Freitas, Feira de Santana, na região metropolitana de Salvador, e Jacobina e Ouro-lândia no semi-árido nordestino.

A Bahia é o terceiro maior produtor brasileiro de rochas ornamentais e único produtor do Mármore Bege Bahia, uma das rochas mais consumidas no Brasil, com vendas orientadas para o mercado interno, que representam cerca de 30% da produção baiana (Spínola et al, 2004). O mármore Bege Bahia é uma rocha ornamental calcária com ampla aceitação no mercado nacional, principalmente na construção civil, movelaria e na decoração de ambientes internos.

A cadeia produtiva da indústria de rochas ornamentais é subdividida em três grandes áreas ou segmentos: a mineração, responsável pela extração e lavra; o desdobramento, envolvendo serrarias de blocos e transformação de chapas (polimento e corte de ladrilhos) e; o beneficiamento, representado pelas marmorarias, que realizam o acabamento e produção final (Bahia, 2004).

O município de Ouro-lândia, localizado no semi-árido nordestino, em uma região denominada “Piemonte da Chapada Diamantina”, tem como principal atividade econômica a extração do mármore Bege Bahia, sendo que algumas empresas também desenvolvem o beneficiamento nas proximidades da área de lavra. Em 2002, a Geoexplore cadastrou dez unidades beneficiadoras do Bege Bahia, sendo a atividade dominante a serragem e o polimento para a produção de placas brutas e/ou polidas e ladrilhos. Já no município de Jacobina, concentram-se empresas de beneficiamento de mármore extraídos em Ouro-lândia, envolvendo a serragem,

polimento e acabamento, bem como, a comercialização interna e escoamento dos produtos originados do Bege Bahia.

As serrarias têm no seu processo industrial o corte dos blocos de mármore feito em Teares convencionais e diamantados, seguido da etapa de polimento realizado através de um equipamento que utiliza abrasivos à base de magnésio e resinoídes (Politriz) com a função de dar brilho e lustre ao material. Na etapa de polimento, devido à superfície irregular comum a esse tipo de minério, é utilizada resina poliéster à base de estireno com a função de fechar as imperfeições e os “poros” da rocha.

Os impactos associados às atividades desenvolvidas pelo segmento de rochas ornamentais em Ourolândia e Jacobina podem ter sua origem vinculada à disposição inadequada de rejeitos do beneficiamento. Os resíduos gerados pelo processo industrial das serrarias, quando em contato direto com os corpos hídricos, podem conferir ao mesmo, dureza elevada e contaminação por substâncias e compostos químicos presentes nos insumos utilizados, a exemplo das resinas e catalisadores. A maioria das serrarias e marmorarias presentes na região dispõe seus resíduos, em particular a lama residual, diretamente no ambiente, sem qualquer tipo de proteção. A lama residual, sendo um resíduo oriundo do processo de polimento do mármore, apresenta contaminação por estireno, devido à utilização nessa etapa de resinas à base de poliéster (Calhau, 2007). O estireno presente na resina poliéster trata-se de um hidrocarboneto aromático não saturado derivado do benzeno, cujo potencial toxicológico é alvo de controvérsias nos estudos realizados sob a ótica da saúde ocupacional.

Esse estudo teve como foco avaliar os níveis de contaminação por estireno nos resíduos sólidos industriais gerados no processo de beneficiamento de mármore Bege Bahia, através da determinação das concentrações na lama residual/pó de mármore, no efluente líquido e material particulado, como também nos compartimentos ambientais.



## **2. JUSTIFICATIVA**

De forma geral, as áreas inseridas na região do semi-árido são caracterizadas pelo desequilíbrio entre a capacidade de suporte dos recursos naturais disponíveis e as necessidades básicas das populações que nelas habitam. Nessas áreas, as condições peculiares do clima com períodos marcantes de estiagem, a presença de solos pouco férteis, a vegetação menos vigorosa característica da caatinga; e as variações na paisagem, contribuem para fragilidade dos ecossistemas. Nesses ambientes, os efeitos antrópicos têm maior magnitude e os impactos associados são mais significativos.

A extração e beneficiamento do mármore Bege Bahia é a principal atividade industrial desenvolvida nos municípios de Ouro-lândia e Jacobina, localizados no semi-árido nordestino, com produção na ordem de 1.500 metros cúbicos mensais (Ribeiro, 2002; Spínola et al, 2004). A atividade movimenta a economia local, sendo responsável juntamente com o comércio, pela empregabilidade da comunidade nos municípios supracitados.

Considerando a disposição inadequada de resíduos gerados nas atividades de beneficiamento do mármore Bege Bahia, a importância dessa atividade econômica para a região e, conseqüentemente, os possíveis impactos associados à presença de estireno no ambiente, torna-se importante avaliar os níveis de contaminação desse composto não apenas nos resíduos como também nos compartimentos ambientais.

### **2.1. Objetivo Geral**

Avaliar a contaminação ambiental por monômeros de estireno, oriundo de resinas poliésteres utilizadas da atividade de beneficiamento do mármore Bege Bahia, nos resíduos industriais, compartimentos ambientais e nos organismos aquáticos (peixes), tendo como área de estudo o arranjo produtivo de rochas ornamentais localizado nos municípios de Jacobina e Ouro-lândia.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Verificar a concentração de estireno nos resíduos industriais sólidos, líquidos e material particulado, dispostos no ambiente.
- Avaliar a contaminação por estireno presente nos diferentes compartimentos ambientais: solo, água e sedimento.
- Avaliar a contaminação por estireno nos organismos aquáticos.

### 2.3. Questões

- Os resíduos industriais sólidos e líquidos, bem como, o material particulado estão contaminados por monômeros de estireno provenientes da resina poliéster?
- O estireno presente nos resíduos industriais, quando dispostos no ambiente de forma inadequada, contamina os compartimentos ambientais?
- Quando presente na água dos rios, o estireno pode ser incorporado por organismos aquáticos?

## 3. REFERENCIAL TEÓRICO

### 3.1. O processo de beneficiamento do mármore Bege Bahia

A matéria-prima utilizada no processo de beneficiamento do mármore Bege são blocos extraídos das pedreiras (Figura 1), com volumes variáveis de 5 a 10 m<sup>3</sup> e dimensões de 2,9 x 1,6 x 2,0 metros (ABIROCHAS, 2009; SENAI, 2009).



**Figura 1:** Esquerda: extração de blocos na pedreira. Direita: preparação de blocos para o beneficiamento. Foto: Calhau, 2008.

Dentre os insumos utilizados destacam-se as resinas epoxi (Polipox) e a cristal (Novapol), utilizadas no emassamento e fechamento de imperfeições do mármore Bege. Ambas são utilizadas na etapa de resinamento com o objetivo de dar brilho e preencher as de fendas da chapa. A água é um dos insumos que exerce função de maior importância no processo, pois

favorece a refrigeração e a limpeza dos resíduos gerados, diminuindo desta forma o atrito excessivo que pode gerar fraturas ou quebras do material (SENAI, 2009).

O processo de beneficiamento do mármore Bege Bahia envolve inicialmente o corte dos blocos em chapas (3,0 x 1,70 x 1,65 metro) realizado pelos Teares e Talha-blocos (Figura 2), para posterior acabamento e esquadrejamento até sua dimensão final (ABIROCHAS, 2009; SENAI, 2009). Nos teares, o corte é realizado por um grupo de lâminas de aço fixas e paralelas, sendo utilizados na serragem de blocos maiores para a produção de chapas com espessura variando entre dois e três centímetros (Figura 3). O Tear tem como fonte de alimentação a energia elétrica, sendo seu processo de corte úmido. Já nos talha-blocos a serragem é efetuada por discos diamantados, com diâmetros variados e capacidade convencional para cortes de até 1,20 metros, sendo indicados para blocos menores para a produção de chapas e tiras com 1 cm de espessura (Figura 3).



**Figura 2:** Esquerda: Tear convencional. Direita: Talha bloco. Foto: Calhau, 2008.

Em seguida, as chapas são direcionadas para o polimento, onde são utilizados como insumos, resinas poliéster à base de estireno, com o objetivo de preencher as imperfeições da rocha e dar brilho à chapa de mármore.



**Figura 3:** Esquerda: chapas de mármore. Direita: pisos de mármore. Foto: Calhau, 2008.

De acordo diagnóstico do segmento de rochas ornamentais realizado pelo SENAI (2009), o processo seguinte ao corte é o beneficiamento das chapas, que se dá através do polimento e lustro, compreendendo as etapas de estucamento, levigamento, resinagem e polimento, descritas a seguir.

#### **A - Estucamento**

Em se tratando do mármore Bege, o qual possui elevada porosidade, a etapa de estucamento tem a função de fechar os poros existentes na superfície da chapa bruta (Figura 4) com as misturas de resinas especiais e o pó de pedra proveniente da pedreira. Trata-se de um processo basicamente manual, com tempo de cura (secagem) de aproximadamente 10 minutos, visando garantir a impregnação da resina nas bordas das cavidades. Segundo IARC (1994) durante laminação e cura, cerca de 10% do estireno pode evaporar para o ar, no local de trabalho.



**Figura 4:** Detalhamento da chapa bruta de mármore Bege Bahia evidenciando as imperfeições naturais da rocha. Foto: Calhau, 2008.

### **B - Levigamento**

Essa etapa do processo destina-se a eliminar irregularidade da superfície das chapas geradas ao longo do processo de serragem e estucagem, tratando-se do alisamento das chapas, com a criação de superfícies planas e paralelas (Figura 5). Nesta etapa são utilizados elementos abrasivos com grãos de rocha grosseiros, que através do desbaste, torna a superfície da chapa plana e de espessura regular.



**Figura 5:** Etapa de levigamento evidenciando chapa lisa e plana. Foto: Calhau, 2008.

### **C - Resinagem**

Consiste na aplicação de resinas visando o acabamento superficial levigado ou polido (Figura 6). As chapas são colocadas em bancadas e revestidas com resina tipo Epóxi ao longo da sua superfície. A aplicação da resina é feita com uma espátula de PVC, catalisador e pó de pedra, sendo as cavidades preenchidas, visando uniformizar a superfície da chapa e o fechamento dos poros.



**Figura 6:** Etapa de resinagem. Foto: Calhau, 2008.

### **D - Polimento**

Nessa etapa do processo industrial as chapas serão polidas através de Politrizes manuais ou automáticas/semi-automáticas (Figura 7), equipamento que contém os abrasivos apoiados sob o satélite, produzindo brilho na superfície da rocha, inclusive dos poros deixados durante o levigamento. A partir desse procedimento, é obtida uma superfície espelhada, que irá exibir de forma mais intensa as diferentes tonalidades entre os diversos tipos de minerais presentes, dando maior destaque às mesmas. Após o corte, as chapas polidas são direcionadas para as marmorarias onde passam pela etapa de acabamento final descrita a seguir.



**Figura 7:** Polimento feito com a Politriz manual. Foto: Calhau, 2008.

### **E - Acabamento Final (marmoraria)**

O processo industrial na marmoraria refere-se a serviços de corte e polimento das chapas em ladrilhos com dimensões variadas ou peças confeccionadas conforme projetos diversos.

O corte é realizado utilizando equipamentos munidos de serras diamantadas, denominados cortadeiras manuais ou de bancada (Figura 8) e maquina, através de sistema úmido, onde a utilização de água tem a função de evitar o superaquecimento e fadiga das peças.

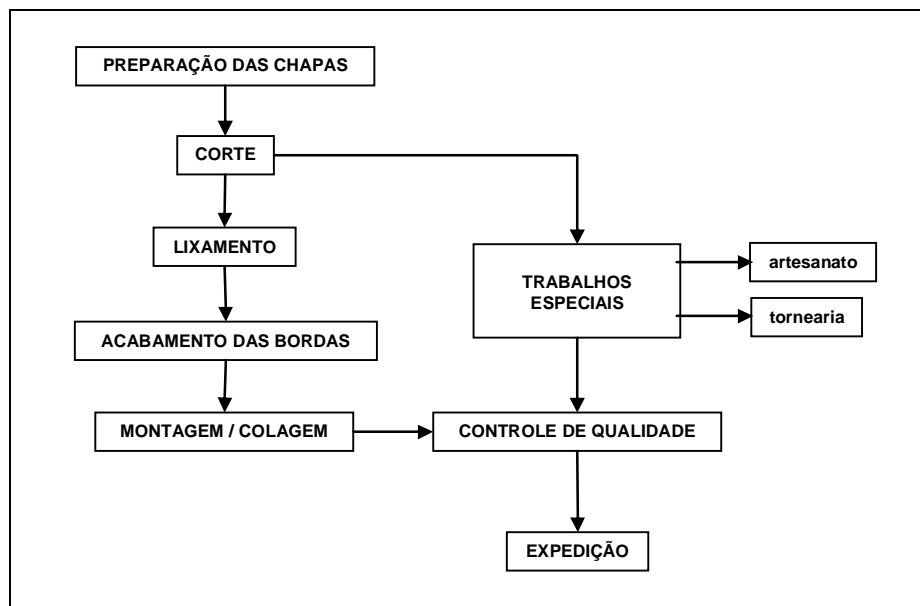


**Figura 8:** Cortadeira de bancada (esquerda) e lixadeira manual (direita). Foto: Calhau, 2008.

De acordo SENAI (2009) o processo de acabamento é realizado nas seguintes etapas:

- Acabamento Inicial (Desbaste): dar forma, obter o perfil da peça. O equipamento utilizado é uma máquina manual com disco diamantado, usada principalmente em operação de acabamento.
- Lixamento: fechamento dos poros na superfície da rocha deixados pelo desbaste. O disco de fibra de vidro ou carbureto de silício é acoplado à lixadeira (Figura 8), obedecendo a uma seqüência numérica de uso que vai de uma lixa mais grosseira, passando por uma intermediária, até a mais fina.
- Polimento: segue o mesmo processo de um polimento superficial, porém o equipamento utilizado é manual (esmerilhadeira,) e a seqüência de abrasivo de menor porosidade.
- Furação: a furadeira de bancada é um equipamento utilizado nessa etapa e tem como principal finalidade fazer abertura de diversos diâmetros em pia ou bancada.

De um modo geral as etapas do processo produtivo na marmoraria são:



**Figura 9:** Fluxo esquemático dos processos operacionais na marmoraria.  
*Fonte:* SENAI, 2009.



O detalhamento das etapas e fluxo do processo industrial de beneficiamento de mármore Bege Bahia envolvendo o diagrama de bloco, com entradas (matéria-prima e insumos) e saídas (produtos e resíduos industriais) estão apresentados no quadro 1 a seguir.

**Quadro 1:** Diagrama de bloco do processo de beneficiamento do mármore Bege Bahia.

<b>ENTRADAS</b> ⇒	<b>ETAPAS DO PROCESSO</b>	<b>SAÍDAS</b> ⇒
Bloco proveniente da pedreira, óleo lubrificante, EPI's, caminhão, cabo de aço, energia elétrica, grua, ferramentas (alavanca), estopas.	<b>1.</b> DESEMBRAQUE DOS BLOCOS  ↓	Bloco no pátio da empresa, sobra de óleo, estopas usadas, EPI's danificados peças danificadas do pátio, cabo de aço danificado, ruído (no período da utilização da grua), emissões gasosas
Bloco no pátio (2,90x1,60x1,60)m, óleo lubrificante, EPI's, cabo de aço, energia elétrica, grua, ferramentas (alavanca), estopas, cimento.	<b>2.</b> MOVIMENTAÇÃO E PREPARAÇÃO DA CARGA  ↓	Bloco (carga pronta), sobra de óleo, EPI's danificados, cabo de aço danificado, ferramentas danificadas, estopas usadas, resíduo de cimento.
Bloco (2,90x1,60x1,60)m, óleo lubrificante, EPI's, energia elétrica, Tear, água, lâmina, areia, cal, gralha, corrente, tábua, prego, martelo, cunha.	<b>3.</b> SERRAGEM DO BLOCO  ↓	Chapas (0,02x2,90x1,60)m, obra de óleo, EPI's danificados, peças danificadas do Tear, ferramentas danificadas, resíduo de madeira, lama inativa (água + cal + areia + gralha + pó de mármore), casqueiro, ruído.
Chapas serradas, EPI's, energia elétrica, pistola de pressão, água, grua (para movimentação de chapa).	<b>4.</b> LAVAGEM E RETIRADA DOS BLOCOS  ↓	Chapas serradas e lavadas, EPI's desgastados, equipamentos danificados, lama inativa (água + cal + areia + gralha + pó de mármore).
Chapas de mármore, EPI's, equipamento de transporte das chapas (Maluca), cabo de aço, tela, madeira, mesa ferramentas - vassoura desempenadeira, espátula, ponteira (Pichote), resina cristal catalisador, dióxido de titânio, acelerador pó da pedreira.	<b>5.</b> ESTUCAGEM DAS CHAPAS  ↓	Chapas estucadas, EPI's danificados, ferramenta danificada, sobra de cabo de aço, sobra de pó, peças danificadas sobra de massa da estucagem, chapas danificadas.
Chapas estucadas, EPI's, equipamento de transporte das chapas (Maluca), energia elétrica, óleo lubrificante, politriz, ferramentas – correia, parafuso, abrasivos, água.	<b>6.</b> LEVIGAMENTO DAS CHAPAS  ↓	Chapa levigada, Chapas danificadas, EPI's danificados, ferramenta danificada, sobra de óleo, abrasivos danificados fragmentos de chapas, peças danificadas, lama residual (água + abrasivo + resina), ruído.
Chapas levigadas, EPI's, energia elétrica, ferramentas (desempenadeira, espátula...), resina Epoxi e catalizador, mesa, madeira, aquecedor de chapa, embalagens tipo PET.	<b>7.</b> RESINAMENTO DAS CHAPAS  ↓	Chapas resinadas, EPI's danificados, Ferramentas (correia, parafusos e encaixe) danificados, Embalagens contaminadas Resíduo de Madeira, Embalagens tipo PET.
Chapas resinadas, EPI's, equipamento de transporte das chapas (Maluca), energia elétrica, óleo lubrificante, ferramentas (correia, parafusos e encaixe), Politriz, abrasivos, água.	<b>8.</b> POLIMENTO DAS CHAPAS  ↓	Chapas polidas, EPI's danificados, ferramentas danificadas, sobra de óleo, fragmentos de chapas, peças danificadas, abrasivos usados, lama residual (água + resina + abrasivos), ruído.
Chapas Polidas, EPI's, equipamento de transporte das chapas (Maluca), energia elétrica, óleo lubrificante, ferramentas correia, parafusos e encaixe, máquina de corte (cortadeira de bancada), água disco diamantado.	<b>9.</b> MARMORARIA (Corte)  ↓	Peças Cortadas, EPI's danificados, sobras de óleo, ferramentas (correia, parafusos e encaixe) danificados, lama residual (água + resina + pó de mármore e granito), ruído.
Peças Cortadas, EPI's, equipamento de transporte das chapas (Maluca), Cavalete (madeira), energia elétrica, óleo lubrificante, cabo de aço, madeira, Lixadeira, disco de lixa, disco de desbaste.	<b>10.</b> MARMORARIA (Acabamento)  ↓	Peças Acabadas (mármore e granito), EPI's danificados, ferramentas danificadas material particulado (poeira de mármore e granito), ruído.
Chapas Acabadas, EPI's, caminhão, cabo de aço, energia elétrica grua, alavanca, estopas.	<b>11.</b> EMBARQUE DAS CHAPAS	Chapas Acabadas, Estopas usadas, EPI's danificados, Emissão de particulado (poeira), Emissões Gasosas, Ruído.

Fonte: Adaptado de SENAI, 2009.

### 3.1.1. Os resíduos gerados no processo industrial

Ao longo de toda a cadeia produtiva são gerados resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas, que caracterizam processos industriais com infra-estrutura tecnológica ainda rudimentar (Figura 10). O rejeito gerado no processo de corte e beneficiamento de rochas ornamentais, em particular, do mármore Bege Bahia, são essencialmente os restos de blocos e chapas danificadas e, a lama residual gerada na operação dos equipamentos de corte e polimento. Este último é gerado em maior quantidade, chegando a atingir entre 30 a 40% em volume dos blocos serrados (Gobbo, 2004 apud Ferreira e Nunes, 2007).



**Figura 10:** Resíduos sólidos gerados no processo de beneficiamento do mármore Bege. Foto: Calhau, 2008.

A lama residual, de fina granulometria é composta essencialmente de água, granalha (ferro e outros minerais) e rocha moída. Essa composição é considerada de extrema riqueza mineral, uma vez que após a secagem da água e da separação da granalha, obtém-se um pó de rocha, composto, geralmente, por carbonatos de magnésio e/ou cálcio, que podem ser utilizados por outros segmentos industriais (Morani et al, 2008).

Nas etapas de desbaste e lixamento do processo industrial, correspondendo a fase a seco, onde os equipamentos não utilizam água para a operação, são geradas partículas totais em suspensão, emitidas à atmosfera em diferentes diâmetros.

O Material Particulado Total inclui Partículas Totais em Suspensão (PTS), Partículas Inaláveis (PI – partículas com diâmetro aerodinâmico médio menor do que 10  $\mu\text{m}$ ), e Partículas Inaláveis Finas (PM 2,5 - partículas com diâmetro aerodinâmico médio menor do que 2,5  $\mu\text{m}$ ), sendo que a última apresenta comportamento físico-químico diferenciado que

resulta em riscos e impactos à saúde pública e no meio ambiente, uma vez que penetram mais profundamente no trato respiratório (Baird, 2002).

O pó produzido pelas serrarias é transportado pelo vento e pela água em períodos de chuva, para o leito de rios da área de estudo, sendo a maior quantidade depositada por caminhões na beira da estrada, ou em frente às serrarias. O destino final desses resíduos, na maioria das empresas presentes tanto na área de estudo como em outras regiões, é a disposição direta no ambiente, muitas vezes sem tratamento prévio, apesar do grande potencial de reaproveitamento e utilização como matéria-prima em outros segmentos industriais, a exemplo da construção civil.

### **3.2. Estireno**

O estireno ou vinil benzeno foi descoberto em 1827 por Bonastre durante a experimentação com extratos alcoólicos de bálsamo Storax (Tossavainen, 1978), sendo posteriormente desenvolvido a partir da desidrogenação do etilbenzeno, pela Dow Chemical e BASF, para em seguida produzir o monômero com elevado grau de pureza, que poderia ser polimerizado para um composto mais estável, plástico e incolor (Rueff, 2009). Trata-se de um dos produtos petroquímicos produzidos em grande quantidade, sendo bastante utilizado na indústria de plástico. Segundo o Relatório Anual da Indústria Química Brasileira, divulgado pela ABIQUIM, em 2008 estimativas indicam que o mercado de EPS (estireno e poliestireno expansível) tenha alcançado 62,9 mil toneladas, representando um crescimento de 13%, em relação a 2007. O relatório da ABIQUIM associa esse desempenho ao significativo consumo na construção civil, sendo este segmento o segundo maior consumidor de EPS, demandando 26,1 mil toneladas, com crescimento de 25,1% no consumo.

Adicionalmente à utilização na fabricação de poliestireno (polímero), o monômero de estireno está presente na produção de borracha sintética, emulsões, poliéster, óleos estirenizados e, principalmente, na obtenção de resinas sulfonadas, estirênico-maleicas, ABS do inglês “acrylonitrile-butadiene-styrene” (Allinger, 1978; CBE, 2009).

Além da fonte industrial, o estireno ocorre naturalmente em alguns alimentos (morangos, trigo, amendoim, carne e especiarias), como também pode ser encontrado em pequenas quantidades nos alimentos processados e embalados por contaminação oriunda das embalagens (Miller et al., 1994). A exposição ambiental ao estireno pode ainda esta associada

à fumaça de cigarro (Newhook e Caldwell, 1993) e escapamento de veículos automotores contendo estireno-butadieno em adesivo de látex (Hodgson et al., 1993).

### 3.2.1. Propriedades físico-químicas e comportamento no ambiente

#### Características físico-químicas

O estireno ou monômero de estireno trata-se de um hidrocarboneto aromático não saturado derivado do benzeno, que em condições ambiente encontra-se no estado líquido, é incolor e polimeriza prontamente quando aquecidos ou exposto à luz, formando um material plástico, rígido, normalmente transparente (semelhante ao acrílico) e muito utilizado comercialmente: o poliestireno. A versatilidade do monômero de estireno proporciona sua utilização na forma de homopolímero, polímero com ligações cruzadas e copolímero, originando produtos com excelente transparência e boas propriedades elétricas (Allinger, 1978).

A Agência de Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças (ATSDR) caracteriza o estireno como sendo um líquido incolor, com um cheiro doce que evapora facilmente, podendo ser encontrado no ar, na água e no solo logo após sua liberação no ambiente. No ar, é rapidamente degradado, geralmente em um ou dois dias, evapora em solos rasos e águas superficiais e, em caso de permanência no solo ou na água podem ser degradados por bactérias ou outros microorganismos, não sendo para tanto, acumulado em animais (ATSDR, 2010).

As propriedades físico-químicas e ambientais do estireno são apresentadas na tabela abaixo comparativamente com outros também hidrocarbonetos.

**Tabela 1:** Propriedades físico-químicas e ambientais

Propriedades	Estireno	Benzeno	Tolueno
Peso molecular	104,15	78,11	92,14
Ponto de ebulição (°C)	145 a 146	80,1	110,8
Ponto de fusão (°C)	-31,6	5,5	-95
Pressão de vapor	10 mmHg a 30,8°C	100 mmHg a 26,1 °C	40 mm Hg a 31,8 °C

**Fonte:** Green & Perry, 2007.

Quando comparado aos também hidrocarbonetos benzeno e tolueno, o estireno tem o maior peso molecular e é caracterizado por apresentar maior ponto de ebulição, ou seja, é o menos

volátil dos três compostos apresentados. Verifica-se também que o benzeno é mais volátil que o estireno e o tolueno e que a água (PE=100°C).

No que se refere à concentração em sistemas biológicos, o fator de bioconcentração representa a razão de equilíbrio entre a concentração um produto químico em um peixe em relação à concentração dissolvida nas águas circundantes, sendo o mecanismo de difusão a fonte da substância para o peixe (Baird, 2002). O FBC de um produto químico pode ser estimado com maior precisão através de um simples experimento de laboratório, onde se espera que o produto atinja o equilíbrio entre as camadas de líquido de um sistema de duas fases feito de água e do álcool 1-octanol, sendo esse último considerado experimentalmente um substituto adequado das porções gordurosas do peixe (Baird, 2002).

Dentre os insumos do processo industrial de beneficiamento do mármore Bege Bahia, a Resina Poliéster Orto-Tereftálica Insaturada Diluída em Monômero de Estireno, utilizada para o recobrimento das imperfeições, apresenta em sua composição entre 25 e 45% de monômeros de estireno, devendo os cuidados com manuseio e utilização da mesma seguir os critérios e propriedades físico-químicas desse hidrocarboneto. O estireno serve como um solvente e um reagente para a resina de poliéster insaturada, representando cerca de 40% do peso (Rueff, 2009).

As propriedades físico-químicas e ambientais descritas na tabela abaixo caracterizam resina poliéster como sendo um líquido incolor de odor aromático característico do estireno, tóxico, inflamável, não solúvel em água, emissor de vapores tóxicos durante a queima, cujos vapores são mais pesados que o ar e podem movimentar-se a longa distância e acumular-se em áreas baixas (Novaforma Química, 2008).

**Tabela 2:** Propriedades físicas-químicas e ambientais.

Propriedades	Estireno	Resina Poliéster Orto-Tereftálica
Ponto de ebulição (°C)	145 a 146	145,2°C
Pressão de vapor	10 mmHg a 30,8°C	< 5 mm Hg (à 15°C) - solvente

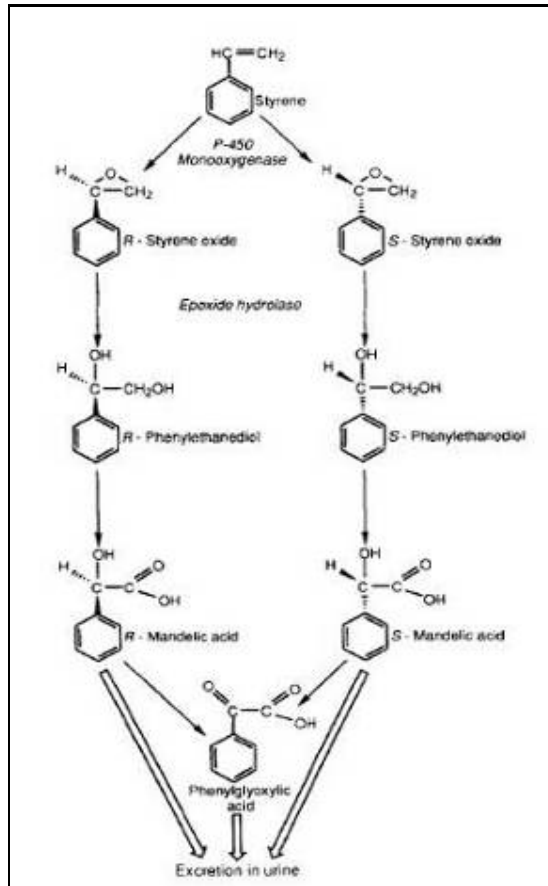
Fonte: Novaforma Química, 2009.

### Metabolismo e biotransformação do estireno

O estireno é distribuído por todo o corpo, sendo armazenado no tecido adiposo e, posteriormente, eliminado lentamente, indicando um potencial de acumulação em situações de exposição repetida diariamente (Rueff, 2009). No entanto, em um estudo com trabalhadores expostos a 37 ppm por 8 horas, durante uma semana de trabalho, não houve evidência de acumulação (WHO, 2000).

Os efeitos da exposição ao estireno por longo prazo pode resultar na produção de um ou mais metabolitos (Savolainen, 1977; Mutti et al. 1988). O metabolismo do estireno em humanos é iniciado pelo citocromo P450, por reação oxidativa, produzindo como metabolito o óxido de estireno (Figura 11). Essa reação ocorre no fígado humano e, em menor escala, no pulmão (Nakajima et al., 1994). As enzimas responsáveis pela oxidação do estireno também são encontradas no cérebro humano, no entanto não foram especificamente testadas tendo o estireno como substrato (Bhamre et al., 1993). O produto final do metabolismo do estireno em seres humanos são os ácidos mandélico e fenilglioixílico, excretados na urina (Bardodej e Bardodejova, 1970; Leibman, 1975; Guillemin e Bauer, 1979).

Segundo Warhurst e Fewson (1994), o estireno pode ser metabolizado através de quebra aeróbica por ataque a tanto ao anel aromático como à cadeia lateral. O ataque ao anel pode ocorrer através de um mono-oxigenase (Figura 11) ou uma dioxigenase, seguido pela clivagem deste, enquanto que a cadeia lateral pode ser reduzida, produzindo etilbenzeno.



**Figura 11:** O metabolismo do estireno no fígado humano (com base na Watabe et al. 1981; Korn et al. 1984).  
 Fonte: Warhurst e Fewson (1994).

### 3.2.2. Efeitos no ambiente

O estireno é liberado no ambiente principalmente durante a fabricação e aplicação de seus isômeros, incluindo poliestireno, estireno-butadieno borracha de acrilonitrila-butadieno-estireno e copolímeros resinas. Entre as fontes naturais, o estireno pode ser liberado para o ambiente através do metabolismo de fungos e bactérias (U.S.EPA, 2010). No ambiente urbano, as concentrações de estireno podem variar, sendo detectadas concentrações de até 15 ppb (partes por bilhão) em algumas cidades norte americanas (Howard, 1989).

A libertação de fibras sintéticas de estireno no ambiente pode ocorrer por uma variedade de rotas, incluindo as águas residuais da fábrica, evaporação e pirólise de poliestireno; a 500 °C em torno de seis miligramas de estireno são liberados para cada 100 mg de poliestireno, em decomposição (Synder 1984).



A presença do estireno no ar está associada principalmente às emissões atmosféricas geradas nos processos industriais, envolvendo polímeros e copolímeros, como também através de outras fontes de combustão e incineração de polímeros incluindo escapamentos de veículos e fumaça de cigarros (WHO, 2000).

O destino do estireno no ambiente tem sido estudado por Fu e Alexander (1992), que verificaram uma variação do grau de volatilização nos diferentes ambientes, com 50% sendo perdido dentro de três horas em camadas superficiais da água de lagos. Em seu estudo, também detectaram a rápida mineralização do estireno no esgoto, na porção mineral e orgânica do solo neutro (pH 7,23) e, em menores taxas nas águas subterrâneas e de lagos, sendo as taxas mais baixas registradas no sedimento de aquíferos, solos úmidos e porções minerais ácidas do solo (pH 4,87). O mesmo não foi observado em solos estéreis, onde não ocorreu mineralização, embora uma alta porcentagem de estireno tenha sido absorvida, e possivelmente degradada por microrganismos (Fu e Alexander, 1992). O estudo também concluiu que a porcentagem de estireno mineralizado por hora diminuiu proporcionalmente a redução da concentração do mesmo na água de lagos e areia do aquífero, sugerindo que existe uma concentração limite para mineralização nesses ambientes.

Embora o estireno seja detectado de forma ocasional em estuários, águas interiores e de abastecimento, sua presença está associada à disposição inadequada de fontes industriais (Newhook & Caldwell, 1993). Com pressão de vapor de 10 mm Hg à temperatura de 30,8°C, o estireno evapora facilmente da água para o ar (WHO, 2000). Devido ao pouco tempo de permanência na água e, apesar de biodegradável (ver tabela 3), o estireno não apresenta potencial para a bioacumulação ou bioconcentração e, para tanto, não é também notado sua concentração ao longo da cadeia alimentar (ATSDR, 2010; CETESB, 2008; WHO, 2000).

As informações presentes na Fichas de Segurança (FISPQ) da resina poliéster, bem como em fichas do próprio estireno na sua forma monomérica, conflitam com conteúdos apresentados por instituições destinadas ao monitoramento e proteção ambiental. A Ficha de Segurança (FISPQ) da resina poliéster utilizada no processo de beneficiamento do mármore Bege, alerta que além de ser um contaminante atmosférico, o estireno pode em baixas concentrações ser considerado perigoso para o biota aquática. Sua periculosidade é retratada através de ensaios ecotoxicológicos, que além da toxicidade, confirmam a bioconcentração em peixes (Novaforma Química, 2008; anexo 1). A FISPQ do Estireno vinculada pela CETESB (2008)

evidencia o potencial de toxicidade para o biota aquática, em concentrações variáveis de acordo grupo e espécie a que pertencem os organismos (tabela 3).

**Tabela 3:** Toxicidade do estireno para os organismos aquáticos.

Organismo	Espécie indicadora	Estireno
Peixes	<i>Pimephales</i> sp	Água mole diluída (* TLM ( 24, 48, 96 h) = 56,7, 53,6, 46,4 mg/L.
	<i>Lepomis macrochirus</i>	Água dura diluída (* TLM ( 24, 48, 96 h) = 62,8, 62,8, 59,3 mg/L
	<i>Carassius auratus</i>	Água mole diluída (* TLM ( 24,48,96 h) = 25,1, 25,1 mg/L
Crustáceos	<i>Artemia salina</i>	(* TLM (24 h) = 68 mg/L
Algas	<i>Microcystis aeruginosa</i>	(**) L. tox. T.I.M.C. = 67 mg/L
	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	(**) L. tox. T.I.M.C. = > 200 mg/L

Fonte: CETESB, 2009.

Legenda: (\*) TLM: Limite de Tolerância médio

(\*\*) L. tox. T.I.M.C.: Limite de Toxicidade (Teste de Inibição da Multiplicação Celular)

Já em seres humanos, a exposição repetida e prolongada, pode causar reações adversas à saúde, como: náusea, perda de apetite, depressão do Sistema Nervoso Central e fraqueza generalizada (Novaforma Química, 2008). O estireno é considerado de toxicidade aguda por inalação ou contato direto (WHO, 1983) e, pela Agência Internacional de pesquisa do Câncer como possível carcinógeno (CETESB, 2008).

A exposição ao estireno tem sido associada, por diversos autores a irritação nas mucosas e membrana do trato respiratório superior seres humanos, bem como os sintomas tóxicos a exemplo de: bronquite crônica, pulmonar obstrutiva mudanças, diminuição ventilação pulmonar, asma, fadiga, irritação nasal e secreção nasal (Chung et al, 2006). De acordo Sistema de Informação de Riscos Integrados da U. S. EPA (2010), a exposição aguda ao estireno nos seres humanos resulta em irritações nas mucosas e nos olhos, bem como distúrbios gastrointestinais, enquanto que o contato em longo prazo tem como efeitos crônicos uma variedade de desconfortos, incluindo dores de cabeça, neuropatia fadiga, fraqueza, depressão e periféricos.

Makeni Chemicals (2008), em sua Ficha de Informações de Segurança, apresenta o estireno como uma substância miscível com água, podendo contaminar esgotos e corpos hídricos e,

consequentemente, causar danos a espécies aquáticas, apesar de ser volátil, de baixa solubilidade em água e rapidamente biodegradável. Nessa FISPQ a toxicidade do estireno está associada à liberação de vapores ácidos, monóxido de carbono e dióxido de carbono em seu processo de decomposição, podendo ainda gerar, quando em altas temperaturas, gases tóxicos e irritantes.

### 3.2.3. Revisão bibliográfica: estudos sobre estireno no mundo

No que se refere ao destino do estireno no ambiente, Howard (1989), concluiu em seu estudo que além de lançamentos industriais, o estireno também é liberado na exaustão de automóveis e fumaça de cigarro. Seu estudo detectou presença de estireno na água de abastecimento de Cincinnati, Ohio, na concentração de 0,024 ppb (partes por bilhão), e, em águas adjacentes a um aterro onde o estireno estava enterrado em tambores, nas concentrações de 100-200 ppb. No que se refere à contaminação atmosférica, Howard verificou concentrações de estireno variando de 0,07 a 15 ppb, medidos nas cidades dos Estados Unidos (Howard 1989, apud U. S. EPA, 2010).

Outros estudos que tratam sobre a contaminação do ambiente por monômeros de estireno demonstram os danos causados a flora e especialmente a fauna aquática. Segundo Villarouco (2007) amostras de líquens da espécie *Cladonia verticillaris* (Raddi) após assimilação do estireno por suas células, apresentaram, além de alterações morfológicas, deficiência no processo de fotossíntese e inibição da síntese de substâncias.

Quanto aos efeitos da contaminação do estireno à saúde humana, um dos primeiros estudos foi realizado por Danishefsky e Willhite (1954) que abordaram o processo metabólico desse composto. Outros estudos realizados em animais experimentais e humanos conferem a metabolização do estireno por enzimas, gerando metabolitos, sendo alguns destes potencialmente tóxicos, a exemplo do 4-Vinylphenol (Leibman, 1975; Sumner e Fennell, 1994; Vogie et al., 2004; Cruzan et al. 2005; Carlson, 1997; Carlson et al., 2000, Green et al., 2001; Gadberry et al., 1996). Também Warhurst e Fewson (1994) estudaram o metabolismo e biotransformação do estireno em microrganismos.

Hansteen et al. (1984) analisou os efeitos citogenéticos em trabalhadores exposto a baixas concentrações de estireno, através da avaliação de eventos cromossômicos, a exemplo de quebras, presença de lacunas e trocas de cromátides irmãs. Em seu estudo, realizou medições

da concentração de estireno no ar e nos metabolitos da urina de trabalhadores, seguido de análises citogenéticas nas células do sangue. Os resultados mostraram que em níveis de exposição do estireno bem abaixo do nível recomendado de 50 ppm (partes por milhão), não houve aumento das aberrações cromossômicas nos trabalhadores testados quando comparados com o grupo controle. Ainda na década de 80, Bond (1989) concluiu em seu estudo que o estireno é tóxico em quantidades bastante baixas, principalmente devido aos efeitos nas membranas celulares.

A Carcinogenicidade do estireno foi investigada em diversos estudos, sendo muitos deles realizados em longo prazo. Em estudos com camundongos, a presença deste hidrocarboneto foi associada ao aparecimento de tumores nos pulmões, em administrações orais (NCI, 1979a, b; Ponomarkov e Tomatis, 1978), e após a exposição por inalação (Cruzan et al., 2001). Além disso, em um estudo (NCI, 1979b), houve uma tendência de aumento na incidência de adenomas hepatocelulares (tumor hepático benigno) em fêmeas de camundongos. Em contraste, em outros estudos, dessa vez com ratos, o estireno não teve ação tumogênica, independente da forma de administração (NCI, 1979a, b; Beliles et al., 1985; Conti et al., 1988; Cruzan et al., 1998; Ponomarkov e Tomatis, 1978).

O maior estudo sobre a mortalidade por câncer de trabalhadores expostos a elevados níveis de estireno, inclui um levantamento em 40.688 trabalhadores de 660 plantas industriais de plástico reforçado, foi realizado por Kogevinas et al. (1994). O objetivo deste estudo foi determinar se a exposição ao estireno está associada ao aumento do risco de neoplasias dos tecidos linfático e hematopoiético, sendo os resultados pouco conclusivos. Filser et al. (2002) avaliando o risco à saúde humana, no que se refere ingestão diária do estireno através dos alimentos ou do ar ambiente e o surgimento de tumores sistêmicos, em destaque nos pulmões, também não obteve resultados conclusivos à respeito da citotoxicidade ou apoptose e conseqüente processo tumoral/carcinogênico, alegando ser esse risco muito reduzido.

Muitos estudos tiveram como objetivo avaliar a toxicidade do estireno no trato respiratório utilizando para isso animais experimentais. Gadberry et al. (1996) e Carlson (1997) observaram o aumento dos níveis das enzimas glutamil transpeptidase, específica das membranas celulares do fígado e, da lactato desidrogenase (LDH), enzima indicadora de danos nos tecidos por ser abundante em células vermelhas e funcionar como marcador para

hemólise. Os efeitos pertinentes à elevação dos níveis dessas enzimas no sangue estão associados à disfunção hepática e danos nos tecidos ocasionando anemia hemolítica.

Cherry e Gautri (1990) avaliando os efeitos neurotóxicos do estireno em 70 trabalhadores de quatro fábricas na área de Montreal (Quebec) evidenciaram que quando afastados da exposição a esse hidrocarboneto, os trabalhadores recuperavam o déficit de condução sensitiva do nervo observado. Os efeitos neurotóxicos da exposição de estireno por inalação, também foram estudados por Kishi et al. (1995) que avaliou alterações no desenvolvimento neurocomportamental, na coordenação motora e aprendizado de ratos durante o período pré-natal e nas crias antes e após o desmame. Os resultados preliminares revelaram efeitos sutis nas ninhadas, quando expostas a baixas concentrações (50 ppm), a exemplo perturbações na coordenação motora e atrasos no desenvolvimento de alguns reflexos motores; enquanto que em grandes doses (300 ppm) ocorreram mudanças no comportamento e aumento na atividade espontânea, além de atrasos no desenvolvimento neurocomportamental.

Green e colaboradores (2001) observaram em camundongos exposto ao estireno por inalação, a necrose e perda celular no epitélio dos brônquios, redução da coloração celular e, em alguns casos, aumento da proliferação celular, sendo considerado tóxico também para o epitélio nasal por causar atrofia e degeneração das células e, dilatar as glândulas de Bowman's.

Naccarati et al. (2003) investigou a possível associação da exposição ocupacional ao estireno com efeitos na saúde humana, incluindo a capacidade reprodutiva masculina. Nesse estudo a presença e frequência de anormalidades genéticas, mais precisamente a aneuploidia (células que teve o seu material genético alterado, sendo portador de um número cromossômico diferente do normal da espécie) em células germinativas por ser essa anomalia uma das principais causas de infertilidade, abortos e doenças congênitas. Os resultados pouco conclusivos, não mostraram uma diferença estatisticamente significativa no que se refere às alterações numéricas dos cromossomos em espermatozoides, ou seja, à incidência de aneuploidia e diploidia entre trabalhadores testados e grupo controle.

Diodovich et al. (2004) em seus estudos epidemiológicos sobre estireno mostrou que as neoplasias, mais frequentemente observadas em humanos após a exposição, estão relacionadas com o sistema linfático e hematopoiético. Os resultados obtidos nesse estudo demonstram que após 24 e 48 horas de exposição, o estireno induziu o aumento da necrose

das células mononucleares do sangue da medula (cordão umbilical), e ainda a ocorrência de alterações nos arranjos gênicos com mudanças na expressão desses.

Em 2006, Carlson e colaboradores avaliaram os efeitos do estireno e óxido de estireno na enzima antioxidante glutathiona reduzida (GSH) e concluiu ser este um hepatotóxico e pneumotóxico em camundongos, estando sua ação provavelmente associada ao estresse oxidativo, incluindo uma significativa diminuição dos níveis dessa enzima. Nesse mesmo ano Chung e colaboradores investigaram a bioativação e citotoxicidade do estireno e seus metabólitos evidenciando em seu estudo, através de ensaios utilizando enzimas do citocromo, a ativação metabólica desse e seu efeito citotóxico.

Para Rueff (2009) os mais altos níveis de exposição humana ao estireno ocorrem em contextos profissionais, especialmente durante a produção de plástico reforçado, sendo absorvidos principalmente por inalação e, em menor escala, através de contacto com a pele.

#### **3.2.4. Legislação ambiental referente à presença de estireno no ambiente**

Considerando os efeitos ambientais e à saúde humana associados à presença do estireno no ambiente, bem como os estudos realizados sobre o tema, a legislação internacional e brasileira (Quadro 2), enquadram esse hidrocarboneto como um agente passível de monitoramento e controle.

Em países onde a legislação ambiental apresenta-se de forma mais avançada e organizada, a exemplo da Alemanha, Canadá e Holanda, são estabelecidos valores de referencia para a presença de estireno nos diversos compartimentos ambientais (Tabela 4). No Brasil, resoluções do CONAMA e a Portaria do Ministério da Saúde que define o padrão de potabilidade da água, são os principais instrumentos legais que disciplinam os limites para a presença de estireno nos efluentes industriais e compartimentos ambientais (Tabela 4).

**Quadro 2:** Legislação Ambiental referente ao estireno.

TÍTULO	ANO	LOCALIDADE	ASSUNTO	RESUMO
<b>Legislação Internacional</b>				
DIRECTIVA Nº 1 de 15 de janeiro de 2008	2008	Comunidade Européia	Qualidade do Ar	Dispõe sobre a prevenção e o controle integrado da contaminação decorrente das emissões de substâncias.
DIRECTIVA Nº 50 - CE de 21 de maio de 2008	2008	Comunidade Européia	Qualidade do Ar	Relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa (incluindo compostos orgânicos voláteis).
LEI Nº 34 de 15 de novembro de 2007	2007	Espanha	Qualidade do Ar	Dispõe sobre a qualidade do ar e proteção da atmosfera. Considera a produção de estireno e derivados como atividades potencialmente poluidoras do ar.
RESOLUÇÃO Nº 1499 de 14 de janeiro de 2008	2008	Espanha	Qualidade do Ar	Prevenção da poluição e mudança climática, limites nacionais de emissão para NH3, SOX e NOX e COV - poluentes atmosférico.
LEI Nº 8143181421 de 16 de dezembro de 1985	1985	Suíça	Qualidade do Ar	Lei sobre a ação do ar limpo.
DECRETO Nº 003 de 21 de agosto de 2008	2008	Peru	Qualidade do Ar	Dispõe sobre as Normas de Qualidade Ambiental do Ar, incluindo valores limites para emissão de compostos orgânicos voláteis.
DECRETO Nº 638 de 26 de abril de 1995	1995	Venezuela	Qualidade do Ar	Padrões de qualidade do ar e controle da poluição do ar (incluindo compostos orgânicos voláteis).
PORTARIA de 12 de julho de 1999	1999	Alemanha	Solo	Proteção Federal dos Solos e embalagens contaminadas. Define critérios para investigação e avaliação da contaminação no solo.
Interim Canadian Environmental Quality Criteria for Contaminated Sites	1991	Canadá	Solo e Água	Crítérios de qualidade ambiental canadenses provisórios para avaliação e remediação de áreas contaminadas
Recommended Canadian Soil Quality Guidelines	1997	Canadá	Solo	Directrizes canadenses recomendadas da qualidade do solo
PN 1040 Canadian Water Quality Guidelines (1987-1997)	1997	Canadá	Água	Directrizes canadenses da qualidade de água do PN 1040 (1987-1997)
CCME Canadian Water Quality Guidelines	2008	Canadá	Água	Orientações referentes à qualidade da água
Canadian Environmental Quality Guidelines	2003	Canadá	Sedimento	Padrões para proteção de fauna e flora aquáticas
U.S.EPA - Occupational Safety and Health Administration (OSHA)	1993	EUA	Ar	Estabelece os limites de concentração de contaminantes no ar
U.S.EPA - Clean Water Act	1990	EUA	Água	Estabelece os limites de concentração de contaminantes na água. Lei da Água Limpa
Notification of National Environmental Board No. 25, B.E.	2004	Tailândia	Solo	Estabelece o Padrão de Qualidade do Solo
Lista Holandesa de Valores	1999	Holanda	solo e da água subterrânea	Lista holandesa de valores de qualidade do solo e da água subterrânea
<b>TÍTULO</b>	<b>ANO</b>	<b>ÂMBITO</b>	<b>ASSUNTO</b>	<b>RESUMO</b>
<b>Legislação Nacional</b>				
MINISTÉRIO DA SAÚDE PORTARIA N.º 518	2004	Federal	Água	Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.
Resolução CONAMA n° 357	2005	Federal	Água	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
CETESB - Relatório de estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo	2001	Estadual	solo e da água subterrânea	publicação contemplando uma lista de valores orientadores para proteção da qualidade de solos e das águas subterrâneas
Resolução CONAMA n° 420	2009	Federal	Solo	Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

**Tabela 4:** Valores de referencia para o estireno.

TÍTULO	ANO	LOCALIDADE	ASSUNTO	VALORES DE REFERÊNCIA
<b>Legislação Internacional</b>				
PORTARIA de 12 de julho de 1999	1999	Alemanha	Solo	20 µg.l
Interim Canadian Environmental Quality Criteria for Contaminated Sites	1991	Canadá	Solo e Água	0,1 µg/g / 0,5 µg/l
U.S.EPA - Occupational Safety and Health Administration (OSHA)	1993	EUA	Ar	600 ppm
Notification of National Environmental Board No. 25, B.E.	2004	Tailândia	Solo	1,7 mg.kg
Lista Holandesa de Valores	1999	Holanda	solo e da água subterrânea	0,02 mg.kg <sup>-1</sup> (solo com 0% de argila e matéria organica); 0,1 mg.kg <sup>-1</sup> (solo com 25% de argila e 10% de matéria organica) e 0,5 mg.l <sup>-1</sup> (águas subterrâneas)
<b>Legislação Nacional</b>				
MINISTÉRIO DA SAÚDE PORTARIA N.º 518	2004	Federal	Água	20 µg.L
Resolução CONAMA n° 357	2005	Federal	Água	0,02 mg/L
CETESB - Relatório de estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo	2001	Estadual	solo e da água subterrânea	0,05 mg.kg <sup>-1</sup> / 20 µg.l <sup>-1</sup>
Resolução CONAMA n° 420	2009	Federal	Solo	0,2 mg.kg <sup>-1</sup> / 20 µg.l <sup>-1</sup>

#### 4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para avaliar a contaminação ambiental por monômeros de estireno nos resíduos industriais, compartimentos ambientais e sistemas biológicos adotou-se o método de pesquisa descritiva exploratória, não-probabilística, através da caracterização de aspectos do processo industrial e investigação dos possíveis impactos associados à presença do estireno no ambiente.

Foram realizadas seis campanhas para amostragem de resíduos industriais sólidos e líquidos, águas superficiais e sedimento nos rios Itapicuru e Salitre, solo e biota aquática. As campanhas foram realizadas nos meses de junho e setembro de 2008 e, fevereiro, março, junho e agosto de 2009.



#### **4.1. Área de Estudo**

A escolha da área de estudo considerou a localização das empresas do segmento de rochas ornamentais, mais precisamente de beneficiamento do mármore Bege Bahia. Os empreendimentos estão organizados sob a forma de um arranjo produtivo local, estando presente no município de Ourolândia a maior concentração de empresas de extração e beneficiamento. Além da presença das empresas de beneficiamento, a contribuição de afluentes dos rios Salitre e Itapicuru, bem como as fragilidades ambientais características do semi-árido nordestino, foram aspectos determinantes para a delimitação da área de estudo.

##### **4.1.1. Características ambientais da região de ocorrência do Bege Bahia**

As principais jazidas e ocorrências de mármore Bege Bahia se distribuem no semi-árido do território baiano, ao longo do Vale do Salitre, tendo no município de Ourolândia, localizado na região conhecida como Piemonte da Chapada Diamantina, aproximadamente 90% de suas reservas, com uma produção total na ordem de 1.500 metros cúbicos mensais, representando aproximadamente 75% da produção dos pontos cadastrados do mármore (Ribeiro, 2002; Spínola et al, 2004).

As pedreiras e unidades de beneficiamento do mármore Bege empreendimentos que compõem o Arranjo Produtivo de Rochas Ornamentais estão localizados nos municípios de Ourolândia e Jacobina, sendo a presença da matéria-prima um fator determinante para a localização dessas empresas, no intuito de reduzir os custos com transporte do material bruto das pedreiras até as unidades de beneficiamento (Ribeiro, 2002).

##### Município de Ourolândia

O município de Ourolândia possui 16.302 habitantes com uma área de 1.276 km<sup>2</sup> localizada no semi-árido nordestino, apresentando clima característico dessa região (Tabela 5). Segundo dados da SEI/BA (Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia), a economia do município baseia-se na agricultura (pequenas propriedades com produção de gêneros alimentícios e extrativismo de Sical ou Agave) e na indústria de mineração (extração e beneficiamento de blocos de granito e rochas calcárias), com a presença de pequenos comércios (alimentos, farmácias, bares, oficinas de automotores) (SEI/BA 2009).

**Tabela 5:** Tipologia climática do município de Ourolândia.

Tipo de clima	Temperatura média (°C)	Amplitude térmica (°C)	Precipitação média (mm)	Evapotranspiração real (mm)	Índice de aridez (%)
Árido	23,5 – 27,1	7,8 – 13,6	300 – 500	300 – 537	67 – 79
Semi-árido	20,7 – 26,8	7 - 15	500 – 800	339 - 916	30 - 66

Fonte: INMET 1992

Com dados organizados pela CNM (Confederação Nacional dos Municípios) e gerados pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), observa-se que apenas 30% de sua população reside na área urbana, indo de encontro a tendência nacional, caracterizada pelo êxodo rural. Todos os índices que indicam o desenvolvimento social e econômico do município revelam sua colocação no ranking entre os municípios com pior desempenho em todo o do estado da Bahia. Segundo dados da SEI/BA do ano de 2000 os índices que indicam o desenvolvimento econômico, social, infra-estrutura, produto municipal, qualificação de mão-de-obra, nível de educação e serviços básicos do município de Ourolândia estão todos dispostos num ranking variando entre 191 e 353. Diante disso pode-se afirmar que as condições de vida no município não oferecem a qualidade ideal aos moradores.

#### Município de Jacobina

O município de Jacobina está localizado no extremo norte da Chapada Diamantina, apresentando em sua área de abrangência serras, morros, lagos, rios e cachoeiras. O destaque do relevo é a Serra de Jacobina, com as baixadas e patamares adjacentes, cortados pela drenagem representada pelos rios Canavieira, do Ouro, Itapicuru-Mirim e Cochó, pertencentes à bacia hidrográfica do Itapicuru (CPRM, 2005).

O clima local é característico do semi-árido, definido como sendo tropical sub-úmido a seco (Tabela 6), com chuvas de verão e estação seca no inverno (INMET, 1992). A vegetação característica do município é do tipo caatinga fechada, com ocorrência de Floresta Estacional e Floresta Estacional Semidecidual.

**Tabela 6:** Tipologia climática do município de Jacobina.

Tipo de clima	Temperatura média (°C)	Amplitude térmica (°C)	Precipitação média (mm)	Evapotranspiração real (mm)	Índice de aridez (%)
Semi-árido	20,7 – 26,8	7 – 15	500 – 800	339 - 916	30 – 66

Fonte: INMET, 1992

Jacobina apresenta uma área de 2.320 km<sup>2</sup> e população estimada em 76.492 habitantes, sendo 52.088 residentes na zona urbana e 24.404 na zona rural, o que representa uma densidade demográfica de 32,84 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2009).

A principal atividade econômica do município é a agricultura destinada, principalmente, à produção de alimentos, destacando-se como principal produtor baiano de batata doce (IBGE, 2009). O município possui 451 indústrias e 3.675 estabelecimentos comerciais. No setor de bens minerais, é produtor de arenito, argila, calcita, cromo, mármore e ouro (CPRM, 2005). O comércio e a indústria de transformação possuem o maior número de estabelecimentos, sendo 1.383 e 126 respectivamente, onde as empresas ligadas ao ramo da mineração estão entre os maiores empreendimentos do município e apresentam os maiores lucros e investimentos (IBGE, 2009).

Segundo dados do IBGE de 2001, há no município de Jacobina cerca de 11.650 habitantes com 10 (dez) anos de idade ou mais que não completou os estudos. O rendimento médio é de R\$323,53 sendo que existem 26.326 habitantes sem renda fixa (IBGE, 2009). Esses dados refletem a baixa instrução dos moradores e uma discrepância na distribuição da renda municipal, que traz implicações na baixa qualidade da força de trabalho.

De acordo dados organizados pela CNM (Confederação Nacional dos Municípios) e gerados pelo IBGE, Jacobina conta com 68% de sua população vivendo na área urbana, sendo que desse total 73,69% conta com rede geral de abastecimento de água. A rede de esgoto sanitário atende somente 39,29% dos domicílios, sendo que 36% do total possuem fossas (séptica ou rudimentar) e o restante despeja diretamente em rios e/ou lagos. Dos quase 76 mil habitantes de Jacobina somente 29 mil conta com rede geral de esgotamento sanitário em suas residências. Em relação à coleta de lixo, somente 60% dos domicílios são atendidos pelo serviço de coleta pública. Observam-se problemas na infra-estrutura urbana e rural do município, havendo entre a população déficit em atendimentos públicos necessários a vida social humana.

#### Bacia Hidrográfica do rio Salitre

A bacia do rio Salitre está totalmente inserida no polígono das secas e em território baiano, possuindo uma área de drenagem de 13.467,93 km<sup>2</sup>. O rio Salitre é um tributário do rio São Francisco, e segundo o Plano de Gerenciamento Integrado da Bacia do Rio Salitre –

PLANGIS trata-se de uma região de conflitos no que se refere aos recursos hídricos (ANA/GEF/PNUMA/OEA/UFBA, 2002).

A geomorfologia da Bacia do Rio Salitre é caracterizada pela presença de regiões de acumulação com planícies resultantes da deposição de sedimentos em depressões preenchidas por aportes fluviais e por decantação em águas estagnadas (Guerra e Guerra, 2006). Há ainda a ocorrência de planaltos kártiscos cobertos por material argiloso e resíduo das rochas calcárias sobre estes.

O rio Salitre é um rio inseqüente<sup>1</sup> e intermitente<sup>2</sup> em toda sua extensão, com alguns trechos barrados para abastecimento doméstico e uso na agricultura. A bacia possui perímetro de 640 km, sendo que 100% de sua área estão inseridas no polígono da secas, onde as médias de precipitações anuais são da ordem de 500 mm. Segundo dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) o trimestre de maior estiagem ocorre entre julho e setembro, inviável para início da prática de irrigação, enquanto que o trimestre mais chuvoso vai de janeiro a março, configurando na bacia dois períodos distintos. O mês de março tem a maior precipitação média (99,75mm), enquanto que agosto tem a menor (9,72mm).

Na região predominam solos originários do granito, gnaisses, siltito e calcário com excelente permeabilidade e aeração (Christofolletti, 1980). Esses tipos de solos são resistentes a processos erosivos, sendo indicados para implantação de atividades agrícolas, porém, em algumas áreas, principalmente na parte ocidental da bacia o solo apresenta pouca fertilidade natural (Christofolletti, 1980). A caatinga é a vegetação dominante, com duas sub-formações: arbórea densa nas baixadas do rio Salitre e arbórea aberta encontrada em toda a extensão da bacia.

#### Bacia Hidrográfica do rio Itapicuru

A bacia do rio Itapicuru está totalmente inserida no estado da Bahia com uma área de 36.440 km<sup>2</sup>, situada na porção nordeste. Os principais usos da água da bacia são o abastecimento

---

<sup>1</sup> Quando não há nenhuma razão aparente para seguirem uma orientação geral preestabelecida, isto é, quando nenhum controle da estrutura geológica, se torna visível na disposição espacial da drenagem.

<sup>2</sup> Aquele que apenas possui água durante o período das chuvas (ou das "cheias"), normalmente no inverno, e durante o período de estiagem (período das "secas"), normalmente no verão, o rio desaparece temporariamente.

urbano e rural, irrigação, dessedentação de animais, aqüicultura, mineração/garimpo, pesca, lazer/turismo e abastecimento industrial.

De acordo com o Plano Diretor de Recursos Hídricos da bacia do rio Itapicuru (BAHIA, 1995) e a Superintendência de Recursos Hídricos (atual INGA – Instituto de Gerenciamento das Águas e Clima) as características litológicas dos terrenos de tabuleiros costeiros, associadas ao clima úmido e chuvoso do litoral, fazem com que sejam constantes nas encostas os movimentos de massa do tipo deslizamento e escorregamento, sobretudo em áreas onde houve remoção de vegetação nativa. O regime do curso principal é perene, com vários tributários intermitentes (BAHIA, 1995).

A bacia está inserida dentro de duas tipologias climáticas: semi-árido e tropical úmido, com vegetação típica de caatinga predominante ao longo de toda a bacia e, apresentado também áreas de cerrado e florestas estacionais nas Serras e Maciços Residuais e nos vales do rio Itapicuru. Segundo estações pluviométricas operadas pela ANA (Agência Nacional das Águas) verifica-se a presença de três grandes trechos característicos: baixo, com precipitações variando entre 700-1.400 mm com o trimestre mais chuvoso entre maio e julho; médio, com precipitações variando entre 411-718 mm o que caracteriza esta região como seca; e alto Itapicuru, com precipitações variando entre 600-1.100 mm com o trimestre mais chuvoso entre janeiro e março (ANA/GEF/PNUMA/OEA/UFBA, 2002).

#### **4.1.2. Rede Amostral**

A rede amostral definida para avaliar a contaminação por estireno no ambiente envolveu coleta de amostras de resíduos industriais (sólidos e líquidos) e de material particulado em empresas do segmento de rochas ornamentais (extração e beneficiamento), como também, a amostragem nos compartimentos ambientais (água superficial, sedimento e solo) e no biota aquática.

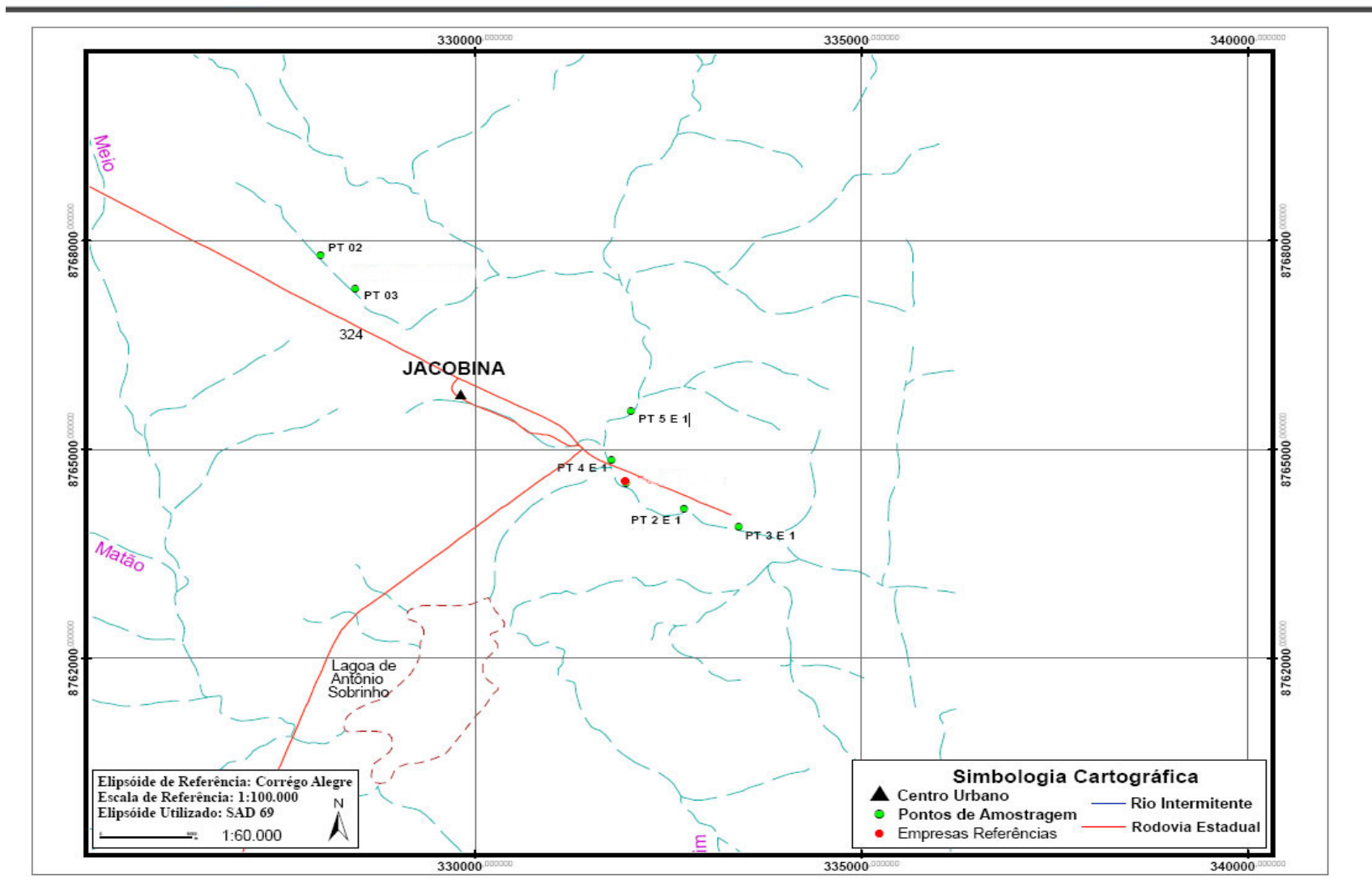
As empresas escolhidas para compor a rede amostral, desenvolvem atividades de extração dos blocos (empresa 04), beneficiamento envolvendo a serragem e polimento de chapas (empresas 01, 02, 03) e marmorarias para o acabamento final (empresa 01).

A proximidade entre as fontes industriais de lançamento do estireno e os compartimentos ambientais, foram critérios adotados para escolha dos pontos amostrais. Para a coleta de amostras de água superficial, além do critério de localização, foi considerada a presença de água nos trechos intermitentes dos rios Salitre e Itapicuru. Os pontos de coleta e as matrizes

definidas para a amostragem estão apresentados figuras 12 e 13 e nos mapas de localização em anexo (anexos 2 e 3). O quadro apresentado a seguir apresenta a descrição dos pontos de amostragem, contemplando os códigos, coordenadas e períodos de coleta.

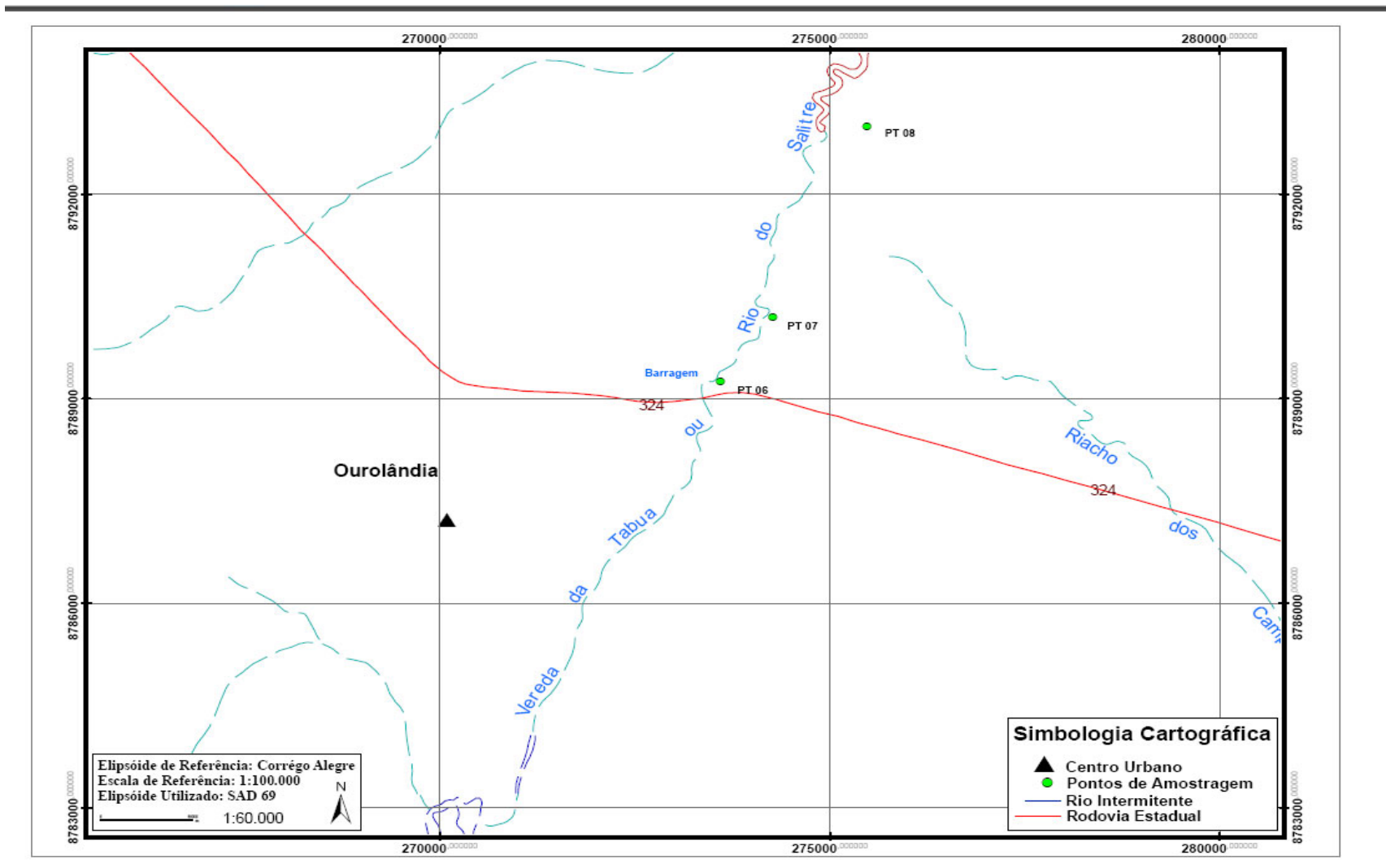
**Quadro 3: Rede de Amostragem.**

MATRIZ	CÓDIGO DO PONTO AMOSTRAL	DESCRIÇÃO DO PONTO AMOSTRAL	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	PERÍODO DE COLETA
Resíduo Industrial Sólido (lama abrasiva/pó de mármore)	Empresa 01 - Serraria	Área destinada a serragem dos blocos de mármore da empresa, localizada na área urbana do município de Jacobina.	11,17164S 40,53920W	Junho/2008
	Empresa 01 Polimento	Área destinada ao polimento das chapas de mármore da empresa, localizada na área urbana do município de Jacobina.	11,17164S 40,53920W	Junho/2008
	Empresa 02 Polimento	Área destinada ao polimento das chapas de mármore da empresa, localizada na área rural entre os municípios de Jacobina e Ouro-lândia.	11,030225S 40,76963064W	Junho/2008 e Setembro/2008
	Empresa 03 Serraria	Área destinada ao polimento das chapas de mármore da empresa (pedreira), localizada na área rural do município de Ouro-lândia.	10,97086177S 40,96838661W	Junho/2008
	Empresa 04 Extração	Área destinada a extração de blocos de mármore da empresa (pedreira), localizada na área rural do município de Ouro-lândia.	10,96455227S 41,03490678W	Setembro/2008
	Empresa 01 - R1, R2 e R3	Área de bota fora da empresa de beneficiamento, localizada na área urbana do município de Jacobina.	11, 17159S 40,53929'W	Março/2009
	Empresa 02 - R1, R2 e R3	Área de bota fora da empresa de beneficiamento, localizada na área rural entre os municípios de Jacobina e Ouro-lândia.	11,030225S 40,76963064W	Agosto/2009
Efluente Líquido	Empresa 01	Empresa de beneficiamento de rochas ornamentais localizada na área urbana do município de Jacobina.	11,17159 S 40,53929 W	Junho/2008; Junho/2009 e Agosto/2009
	Empresa 02	Empresa de beneficiamento de rochas ornamentais localizada na área rural entre os municípios de Jacobina e Ouro-lândia.	11,030225S 40,76963064W	Junho/2008; Junho/2009 e Agosto/2009
Material Particulado	PT 01 Empresa	Área destinada ao polimento das chapas de mármore da empresa, localizada na área urbana do município de Jacobina.	11,17164S 40,53920W	Março/2009
	PT 02 Montante Empresa	À montante da empresa - Hotel Serra do Ouro	11,17669S 40,51189W	
	PT 03 Jusante Empresa	À jusante da empresa - Hotel Serra do Ouro	11,16936S 40,53896W	
Água Superficial e sedimento	PT 01 - Empresa 1	Afluente do rio Itapicuru - Captação de água localizada na área industrial da empresa 01, localizada em Jacobina	11,17159'S 40,53929W	Fevereiro/2009; Junho/2009 e agosto/2009
	PT 02 Montante empresa 1 (100m)	Afluente do rio Itapicuru - 100 m à montante da empresa 01	11,16992 S 40,54108 W	
	PT 03 Montante empresa 1 (200m)	Afluente do rio Itapicuru - 200 m à montante da empresa 01	11,16350 S 40,53869 W	
	PT 04 Jusante empresa 1 (100m)	Afluente do rio Itapicuru - 100 m à jusante da empresa 01	11,17584S 40,48187 W	
	PT 05 Jusante empresa 1 (200m)	Afluente do rio Itapicuru - 200 m à jusante da empresa 01	11,17594 S 40,48193 W	
	PT 06 Barragem Ouro-lândia	Rio Salitre - Barragem de Ouro-lândia (ponte)	10,97598 S 41,08604 W	
	PT 07 Montante à Barragem	Rio Salitre - 200 m à montante da Barragem de Ouro-lândia	10,98083 S 41,08833 W	
	PT 08 Poço Verde	Rio Salitre - Poço Verde	11,00243 S 41,07595 W	
Solo	Empresa 01	Área industrial da empresa 01, localizada na área urbana do município de Jacobina.	11,17159S 40,53929W	Junho/2008
	Empresa 01 - S1, S2 e S3	Área de bota fora da empresa de beneficiamento, localizada na área urbana do município de Jacobina.	11,17159S 40,53929W	Março/2009 e Agosto/2009
	Empresa 02	Área industrial da empresa 02, localizada na zona rural entre os municípios de Jacobina e Ouro-lândia.	11,030225S 40,76963064W	Junho/2008 e Junho/2009
	Empresa 02 - S1, S2 e S3	Área de bota fora da empresa de beneficiamento, localizada na área rural entre os municípios de Jacobina e Ouro-lândia.	11,030225S 40,76963064W	Março/2009 e Agosto/2009
Biota	PT 01	Rio Salitre - Barragem de Ouro-lândia (ponte)	10,97598 S 41,08604 W	Junho/2009



**Figura 12:** Rede amostral em Jacobina-Ba.  
 Produzido por: Bittencourt, 2010.





**Figura 13:** Rede amostral em Ourolândia-Ba.  
*Produzido por:* Bittencourt, 2010.

## 4.2. Métodos de amostragem

Para avaliar a contaminação por estireno nos resíduos industriais e no ambiente, foram coletadas amostras de lama abrasiva/pó de mármore, efluente líquido e material particulado e, para determinação da contaminação e dissipação nos compartimentos ambientais, amostras de água superficial, sedimento, solo e organismos aquáticos (peixes).

### 4.2.1. Amostragem do resíduo sólido

Amostras de resíduos industriais foram coletadas nos meses de junho e setembro de 2008 e, março junho e agosto de 2009, nas áreas industriais destinadas à disposição denominada de “bota-fora” de duas empresas do segmento de rochas ornamentais (Figura 20), localizadas nos municípios de Jacobina e Ourorândia. Os procedimentos de amostragem e condicionamento adotados para a coleta de resíduos sólidos seguiram os critérios especificados na Norma Brasileira para Amostragem de Resíduos Sólidos ABNT NBR 10.007:2004.



**Figura 14:** Amostragem de Resíduos sólidos gerados no processo de beneficiamento do mármore Bege. Foto: Calhau, 2008.

Para avaliar a possível contaminação do ambiente por estireno através da lixiviação do resíduo sólido, foram também realizados ensaios para determinação desse hidrocarboneto no material lixiviado obtido através de procedimento definido na NBR 10005 (1987).

### 4.2.2. Amostragem de efluente líquido

No que se refere à amostragem de efluente líquido industrial, foram coletadas amostras em tanques de decantação localizados nas empresas de beneficiamento (Figura 15), em

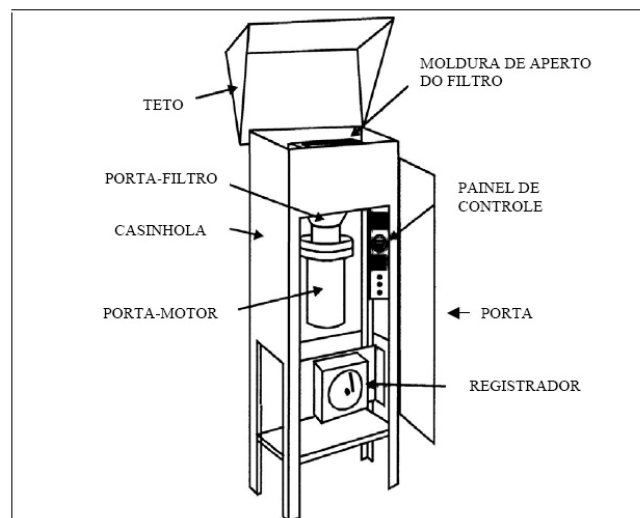
campanhas realizadas nos meses de junho de 2008 e, março, junho e agosto de 2009. As amostras obtidas foram coletadas e acondicionadas conforme especificado por CETESB (1988), que trata das técnicas de amostragem de amostras líquidas.



**Figura 15:** Amostragem de efluentes líquidos gerados no processo de beneficiamento do mármore Bege. Foto: Calhau, 2008.

#### 4.2.3. Amostragem de material particulado

A amostragem do material particulado atmosférico seguiu a metodologia estabelecida pela Norma ABNT/NBR 9547 de 1997 que determina a concentração total o material particulado em suspensão no ar ambiente, utilizando o método do Amostrador de Grande Volume (AVG) (Figura 16).



**Figura 16:** Amostrador de Grandes Volumes (AVG).  
*Fonte:* ENERGÉTICA, 2001.

Foram coletadas amostras de material particulado emitidos nas etapas de acabamento, no processo industrial de uma marmoraria, localizada no município de Jacobina. Para a amostragem foi utilizado o Amostrador de Grandes Volumes – AGV (Hi-Vol) (Figuras 16 e 17), cujo princípio se baseia na aspiração de determinada quantidade de ar ambiente através de um filtro, durante o período de 24h (ENERGÉRTICA, 2009). O ar ambiente é succionado para o interior de um abrigo onde passa por um filtro de fibra de vidro, que retém as partículas em suspensão com diâmetros inferiores a 100micra (diâmetro equivalente de Stokes). Partículas com diâmetro na faixa de 0,1 a 100micra são coletados em um filtro específico, com eficiência mínima de 99% para coleta de partículas FDO (Fdalato de Dioctil) de 0,3 $\mu$ m. A vazão imprimida pelo aparelho e a geometria de entrada do equipamento favorecem a coleta de partículas de até 25-50  $\mu$ m (diâmetro aerodinâmico), de acordo a velocidade e direção do vento (ENERGÉRTICA, 2009).

Após calibração visando a compatibilização dos dados de saída do instrumento e os dados de entrada de um conhecido padrão de referência, o volume de ar amostrado e corrigido para as condições padrões (25°C, 760 mmHg) é determinado a partir da vazão medida e o tempo de duração da amostragem (ver Procedimento de Calibração e Operação do AVG, anexo 4). A relação entre a massa de material particulado retida no filtro e a vazão registrada na carta do amostrador resulta na concentração de partículas na atmosfera, expressa em  $\mu$ g/m<sup>3</sup>. O peso do material particulado retido nos filtros é calculado pela diferença entre as pesagens dos filtros antes e após as coletas, em balança analítica de alta precisão previamente calibrada e nivelada (ENERGÉRTICA, 2009).

O volume de ar deslocado através dos filtros durante a coleta é calculado integrando-se as curvas de vazão registradas nas cartas gráficas ao longo do tempo das coletas e na deflexão do registrador. Após a avaliação das deflexões registradas e calculadas a inclinação da reta e a intersecção que a mesma realiza com o eixo y no processo de regressão linear, procedem-se ao cálculo das vazões de ar descolado através dos filtros. O coeficiente de correlação calculado para estabelecer a eficiência da calibração realizada, é também estabelecido após o processo de determinação da inclinação e intersecção da reta, que não poderá ser menor que 0,997 (ENERGÉRTICA, 2009).



**Figura 17:** Amostragem de material particulado gerados no processo de beneficiamento do mármore Bege. Foto: Calhau, 2008.

### Cálculo da Concentração de Partículas Totais em Suspensão (PTS)

Para a obtenção do cálculo da concentração de PTS, se faz necessário a obtenção da massa de material particulado (MP) coletado, da vazão média e do volume de ar amostrado, utilizando-se para isso a técnica da gravimetria (ENERGÉTICA, 2009).

De acordo Manual de Calibração do equipamento, a massa de material particulado retido no filtro foi calculada pela diferença entre as pesagens do filtro antes e após a coleta, com a aproximação de miligramas (ENERGÉTICA, 2009). A vazão média de ar amostrado pelo Hi-Vol (com registrador contínuo de vazão) durante o período de amostragem foi obtida graficamente através da curva de calibração do amostrador ou pelo cálculo através da equação de regressão abaixo:

$$Q = 1/a_2 \left[ \sqrt{D (P_3/T_3) (T_p/P_p)} - b_2 \right]$$

onde:

D = deflexão média obtida da leitura na carta para o intervalo considerado.

P<sub>3</sub> = pressão barométrica média durante a amostragem (em mmHg).

P<sub>p</sub> = 760mmHg.

T<sub>p</sub> = 298K.

T<sub>3</sub> = temperatura ambiente média durante a amostragem (em K).

a<sub>2</sub> = inclinação da reta de calibração do amostrador.

b<sub>2</sub> = interseção da reta de calibração do amostrador.

O volume de ar amostrado é calculado pela expressão:

$$V = Q \times t$$

onde:

V = volume total de ar amostrado, em condições padrão (em m<sup>3</sup>).

Q = vazão média (real), em condições padrão (em m<sup>3</sup>/min).

t = tempo de amostragem (em minutos).

A partir do peso do material particulado retido no filtro e do volume total do ar que passou no filtro, calcula-se a concentração do particulado (em microgramas por m<sup>3</sup> padrão), dividindo o primeiro valor pelo segundo, ou seja:

$$PTS = \frac{(M_f - M_i) \times 10^6}{V_p}$$

Onde:

PTS = concentração (massa) de material particulado total em suspensão para condições-padrão (em µg/m<sup>3</sup>-padrão).

Mf = peso final do filtro (em g).

Mi = peso inicial do filtro (em g).

V<sub>p</sub> = volume de ar amostrado para condições padrão (em m<sup>3</sup>-padrão).

10<sup>6</sup> = conversão de g para µg.

#### 4.2.4. Amostragem de água superficial

Foram coletadas amostras de água superficial e sedimento em 10 (dez) pontos situados à montante e jusante das empresas de beneficiamento de mármore, envolvendo os municípios de Jacobina e Ourolândia (Figura 18). A escolha dos pontos de amostragem considerou as distâncias requeridas para a mistura adequada dos lançamentos industriais no corpo receptor e o grau de assimilação e dispersão ao longo do trecho em estudo. Foram realizadas três campanhas de amostragem, sendo uma na estação seca (fevereiro de 2009) e duas na estação chuvosa (junho e agosto de 2009). As amostras obtidas foram coletadas e acondicionadas de acordo especificação da Norma Brasileira de Preservação e amostragem de corpos receptores ABNT NBR 9.898:1987 e critérios adotados por CETESB (1988).



**Figura 18:** Esquerda: frasco utilizado para coleta de água superficial. Direita: ponto de amostragem situado na Barragem de Ourolândia. Foto: Calhau, 2008.

#### 4.2.5. Amostragem de solo e sedimento

A coleta das amostras de solo e sedimento seguiu a metodologia adotada por CETESB (2008), que orienta para obtenção de amostras superficiais com profundidade máxima de 1,50 metros (Figura 19 e 21). Inicialmente foram escolhidos três pontos aleatórios de amostragem localizados na área de disposição do resíduo pó de mármore (“bota-fora”) (Figura 20).



**Figura 19:** Esquerda: amostragem de solo. Direita: Draga de Van Veen. Foto: Calhau, 2008.

Foram coletadas amostras de sedimento, nos mesmos pontos de amostragem de água superficial, localizados nos rios Salitre e Itapicuru.

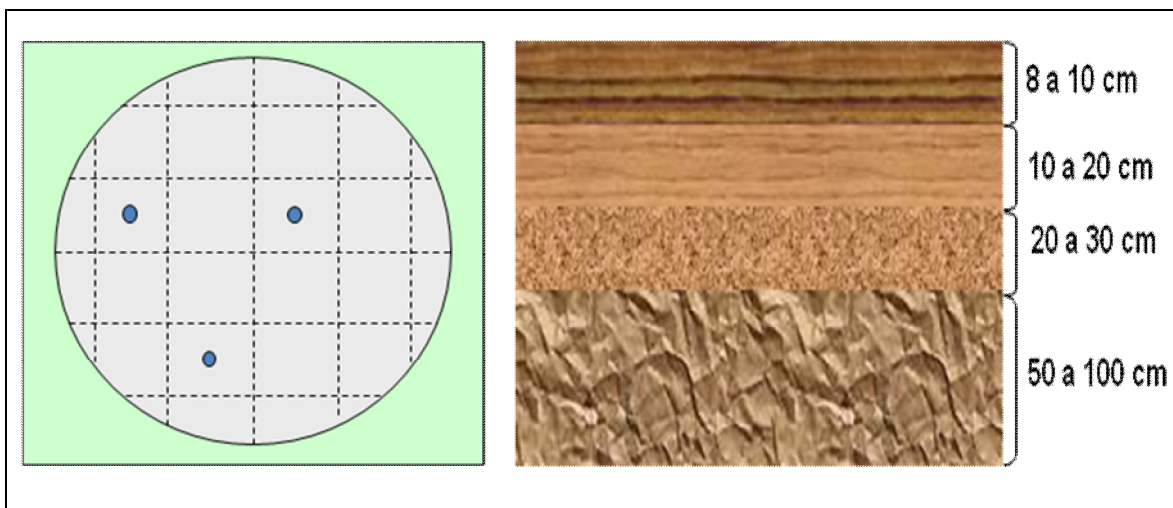
Amostras de solo foram coletadas para a caracterização pedológica da área de estudo, através da análise de granulometria, teor de matéria orgânica e da concentração de cálcio e magnésio, bem como, para a avaliação da contaminação por estireno na área de “bota-fora” das empresas de beneficiamento.



**Figura 20:** Esquerda: Área do “bota-fora” da empresa 1. Direita: Área do “bota-fora” da empresa 2 Foto: Calhau, 2008.

Com o objetivo de avaliar a possível contaminação do solo por lixiviação do resíduo, foram removidas inicialmente amostras de resíduos e, em seguida, de solo nas profundidades de 8 a 10 cm, 10 a 20 cm e de 20 a 30 cm da superfície (Figura 21). As amostras simples foram coletadas com uma pá de aço inoxidável e transferidas imediatamente para os frascos de coleta do tipo “Vial”, sendo mantido sob refrigeração a  $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$  e utilizando isopor e gelo para conservação até a chegada no laboratório.

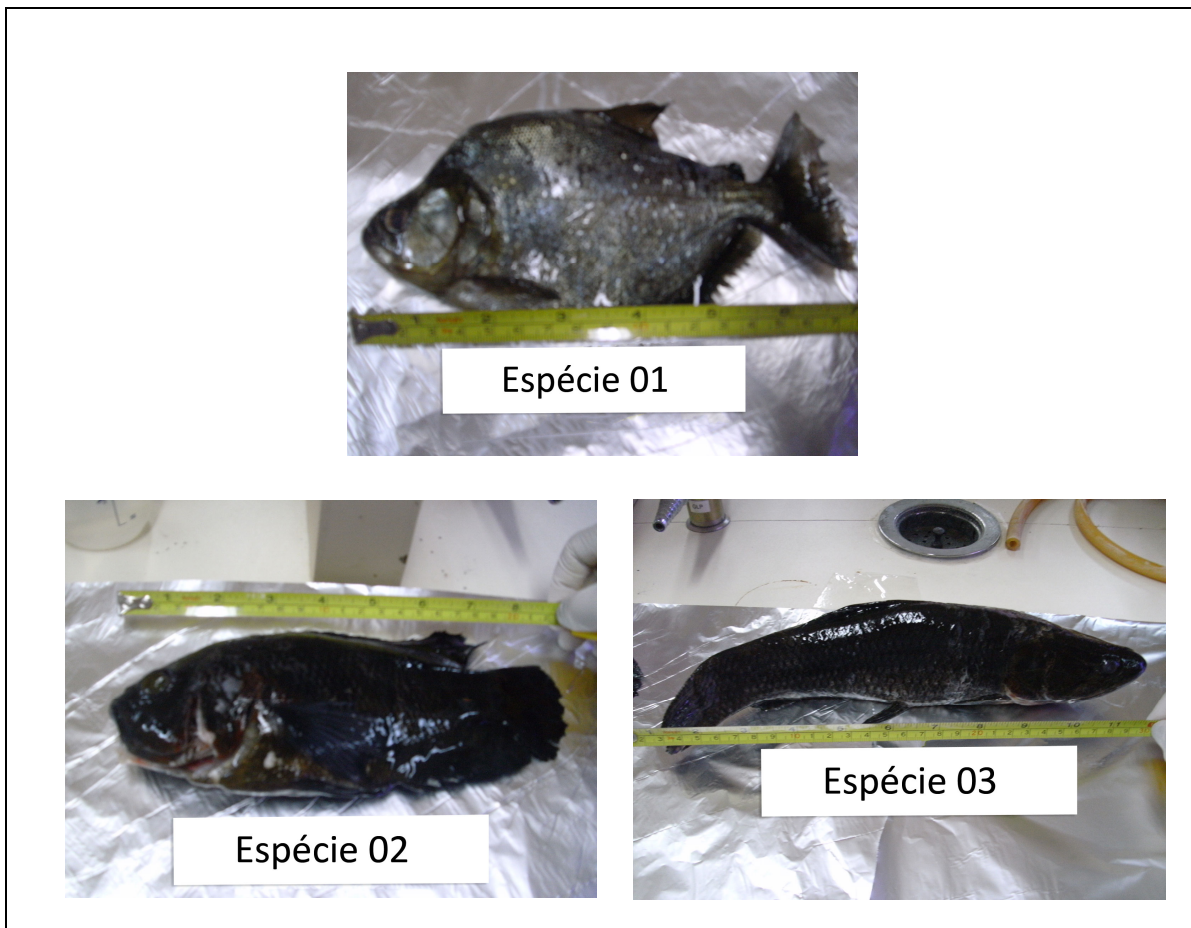




**Figura 21:** Esquerda: Malha amostral para amostragem de solo. Direita: Procedimento para amostragem de solo em diferentes profundidades.

#### 4.2.6. Amostragem do biota

Foram coletadas na Barragem de Ouroândia, amostras de três espécies de peixes com significativa importância comercial (Figura 18), utilizando uma rede de pesca, em um esforço amostral de 5 horas. Após a captura, os peixes foram separados em função da espécie e mantidos sob refrigeração a  $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , utilizando isopor e gelo para conservação até a chegada no laboratório. As espécies coletadas estão apresentadas na figura 22 e no quadro 4, a seguir.



**Figura 22:** Espécies de peixe coletadas. Espécie 1 - *Serrasalmus brandti* (Piranha), espécie 2 - *Astronotus ocellatus* (Oscar ou Apanhari) e, espécie 3 - *Hoplias malabaricus* (Traíra). Foto: Calhau, 2008.

**Quadro 4:** Espécies de peixe coletadas.

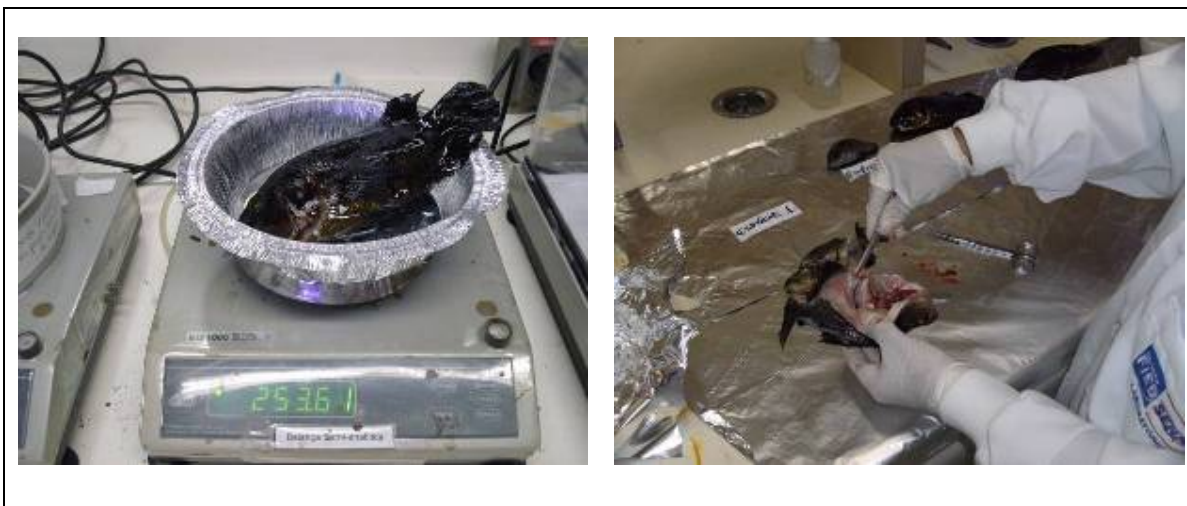
<b>Espécie</b>	<b>Nome vulgar</b>	<b>Habitat</b>	<b>Ecologia</b>
<i>Serrasalmus brandti</i> (Subfamília: Serrasalminae)	Piranha	Água doce, ambientes lânticos ou semi-lânticos. Presente na bacia do São Francisco	<ul style="list-style-type: none"><li>• Considerada espécie oportunista</li><li>• Alimentação: peixes, coleópteros, moluscos, odonatas, entre outros invertebrados.</li><li>• Reproduz durante um longo período do ano.</li></ul>
<i>Astronotus ocellatus</i>	Oscar ou Apanhari	Água doce, ambientes lânticos ou semi-lânticos. Presente na bacia do São Francisco.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Peixe ornamental</li><li>• Alimentação: insetos aquáticos e terrestres</li><li>• Pesca esportiva, alimentação humana, aquacultura</li></ul>
<i>Hoplias malabaricus</i>	Traíra	Vivem em águas paradas nas represas, lagoas e brejos em todo o Brasil.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Espécie altamente predadora e voraz</li><li>• Jovens alimentam-se de camarões e pequenos invertebrados, quando adultos inserem peixes em sua dieta.</li></ul>

Fonte: Peret (2004), Instituto Xingó (2003)

A preparação pré-análise envolveu a biometria dos indivíduos (tabela 7, Figura 23), seguida da dissecação e separação de vísceras e músculos, formando amostras distintas.

**Tabela 7:** Biometria dos peixes coletados.

<b>Espécie / Nome vulgar</b>	<b>Número de indivíduos coletados</b>	<b>Peso médio (g)</b>	<b>Comprimento médio (cm)</b>
<i>Serrasalmus brandti</i> (Piranha)	05	67,40	6
<i>Astronotus ocellatus</i> (Oscar ou Apanhari)	03	248,5	22
<i>Hoplias malabaricus</i> (Traíra)	05	420,0	30



**Figura 23:** Esquerda: Pesagem dos indivíduos coletados. Direita: Dissecção para separação e preparação de amostras de vísceras e músculos. Foto: Calhau, 2008.

#### **4.3. Método para determinação de compostos orgânicos voláteis – estireno.**

De acordo Luna (2003), para se obter sucesso nas determinações de substâncias orgânicas, em nível traço, presentes em amostras gasosas, líquidas ou sólidas, é necessário extraí-las seletivamente e usar uma etapa de pré-concentração antes da determinação propriamente dita. Um esquema completo para a determinação de substâncias orgânicas, em nível de traço, consiste geralmente de amostragem, extração, pré-concentração, pré-fracionamento e determinação por cromatografia gasosa (CG) ou cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (CG-EM).

A determinação do composto orgânico volátil estireno em amostras de água superficial e subterrânea, sedimento e solo se dá utilizando a técnica Cromatografia Gasosa Capilar acoplada a Espectrometria de Massas com Purge & Trap, tendo como documentos de referencia EPA METHOD 524.2 (1995) e 8260C (1996). A cromatografia trata-se de um vantajoso e moderno método de análise em virtude de sua facilidade de separar, identificar e quantificar os componentes de uma amostra; apresentar sensibilidade incomparável, podendo detectar  $10^{-12}$  g do analito de interesse, e ainda, atuar conjugada com outras técnicas instrumentais como a espectrometria de massa.

O método consiste em transferir um volume de 5 mL da amostra para o frasco borbulhador do concentrador (Purge & Trap) onde os compostos orgânicos voláteis são extraídos da amostra

por purga com gás inerte (Hélio), e adsorvidos em um tubo contendo material adsorvente (ver anexo 5). Segundo Luna (2003), para análise de traços de substâncias orgânicas no ar ou na água, a técnica de pré-concentração por coletor de sorção oferece uma combinação de amostragem e pré-concentração com reduzida manipulação da amostra, reduzindo os riscos de perdas por volatilização. Luna (2003) ainda defende as etapas de pré-concentração como especialmente importantes para amostras ambientais, uma vez que muitas substâncias orgânicas tóxicas ou carcinogênicas distribuídas no ambiente provêm de uma variedade de fontes e que devido a seus sérios efeitos, mesmo em nível traço, é preciso encontrar técnicas analíticas sensíveis para conhecer seu impacto ambiental.

Ao final da purga, o tubo adsorvente é aquecido rapidamente, dissolve os compostos retidos uma corrente gasosa e arrasta-os para dentro da coluna cromatográfica, onde ocorre a separação dos compostos orgânicos voláteis, os quais são detectados pelo detector de massas. A identificação e quantificação dos voláteis ocorrem através de comparações com os espectros de massas e tempos de retenção do padrão de calibração submetido à mesma condição de análise. A quantificação dos compostos é feita diretamente pelo software SATURN/ARCHON do equipamento. As calibrações são efetuadas visando obter os fatores de resposta relativa dos analitos com relação ao padrão interno.

Para análise das amostras sólidas, o procedimento incluiu a pesagem da massa, transferência do conteúdo para o “Vial”, onde foi inserida a “bagueta” e adicionado água. Em seguida, a amostra foi aquecida, agitada, para então iniciar a purga, seguindo o mesmo procedimento adotado na análise das amostras líquidas.

O descritivo do método de análise de adotado para determinação de compostos orgânicos voláteis em águas por PURGE & TRAP, incluindo a programação do método “Voláteis agua.mth” e as condições de análise do PURGE and TRAP e do ARCHON AUTO-SAMPLER, são apresentados no anexo 5.

Os Limites de Detecção do Método (LDM) calculado para as amostras de resíduos industriais e matrizes nos compartimentos ambientais estão apresentados na tabela a seguir.

**Tabela 8:** Limite de Detecção do Método (LDM) dos ensaios para determinação de estireno.

<b>Matriz</b>	<b>LDM</b>
Resíduo sólido	10 µg.kg
Efluente Líquido	0,1 µg.L
Material Particulado	10 µg.kg
Água superficial	0,1 µg.L
Sedimento	10 µg.kg
Solo	10 µg.kg
Biota	10 µg.kg

#### **4.4. Método para caracterização do solo**

Para caracterização do solo foram analisados o teor de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) através do método ASTM D5258/02 e, o teor de matéria orgânica e granulometria de acordo métodos desenvolvido pela EMBRAPA (1997).

**Tabela 9:** Limite de Detecção do Método (LDM) dos ensaios na matriz solo.

<b>Parâmetro</b>	<b>LDM</b>
Cálcio (Ca)	10 mg.kg <sup>-1</sup>
Magnésio (Mg)	15 mg.kg <sup>-1</sup>
Matéria Orgânica	0,05 %
Granulometria (silte)	0,1 %
Granulometria (argila)	0,1 %
Granulometria (areia)	0,1 %
Granulometria (areia muito grossa)	-
Granulometria (areia grossa)	-
Granulometria (areia média)	0,1 %
Granulometria (areia fina)	0,1 %
Granulometria (areia muito fina)	0,1 %

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados obtidos a partir das análises para determinação dos níveis de estireno em sua forma monomérica, apontam para a contaminação dos resíduos industriais em concentrações elevadas, bem como a contaminação das águas superficiais.

Em função da natureza química da resina poliéster, que apresenta em sua composição de 55 a 75% de mistura diluída com 25 a 45% de monômeros de estireno, a condução desse estudo buscou associar a contaminação ambiental por estireno a partir da determinação das concentrações em sua forma monomérica. Considerando que na formação de resinas epóxi a polimerização do estireno por adição confere a esses produtos característica de termoestabilidade proporcionando a utilização como adesivos (Allinger, 1978), torna-se possível a contaminação dos resíduos industriais por estireno na sua forma polimérica.

Segundo Almeida (2004) o estireno puro polimeriza até em temperatura ambiente, apesar de muito lentamente, ou ainda de forma mais acelerada, através de aquecimento do monômero. A alta reatividade da ligação dupla faz com que o estireno facilmente polimerize e copolimerize, mesmo em temperatura ambiente, porém mais rapidamente em temperaturas elevadas (Rueff, 2009). A Ficha de Informação de Produto Químico do estireno fornecido pela CETESB informa que a polimerização ocorre após aquecimento acima de 65,5°C (CETESB, 2008). As condições necessárias para a polimerização, bem como, a possível presença de estireno na forma polimérica na mistura que compõe a resina poliéster são indicativos da contaminação dos resíduos industriais e compartimentos ambientais também pela forma polimérica.

### **5.1. Concentração se estireno no resíduo industrial**

#### **5.1.1. Resíduos sólidos**

Na tabela abaixo são apresentados os resultados das análises para a identificação e quantificação de monômeros de estireno presentes no resíduo gerado no beneficiamento do mármore Bege Bahia.

**Tabela 10:** Resultado das análises para determinação da concentração de estireno no resíduo sólido (lama abrasiva).

Ensaio	Resultado	Unidade
Estireno - massa bruta	1,4 x 10 <sup>5</sup>	µg.kg <sup>-1</sup>
Estireno – lixiviado	4590	µg.L <sup>-1</sup>

A partir dos resultados apresentados, verificou-se alta concentração de estireno na massa bruta e no lixiviado. Embora a NBR 10004, que trata da classificação dos resíduos sólidos, não especifique limites para estireno e, considerando os resultados obtidos, podemos inferir que as altas concentrações de estireno presente no resíduo podem lixiviar para o ambiente em uma eventual disposição inadequada, podendo inclusive contaminar solo, corpos d'água e sedimento.

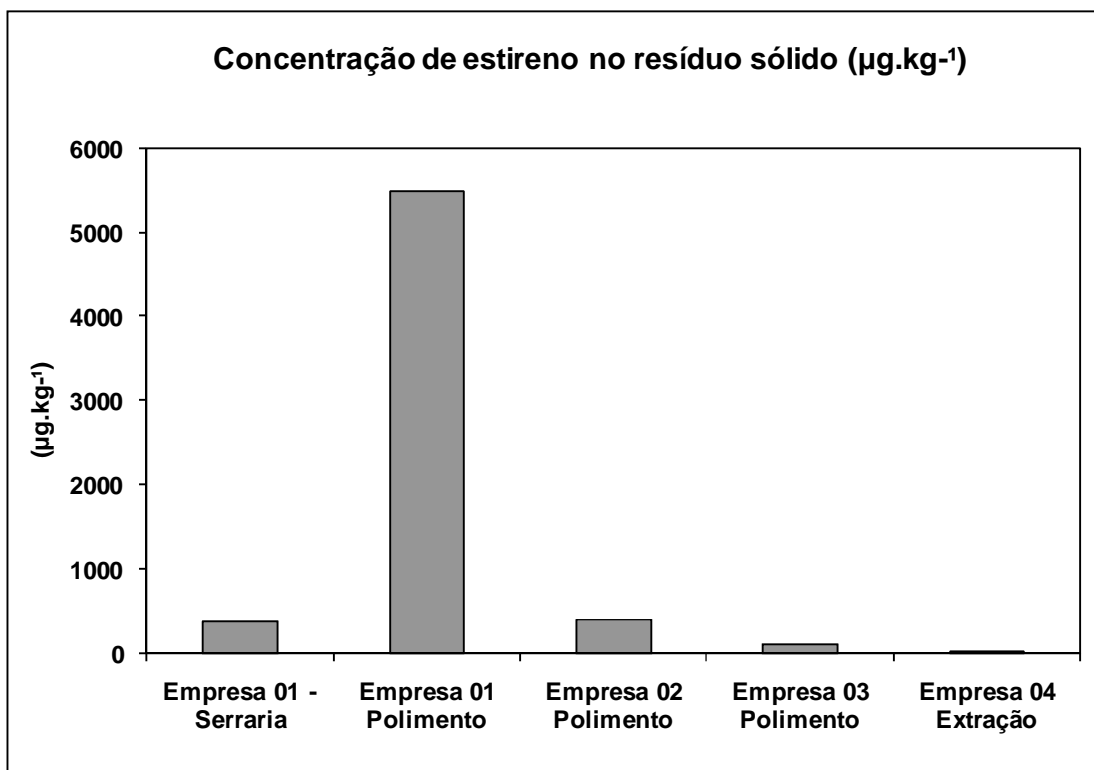
Para avaliar a contaminação por monômeros de estireno nos resíduos gerados pelos processos de extração e beneficiamento do mármore Bege Bahia foram realizadas análise em amostras coletadas nas diferentes etapas, sendo apresentados os resultados na tabela 11 e figura 24 a seguir.

**Tabela 11:** Resultado das análises para determinação da concentração de estireno no resíduo sólido (lama abrasiva e pó de mármore).

PONTO	Estireno (µg.kg <sup>-1</sup> ) - LDM: 10			
	Jun/08	Set/08	Mar/09	Ago/09
Empresa 01 - Serraria	380	*	*	*
Empresa 01 Polimento	5470	*	*	*
Empresa 02 Polimento	ND	386	*	*
Empresa 03 Polimento	105	*	*	*
Empresa 04 Extração	*	13	*	*
Empresa 01 - R1	*	*	*	50
Empresa 01 - R2	*	*	*	39
Empresa 01 - R3	*	*	*	72
Empresa 02 - R1	*	*	12	*
Empresa 02 - R2	*	*	485	*
Empresa 02 - R3	*	*	145	*

\* Não foi realizado a coleta





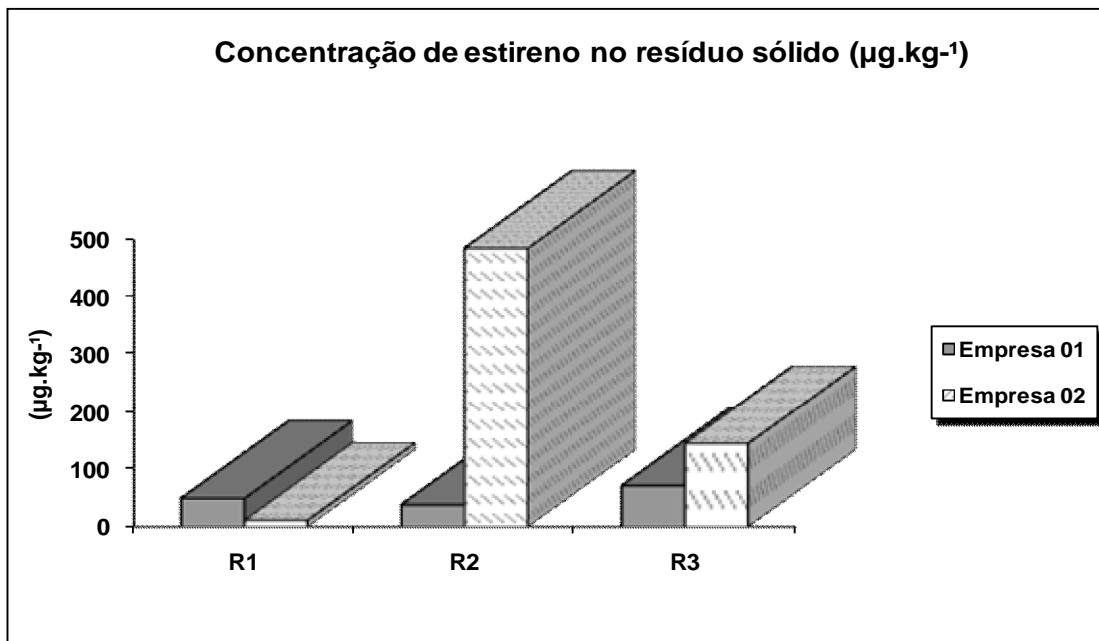
**Figura 24:** Gráfico para apresentação dos resultados das análises para caracterização do resíduo sólido.

De acordo apresentado no gráfico acima, as concentrações mais elevadas de estireno são encontradas nos resíduos sólidos gerados na etapa de polimento, estando esse fato associado à utilização da resina poliéster a base de estireno na etapa anterior. Variações nas concentrações desse contaminante nos resíduos gerados no polimento estão associadas à redução quantitativa do volume de resina utilizada nas chapas de mármore, principalmente em função da qualidade do material mineral, haja vista que a utilização da resina poliéster tem a função de corrigir as imperfeições da rocha através do recobrimento dos poros presentes.

O estireno também está presente nos resíduos gerados na etapa de serragem e extração de blocos de mármore Bege Bahia. A ocorrência pode ser justificada pela proximidade às áreas de polimento, sendo essa uma condição muito comum no arranjo produtivo de Ourolândia e Jacobina, em função da redução de custos com o transporte e deslocamento da matéria-prima. O estireno, por ser um poluente ambiental volátil (Cox, 1993), pode ser transportado pelo ar para outras áreas próximas ao ponto principal de sua emissão para o ambiente.

No gráfico abaixo (Figura 25) são apresentados as concentrações de monômeros de estireno nos resíduos sólidos depositados nas áreas de bota-fora de duas empresas de beneficiamento

de mármore Bege Bahia. Observou-se nos resultados obtidos, em destaque na empresa 02, significativas variações nas concentrações de estireno. Esse fato está associado disposição nessas áreas de resíduos gerados tanto na etapa de polimento como na de serragem.



**Figura 25:** Gráfico para apresentação dos resultados das análises para determinação da concentração de estireno no resíduo sólido depositado no bota-fora das empresas.

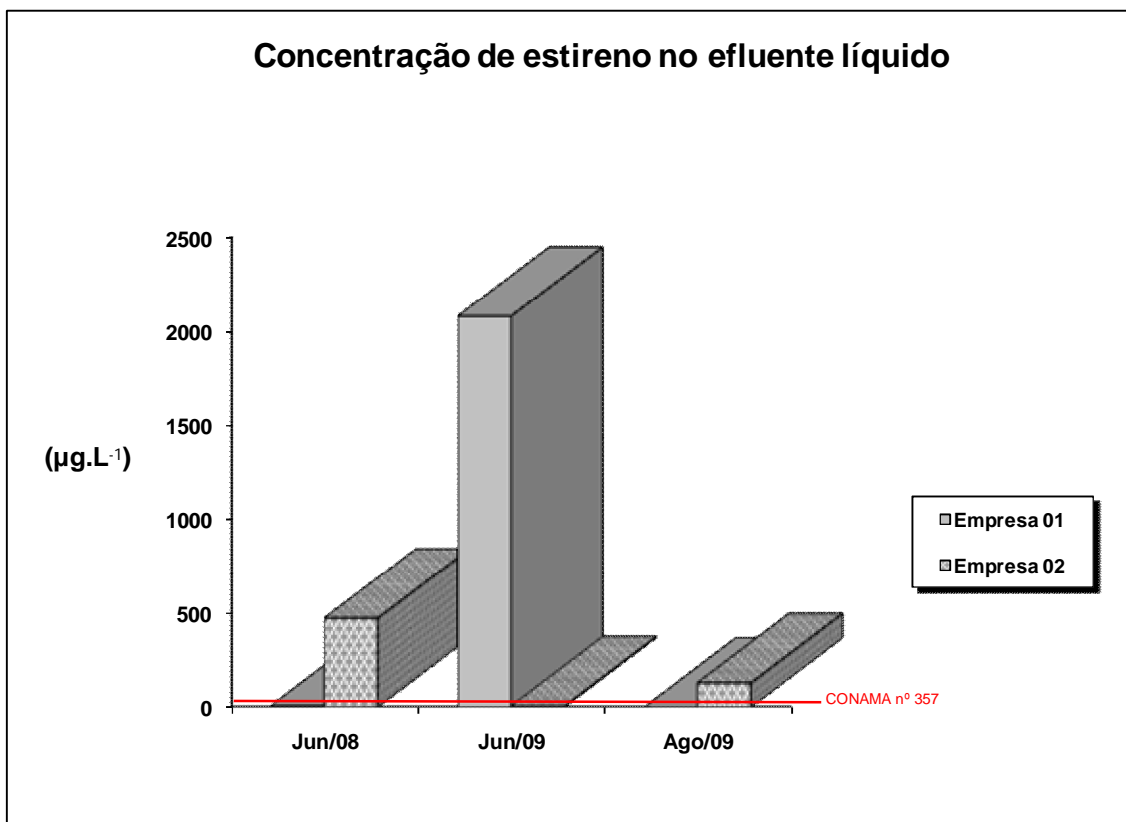
### 5.1.2. Efluente Líquido

Para avaliar a contaminação por monômeros de estireno no efluente líquido gerado nas etapas de corte e polimento do processo de beneficiamento de mármore Bege Bahia, as amostras coletadas nos tanques de decantação foram analisadas, sendo apresentados na tabela 12 e figura 26 abaixo apresentadas.

**Tabela 12:** Resultado das análises para determinação da concentração de estireno no efluente líquido das empresas.

PONTO	Estireno ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )		
	Jun/08	Jun/09	Ago/09
Empresa 01	8,6	2080	*
Empresa 02	474	6,1	130

\* Não detectado pelo método



**Figura 26:** Gráfico para apresentação dos resultados das análises para determinação da concentração de estireno no efluente líquido das empresas.

Os resultados obtidos apontam para a contaminação do efluente líquido por monômeros de estireno, em concentrações que variam de acordo volume de resina utilizada no processo de beneficiamento. No que se refere às condições e padrões de lançamento de efluentes, a Resolução CONAMA nº 357 de 2005 estabelece que o valor máximo de estireno permitido na composição de efluentes líquidos e corpos receptores é de 20 µg.L.

## 5.2. Concentração de estireno nos compartimentos ambientais

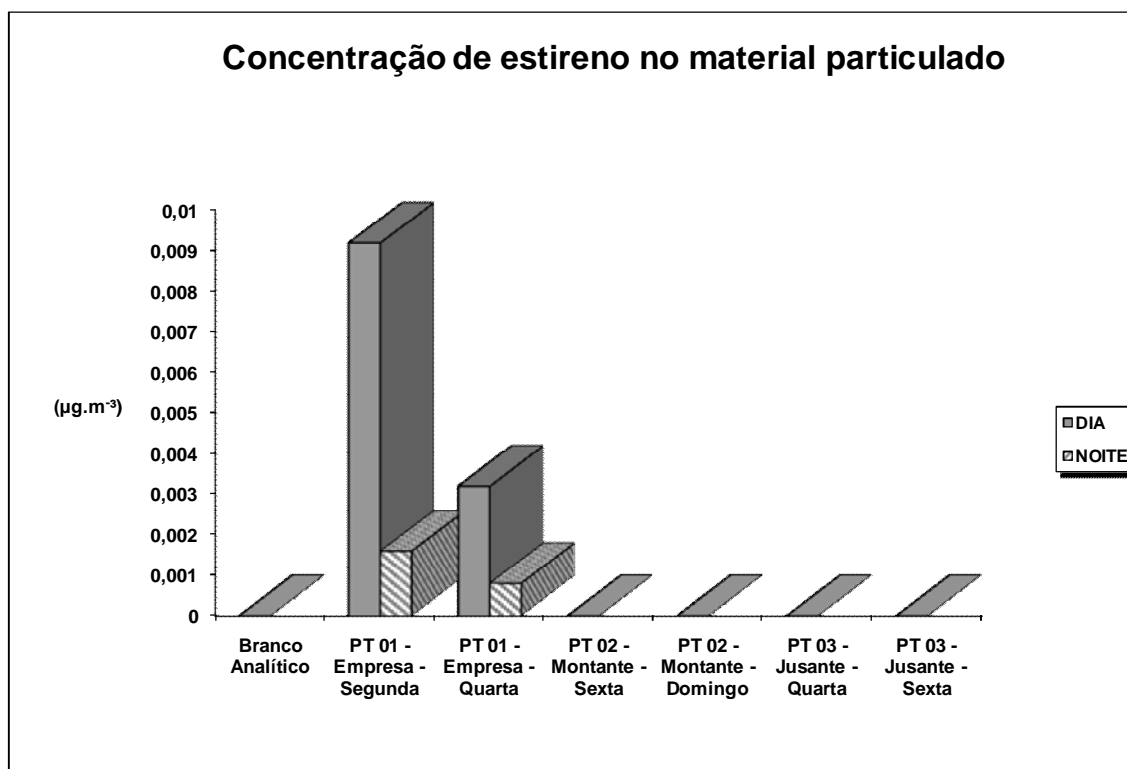
### 5.2.1. Material Particulado Atmosférico

Para avaliar a contaminação por monômeros de estireno nas emissões atmosféricas geradas na operação dos equipamentos da etapa de acabamento de chapas de mármore Bege Bahia, as amostras de material particulado foram analisadas, sendo apresentados na tabela 13 e figura 27 abaixo apresentadas.

**Tabela 13:** Resultado das análises para determinação da concentração de estireno no material particulado gerado na etapa de acabamento.

AMOSTRA	Estireno ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )
	Mar/09
Branco Analítico	*
PT 01 - Eco Mármore (empresa 1) F01 (Dia) 09/03 - Segunda	0,0092
PT 01 - Eco Mármore F02 (Noite) 09/03 - Segunda	0,0016
PT 01 - Eco Mármore F05 (Dia) 11/03 - Quarta	0,0032
PT 01 - Eco Mármore F06 (Noite) 11/03 - Quarta	0,0008
PT 02 - Montante Filtro 09 - 13/03 - Sexta	*
PT 02 - Montante Filtro 11 - 15/03 - Domingo	*
PT 03 - Jusante Filtro 14 - 18/03 - Quarta	*
PT 03 - Jusante Filtro 16 - 20/03 - Sexta	*

\* não detectado pelo método analítico, valores abaixo do limite de detecção.



**Figura 27:** Gráfico para apresentação dos resultados das análises para determinação da concentração de estireno no material particulado gerado na etapa de acabamento.

Das amostras avaliadas, a presença de monômeros de estireno foi detectada apenas nas amostras de material particulado obtidas dos filtros coletados na área industrial. Os pontos à montante e jusante dos ventos predominantes da empresa tiveram valores abaixo do limite de detecção do método.

As maiores concentrações de estireno foram detectadas nos filtros correspondentes a amostragem durante o dia, traduzindo a maior geração nesse período de material particulado contaminado. Isto é justificado, devido ao horário de realização das atividades do setor de acabamento final, a partir das 08h00min até as 17h00min horas, sendo essa etapa do processo caracterizada pela maior geração de material particulado em função do modo de operação sem umidificação dos equipamentos utilizados.

Considerando a natureza físico-química, principalmente no que se refere à capacidade de volatilização, e as condições climáticas da área de estudo que favorecem a evaporação desse composto, é possível que concentrações de estireno não associado ao material particulado estejam presentes no ambiente na fase gasosa.

Quando na atmosfera, o estireno é muito reativo no ar, reagindo rapidamente com vários compostos, incluindo o ozônio (WHO, 1983), podendo ainda ser degradado na presença de NO<sub>x</sub> ou da luz solar (U.S. EPA, 2010).

### **5.2.2. Matriz: solo do “bota fora”**

Segundo Azevedo e Chasin (2004) a movimentação de contaminantes no solo se dá através de difusão por fluidos ou da movimentação da água entre espaços intersticiais, sendo a velocidade com que esses fenômenos acontecem diretamente relacionados com características físico-químicas do meio e do respectivo contaminante.

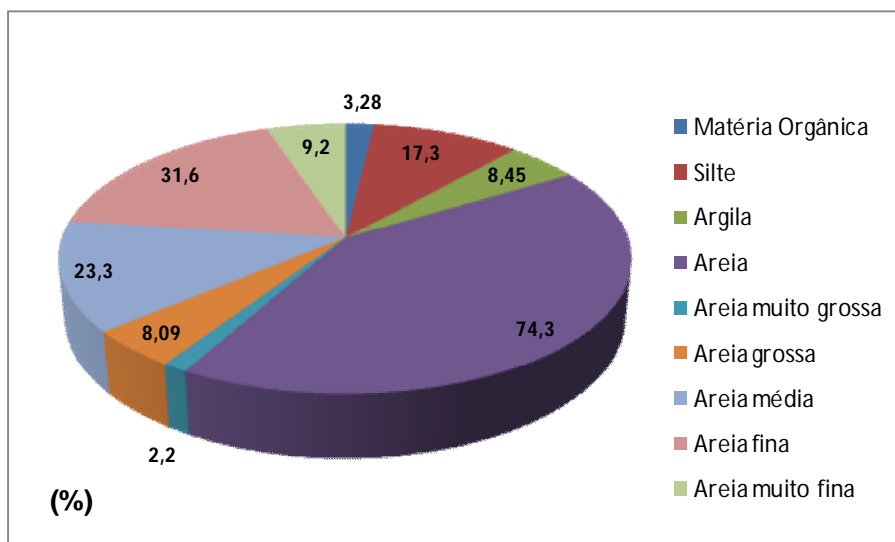
Na tabela abaixo são apresentados os resultados das análises para caracterização do solo presente na área de estudo, de onde foram coletadas amostras para avaliação da contaminação por monômeros de estireno.

**Tabela 14:** Resultado das análises para a caracterização do solo presente na área de estudo.

Ensaio	Resultado	Unidade
Cálcio (Ca)	1460	mg/kg
Magnésio (Mg)	370	mg/kg
Matéria Orgânica	3,28	%
Granulometria (silte)	17,3	%
Granulometria (argila)	8,45	%
Granulometria (areia)	74,3	%
Granulometria (areia muito grossa)	2,2	%
Granulometria (areia grossa)	8,09	%
Granulometria (areia média)	23,3	%
Granulometria (areia fina)	31,6	%
Granulometria (areia muito fina)	9,2	%

Na região predominam solos originários do granito, gnaisses, siltito e calcário. O solo presente na área de amostragem é caracterizado como arenoso, rico em cálcio e magnésio e, pobre em matéria orgânica. A classificação granulométrica associado à carência em matéria orgânica favorece a compactação, uma vez que o material orgânico trata-se de um constituinte “cimentante” que mantém os solos agregados, preservando a porosidade e a capacidade de infiltração (Calouro, 2005).

O gráfico abaixo apresenta os resultados das análises para caracterização granulométrica do solo presente na área de estudo.



**Figura 28:** Gráfico para apresentação dos resultados da análise granulométrica da amostra de solo da área de estudo.

Apesar da contaminação dos resíduos industriais, principalmente a lama residual e pó de mármore, o composto estireno não foi detectado, acima da concentração de 0,1 ug/kg, nas amostras de solo coletadas até a profundidade de 50 cm, nas áreas de “bota-fora” das empresas de beneficiamento do mármore Bege Bahia.

No que se refere à contaminação por estireno no solo e no sedimento, a U. S. EPA (1999 apud CETESB, 2001) determina valores limite, considerando como critério o nível aceitável de um contaminante no solo no qual existe um risco máximo de câncer de  $10^{-6}$  (um caso adicional de câncer em cada 1 milhão de pessoas) para substâncias carcinogênicas ou um quociente de risco igual a 1 entre o total do contaminante assimilado através de todas as vias de exposição e o aporte máximo teórico aceitável, para substâncias não carcinogênicas. Seguindo esse critério, os valores que representam risco aceitável de estireno para o solo em ambiente industrial é de 410.000 mg/kg, sendo que acima de 1.700 mg/kg deverá ser alvo de remediações preliminares. Chama-se à atenção que os limites acima têm como foco as vias mais comuns de exposição, não considerando o impacto às águas subterrâneas ou riscos ecotoxicológicos, para avaliação e remediação de áreas contaminadas. A Resolução CONAMA nº 420 de 2009, que dispõe sobre os valores orientadores da qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas, define que em concentrações acima de  $80 \text{ mg.kg}^{-1}$  (peso seco) de estireno no solo está configurado a existência de potenciais riscos diretos ou

indiretos, à saúde humana, devendo para tanto haver uma maior investigação para se proceder com uma investigação visando o maior entendimento da dinâmica da contaminação nos meios físicos afetados. Nesse mesmo instrumento legal é definido os critérios para prevenção da contaminação do solo, através de valor limite da concentração de estireno de  $0,2 \text{ mg.kg}^{-1}$  (peso seco).

Sob certas condições, o estireno pode lixiviar através do solo (solos arenosos em particular) e entre as águas subterrâneas (Howard 1989; U. S. EPA, 1984), devendo, no entanto, ser ponderado que o processo de lixiviação de substâncias para o solo está associado à ação de fortes chuvas. A área de estudo é caracterizada por apresentar clima árido a semi-árido, com baixos índices de precipitação e altos percentuais de aridez (ver Tabelas 5 e 6), sendo essa uma condição pouco propícia à lixiviação do estireno presente nos resíduos sólidos para o solo.

Apesar da contaminação de resíduos industriais e, considerando a disposição direta desses no solo, a não detecção do estireno nesse compartimento pode também estar associado ao baixo teor de matéria orgânica (Tabela 14 e Figura 28). Segundo Mendonça et al. (2009) quanto maior o conteúdo de matéria orgânica, maior a capacidade de infiltração do solo, no caso da área de estudo a compactação na superfície e o baixo teor de material orgânico, favorecem a redução da aeração e capacidade de infiltração, dificultando a movimentação da água no perfil do solo e a exposição desse compartimento ao contaminante. Com a redução da infiltração, aumenta o escoamento superficial e o tempo de permanência da água na camada superficial do solo, no qual a evaporação é mais intensa devido à incidência direta dos raios solares na superfície do solo desnudado (Mendonça et al., 2009).

Outro fator relevante para justificar a ausência de estireno em concentração detectáveis é a eliminação desse contaminante através de biodegradação (U. S. EPA, 2010). Cerca de 95% dos microrganismos isolados do solo de aterros degradam o estireno presente em aproximadamente 16 semanas (U. S. EPA, 1984). Os pesquisadores também detectaram a rápida mineralização do estireno no esgoto, na porção mineral e orgânica do solo neutro (pH 7,23) e, em menores taxas nas águas subterrâneas e de lagos, sendo as taxas mais baixas registradas no sedimento de aquíferos, solos encharcados e porções minerais ácidas do solo (pH 4,87). Não houve mineralização no solo estéril e, embora uma alta porcentagem de estireno tenha sido absorvida, isso não teve efeito sobre a degradação do estireno. A



percentagem de estireno mineralizado por hora diminuiu com a redução da concentração na água do lago e areia do aquífero, sugerindo que um limiar de concentração para mineralização podem existir nesses ambientes. Nos outros solos, a taxa de mineralização foi diretamente proporcional à concentração nas concentrações de estireno abaixo de  $1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ , embora tenha sido não-linear em concentrações acima deste, sugerindo que pode não haver limiar de concentração nestas condições. A falta de qualquer mineralização em solo estéril mostrou que a repartição de estireno foi realizada por micro-organismos.

### 5.2.3. Matriz: água superficial

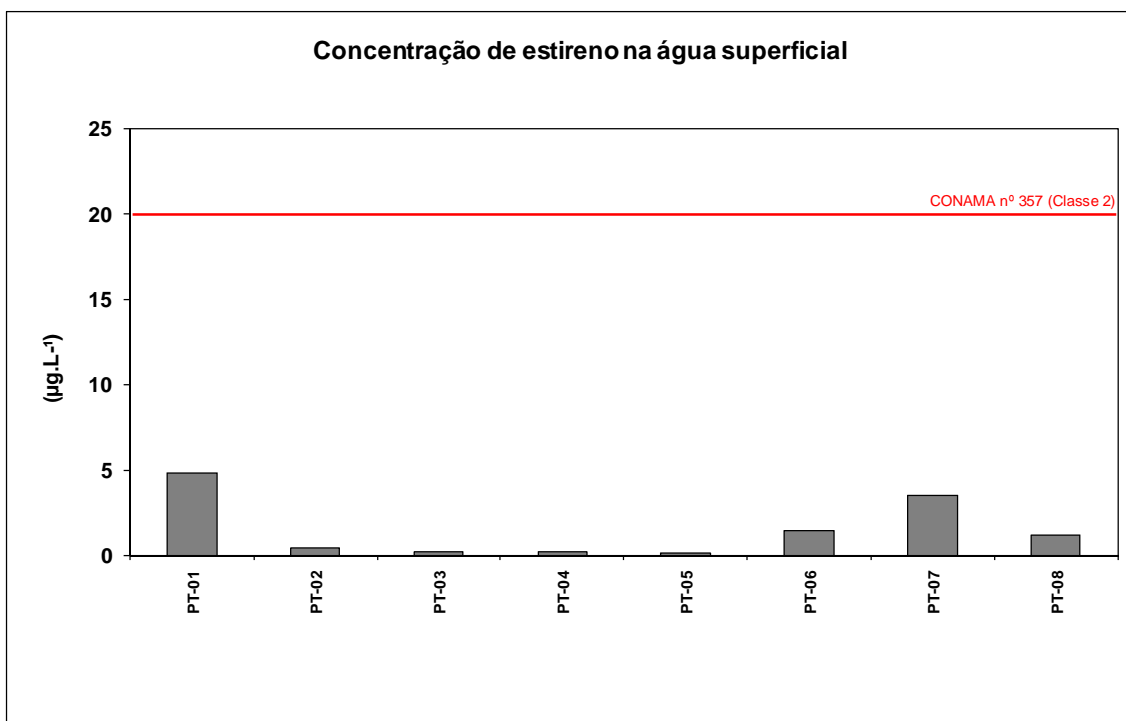
O estireno foi detectado, apenas no período seco (fevereiro) nas amostras de água superficial dos corpos hídricos presentes na área de estudo, pertencentes às bacias hidrográficas dos rios Itapicuru e Salitre, respectivamente localizados nos municípios de Jacobina e Ourolândia. Os resultados obtidos nas amostras coletadas no período seco (fevereiro) e chuvoso (junho e agosto) estão apresentados na tabela abaixo.

**Tabela 15:** Resultado das análises das amostras de águas superficiais da área de estudo.

PONTO	Estireno ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )		
	Fevereiro/09	Junho/09	Agosto/09
PT 01 Empresa 1	4,8	*	*
PT 02 Montante empresa 1 (100m)	0,4	*	*
PT 03 Montante empresa 1 (200m)	0,2	*	*
PT 04 Jusante empresa 1 (100m)	0,2	*	*
PT 05 Jusante empresa 1 (200m)	0,1	*	*
PT 06 Barragem Ourolândia	1,4	*	*
PT 07 Montante à Barragem	3,5	*	*
PT 08 Poço Verde	1,2	*	*

\* não detectado pelo método analítico, valores abaixo do limite de detecção.

As concentrações encontradas estão abaixo dos limites estabelecidos pelo padrão de qualidade para águas superficiais, definido pela Resolução CONAMA n° 357 de 2005 (Figura 29). No que se refere aos efeitos ecotoxicológicos, as concentrações de estireno encontrado nas amostras de água superficial estão abaixo dos níveis de tolerância que conferem toxicidade aos organismos aquáticos (Figura 29).



**Figura 29:** Gráfico para apresentação dos resultados obtidos em amostras de águas superficiais da área de estudo.

De acordo pressuposto acordado pela constante de Henry (define a concentração de saturação de um gás na água, em função da temperatura) espera-se que o estireno volatilize das águas de superfície (U.S.EPA, 2010). A constante de Henry mede a tendência de distribuição de um composto químico entre a sua concentração na água e a pressão parcial na fase gasosa, de forma que quanto maior a constante H, maior a taxa de volatilização da água para o ar

O destino do estireno no ambiente tem sido estudado por Fu e Alexander (1992), que descobriram uma variação do grau de volatilização nos diferentes ambientes, com 50% sendo perdido dentro de três horas em camadas superficiais da água de lagos. Na água, o estireno volatiliza rapidamente da superfície com meia-vida estimada de um rio ou lagoa de 0,6 dias e 13 dias, respectivamente (U. S. EPA, 2010). O meio tempo de evaporação do estireno na água, à profundidade de 1 metro, é estimada que ocorra em aproximadamente 6 horas (WHO, 2000).

#### 5.2.4. Matriz: sedimento

Mesmo estando presente nas amostras de águas superficiais dos corpos hídricos estudados e, podendo ser removido das águas por adsorção solos e sedimentos (EPA, 2010), o composto estireno não foi detectado, acima da concentração de  $0,1 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , nas amostras de sedimento obtidas nos mesmos pontos de amostragem de água nos rios Itapicuru e Salitre.

O coeficiente de partição ( $K_{ow}$ ) octanol-água trata-se de uma medida do grau em que uma substância orgânica irá preferencialmente dissolver-se em água ou em um solvente orgânico, de forma que, quanto maior  $K_{ow}$ , menos móvel é o composto químico. Segundo Baird (2002), valores de  $\log Kow$  de 7,8 ou maiores são indicativos de produtos químicos capazes de adsorver fortemente aos sedimentos. Considerando que o coeficiente de partição octanol-água ( $K_{ow}$ ) do estireno, mensurado por Hansch e Leo em 1979, é em torno de 2,95 (U.S.EPA, 2010), torna-se improvável sua adesão ao sedimento, justificando assim a ausência de concentrações detectáveis no referido compartimento.

#### 5.2.5. Matriz: biota aquática

O composto estireno não foi detectado nas vísceras e músculos das amostras de peixes coletadas na Barragem de Ouroândia. Com base no fator de bioconcentração do estireno no peixe de 13,5 e do índice de solubilidade em água (U.S.EPA, 2010), não é provável que o mesmo acumule-se nos organismos aquáticos (Howard 1989).

Em geral, quanto maior for o coeficiente de partição ( $Kow$ ) octanol-água, maior será a probabilidade de encontrar o produto químico na matéria orgânica de solos e sedimentos e, finalmente, de ocorrer migração para os tecidos gordurosos de organismos vivos. A ausência de estireno em concentrações não detectáveis nas amostras de vísceras e músculos das espécies de peixe coletadas pode ser justificada considerando que o valor de  $\log K_{ow}$  desse composto está na ordem de 2,95 e, portanto, fora da faixa de 4 a 7 que configura maior grau de bioconcentração (U.S.EPA, 2010).

No que se refere aos efeitos da contaminação por estireno à fauna aquática, CETESB (2008) apresenta esse composto como potencialmente tóxico para organismos aquáticos, como peixes

(*Pimephales sp.* - TLM<sup>3</sup> 24, 48, 96 h = 56,7; 53,6; 46,4 mg/L) e crustáceos (*Artemia salina* - TLM 24h = 68 mg/L); e considera, conforme Agência Internacional de pesquisa do Câncer, essa substância como possível carcinógeno para seres humanos na ordem de LCLo<sup>4</sup> 30 min = 10.000 ppm.

---

<sup>3</sup> TLM: Limite de Tolerância médio

<sup>4</sup> LCLo: Limite de Concentração Letal inicial

## 6. CONCLUSÕES

A atividade de extração e beneficiamento de rochas ornamentais na área que abrange os municípios de Jacobina e Ourolândia no semi-árido nordestino tem forte impacto econômico e social, sendo a principal atividade industrial desenvolvida, responsável por percentual significativo dos índices de emprego e renda na região. As empresas que fazem parte desse setor e que se encontram presentes na região desenvolvem seus processos industriais utilizando tecnologia rudimentar no que se refere à produção, gerando grandes volumes de resíduos, cuja destinação se dá ainda de forma inadequada.

No processo industrial de beneficiamento do mármore Bege Bahia, a resina poliéster à base de estireno é utilizada com a finalidade de preencher as imperfeições da rocha e dar brilho à chapa de mármore. Os monômeros de estireno presentes nesta resina são incorporados aos resíduos sólidos e líquidos gerados no processo industrial, ao material particulado, bem como à água superficial, em função da inadequada disposição no ambiente.

Devido à alta concentração de estireno na massa bruta e no lixiviado, poderá ocorrer lixiviação para o ambiente podendo inclusive contaminar solo, sedimento e corpos d'água. Neste estudo foi verificado que nos resíduos a contaminação por monômeros de estireno se dá em elevadas concentrações, enquanto que nas águas superficiais, a permanência do contaminante é regida pela rápida volatilização característica desse químico.

A curta permanência do estireno nas águas superficiais associada às propriedades físico-químicas do contaminante e a dinâmica dos compartimentos ambientais podem justificar a ausência do mesmo no sedimento e em peixes, confirmando assim seu caráter de improvável bioacumulativo em organismos aquático.

A partir da coleta e análise do material particulado obtido no ar ambiente da área industrial e entorno das empresas de beneficiamento de rochas ornamentais foi detectado concentrações de estireno na forma monomérica, configurando a contaminação desse compartimento ambiental, com possibilidade de dissipação deste composto através da ação dos ventos, podendo vir a contaminar o solo e águas superficiais, além dos riscos à saúde dos trabalhadores a partir da inalação e assimilação do material contaminado. Considerando que o presente estudo deteve-se na avaliação da contaminação por estireno no material particulado

como indício de contaminação atmosférica, torna-se necessário uma investigação mais aprofundada visando quantificar as concentrações desse composto no compartimento atmosférico na sua fase gasosa.

A partir dos resultados desse estudo e das informações obtidas na literatura, é possível concluir que quando em contato com ambiente, o grau de dispersão e incorporação desse contaminante está diretamente relacionado à sua concentração, as propriedades físico-químicas e as características dos diferentes compartimentos ambientais.

Cabe salientar que a contaminação da lama residual e do pó de mármore por estireno presente na resina, pode comprometer a viabilidade comercial, no que se refere ao reaproveitamento, em função dos efeitos no ambiente ainda serem pouco conhecidos.

Considerando que o presente estudo é pioneiro na abordagem os impactos da atividade industrial de beneficiamento de rochas ornamentais e a contaminação dos resíduos e do ambiente por estireno, e também, que os resultados obtidos não foram conclusivos no que se refere à contaminação do solo, do sedimento e dos organismos aquáticos, torna-se necessário o aprofundamento da pesquisa, com o objetivo de elucidar questões envolvendo o comportamento e os efeitos desse contaminante no ambiente, sendo esse trabalho um ponto de partida para o desenvolvimento de novos estudos e pesquisas não apenas no ramo das ciências naturais como também no campo da saúde ocupacional.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

O estudo desenvolvido teve como motivação investigar a contaminação por estireno no ambiente, com o foco na atividade industrial de beneficiamento de mármore Bege Bahia, sendo um trabalho pioneiro nesse tipo de abordagem.

Considerando o elevado grau de volatilidade do estireno, as condições ambientais inerentes ao semi-árido nordestino e as limitações para amostragem em corpos hídricos intermitentes e áreas de bota-fora das empresas de beneficiamento, não foi possível verificar o destino final do estireno e sua movimentação nos compartimentos ambientais, sendo esse um ponto de partida para futuros trabalhos dentro da mesma linha, que tenham como objetivo não apenas obter maior conhecimento quanto à dissipação desse composto no ambiente, como também contribuir para o aprimoramento dos processos industriais que o utilizam como insumo, no sentido de minimizar impactos decorrentes da geração e disposição de resíduos contaminados.

Visando a continuidade dos estudos associados ao estireno e seus impactos no ambiente, são apresentadas as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- **Monitoramento das emissões atmosféricas de estireno**

Considerando a presença do estireno no material particulado e os efeitos da contaminação no que se refere à saúde ocupacional, é recomendável o monitoramento sistemático das emissões desse composto.

Para o biomonitoramento dos níveis de estireno no compartimento atmosférico, sugere-se a utilização de líquens como bioindicadores, por serem estes sensíveis à poluição atmosférica (Pilegaard, 1978; Seaward, 1993), incorporando facilmente poluentes dispersos no ar (Pilegaard, 1978), além de apresentarem respostas rápidas, podendo ser classificados como bioindicadores imediatos de contaminação (Hawksworth et al., 2005).

Villarouco (2007) analisou as alterações morfofisiológicas apresentadas no líquen *Cladonia verticillaris* em ensaio de laboratório com o uso de duas substâncias largamente utilizadas em indústrias de polímeros para produção de borrachas sintéticas, o estireno e o ciclohexano. Os resultados evidenciaram a produção de algumas substâncias intermediárias e redução do ácido fumarprotocetrárico e atranorina. A análise da superfície externa do líquen demonstrou

alterações morfológicas com exibição das hifas corticais. A partir dos resultados obtidos foi possível evidenciar o potencial de *C. verticillaris* como bioindicador imediato para poluição atmosférica.

- **Aprofundamento dos estudos para verificar o potencial do estireno para bioacumulação e bioconcentração.**

A Ficha de Segurança (FISPQ) da resina poliéster utilizada no processo de beneficiamento do mármore Bege, alerta que além de ser um contaminante atmosférico, o estireno pode em baixas concentrações ser considerado perigoso para o biota aquática. Sua periculosidade é retratada através de ensaios ecotoxicológicos, que além da toxicidade, confirmam a bioconcentração desse composto em peixes (Novaforma Química, 2008; anexo 1). As informações presentes na Fichas de Segurança (FISPQ) da resina poliéster, bem como em fichas do próprio estireno na sua forma monomérica, conflitam com conteúdos apresentados por instituições destinadas ao monitoramento e proteção ambiental, segundo estas, o estireno não apresenta potencial para a bioacumulação ou bioconcentração e, para tanto, não é também notado sua concentração ao longo da cadeia alimentar (ATSDR, 2010, CETESB, 2010; WHO, 2000).

- **Biofiltração do estireno presente nas emissões atmosféricas.**

A biofiltração do estireno presente nas emissões gasosas de processos industriais, onde são gerados grandes volumes de gás com baixas concentrações de compostos orgânicos voláteis, é considerado uma opção de tratamento eficaz e confiável (Ottengraf et al., 1986). Experimentos realizados com o objetivo de desenvolver biofiltros para degradação do estireno presente em gases industriais confirmam o importante papel dos microrganismos como agentes de remoção e degradação desse composto em emissões gasosas industriais (Cox et al., 1993; Dehghanzadeh et al., 2005; Jang et al., 2006).

- **Desenvolvimento de processos para a biorremediação de estireno e compostos relacionados nos resíduos do beneficiamento de mármore Bege.**

Warhurst and e Fewson (1994) acreditam ser possível que o estireno seja metabolizado por um número elevado de rotas, em função de sua composição molecular, onde haveria diferentes estratégias para a desagregação deste substrato pelos microrganismos e uma



diversidade de percursos biodegradativos. O conhecimento destas vias pode ser útil no sentido de viabilizar o tratamento dos resíduos sólidos contaminados por estireno através de biodegradação microbiológica em biopilhas.

- **Aplicação de tecnologias limpas visando à redução da geração e o aproveitamento dos resíduos gerados.**

Considerando o potencial de aplicação da lama abrasiva e do pó de mármore como matéria-prima na construção civil, a exemplo da incorporação em argamassa e concreto (Moura et al., 2002), ou como carga na indústria polimérica (Souza et al., 2008), ou ainda agregada à mistura asfáltica (Ribeiro et al., 2007), entre outras utilizações, faz-se necessário a implantação de um Programa de Produção mais Limpa no segmento, visando a princípio a redução do volume de resíduo gerado, bem como a reciclagem e aproveitamento com foco na prevenção da poluição.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[ABIQUIM] Associação Brasileira da Indústria Química. **Relatório Anual da Indústria Química Brasileira (2008)**. Disponível em: <http://www.abiquim.org.br/relatorioanual/poliestireno.asp>. Acesso em: dezembro de 2009

[ABIROCHAS] Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. **Balço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais no 1º Bimestre de 2008**. São Paulo, Informe 05, 2008. Disponível em: [www.abirochas.com.br](http://www.abirochas.com.br). Acesso em: outubro de 2009.

[ABIROCHAS] Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. **Conheça as rochas ornamentais: conceitos e definições**. Disponível em: [http://www.abirochas.com.br/rochas\\_ornamentais\\_01.php](http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais_01.php). Acesso em: dezembro de 2009.

Allinger, N.L. et al. **Química Orgânica**. 2.ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1978. 961 p.

Almeida, A.S.P.N. **Simulação de Reatores de Polimerização de Estireno: Modelagem Cinética e Termodinâmica**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química. Porto Alegre: 2004.

ANA/GEF/PNUMA/OEA/UFBA. **Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco**. Subprojeto 3.3.B – Plano de Gerenciamento Integrado da Bacia do Rio Salitre. Relatório Final: Diagnóstico Institucional da Bacia do Rio Salitre. UBFA: 2002. 72p+anexos.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

\_\_\_\_\_. NBR 9898: **Preservação e amostragem de corpos receptores**. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

\_\_\_\_\_. NBR 10005: **Lixiviação de resíduos – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

\_\_\_\_\_. NBR 9547: **Material Particulado em Suspensão no Ar Ambiente - Determinação da Concentração Total pelo Método do Amostrador de Grande Volume**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

\_\_\_\_\_. NBR 10007: **Amostragem de Resíduos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

\_\_\_\_\_. NBR 10004: **Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASTM International Standards Worldwide. **Standard Practice for Acid-Extraction of Elements from Sediments Using Closed Vessel Microwave Heating.** ASTM D5258-02, 2007.

[ATSDR] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services. **Estireno (Styrene).** Disponível em: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts53.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts53.html). Acesso em: fevereiro de 2010

Azevedo, F.A.; Chasin, A.M. **A Ecotoxicologia na análise do risco químico.** Centro de Recursos Ambientais-CRA, Série Cadernos de Referencia Ambiental, v.16. Bahia: 2004. 432p.

BAHIA. Secretaria de Recursos Hídricos Saneamento e Habitação. Superintendência de Recursos Hídricos. **Plano diretor de recursos hídricos – Bacia do Rio Itapicurú: ações de apoio e implementação.** Salvador: Latin Consult, 1995. 81p.

BAHIA. Secretaria da Indústria Comércio e Mineração do Estado da Bahia – SICM. Superintendência de Indústria e Mineração – SIM. Coordenação de Mineração – COMIN. **Marmorarias do Estado da Bahia: caracterização técnica, diagnóstico operacional e cadastro.** Série Estudos Técnicos de Geologia Mineração e Tecnologia Mineral, n.1. Salvador: SICM/COMIN, 2004. 72 p.

Baird, C. **Química Ambiental.** 2. ed. São Paulo: Bookman, 2002. 622 p.

Bardodej, Z; Bardodejova, E. **Biotransformation of ethyl benzene, styrene, and alpha-methylstyrene in man.** Am. Ind. Hyg. Assoc., n. 31, p.206-209, 1970.

Beliles, R.P. et al. **Chronic toxicity and three-generation reproduction study of styrene monomer in the drinking water of rats.** Fundam. Appl. Toxicol, n. 5, p. 855–868, 1985.

Bhamre, S. et al. **Purification of multiple forms of cytochrome P450 from a human brain and reconstitution of catalytic activities.** Arch. Biochem. Biophys, n. 301, p. 251-255, 1993.

Bond, J.A. **Review of the toxicology of styrene.** Critical Reviews in Toxicology, n.19, p.227-249, 1989.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009.** Brasília. Diário Oficial da União de 30 de dezembro de 2009.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.** Brasília. Diário Oficial da União de 18 de março de 2005.

BRASIL. Ministro da Saúde. **Norma de qualidade da água para consumo.** Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Brasília, 2004.

Costa, M.C.C. Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos – Empresa: Travertinos da **Bahia**. Lauro de Freitas: SENAI-CETIND, 2007. 64p.

Calouro, F. **Atividades agrícolas e ambiente**. 1 ed. SPI (Sociedade Portuguesa de Inovação), Porto: 2005.

Carlson, G.P. **Comparison of mouse strains for susceptibility to styrene-induced hepatotoxicity and pneumotoxicity**. J. Toxicol. Environ. Health, n.51, p.177–187, 1997.

Carlson, G.P., Mantick, N.A., Powley, M.W. **Metabolism of styrene by human liver and lung**. J. Toxicol. Environ. Health A., n.59, p.591–595, 2000.

Carlson, G.P.; Turner, M.; Mantick, N. A. **Effects of styrene and styrene oxide on glutathione-related antioxidant enzymes**. Elsevier Ireland Ltd.Toxicology, n. 227, p. 217–226, 2006.

[CBE] Companhia Brasileira de Estireno. **O que é estireno**. Disponível em: <http://www.cbe.com.br/oqueestireno/frameoqestireno.htm>. Acesso em: dezembro de 2009.

[CETESB] Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água**. São Paulo: CETESB, 1988. 150p.

[CETESB] Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. Dorothy C. P. Casarini [et al.]. São Paulo: CETESB, 2001.

[CETESB] Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**. Capítulo VI - Investigação confirmatória, procedimentos de amostragem do solo. Atualizado em Outubro de 2001. Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas\\_contaminadas/manual.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/manual.asp). Acessado em: fevereiro de 2008.

[CETESB] Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Ficha de Informação de Produto Químico: Estireno**. Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/Emergencia/produtos/ficha\\_completa1.asp?consulta=ESTIRENO](http://www.cetesb.sp.gov.br/Emergencia/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=ESTIRENO). Acesso em: fevereiro de 2008

Cherry, N.; Gautrin, D. **Neurotoxic effects of styrene: further evidence**. British Journal of Industrial Medicine, n. 47, p. 29-37, 1990.

Christofoletti, A. **Geomorfologia**. 2ªed., São Paulo: Blucher, 1980.

Chung, J et al. **Investigation of bioactivation and toxicity of styrene in CYP2E1 transgenic cells**. Elsevier Ireland Ltd.Toxicology, n.226, p.99–106, 2006.

[CNM] Confederação Nacional dos Municípios. **Municípios Brasileiros**. Disponível em: [http://www.cnm.org.br/dado\\_geral/ufmain.asp?iIdUf=100129](http://www.cnm.org.br/dado_geral/ufmain.asp?iIdUf=100129). Acesso em: março 2009

Conti, B. et al. **Longterm carcinogenicity bioassays on styrene administered by inhalation, ingestion and injection and styrene oxide administered by ingestion in Sprague–Dawley rats, and paramethylstyrene administered by ingestion in Sprague–Dawley rats and mice**. Ann. New York Acad. Sci., n.534, p.203–234, 1988.

Cox, H.H.J. et al. **Enrichment of fungi and degradation of styrene in biofilters**. Biotechnology Letter, v. 15, n.7 p.737-742, 1993.

[CPRM] Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea: Diagnóstico do Município de Jacobina Estado da Bahia**. Organizado por Ângelo T. Vieira et al. Salvador: CPRM/PRODEEM, 2005. 14p + anexos

Cruzan, G. et al. **Chronic toxicity/oncogenicity study of styrene in CD rats by inhalation exposure for 104 weeks**. Toxicol. Sci., n.46, p.266–281, 1998.

Cruzan, G. et al. **Chronic toxicity/oncogenicity study of styrene in CD-1 mice by inhalation exposure for 104 weeks**. J. Appl. Toxicol., n.21, p.185–198, 2001.

Cruzan, G et al. **Ring-oxidized metabolites of styrene contribute to styrene-induced Clara-cell toxicity in mice**. J. Toxicol. Environ. Health A, n.68, p.229–237, 2005.

Danishesky, I.; Willhite, M. **The metabolism of styrene in the rat**. J Biol Chem., v. 2, n.211, p.549–553, 1954.

Dehghanzadeh, R. et al. **Biodegradation of styrene laden waste gas stream using a compost-based biofilter**. Chemosphere, n.60, p.434–439, 2005.

Diodovich, C. et al. **Response of human cord blood cells to styrene exposure: evaluation of its effects on apoptosis and gene expression by genomic technology**. Toxicology, n.200, p.145–150, 2004.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1). Rio de Janeiro, 1997. 212p.

ENERGÉTICA IND. E COM. LTDA. **AGV PTS (Amostrador de Grande Volume para Partículas Totais em Suspensão): Manual de Operação**. Revisão 4. Responsável: José Walderley Coêlho Dias. Rio de Janeiro: 2009. Disponível em: [http://www.energetica.ind.br/Manual\\_PTS.pdf](http://www.energetica.ind.br/Manual_PTS.pdf). Acesso em: janeiro de 2010.

Ferreira, A.C.B.; Nunes, E.C.D. **Reaproveitamento e Incorporação de Resíduo de Mármore em Poliamida 66**. Escola SENAI Mario Amato: 2007.

Fielder, R.J.; Lowing, R. **Toxicity Review I: Styrene**. Health and Safety Executive. London : 1981.

Filser, J.G.; Kessler, W.; Csanády, G. A. **Estimation of a possible tumorigenic risk of styrene from daily intake via food and ambient air**. Toxicology Letters, n.126, p. 1–18, 2002.

Fu, M.H.; Alexander, M. **Biodegradation of styrene in samples of natural environments**. Environmental Science and Technology, n.26, p.1540-1544, 1992.

Gadberry, M.G., Denicola, D.B., Carlson, G.P. **Pneumotoxicity and hepatotoxicity of styrene and styrene oxide**. J. Toxicology Environmental. Health, n.48, p.273–294, 1996.

GEOEXPLORE Consultoria e Serviços LTDA. **Investigação geológica e ambiental dos depósitos de áreas de ocorrências do mármore Bege Bahia, na região situada entre os municípios de Ouroândia, Jacobina, e Campo Formoso**. Salvador: CBPM/COMIN, 2002. 135p.

Green, T., Toghill, A., Foster, J.R. **The role of cytochromes P-450 in styrene induced pulmonary toxicity and carcinogenicity**. Toxicology, n.169, p.107–117, 2001.

Green, D.W.; Perry, R. H. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. 8ª edição. 2007.

Guerra, A.T. e Guerra, A.J.T.. **Novo dicionário Geológico-Geomorfológico**. 5º ed., Bertrand Brasil, Rio de Janeiro: 2006.

Guillemin, M.P.; Bauer, D. **Human exposure to styrene. II. II. Elimination kinetics of urinary mandelic and phenylglyoxylic acids after single experimental exposure**. Int. Arch. Occup. Environ. Health. Saúde., n.44, p.249-263, 1979.

Hansteen, I-L. et al. **Low human exposure to styrene in relation to chromosome breaks, gaps and sister chromatid exchanges**. Hereditas, n.100, p.87-91, 1984.

Hawksworth, D.L.; Iturriaga, T.; Crespo, A. **Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos**. Rev. Iberoam. Micol. n.22, p.71-82, 2005.

Hodgson, A.T.; Wooley, J.D.; Daisey, J.M. **Emissions of volatile organic compounds from new carpets measured in a large-scale environmental chamber**. J Air Waste Manage Assoc., n. 43, p.316–324, 1993.

Howard, P.H. **Handbook of Environmental Fate and Exposure Data for Organic Chemicals. Vol. I, Large Production and Priority Pollutants**. Lewis Publishers, p. 490–498, 1989.

[IARC] International Agency for Research on Cancer. **Some industrial chemicals**. IARC Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans, vol. 60. Lyon: 1994.

[IBGE] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados estatísticos sobre os municípios brasileiros**. Disponível em: [www.ibge.gov.br/cidade](http://www.ibge.gov.br/cidade). Acesso em: março 2009.

[INMET] Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas 1961 a 1990**. Secretaria Nacional de Irrigação, Ministério da Agricultura e reforma Agrária, INMET. Brasília, 1992.

[INSTITUTO XINGÓ] Instituto de Desenvolvimento Científico e Tecnológico de Xingó. **Recomposição da ictiofauna reofítica do Baixo São Francisco: resumo executivo do relatório final**. Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco (ANA, GEF, PNUMA,OEA). 2003. Disponível em: <http://www.sfrancisco.bio.br/arquivos/ANA%20001.pdf>. Acesso em: fevereiro de 2010.

Jang, J. H.; Hirai, M.; Shoda, M. **Enhancement of Styrene Removal Efficiency in Biofilter by Mixed Cultures of *Pseudomonas* sp. SR-5**. Journal of Bioscience and Bioengineering. v.102, n.1, p.53–59, 2006.

Kishi, R. et al. **Effect of Prenatal Exposure to Styrene on the Neurobehavioral Development, Activity, Motor Coordination, and Learning Behavior of Rats**. Neurotoxicology and Teratology, v.17, n.2, p.121-130, 1995.

Kogevinas, M. et al. **Cancer mortality in a historical cohort study of workers exposed to styrene**. Scand. J. Work Environ. Health, n.20, p.251–261, 1994.

Leibman, K.C. **Metabolism and Toxicity of Styrene**. Environmental Health Perspectives, v.11, p.115-118, 1975.

Luna, A.S. **Química Analítica Ambiental**. Editora da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Rio de Janeiro: 2003, 164p.

Makeni Chemicals. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos: monômero de estireno**. FISPQ N°229, última revisão: 13/02/04. Disponível em: <http://www.makeni.com.br/Portals/Makeni/prod/fispq/monomero%20de%20estireno-ok-229.pdf>. Acesso em: fevereiro de 2008.

Mendonça, L.A.R. et al. **Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo**. Eng. Sanit. Ambient., v.14, n.1, p.89-98, 2009.

Miller, R.R.; Newhook, R.; Poole, A. **Styrene production, use, and human exposure**. Crit. Rev. Toxicol., n.24(1), p.1–10, 1994.

Morani, B.M.; Caranassios, A.; Ribeiro, R.C.C. **Utilização do Rejeito Oriundo do Corte de Mármore como Carga e Recobrimento de Papel.** XVI Jornada de Iniciação Científica - CETEM, Rio de Janeiro: 2008.

Moura, W.A.; Gonçalves, J.P.; Leite, R.S. **Utilização do resíduo do corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para pisos.** Sitientibus, n.26, p.49-61, Feira de Santana: 2002.

Mutti, A. et al. **Brain dopamine as a target for solvent toxicity: effects of some monocyclic aromatic hydrocarbons.** Toxicology , n.49, p.77-82, 1988.

Naccarati, A. et al. **Sperm-FISH analysis and human monitoring: a study on workers occupationally exposed to styrene.** Mutat. Res., v. 537, p.131-140, 2003.

Nakajima T, et al. **Styrene metabolism by cDNA-expressed human hepatic and pulmonary cytochromes P450.** Chem. Res. Toxicol., n.7, p.891-896, 1994.

[NCI] National Cancer Institute, 1979a. **Bioassay of a solution of nitrostyrene and styrene for possible carcinogenicity.** CAS No. 102-965, CAS NO. 100-42-5. Tech. Rep. Ser. No. 170; DHEW Publ. No. NIH 79-1726). US Governmental Printing Office, Washington DC.

[NCI] National Cancer Institute, 1979b. **Bioassay of styrene for possible carcinogenicity.** CAS No. 100-42-5. Tech. Rep. Ser. No. 185; DHEW Publ. No. NIH 79-1741. US Governmental Printing Office, Washington DC.

Newhook, R; Caldwell, I. **Exposure to styrene in the general Canadian population.** IARC Sci. Publ., n.127, p. 27-33, 1993.

NOVAFORMA QUÍMICA. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos – FISPOQ.** Nome Comercial: Novapol. Nome do Produto: Resina Poliéster Orto-Tereftálica Insaturada Diluída em Monômero de Estireno. Disponível: SENAI-CETIND, 2008.

Ottengraf, S.P.P. et al. **Biological elimination of volatile xenobiotic compounds in biofilters.** Bioprocess and Biosystems Engineering., v.1, n.2, p.61-69, 1986.

Peret, A. M. **Dinâmica da alimentação de peixes piscívoros da Represa de Três Marias (MG).** Dissertação de mestrado em Ecologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de São Carlos. 2004. Disponível em:  
<http://www.sfrancisco.bio.br/arquivos/Peret%20AM001.pdf>. Acesso em: fevereiro de 2010.

Pilegaard, K. **Airborne metals and SO2 monitored by epiphytic lichens in an industrial area.** Envir. Pollut., n.17, p.81-91, 1978.

Ponomarkov, V.; Tomatis, L. **Effects of long-term oral administration of styrene to mice and rats.** Scand. J. Work Environ. Health, n.4 ( 2), p.127-135, 1978.



Ribeiro, A.F. **Mármore Bege Bahia em Orolândia-Mirangaba-Jacobina, Bahia: geologia, potencialidade e desenvolvimento sustentável.** CBPM, Série Arquivos Abertos; n.17, p.52. Salvador: 2002. Disponível: SENAI-CETIND, 2008.

Ribeiro, R.C. et al. **Utilização de rejeitos de rochas ornamentais em misturas asfálticas.** Série Tecnologia Mineral, n. 87. CETEM/MCT: 2007.

Rueff, J. et al. **Genetic effects and biotoxicity monitoring of occupational styrene exposure.** Clinica Chimica Acta, n.399, p.8–23, 2009.

Savolainen, H. **Some aspects of the mechanisms by which industrial solvents produce neurotoxic effects.** Chem. Biol. Interact., n.18, p.1-10, 1977.

Seaward, M.R.D. **Lichens and sulphur dioxide air pollution: field studies.** Envir. Rev. n.1, p. 73-91, 1993.

[SEI/BA] Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. **Municípios em síntese.** Disponível em: <http://www.sei.ba.gov.br/>. Acesso em: março de 2009.

[SENAI] Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. **Diagnóstico ambiental e de processo.** Centro de Tecnologia Industrial Pedro Ribeiro – Cetind, Senai Unidade Dendezeiros. Bahia: 2009.

Souza, L.R.; Carrisso, R.C.C.; Ribeiro, R.C.C. **Aplicação de Rejeitos Oriundos do Corte de Mármore como Carga na Indústria Polimérica.** XVI Jornada Interna de Iniciação Científica. CETEM: 2008. Disponível em: [http://www.cetem.gov.br/serie\\_anais\\_XVI\\_jic.htm](http://www.cetem.gov.br/serie_anais_XVI_jic.htm). Acesso em: março de 2009.

Spínola, V.; Guerreiro, L.F.; Bazan, R. **A indústria de rochas ornamentais.** Desenbahia – Agência de Fomento do estado da Bahia: Estudo de Mercado 02/04, 2004.

Synder, R. **The Alkyl Benzenes.** Washington, DC: National Academy Press. 1984.

Sumner, S.J., Fennell, T.R. **Review of the metabolic fate of styrene.** Crit. Rev. Toxicol. n.24, p.11–33, 1994.

Tossavainen A. **Styrene use and occupational exposure in plastics industry.** Scand J Work Environ Health, n.2, p.7–13, 1978.

[U. S. EPA] United States Environmental Protection Agency. **Health and Environmental Effects Profile for Styrene.** Office of Health and Environmental Assessment, Environmental Criteria and Assessment Office, Cincinnati, OH, for the Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington: 1984.

[U. S. EPA] United States Environmental Protection Agency. **EPA METHOD 524.2 - Measurement of Purgeable Organic Compounds in Water by Capillary Column Gas Chromatography/Mass Spectrometry**. Rev. 4.1, 1995.

[U. S. EPA] United States Environmental Protection Agency. **EPA METHOD 8260C - Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC/MS)**. Rev. 2, 1996.

[U. S. EPA] United States Environmental Protection Agency. **Integrated risk information system (IRIS) on styrene**. National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, Washington, DC. Disponível em: <http://www.epa.gov/iris/subst/0104.htm>. Acesso em: janeiro de 2010.

[U. S. EPA] United States Environmental Protection Agency. **Pollution Prevention and Toxics: OPPT Chemical Fact Sheets. (Styrene)**. Fact Sheet: Support Document (CAS No. 100-42-5). Disponível em: <http://www.epa.gov/chemfact/styre-sd.txt>. Acesso em: janeiro de 2010.

Villarouco, F. M. O. et al. **Análisis del líquen Cladonia verticillaris (Raddi) Fr., en condiciones de laboratorio bajo efecto del estireno y ciclohexano**. INCI. [online], vol.32, no.4, p.242-246, 2007.

Vogie, K.; Mantick, N.; Carlson, G. **Metabolism and toxicity of the styrene metabolite 4-vinylphenol in CYP2E1 knockout mice**. J. Toxicol. Environ. Health A, n.67, p. 145–152, 2004.

Warhurst, A. M.; Fewson, C. A. **Microbial metabolism and biotransformations of styrene**. Journal of Applied Bacteriology n.77, p. 597-606, 1994.

[WHO] World Health Organization. **Styrene**. Environmental Health Criteria, n.26. Geneve: 1983.

[WHO] World Health Organization. **Air Quality Guidelines for Europe**. Regional Office for Europe second edition. WHO regional publications. European series, n. 91. Copenhagen: 2000. Disponível: <http://www.euro.who.int/document/e71922.pdf>. Acesso em: dezembro de 2009.

## **9. ANEXOS**

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)