



COPPE/UFRJ

AVALIAÇÃO DE EFEITOS DE CARGAS POLUIDORAS ORIUNDAS DE
ACIDENTES RODOVIÁRIOS NA QUALIDADE DE ÁGUA.
ESTUDO DE CASO DO MÉDIO PARAÍBA DO SUL - RJ

Vivian Melo do Amaral

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-graduação em Engenharia
Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio
de Janeiro, como parte dos requisitos necessários
à obtenção do título de Mestre em Engenharia
Civil.

Orientadores: José Paulo Soares de Azevedo

Jorge Henrique Alves Prodanoff

Rio de Janeiro
Dezembro de 2009

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

AVALIAÇÃO DE EFEITOS DE CARGAS POLUIDORAS ORIUNDAS DE
ACIDENTES RODOVIÁRIOS NA QUALIDADE DE ÁGUA.
ESTUDO DE CASO DO MÉDIO PARAÍBA DO SUL - RJ

Vivian Melo do Amaral

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Examinada por:

Prof. José Paulo Soares de Azevedo, Ph.D.

Prof. Jorge Henrique Alves Prodanoff, D.Sc.

Prof. Otto Corrêa Rotunno Filho, Ph.D.

Profª Rosa Formiga Johnsson, Docteur.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

DEZEMBRO DE 2009

Amaral, Vivian Melo do

Avaliação de efeitos de cargas poluidoras oriundas de acidentes rodoviários na qualidade de água. Estudo de caso do médio Paraíba do Sul – RJ / Vivian Melo do Amaral. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009.

XII, 109 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: José Paulo Soares de Azevedo

Jorge Henrique Alves Prodanoff.

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2009.

Referencias Bibliográficas: p. 91-95.

1. Transporte e dispersão de poluentes. 2. Modelagem de Qualidade de Água. 3. Gestão dos Recursos Hídricos. I. Azevedo, José Paulo Soares de, *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

Dedicatória

Aos meus avós,

meus exemplos de vida, por todos os ensinamentos transmitidos. Especialmente à minha vó Maria, que me abençoa, até hoje, em suas orações.

Aos meus pais, Sérgio e Sebastiana,

pelo amor incondicional e por me educarem, apoiarem e estarem presentes em todos os momentos da minha vida.

Aos meus tios, Pedro, Sônia e Sandra,

responsáveis também pelo meu crescimento, pelo incentivo em todos esses anos.

À minha irmã Vanessa,

meu exemplo de determinação, por estar sempre por perto, mesmo estando a alguns quilômetros de distância.

Ao meu marido,

eterno namorado – desde a matemática do 1º grau – por ter sido meu apoio e por fazer parte, agora pra sempre, da minha vida.

A todos vocês, dedico mais esta conquista.

Agradecimentos

Em um trabalho como este, muitas são as pessoas que nos ajudam e nos apóiam, tornando esta “jornada” um pouco menos difícil.

Primeiramente, agradeço à minha família, pela paciência no decorrer destes quase três anos de mestrado e pela compreensão da minha ausência. Agradeço a meus pais, Sérgio e Sebastiana, pelo apoio incondicional, incentivo e por suportar meu mau humor nos momentos, cada vez menores, que estávamos juntos. Ao meu marido, que simplesmente ficou do meu lado em todos os momentos (“na alegria e na tristeza”!), privando-se também de horas de diversão, sono e da minha companhia em várias ocasiões. Agradeço também por ter agüentado minhas pilhas de livro e papel que viraram objetos de decoração pela casa. À minha irmã Vanessa, pelo estímulo na entrada no mestrado e por seu apoio nestes meses finais.

Agradeço também à família que formei ao longo dos anos, meus amigos, que conseguiu me tirar de casa e melhorar meu humor, o que muitas vezes parecia uma tarefa impossível. Em especial, gostaria de agradecer a três grandes amigas que tive a sorte de conhecer nos “corredores” desta escola e que estiveram sempre do meu lado, inclusive no desenvolvimento deste trabalho: Fernanda, por aqueles finais de semana perdidos na formulação deste trabalho; Gabriela, por estar sempre pronta pra me ajudar; e Aline, por ter sido um apoio durante todo o mestrado. Agradeço, ainda, aos colegas de turma que tornaram as atividades relacionadas ao mestrado bem mais agradáveis.

Não posso esquecer meus orientadores que, cada um da sua maneira, trouxeram grandes contribuições nesta dissertação. Ao professor José Paulo, pelos conhecimentos transmitidos em nossas conversas e orientações desde o início deste trabalho. Ao professor Jorge Prodanoff, cujas críticas foram essenciais para a elaboração desta dissertação. Em especial gostaria de agradecer o Eng. Otávio Pecly, do Laboratório de Traçadores, por toda a ajuda técnica, dando uma contribuição fundamental no desenvolvimento deste estudo. A vocês, muito obrigada pela paciência, orientação e confiança.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

AVALIAÇÃO DE EFEITOS DE CARGAS POLUIDORAS ORIUNDAS DE
ACIDENTES RODOVIÁRIOS NA QUALIDADE DE ÁGUA.
ESTUDO DE CASO DO MÉDIO PARAÍBA DO SUL - RJ

Vivian Melo do Amaral

Dezembro/2009

Orientadores: José Paulo Soares de Azevedo

Jorge Henrique Alves Prodanoff

Programa: Engenharia Civil

Este trabalho propõe uma metodologia para estimar a concentração de substâncias poluidoras em um curso de água após despejos acidentais. Foi considerado, como fonte potencial de poluição, o transporte rodoviário de produtos perigosos, que pode despejar grande quantidade de poluentes no ambiente caso haja um acidente. O trecho escolhido para aplicação do modelo foi o segmento do rio Paraíba do Sul entre Volta Redonda e Barra do Piraí. A ferramenta proposta, um modelo matemático 1D baseado no ajuste da tradicional e clássica solução de Taylor, permite avaliar o transporte e dispersão de poluentes no corpo hídrico, estimando a variação de sua concentração no tempo e no espaço. No desenvolvimento deste trabalho, os parâmetros de transporte e dispersão da Fórmula de Taylor provêm de ensaios de traçadores realizados no local. Nesse sentido, o modelo de cálculo proposto permite o conhecimento prévio do comportamento do poluente neste trecho de rio, auxiliando no processo de tomada de decisão. Os resultados obtidos nas simulações numéricas reforçam a influência da vazão presente no rio nos tempos de chegada da pluma de contaminantes e na concentração correspondente. Tais informações são fundamentais para o planejamento prévio de ações a serem tomadas após um acidente pelos usuários da bacia.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

EVALUATION OF THE WATER QUALITY EFFECTS DUE TO ACCIDENTAL
SPILLS OF POLLUTING LOADS ON ROADS.
CASE STUDY: MEDIUM PARAIBA DO SUL BASIN - BRAZIL

Vivian Melo do Amaral

December/2009

Advisors: José Paulo Soares de Azevedo

Jorge Henrique Alves Prodanoff

Department: Civil Engineering

This work proposes a methodological approach to estimate the concentration of polluting substances in a river after an accidental spill. The transportation of dangerous products on roads was considered as the main pollution source, since it may spill large amounts of pollutants on the environment in the event of an accident. The section of the Paraíba do Sul river between Volta Redonda and Barra do Piraí was chosen for the model application. The proposed tool, a 1D mathematical model based on the both classical and traditional Taylor solution fitting, allows assessing the transport and dispersion of pollution along the river, estimating the temporal and spatial variability of its concentration. In this work, the dispersion and transportation parameters present in Taylor solution were determined using artificial dye tracer data. The proposed model includes the previous knowledge of pollutant behavior on this river segment as a support for the decision process. The numerical simulation results indicate the river's flow influence in time and concentration of the pollutant plume. These are fundamental information for the previous planning of actions to be taken after the occurrence of a road accident.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
2	O TRANSPORTE DE SUBSTÂNCIAS PERIGOSAS EM RODOVIAS NO BRASIL.....	5
2.1	Introdução.....	5
2.2	Poluição decorrente de acidentes no transporte rodoviário de cargas perigosas.....	8
2.3	O transporte rodoviário de produtos perigosos	9
2.3.1	Características Gerais.....	9
2.3.2	Atores Envolvidos.....	12
2.3.3	Legislação referente ao transporte rodoviário de produtos perigosos	13
2.4	Acidentes no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos.....	16
2.4.1	Breve Histórico	16
2.4.2	Panorama de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos.....	17
2.4.3	Atores envolvidos e procedimentos em caso de acidentes	19
2.5	Condições Gerais nas Rodovias	21
2.5.1	Via Dutra.....	21
3	BASES TEÓRICAS E EXPERIMENTAIS.....	23
3.1	Transporte Difusivo-Advectivo	23
3.2	Aplicação de Traçadores	28
3.2.1	Introdução	28
3.2.2	Aplicações de Traçadores em Hidrologia	29
3.2.3	Determinação do Coeficiente de Dispersão Longitudinal.....	31
4	METODOLOGIA	32
5	ESTUDO DE CASO	35
5.1	A Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul.....	35
5.1.1	Características gerais.....	35
5.1.2	Aspectos Climáticos.....	37
5.1.3	Uso e ocupação atual do solo	37
5.1.4	Usos múltiplos da bacia	38
5.2	Trecho escolhido para aplicação da metodologia.....	39
5.2.1	Características Gerais.....	39
5.2.2	Hidrografia.....	41
5.2.3	Usos da água do rio Paraíba do Sul.....	43

5.2.4	Transportes.....	49
5.2.5	Qualidade das águas.....	51
5.3	Uso de traçadores na obtenção de parâmetros para o modelo matemático.....	54
5.3.1	Ensaio de campo.....	54
5.3.2	Análises em Laboratório.....	56
5.4	Unidade de Estudo	57
6	<i>DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE CÁLCULO</i>	59
6.1	Cenários de Simulação.....	59
6.1.1	Pontos críticos na área de estudo	60
6.2	Desenvolvimento do modelo de cálculo	62
6.2.1	Modelo de cálculo através da Fórmula de Taylor	62
6.2.2	Restrições.....	66
6.2.3	Calibração	69
7	<i>ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES</i>	72
7.1	Cenários	72
7.1.1	Cenário 1	72
7.1.2	Cenário 2.....	75
7.1.3	Cenário 3.....	78
8	<i>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</i>	86
9	<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	91
ANEXOS		

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Fiscal do IBAMA observa vazamento de lama vermelha proveniente da empresa Alunorte em Barcarena, PA	6
Figura 2-2: Identificação de veículo transportador de substância perigosa	12
Figura 3-1: Balanço de massa num volume de controle infinitesimal na direção x	24
Figura 3-2: Efeitos dos processos de difusão e advecção	27
Figura 5-1: Municípios pertencentes à região em estudo.....	40
Figura 5-2: Hidrografia da região em estudo	42
Figura 5-3: Localização dos usuários de água – parte 1	44
Figura 5-4: Localização dos usuários de água – parte 2	45
Figura 5-5: Localização dos usuários de água – parte 3	45
Figura 5-6: Companhia Siderúrgica Nacional.....	49
Figura 5-7: Mapa Rodoviário do Rio de Janeiro com destaque para a área em estudo.....	50
Figura 5-8: Localização das estações de monitoramento.....	53
Figura 5-9: Localização das seções de estudo.....	55
Figura 5-10: Unidade de Estudo	58
Figura 6-1: Pontos críticos de lançamento	61
Figura 6-2: Vazões médias no posto fluviométrico Volta Redonda no período de monitoramento	63
Figura 6-3: Hidrograma das vazões mensais máximas, médias e mínimas no período de 1940-2008	64
Figura 6-4: Gráfico velocidade média x vazão do rio	66
Figura 6-5: Esquema da mistura do poluente com a água do escoamento	67
Figura 6-6: Curva de calibração para a vazão de 272 m ³ /s	69
Figura 6-7: Curva de calibração para a vazão de 294 m ³ /s	70
Figura 6-8: Curva de calibração para a vazão de 342 m ³ /s	70
Figura 6-9: Curva de calibração para a vazão de 639 m ³ /s	71
Figura 7-1: Curva de passagem para a situação de massa constante e seção variável – todas as vazões..	73
Figura 7-2: Curva de passagem para a situação de massa constante e seção variável – vazão de 694 m ³ /s	73
Figura 7-3: Curva de passagem para a situação de massa constante e seção variável – vazão de 273 m ³ /s	74
Figura 7-4: Curva de passagem para a situação de massa constante e seção variável – vazão de 148 m ³ /s	74
Figura 7-5: Curva de passagem para a situação de seção constante e massa variável – todas as vazões..	76
Figura 7-6: Curva de passagem para a situação de seção constante e massa variável – vazão de 694 m ³ /s	76
Figura 7-7: Curva de passagem para a situação de seção constante e massa variável – vazão de 273 m ³ /s	77
Figura 7-8: Curva de passagem para a situação de seção constante e massa variável – vazão de 148 m ³ /s	77

Figura 7-9: Curva de passagem na seção Companhia de Águas e Esgotos de Barra do Pirai – todas as vazões.....	79
Figura 7-10: Curva de passagem na seção estação elevatória de Santa Cecília – todas as vazões.....	80
Figura 7-11: Curva de passagem na seção Companhia de Águas e Esgotos de Barra do Pirai – vazão de 694 m ³ /s.....	80
Figura 7-12: Curva de passagem na seção estação elevatória de Santa Cecília – vazão de 694 m ³ /s	81
Figura 7-13: Curva de passagem na seção Companhia de Águas e Esgotos de Barra do Pirai – vazão de 272 m ³ /s.....	81
Figura 7-14: Curva de passagem na seção estação elevatória de Santa Cecília – vazão de 272 m ³ /s	82
Figura 7-15: Curva de passagem na seção Companhia de Águas e Esgotos de Barra do Pirai – vazão de 148 m ³ /s.....	82
Figura 7-16: Curva de passagem na seção estação elevatória de Santa Cecília – vazão de 148 m ³ /s	83

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 5-1: Características Gerais dos Principais Afluentes do rio Paraíba do Sul	36
Tabela 5-2: Cobertura Vegetal e Uso do Solo na Bacia do Paraíba do Sul.....	38
Tabela 5-3: Tipo de uso e vazão de captação correspondente	39
Tabela 5-4: Informações gerais dos municípios pertencentes à região em estudo	41
Tabela 5-5: Informações sobre os usuários cadastrados no CNARH em 2008 nos municípios em estudo	46
Tabela 5-6: Média dos parâmetros de qualidade de água (1990 a 2000)	52
Tabela 5-7: Características das seções de monitoramento	55
Tabela 5-8: Características dos ensaios realizados	56
Tabela 6-1: Distância dos possíveis locais de despejo acidental em relação à seção S0	61
Tabela 6-2: Distância dos possíveis locais de captação em relação à seção S0	62
Tabela 6-3: Resultados obtidos nas campanhas de traçadores no rio Paraíba do Sul	65
Tabela 6-4: Exemplos de substâncias conservativas	68
Tabela 7-1: Resultados para a situação de massa constante e seções variáveis	75
Tabela 7-2: Resultados para a situação de seção constante e massa variável	78
Tabela 7-3: Resultados para a seção Companhia de Águas e Esgotos de Barra do Pirai.....	83
Tabela 7-4: Resultados para a seção estação elevatória de Santa Cecília	84

1 INTRODUÇÃO

A degradação do meio ambiente e a possibilidade concreta da falta de água têm cada vez mais estado presentes em diversos fóruns de debate pelo mundo todo. Além da preocupação com a saúde da população e das gerações futuras, a proteção dos recursos naturais é fundamental no desenvolvimento econômico, como também na redução de possíveis disputas políticas entre territórios nacionais e internacionais. Nesse sentido, a conservação dos recursos hídricos, não apenas da quantidade, mas também de sua qualidade, é vista como essencial para a preservação da vida.

No Brasil a lei nº 9.433/97, conhecida como lei das águas, estabeleceu um marco na gestão de recursos hídricos. A partir de então, a qualidade da água, e não apenas sua quantidade, passou a ter grande destaque. Nesta lei, em seu artigo 2º, fica claro que um dos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos é o de *“assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”*.

O controle da poluição das águas advém de medidas que atuam na identificação e controle de fontes de poluição pontuais e difusas. Fontes pontuais podem ser definidas como aquelas que despejam substâncias prejudiciais em locais fixos, como despejos de indústrias e estações de tratamento de esgoto. Já fontes difusas, ou não pontuais, são consideradas aquelas cuja origem é de difícil identificação, como a poluição carregada com as primeiras águas de chuva sobre ruas de uma cidade.

Independente de sua origem, o lançamento de uma massa poluidora em corpos hídricos compromete a qualidade da água, trazendo prejuízos ao meio ambiente aquático, ao abastecimento da população, dos agricultores e das indústrias, entre outros.

Atualmente, o conhecimento e o controle da poluição difusa vêm assumindo crescente importância na preservação da qualidade dos recursos hídricos, principalmente dos cursos de água superficiais. Como fonte de poluição difusa, pode-se considerar o transporte de produtos perigosos, já que não é possível prever o local de lançamento das substâncias poluidoras antes da ocorrência de acidentes envolvendo esta atividade.

Nesse sentido, o transporte rodoviário de produtos perigosos constitui uma fonte potencial de poluição, podendo despejar, em pouco tempo, uma grande quantidade de poluentes no ambiente, caso haja um acidente.

Apesar de sua imprevisibilidade, acidentes envolvendo o transporte de substâncias tóxicas requerem ações emergenciais que minimizem os impactos de forma rápida e eficiente. Verifica-se, nestas ocorrências, a possibilidade do poluente alcançar algum corpo hídrico próximo, sendo transportado para locais bem distantes do ponto inicial de despejo. Nesse sentido, o conhecimento prévio das características hidrológicas de um dado rio permite a adoção de medidas emergenciais de forma mais rápida, o que amplia a possibilidade de sucesso de tais ações.

Segundo RIBEIRO (2007), informações sobre a capacidade de transporte e dispersão de poluentes solúveis em cursos de água naturais são importantes no gerenciamento dos recursos hídricos, principalmente no planejamento preventivo de medidas que visem minimizar prejuízos à saúde pública e às atividades econômicas que dependem do uso da água ocasionados por despejos acidentais.

Além de informações hidrológicas, o gerenciamento dos recursos hídricos deve buscar formas que auxiliem o conhecimento prévio da natureza do problema. Destaca-se, portanto, a utilização de modelos numéricos na previsão de diversas situações envolvendo os recursos hídricos, entre elas a previsão do comportamento de poluentes transportados pelo escoamento nos cursos d'água. Estes modelos apresentam-se, então, como uma ferramenta de apoio no gerenciamento dos recursos hídricos, contribuindo ricamente na tomada de decisão.

Sendo assim, o principal objetivo deste estudo é prever o transporte e dispersão de poluentes em corpos hídricos naturais utilizando um modelo matemático que permita estimar a variação de sua concentração no espaço e no tempo.

Especificamente, deseja-se estudar a qualidade da água em trecho do rio Paraíba do Sul após o despejo acidental de substâncias poluidoras, avaliando sua variação temporal e espacial. Para isto, será utilizado um modelo matemático 1D, que consiste no ajuste da tradicional e clássica solução de Taylor, extrapolada para escoamentos naturais.

As simulações a serem realizadas têm o intuito de prever o tempo de percurso da nuvem de poluentes proveniente de acidentes ocorridos nas rodovias que atravessam cursos d'água importantes da área em estudo, apresentando, graficamente, a distribuição

temporal de concentrações da referida nuvem em locais de captação de água bruta a jusante de seu lançamento.

Para utilização confiável da maioria dos modelos numéricos em recursos hídricos, é necessária a determinação experimental *in situ* de parâmetros que traduzam as características particulares de cada corpo de água, pois a complexidade e diversidade dos escoamentos naturais impedem uma aproximação puramente teórica (RIGO, 1992).

O desenvolvimento deste trabalho baseia-se no uso da técnica de traçadores artificiais, por ser um método bastante adequado para a determinação do transporte e dispersão de substâncias em escoamento naturais. Este método é utilizado como forma de verificar o comportamento hidrodinâmico de um determinado processo físico e químico, utilizando como recurso a injeção de uma substância conservativa no seu escoamento. Esta técnica apresenta diversas aplicações em Hidrologia, entre elas a determinação prévia de parâmetros de transporte e de dispersão em rios visando minimizar problemas ocasionados por despejos acidentais de poluentes.

O presente estudo foi dividido em 8 capítulos. No primeiro capítulo, é apresentada uma breve introdução, considerando os aspectos gerais de motivação deste trabalho e os objetivos pretendidos com o desenvolvimento deste estudo.

O capítulo 2 contém uma revisão do transporte de substâncias perigosas por rodovias no Brasil, incluindo os atores envolvidos, a legislação referente a esta atividade, breve panorama de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos, entre outras informações.

No capítulo 3, são discutidas as bases teóricas e experimentais empregadas nesta dissertação, i.e., a equação de difusão-advecção unidimensional e o emprego de traçadores artificiais para determinar o coeficiente de dispersão longitudinal e a velocidade do escoamento.

O capítulo 4 apresenta a metodologia desenvolvida no presente estudo, utilizada para transformar o derramamento de substância perigosa decorrente de um acidente rodoviário em curvas de passagem da substância ao longo do rio principal.

O capítulo 5 apresenta uma caracterização da região escolhida para estudo de caso: um trecho do rio Paraíba do Sul entre os municípios de Volta Redonda e Barra do Pirai. Na caracterização do trecho são apresentados aspectos climáticos, uso e ocupação atual do

solo, usos múltiplos da água, a rede de transporte rodoviário e aspectos da qualidade da água.

O capítulo 6 descreve o desenvolvimento do modelo de cálculo proposto, abordando também os cenários possíveis de simulação dentro da área em estudo.

O capítulo 7 descreve os cenários simulados, apresentando os resultados obtidos a partir das simulações para três cenários.

O capítulo 8 apresenta as principais conclusões obtidas do presente trabalho e, ainda, as recomendações para estudos futuros.

2 O TRANSPORTE DE SUBSTÂNCIAS PERIGOSAS EM RODOVIAS NO BRASIL

2.1 INTRODUÇÃO

Segundo GUSMÃO (2002), define-se como poluição acidental o lançamento inesperado de uma significativa massa poluidora, provocando considerável dano ambiental e colocando em risco a vida e o patrimônio das comunidades localizadas na área de influência do evento.

Devido à sua característica de imprevisibilidade, despejos acidentais de poluentes podem ocorrer de diversas formas, sendo causadas tanto por fenômenos naturais (como terremotos, ciclones), quanto pela ação do homem, através de despejo de produtos nocivos, incêndios, explosões, colisões, entre outros. Além dos danos ao meio ambiente e à saúde da população, esses acidentes geram, na maioria dos casos, grandes prejuízos econômicos.

Os danos ambientais podem se restringir a um determinado lugar ou ganhar maiores proporções, alcançando locais mais distantes daquele onde ocorreu o acidente. Este é o caso de quando um evento, como um derramamento, atinge um curso de água próximo, podendo ocasionar poluição dos rios de uma dada região.

Acidentes por derramamento de uma substância poluidora podem ocorrer em diversos pontos ao longo de um rio, tais como lançamentos de efluentes sem tratamento adequado nas unidades de tratamento, em indústrias situadas próximas a cursos de água e despejos acidentais em rodovias. Em todos os casos, a qualidade da água fica comprometida, podendo trazer prejuízos à biota, ao abastecimento da população, dos agricultores e da indústria, entre outros.

Muitos acidentes estão associados a alguma parte do processo produtivo, o qual envolve produção, transporte, armazenamento e consumo. Nestes casos, os acidentes podem acontecer de diversas formas, distantes ou não do parque industrial, e podem estar associados a problemas por falhas nos aparelhos de segurança, mau dimensionamento das unidades industriais, despejos industriais acima do normal estabelecido, despejo de substâncias em rodovias, entre outros.

Apesar de todo o aparato existente para garantir a segurança dentro de um complexo industrial, podem ocorrer erros graves no sistema, o que leva ao despejo de substâncias perigosas no meio ambiente. Isto pode levar à contaminação do solo, dos recursos hídricos locais e do ar, entre outros impactos.

Muitos casos podem ser relatados como exemplos de falhas nos sistemas das indústrias. No dia 30/06/2009, ocorreu na Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), situada na cidade de Volta Redonda, um acidente que liberou grande quantidade de um pó preto oriundo da queima de carvão utilizado na fabricação de aço. O acidente foi ocasionado devido a uma sobrepressão no topo de um alto-forno desta companhia, provocando a abertura de válvula de alívio de pressão, que lançou, durante cerca de 2 minutos, a fuligem no ar (portal G1, 2009). Dias depois, em 03/08/2009, a CSN envolveu-se em outro acidente. Desta vez, houve vazamento de óleo de uma tubulação desta companhia, atingindo o rio Paraíba do Sul (portal IBAMA, 2009).

O mau dimensionamento das instalações industriais também contribui bastante para a liberação de substâncias químicas perigosas no meio ambiente. Em 27/04/09, ocorreu um vazamento de uma lama vermelha (oriunda do beneficiamento da bauxita) na bacia de rejeitos da empresa Alunorte, no município de Barcarena, localizada na região metropolitana de Belém. O vazamento pode ter sido causado pelo alteamento insuficiente da bacia de rejeitos, que não pôde suportar a produção da empresa e a pluviosidade da região (portal da revista DAE, 2009).



Fonte: Portal da Revista DAE, 2009.

Figura 2-1: Fiscal do IBAMA observa vazamento de lama vermelha proveniente da empresa Alunorte em Barcarena, PA

Não apenas por falhas do sistema, mas também por pequenos incidentes dentro das indústrias, substâncias podem ser despejadas no ambiente. Como aconteceu em novembro de 2008, em Resende/RJ, quando uma válvula de empresa sediada no Pólo Industrial de Resende apresentou um defeito durante o descarregamento de um caminhão carregado de endossulfan. O pesticida vazou para a rede de águas pluviais, contaminando o rio Pirapetinga, afluente do Paraíba do Sul. A empresa constatou o vazamento e fechou a válvula do compartimento (portal do IBAMA, 2009). Mesmo com o fechamento, grande quantidade deste produto já havia sido despejada no rio, gerando grande desequilíbrio ambiental, com mortandade de peixes e falha no abastecimento público para a população da região (VIANA, 2009).

Acidentes ocorridos dentro das indústrias, como visto, podem acontecer por motivos diversos e causar grandes desequilíbrios ambientais. Entretanto, devido à proximidade aos aparatos de segurança e às equipes treinadas que se encontram nessas instalações, é possível efetuar ações emergenciais de respostas mais rápidas e eficazes.

Fora das instalações industriais, entretanto, podem ocorrer acidentes envolvendo os produtos químicos perigosos, principalmente nas estradas utilizadas para o seu transporte. Nestes casos, os acidentes são caracterizados não apenas por um acidente ambiental, já que leva à contaminação do ambiente ao redor, mas também como um acidente de trânsito, envolvendo toda a operação de trânsito pertinente, um acidente de trabalho, que envolve todo o aparato de segurança, e acidente químico, que podem provocar intoxicações, evacuações e interdições (NOGUEIRA, 2007; FREITAS & AMORIM, 2001). Possuem, portanto, o potencial de causar simultaneamente múltiplos danos ao meio ambiente e à saúde dos indivíduos expostos (FREITAS & AMORIM, 2001).

Em rodovias, caso o despejo de acidentes não receba ações emergenciais que minimizem os impactos de forma rápida e eficiente, o poluente pode alcançar algum corpo hídrico próximo, podendo ser transportado a locais mais distantes do ponto inicial de despejo.

O presente trabalho tem como foco, portanto, o despejo acidental de poluentes durante o transporte rodoviário e suas consequências caso a carga de poluente chegue a um curso de água.

2.2 POLUIÇÃO DECORRENTE DE ACIDENTES NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS PERIGOSAS

Tão importante quanto o controle das fontes contínuas de poluição é o controle de fontes eventuais, devido aos grandes danos ambientais que podem acarretar. Entre elas, destaca-se a poluição gerada por acidentes envolvendo o transporte terrestre de produtos perigosos.

Acidentes envolvendo o transporte de substâncias perigosas, apesar de difícil previsão, têm apresentado destaque em estudos relacionados aos impactos gerados, que representam riscos para a saúde das pessoas, para a segurança pública e para o meio ambiente. Cada vez mais, o controle e a prevenção da poluição acidental no transporte rodoviário de produtos perigosos têm sido abordados por diferentes setores da sociedade.

O DNIT (2005), por intermédio do Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), formulou o “Manual para implementação de planos de ação de emergência para atendimento a sinistros envolvendo o transporte rodoviário de produtos perigosos”. Este manual constitui um instrumento básico de orientação de medidas de segurança de caráter preventivo e corretivo, servindo como um guia para a execução dos planos de ação de emergência após a ocorrência de acidentes envolvendo produtos perigosos.

GUSMÃO (2002) reuniu informações a respeito do controle e prevenção da poluição acidental no transporte rodoviário de produtos perigosos, visando alertar sobre os riscos para a sociedade provenientes da movimentação rodoviária de tais produtos, principalmente na contaminação de mananciais de abastecimento. Neste trabalho, destacaram-se ações aplicadas no estado do Rio de Janeiro, que tem, no rio Paraíba do Sul, a mais importante fonte de abastecimento para grande parte da população. Segundo o autor, é fundamental que no atendimento a acidentes envolvendo cargas perigosas seja desenvolvido um trabalho em conjunto, unindo o poder do estado com os recursos da indústria química.

SCHENINI *et al.* (2006), propuseram a utilização do gerenciamento de riscos pelas empresas envolvidas com o transporte de produtos perigosos. Nesse trabalho, foram levantados os fatores a serem considerados a respeito da proteção do local e a importância da correta identificação dos vazamentos. Os autores constataram que através da utilização do gerenciamento de riscos consegue-se delimitar de forma ampla

o funcionamento do sistema de transporte, detectando os fatores indesejáveis e possibilitando mais facilmente a formulação de sugestões e soluções para a eliminação e/ou redução das perdas.

NOGUEIRA (2007) dissertou sobre as ocorrências de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos, reunindo informações existentes desta atividade e recomendando melhorias nas ações de respostas a emergências ocorridas nas principais rodovias do estado do Rio de Janeiro.

VIANA (2009) identificou os riscos de acidentes ambientais associados ao transporte terrestre de produtos perigosos em parte da área territorial de influência da Estação de Tratamento de Água do Guandu. Neste trabalho foram mapeados pontos de alta e média gravidade das principais rodovias e ferrovias situadas a montante da referida área de influência que podem comprometer a qualidade de água dos rios Paraíba do Sul e Guandu, identificando vários trechos de alto risco de acidentes ambientais ao longo da rodovia Presidente Dutra.

O IBAMA (IBAMA, 2008 e 2009), com intuito de reunir informações acerca dos acidentes envolvendo produtos perigosos no Brasil, tem disponibilizado em relatórios anuais sobre acidentes ambientais os dados coletados através de seu monitoramento por todo o país.

Destaca-se, ainda, toda a legislação existente que, através de normas, regulamentos e leis, estabelece regras e procedimentos a serem cumpridos por diferentes setores da sociedade em relação ao transporte de substâncias tóxicas.

2.3 O TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PRODUTOS PERIGOSOS

2.3.1 Características Gerais

De acordo com NOGUEIRA (2007), o transporte de produtos perigosos insere-se dentro da logística do processo produtivo, que compreende as fases de produção, transporte, armazenamento e consumo, consistindo na interligação entre as várias etapas do beneficiamento industrial. A fase do transporte, fundamental dentro do processo

produtivo, permite tanto a distribuição dos produtos fabricados em um parque industrial quanto o recebimento dos insumos necessários à produção.

Entre os diversos produtos que são transportados pelas vias terrestres, estão aqueles que necessitam de atenção especial, já que podem causar problemas à saúde da população e ao meio ambiente caso sejam despejados acidentalmente: as substâncias químicas perigosas.

Um produto perigoso pode ser definido como todo produto químico que pode oferecer, quando fora de controle, riscos à saúde dos seres humanos e animais, prejuízos materiais e danos ambientais (SCHENINI, 2006). Essas substâncias podem ser encontradas em combustíveis e lubrificantes, defensivos agrícolas, insumos industriais para produtos diversos, produtos de limpeza, tintas, vernizes e resinas, entre outros.

Devido à periculosidade das substâncias que carrega, o transporte terrestre de produtos perigosos apresenta riscos potenciais ao meio ambiente. Por ocorrer fora das instalações industriais, em caso de acidente, nem sempre a infra-estrutura necessária e os atores envolvidos para resolver e/ou minimizar os problemas estão corretamente articulados entre si, como acontece com incidentes ocorridos dentro das unidades produtivas, aumentando, assim, o risco dessa atividade.

Além disso, as conseqüências de acidentes que envolvem o transporte de produtos perigosos geram reflexos tanto aos usuários diretos da via, como às localidades situadas no entorno da região da ocorrência. Esta atividade é, ainda, bastante influenciada por fatores externos, como as condições climáticas de uma região, a topografia, entre outros.

O problema ainda se agrava quando se atingem corpos hídricos locais, comprometendo a qualidade de suas águas e podendo colocar em risco o abastecimento da população não apenas local, mas de toda uma região.

O transporte terrestre abrange os meios rodoviário, ferroviário e dutoviário. No Brasil, o modal rodoviário é predominante sobre os demais, sendo o que apresenta o maior deslocamento de produtos e pessoas. Neste estudo, devido à sua importância, dar-se-á ênfase ao transporte de produtos perigosos em rodovias.

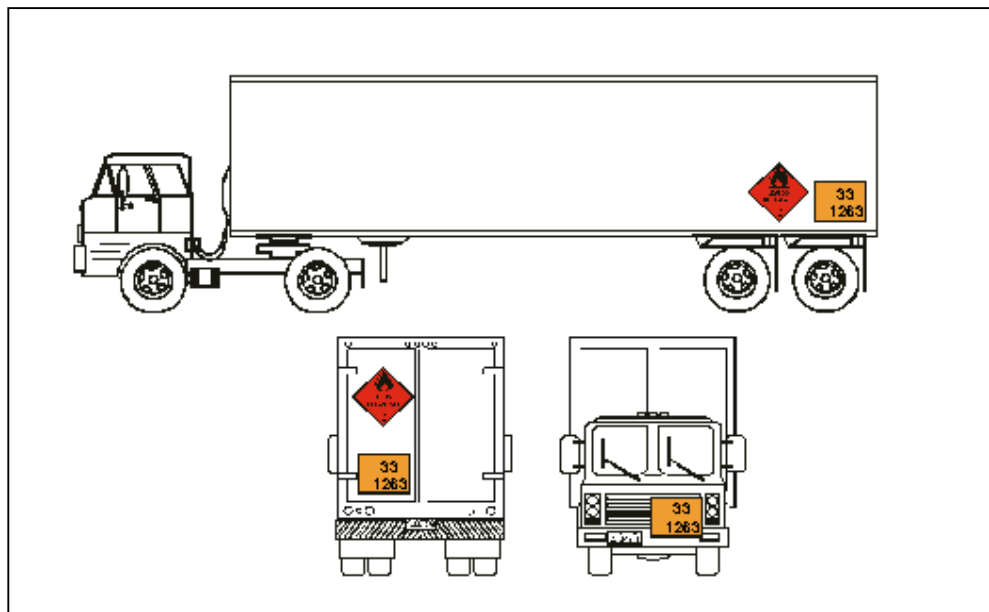
O transporte de substâncias perigosas é regido por uma série de normas e leis que regulam esta atividade e auxiliam na prevenção e controle, em caso de acidentes. Muitas dessas regulamentações têm origem nas recomendações das Nações Unidas, por meio da publicação sobre Recomendações para o Transporte de Produtos Perigosos,

conhecido como *Orange Book* (NOGUEIRA, 2007; GUSMÃO, 2002; VIANA, 2009). Essa publicação, que sofre atualizações e revisões constantemente, objetiva uniformizar medidas de segurança e harmonizá-las entre os diversos modos de transporte (GUSMÃO, 2002).

No Brasil, a classificação dos produtos existentes que podem representar riscos para a sociedade segue, portanto, as recomendações da ONU. Essa classificação faz parte do anexo da Resolução n.º 420, de 12/02/04, que apresenta cerca de 2.000 produtos classificados como perigosos distribuídos em nove classes básicas, de acordo com o tipo de dano que podem provocar, listadas a seguir:

- classe 1 – explosivos;
- classe 2 – gases;
- classe 3 – líquidos inflamáveis;
- classe 4 – sólidos inflamáveis;
- classe 5 – substâncias oxidantes, peróxidos orgânicos;
- classe 6 – substâncias tóxicas, substâncias infectantes;
- classe 7 – materiais radioativos;
- classe 8 – substâncias corrosivas;
- classe 9 – substâncias perigosas diversas.

O transporte de produtos perigosos deve ser devidamente identificado para alertar os demais usuários da via sobre o tipo de substância está sendo transportada. Nesse sentido, todo o veículo destinado ao transporte desses materiais apresenta dois símbolos: o rótulo de risco e o painel de segurança. Esses símbolos, situados nas laterais, frente e parte de trás dos veículos, são padronizados, devendo seguir as recomendações preconizadas pelas normas vigentes. A Figura 2-2 apresenta um exemplo da localização desta identificação.



Fonte: Portal Transporte Produtos Perigosos, 2009

Figura 2-2: Identificação de veículo transportador de substância perigosa

2.3.2 Atores Envolvidos

Muitos atores estão envolvidos no transporte rodoviário de substâncias tóxicas, envolvendo atividades de elaboração de normas, fiscalização e regulação.

A viabilização dessa atividade envolve setores do governo que são responsáveis por estabelecer normas pertinentes ao transporte de produtos perigosos, como a ANTT e DNIT, ambos vinculados ao Ministério dos Transportes. A Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) é responsável pela regulação das atividade de exploração da infra-estrutura do modal terrestre. Já o Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT) atua no controle do transporte rodoviário.

Outras instituições também são responsáveis pela elaboração de diretrizes a serem seguidas por esta atividade, sendo elas: a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO) e o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), vinculado ao Ministério da Justiça.

Há ainda o Ministério do Exército, responsável por produtos explosivos controlados e a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), do Ministério de Minas e Energia, encarregada pelo controle das substâncias radioativas (ARAÚJO, 2001 *apud* NOGUEIRA, 2007).

Em casos de emergência, outros atores estão envolvidos no transporte de produtos perigosos, como será mais bem detalhado mais adiante.

2.3.3 Legislação referente ao transporte rodoviário de produtos perigosos

A elaboração de normas e leis pertinentes ao transporte de produtos perigosos é necessária na regulação dessa atividade, em virtude dos riscos potenciais que esta pode gerar ao meio ambiente e à população.

Nesse sentido, a legislação vigente que trata do transporte de produtos perigosos visa estabelecer condições seguras de transporte, manuseio e armazenamento de tais produtos, protegendo, desta forma, o meio ambiente e a saúde da população. Essas normas são, ainda, baseadas nas propriedades físico-químicas e toxicológicas dos produtos transportados (GUSMÃO, 2002).

Uma série de leis, normas e especificações regulam a atividade de transporte de produtos perigosos. O anexo A do presente trabalho apresenta uma lista com diversos normativos formulados por diferentes atores associados a esta atividade. Entretanto, a seguir serão destacadas algumas dessas resoluções pertinentes ao transporte de substâncias perigosas.

Primeiramente, deve-se atentar à preservação do meio ambiente, já que o transporte de produtos perigosos é uma atividade que apresenta riscos potenciais ao mesmo. Na Constituição Brasileira verifica-se a preocupação com o meio ambiente no capítulo VI, artigo 225, que diz: *“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”*. Nesse sentido, verifica-se, na Constituição, que o controle de substâncias tóxicas perigosas é fundamentado no artigo 225 em seu inciso V (*“controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida e o meio ambiente”*) e no artigo 200 inciso VII (ao sistema único de saúde compete *“participar do controle e fiscalização da produção, transporte guarda e utilização de substâncias e produtos psicoativos, tóxicos e radioativos”*) (NOGUEIRA, 2007).

Sendo assim, uma série de leis regula as atividades potencialmente poluidoras tanto em nível federal, como as leis 6.938 (Política Nacional do Meio Ambiente, de 31/08/1981) e 9.605 (Lei de Crimes Ambientais, de 12/02/1998), tanto em nível estadual. Segundo

NOGUEIRA (2007), no Rio de Janeiro pode-se citar o Decreto nº 1.633 (de 21/12/1977), que regulamenta o sistema de licenciamento ambiental de atividades poluidoras, e o Decreto nº 3.467 (de 14/09/2000), que dispõe sobre as ações e sanções administrativas derivadas de condutas lesivas ao meio ambiente no estado.

No Brasil, as primeiras manifestações para regulação das atividades relacionadas ao transporte de produtos perigosos foram publicadas no ano de 1983, através do Decreto nº 88.821 e do Decreto Lei nº 2.063 (NOGUEIRA, 2007; GUSMÃO 2002). De acordo com GUSMÃO (2002), até esta data o transporte de produtos perigosos era controlado por recomendações e orientações dos fabricantes, destinatários e transportadores das cargas.

Entretanto, apenas em 18 de maio de 1988, foi aprovado o regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos através do Decreto nº 96.044 formulado pelo Ministério dos Transportes.

Neste decreto, foram estabelecidas as condições que devem ser seguidas durante toda a operação do transporte, abordando questões relacionadas aos veículos e equipamentos, à carga e seu acondicionamento, ao itinerário dos veículos transportadores, ao estacionamento, ao pessoal envolvido na operação do transporte, à documentação necessária e ao serviço de acompanhamento técnico especializado. O regulamento também estabelece os procedimentos em caso de emergência, acidente ou avaria, além dos deveres, obrigações e responsabilidades dos atores envolvidos, sendo eles o fabricante, o importador, o contratante, o expedidor e destinatário e o transportador. O Decreto nº 96.044 apresenta, ainda, critérios de fiscalização desta atividade, sob incumbência do Ministério dos Transportes, e as infrações e penalidades a serem aplicadas em caso de inobservância das disposições estabelecidas no regulamento.

Atualmente, a Resolução nº 420/ANTT de 12 de fevereiro de 2004 revisou e atualizou a regulamentação do transporte terrestre de produtos perigosos, sendo seu objetivo principal complementar, esclarecer e aperfeiçoar o Decreto nº 96.044. Esta resolução, portanto, aprovou as instruções complementares ao regulamento do Transporte Terrestre de Produtos Perigosos, substituindo as portarias MT nº 261 (de 11/04/1989), nº 204 (de 20/05/1997), nº 409 (de 12/09/1997), nº 101 (de 30/03/1998), nº 402 (de 09/09/1998), nº 490 (de 16/09/1998), nº 342 (de 11/10/2000), nº 170 (de 09/05/2001) e nº 254 (de 10/07/2001) (portal Transporte de Produtos Perigosos, 2009). Esta resolução é

constantemente revisada, principalmente com alterações em seus anexos, como por exemplo as resoluções ANTT nº 2657 (de 18/02/2008) e nº 2975 (de 18/12/2008).

As normas técnicas referentes ao transporte e movimentação de cargas perigosas no Brasil são elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Essas normas têm o objetivo de padronizar as exigências para o transporte de cargas perigosas, sendo compostas por um conjunto de especificações para procedimentos distintos (GUSMÃO, 2002). Entre esses normativos, pode-se citar: NBR 7500 – Símbolo de risco e manuseio para transporte e armazenamento de materiais – Simbologia; NBR 14064 – Atendimento a emergência no transporte rodoviário de produtos perigosos; NBR 7503 – Ficha de emergência para transporte de produtos perigosos – Características e Dimensões; NBR 9735 – Conjunto de equipamentos para emergências no transporte rodoviário de produtos perigosos.

A adequação dos veículos e equipamentos ao transporte de substâncias perigosas fica sob responsabilidade do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Entre os principais relatórios e normas técnicas elaborados por esta instituição, pode-se citar: Portaria Inmetro nº 326 (11/12/2006) – Aprova o Regulamento de Avaliação da Conformidade para Embalagens Utilizadas no Transporte Terrestre de Produtos Perigosos; Portaria Inmetro nº 457 (22/12/2008) – Aprova o Regulamento Técnico da Qualidade 5 - Inspeção de Veículos Rodoviários Destinados ao Transporte de Produtos Perigosos; Portaria Inmetro nº 91 (02/04/2009) – Aprova a revisão dos Regulamentos Técnicos da Qualidade (RTQ) da área de produtos perigosos e do “Glossário de Terminologias Técnicas Utilizadas nos RTQ para o Transporte de Produtos Perigosos”.

O Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), do Ministério da Justiça, regulamenta as questões relacionadas ao treinamento obrigatório dos motoristas, e também define e estabelece critérios para aplicação e valoração das multas relativas a infrações do regulamento de transporte de produtos perigosos (NOGUEIRA, 2007). Entre estas resoluções, pode-se citar: Deliberação CONTRAN nº 50 (29/06/2006) – Dispõe sobre os códigos das infrações referentes ao Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos, instituídos através do Anexo desta Portaria; Resolução CONTRAN nº 36 (21/05/98) – Estabelece a forma de sinalização de advertência para veículos imobilizados, em situações de emergência; Resolução CONTRAN nº 91 (04/05/1999) – Dispõe sobre os

cursos de treinamento específico e complementar para condutores de veículos rodoviários transportadores de Produtos Perigosos.

2.4 ACIDENTES NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PRODUTOS PERIGOSOS

2.4.1 Breve Histórico

O estabelecimento da industrialização nos países desenvolvidos e, mais tarde, nos países subdesenvolvidos, modificou a lógica mundial, inserindo novas preocupações na relação entre o homem e o meio ambiente.

A evolução da produção ampliou a degradação ambiental que, num primeiro momento, era vista como inerente às atividades industriais. A observação de grandes desastres industriais, com repercussão no meio ambiente, na sociedade e nas gerações futuras, transformou a mentalidade social, que abandonou o estágio de negligência aos impactos negativos de tais atividades.

O crescimento da preocupação ambiental e a necessidade de controlar a poluição do meio ambiente resultaram na criação de leis e normas, modificação na filosofia de produção (controle, minimização e monitoramento da produção), controle de falhas do sistema ou acidentes dentro do parque industrial, criação de grupos especializados para atendimento emergencial (órgãos de controle ambiental federal e estadual). Entretanto, uma etapa permanecia excluída do controle e monitoração de todo o processo produtivo: a poluição causada fora dos limites da indústria, devido ao despejo acidental de poluentes no transporte de produtos ou substâncias perigosas entre a indústria e o mercado consumidor (NOGUEIRA, 2007).

No Brasil, a década de 70 foi marcada pela criação de órgãos de controle ambiental nas principais cidades com maior concentração industrial (GUSMÃO, 2002). Como mencionado, a primeira regulação do transporte de substâncias perigosas surgiu com o Decreto nº 88.821 e o Decreto Lei nº 2.063, ambos de 1983 (NOGUEIRA, 2007; GUSMÃO 2002). Entretanto, foi apenas em 1988 que o regulamento do transporte de produtos perigosos foi aprovado através do Decreto nº 96.044, hoje atualizado pela Resolução nº 420/ANTT de 12 de fevereiro de 2004.

No Rio de Janeiro, uma das primeiras manifestações referente ao transporte de produtos perigosos teve início no ano de 1983, com a criação do Serviço de Controle da Poluição Acidental (SCPA). Este grupo especializado, inserido no órgão de controle ambiental do estado – a FEEMA, hoje INEA – passou a ser responsável pelo atendimento a situações emergenciais envolvendo os acidentes com veículos transportando cargas perigosas (GUSMÃO, 2002; NOGUEIRA, 2007; VIANA, 2009).

2.4.2 Panorama de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos

Segundo VIANA (2009), o transporte de produtos perigosos pode ser considerado como uma fonte de poluição difusa, não sendo possível prever o local de lançamento das substâncias poluidoras antes da ocorrência do acidente.

Neste sentido, verifica-se que muitas incertezas estão associadas ao transporte de produtos perigosos, sendo possível identificar alguns fatores que influenciam na extensão dos danos ou magnitude do evento (NOGUEIRA, 2007):

- classe de risco do material (tóxico, inflamável, explosivo etc);
- as características físicas do material (sólido, líquido ou gasoso);
- o tipo de dispersão do material no meio ambiente;
- os valores críticos para a exposição;
- a taxa e o volume do material liberado ou derramado;
- as condições ambientais e características geográficas e sócio-econômicas no local do incidente;
- Condições do meio de transporte (estado de conservação e manutenção dos veículos transportadores e das rodovias);
- Traçado da via; e
- Sinalização e fiscalização.

O conhecimento da real situação ao longo das rodovias que transportam produtos perigosos é de grande importância para a adoção de medidas de controle e prevenção desta atividade, apesar de seu caráter de imprevisibilidade. No entanto, no Brasil,

informações mais detalhadas sobre os acidentes ambientais são ainda escassas e, muitas vezes, inexistentes.

O Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA), órgão ligado ao Ministério do Meio Ambiente, desde final de 2005, implementou um procedimento padronizado de comunicação de acidentes. Este procedimento, apesar de estar em fase inicial de implantação, não contemplando o total de acidentes ocorridos no Brasil, pode servir de base de dados, fornecendo informações mais detalhadas de ocorrências de acidentes e auxiliando para uma melhor definição de estratégias, procedimentos e ações prioritárias. Os formulários de comunicação de acidentes, preenchidos e enviados por integrantes da equipe regional envolvida no atendimento do acidente, são de dois tipos: o Comunicado de Acidente Ambiental - Informações Preliminares e Comunicado de Acidente Ambiental - Informações Complementares.

Sendo assim, o IBAMA, a partir das informações retiradas destes formulários, realizou estudos acerca dos acidentes ambientais comunicados nos anos de 2006 a 2008 (IBAMA, 2008 e 2009). Nestes relatórios, é possível traçar o perfil dos acidentes ambientais registrados pelo IBAMA em todo o país neste período. Entre os dados analisados, é possível verificar que nestes três anos de monitoramento a região sudeste apresentou o maior número de registros de acidentes ambientais no país. O estado de São Paulo foi o responsável pelo maior número dos acidentes registrados pelo IBAMA, seguido por Minas Gerais. As rodovias foram os locais onde ocorreram mais acidentes no país, sendo os líquidos inflamáveis, como os combustíveis e derivados de petróleo, os responsáveis pelo maior número de acidentes neste período. Observou-se, ainda, que os rios e córregos foram os ambientes mais afetados pelos acidentes registrados de 2006 a 2008.

VIANA (2009), com base em dados fornecidos pelo SCPA/INEA, avaliou a situação do transporte de produtos perigosos no estado do Rio de Janeiro. Em seu estudo, ressaltou que os atendimentos emergenciais ocorridos em rodovias do estado representaram cerca de 40% do total de acidentes registrados no período de 1983 a 2007, bem acima dos acidentes ocorridos nas indústrias e por despejo de óleo no mar. Neste mesmo período, verificou-se que o ano de 1989 foi o que apresentou o maior número de acidentes rodoviários atendidos por esta instituição, com 34 atendimentos. Observou-se, ainda, que, entre os anos de 1983 e 2003, a maior classe de risco de produtos envolvidos em

acidentes rodoviários foi a de líquidos inflamáveis, com 35%, seguida por substâncias corrosivas, com 25%.

2.4.3 Atores envolvidos e procedimentos em caso de acidentes

Como visto, o despejo acidental de substâncias perigosas no meio ambiente não configura apenas um acidente ambiental, mas pode ser caracterizado também como um acidente químico, de trabalho e de tráfego. Os riscos potenciais de tais acidentes são reduzidos caso o atendimento emergencial seja realizado de forma rápida e eficiente, sendo necessário, para isso, o bom preparo dos atores envolvidos nessas situações (VIANA, 2009).

Nesse sentido, as instituições envolvidas no atendimento de tais acidentes são constituídas por diferentes atores da sociedade, abrangendo os governos federal, estadual e municipal e representantes das rodovias e/ou transportadoras. Como na grande maioria das vezes, mais de um órgão atua no acidente, essas instituições devem agir em conjunto e de forma organizada.

A coordenação técnica fica sob responsabilidade dos órgãos federais, estaduais e/ou municipais, que acompanham os atendimentos emergenciais.

Em nível federal, o IBAMA atua dando assistência e apoio operacional às instituições públicas e à sociedade quanto às emergências e acidentes ambientais. As atribuições do IBAMA são a assistência e apoio operacional às instituições públicas e à sociedade na ocorrência de tais eventos, com relevante interesse ambiental, bem como a coordenação, o controle, a supervisão, o monitoramento e a orientação das ações federais referentes ao assunto.

No Rio de Janeiro, o INEA, através do Serviço de Controle da Poluição Acidental (SCPA), atua no atendimento aos acidentes ambientais envolvendo produtos perigosos, sendo responsável pela análise e operação de planos de emergência. Além de assistência técnica, o SCPA também monitora a movimentação de produtos químicos no estado (VIANA, 2009).

As polícias rodoviárias federal e estadual têm o dever de fiscalizar a atividade de transporte dos produtos perigosos, conferindo quesitos quanto ao cumprimento das normas de trânsito e do regulamento desta atividade, como a identificação dos produtos transportados, a documentação necessária do veículo e do condutor e os equipamentos

de emergência, incluindo os de proteção individual (EPI). Por ser uma das primeiras a chegar ao local do acidente, esta instituição também exerce o papel de prosseguir com as primeiras ações emergenciais (SCHENINI *et al.*, 2006; NOGUEIRA, 2007).

A coordenação operacional fica a cargo da Defesa Civil, que atua diretamente no local do acidente. Esta instituição garante a segurança não só dos usuários da rodovia, mas também das localidades ao redor, uma vez que auxilia na redução dos impactos gerados por acidentes com produtos perigosos.

O Corpo de Bombeiros, em conjunto com a Defesa Civil, também atua em atendimentos emergenciais, combatendo incêndios ou retirando pessoas nas ferragens. Em muitas ocasiões, o bombeiro expõe-se a locais contaminados, sem a devida proteção (NOGUEIRA, 2007).

Existem, ainda, outros atores que também atuam no controle de acidentes envolvendo substâncias tóxicas, como empresas particulares especializadas em atendimento a emergências químicas e equipes de emergências/resgate de rodovias sob concessão treinadas para o atendimento de alguns tipos de eventos. Órgãos de normatização, como a ABNT e o INMETRO, e de regulação/controle do transporte terrestre, com o DNIT e a ANTT, também estão presentes de forma indireta no atendimento emergencial (NOGUEIRA, 2007).

De acordo com relatórios do IBAMA sobre Acidentes Ambientais (IBAMA, 2008 e 2009), nos anos de 2006 a 2008, os órgãos estaduais de meio ambiente foram os que mais atuaram em acidentes ambientais, com participação em cerca de 50% dos acidentes ocorridos neste período. O Corpo de Bombeiros também apresenta grande participação no atendimento de tais acidentes, com destaque para as empresas especializadas em atendimento nos anos de 2006 e 2007.

Apesar de sua baixa probabilidade de ocorrência, incidentes com produtos perigosos podem provocar sérios danos ao meio ambiente, exigindo um atendimento complexo e diferenciado das demais emergências rodoviárias (NOGUEIRA, 2007). Neste sentido, há a necessidade da obtenção de informações que possibilitem a atuação segura e eficaz dos atores envolvidos, além de uma ação organizada entre os diferentes segmentos que atuam em tais situações.

Uma vez acontecido o acidente, a polícia rodoviária e a defesa civil são acionados e encaminham a situação para os órgãos competentes segundo um padrão pré-

estabelecido para cada caso. Os órgãos acionados recebem as informações preliminares e entram em contato com os demais atores necessários para combaterem os impactos ambientais (GUSMÃO, 2002).

2.5 CONDIÇÕES GERAIS NAS RODOVIAS

2.5.1 Via Dutra

A BR-116, rodovia Presidente Dutra, assim chamada em homenagem ao falecido presidente responsável pela sua conclusão, certamente destaca-se no cenário nacional como uma das principais vias de transporte de pessoas e cargas interligando as duas maiores metrópoles do Brasil: São Paulo e Rio de Janeiro. Exatamente devido ao seu posicionamento estratégico, a rodovia mostra-se um ponto privilegiado para a instalação de indústria de diferentes tipos que tenham o objetivo de abastecer os principais mercados consumidores do país, dentre estas a indústria química.

Atualmente, após a série de privatizações experimentada pela nação na década de 90 do século passado, a rodovia encontra-se sob concessão da empresa Nova Dutra que tem realizado constantes investimentos na sua conservação e modernização, induzindo ao aumento do tráfego de veículos leves e pesados. De acordo com pesquisa realizada pela concessionária em setembro de 1996, e que pode ser encontrada em NOGUEIRA (2007), aproximadamente 5% dos veículos de carga que transitam pela rodovia é composta por veículos de carga perigosa. Esses veículos são responsáveis por 1% do total de acidentes provocados por veículos de carga em geral. Esses acidentes, embora comparativamente raros em relação ao número total, apresentam grandes riscos para os usuários da rodovia, para as comunidades circunvizinhas e para o meio-ambiente em geral.

Além da localização privilegiada para a instalação de indústrias, ao longo desta rodovia, diversas comunidades urbanas de grande concentração demográfica cresceram com especial destaque para o trecho da Baixada Fluminense entre o trevo das Margaridas e o município de Queimados. Também devem ser lembradas as regiões de Barra Mansa, Resende e Volta Redonda, cujos perímetros da rodovia apresentam relevantes concentrações populacionais que dificultam sobremaneira a operação da concessionária da rodovia.

Essa rodovia apresenta unidades de conservação ambiental no seu entorno, tais como o Parque Nacional de Itatiaia, entre os municípios de Itatiaia e Resende, a Área de Proteção Ambiental da Serra da Mantiqueira em Resende, a Área da Floresta da Cicuta em Barra Mansa e a Reserva Biológica da Light em Pirai (NOGUEIRA, 2007).

Nesse contexto, essa rodovia apresenta uma das primeiras iniciativas no atendimento emergencial em acidentes com produtos perigosos, o Plano Pare – Plano de Contingência Regional de Atendimento a Acidentes no Transporte de Produtos Químicos Perigosos (NOGUEIRA, 2007; GUSMÃO, 2002). Este plano firmou um protocolo de intenções entre o governo do estado do Rio de Janeiro, representado pela Secretaria de Meio Ambiente, e empresas representadas pela FIRJAN (Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro) localizadas ao longo do eixo rodoviário, em setembro de 1989. Segundo o plano, a via Dutra foi dividida em subtrechos, tornando as empresas participantes responsáveis por trechos pré-determinados em caso de acidentes.

Dados referentes aos acidentes ocorridos no período de 1984 a 2003 (NOGUEIRA, 2007) possibilitam indicar um panorama da situação dos incidentes desta via. Verifica-se, portanto, a grande maioria dos acidentes, cerca de 84% dos 202 cadastrados, apresentam perda de sua carga. A classe de risco que mais se envolveu em acidentes foi a de substâncias corrosivas (classe 8), com cerca de 32%, seguido da classe de substâncias inflamáveis (classe 3), com aproximadamente 26% do total. Neste mesmo estudo, verifica-se que um dos trechos que apresenta maior número de acidentes nas pistas fica entre os quilômetros 260 e 300. Neste trecho localizam-se os municípios de Volta Redonda, Barra Mansa, Floriano Resende, Penedo e Itatiaia e situam-se diversas indústrias químicas, com destaque a CSN.

Pelos dados obtidos, conclui-se que a rodovia Presidente Dutra é o eixo de transporte que apresenta não só o maior número de acidentes bem como a maior variedade de substâncias perigosas envolvidas.

Muitos produtos são transportados por esta rodovia, como pode ser visto em VIANA (2009). Algumas das substâncias transportadas são: ácido clorídrico, aerossóis, chumbo, cloro líquido, destilados de petróleo, tintas e pesticidas.

3 BASES TEÓRICAS E EXPERIMENTAIS

3.1 TRANSPORTE DIFUSIVO-ADVECTIVO

Neste item, será apresentada a equação que representa o transporte e dispersão de uma substância na água, considerando um fluxo unidimensional.

A difusão molecular caracteriza-se como um processo em nível microscópico no qual as partículas de uma substância são dispersas em outra devido ao gradiente de concentração em cada ponto. Esse fenômeno pode ser descrito pela lei de Fick, que estabelece que a taxa temporal do fluxo de massa dissolvida de uma substância, por unidade de área, é proporcional ao gradiente de concentração em uma dada direção (RIGO, 1992). Em termos matemáticos, esse modelo conceitual em uma dimensão pode ser expresso como:

$$f = -D_m \frac{\partial C}{\partial x} \quad (3.1)$$

onde:

f – densidade de fluxo de massa dissolvida (M/L^2T);

D_m – coeficiente de difusão molecular que depende da substância diluída (L^2/T);

C – concentração da substância diluída (M/L^3);

x – coordenada cartesiana da direção do fluxo (L).

O sinal negativo da equação indica que o fluxo difusivo ocorre no sentido contrário ao do gradiente, isto é, de maior para menor concentração (LIVI, 2004).

Ressalta-se, que a difusão molecular é um processo em escala microscópica. Entretanto, em muitos casos, a dispersão de uma substância num corpo de água natural pode ser descrita por processos semelhantes ao da difusão molecular, mesmo que sua escala de interesse seja bem maior. Sendo assim, a lei de Fick também pode ser aplicada na maioria dos problemas de escoamentos naturais, sendo a escala de interesse a das partículas.

Como visto, a lei de Fick relaciona o fluxo de massa ao gradiente de concentração. Para descrever o processo difusivo, independente do tipo de transporte realizado, deve-se recorrer à lei da conservação de massa.

Considere um volume de controle de largura Δx num fluido em repouso no qual só ocorra transporte de massa na direção x , como representado na Figura 3-1. Com base no princípio de conservação de massa, a variação temporal de massa do volume de controle corresponde à diferença entre o fluxo de massa que entra (afluxo) e o que sai (efluxo) acrescido das reações que a substância pode ter consumido ou produzido. Matematicamente, este balanço pode ser expresso como:

$$\frac{\partial m}{\partial t} = Afluxos - Efluxos + \sum R_{P/C} \quad (3.2)$$

onde:

$\frac{\partial m}{\partial t}$ – variação temporal da massa da substância no interior do volume de controle;

Afluxos – fluxo de massa que entra no volume de controle;

Efluxos – fluxo de massa que sai do volume de controle;

$\sum R_{P/C}$ – taxa de reações de produção e consumo de massa no interior do volume de controle.

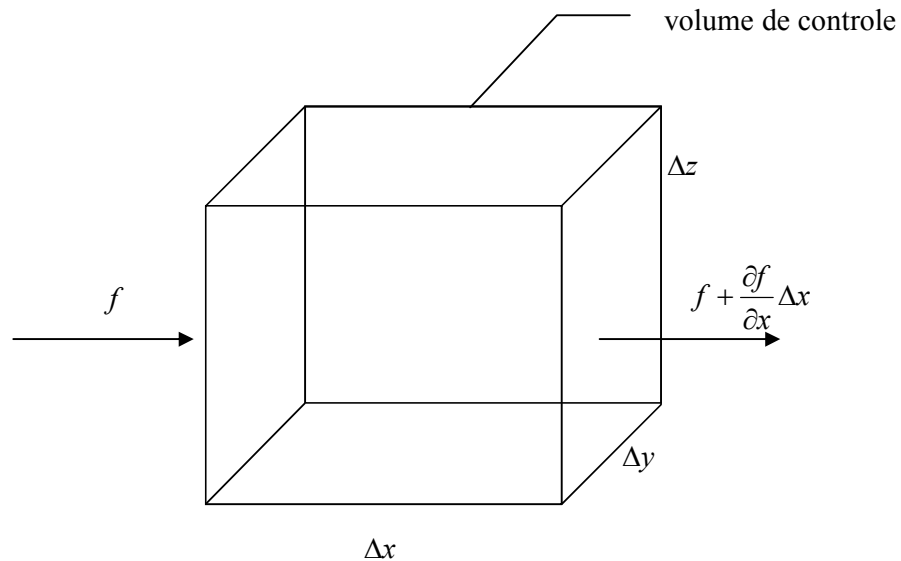


Figura 3-1: Balanço de massa num volume de controle infinitesimal na direção x

O mesmo raciocínio pode ser aplicado para as direções y e z .

Logo, considerando f a densidade superficial de fluxo de massa dissolvida, C a concentração da substância (massa por unidade de volume), t o tempo e uma substância conservativa (massa não se altera), tem-se:

Massa por unidade de tempo que entra no volume de controle pela face esquerda:

$$f \Big|_x \cdot \Delta y \cdot \Delta z$$

Para uma pequena distância Δx entre as faces perpendiculares ao eixo x , a série de Taylor truncada fornece:

$$f \Big|_{x+\Delta x} = f \Big|_x + \frac{\partial f}{\partial x} \Big|_x \Delta x$$

Massa que sai pela face da direita do volume de controle por unidade de tempo:

$$\left(f \Big|_x + \frac{\partial f}{\partial x} \Big|_x \Delta x \right) \Delta y \Delta z$$

Na ausência de reações, a massa acumulada no intervalo de tempo é:

$$C \Delta x \Delta y \Delta z$$

Portanto, sua variação em um intervalo de tempo Δt é:

$$\frac{\partial C}{\partial t} \Delta x \Delta y \Delta z$$

O balanço de massa fica:

$$\underbrace{f \Big|_x \Delta y \Delta z}_{\text{afluxo}} - \underbrace{\left(f \Big|_x + \frac{\partial f}{\partial x} \Big|_x \Delta x \right) \Delta y \Delta z}_{\text{efluxo}} = \underbrace{\frac{\partial C}{\partial t} \Delta x \Delta y \Delta z}_{\text{massa-acumulada-em-}\Delta t}$$

$$-\frac{\partial f}{\partial x} \Big|_x \Delta x \Delta y \Delta z = \frac{\partial C}{\partial t} \Delta x \Delta y \Delta z$$

$$-\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{\partial C}{\partial t} \quad (3.3)$$

Da Equação (3.3), deduz-se que a relação entre o fluxo f e a concentração C é independente do mecanismo de transporte molecular.

Substituindo a Equação (3.1) (Lei de Fick) na Equação (3.3), obtém-se a equação de difusão unidimensional:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_m \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right) \quad (3.4)$$

A advecção é o transporte macroscópico do fluido que contém a substância dispersa. Os processos de advecção e difusão podem ocorrer simultaneamente, podendo seus efeitos serem superpostos.

O fluxo advectivo de massa da substância dispersa através de uma unidade de área no plano yz provocada pela componente da velocidade na direção x pode ser escrita como:

$$u \cdot C$$

sendo:

u – componente da velocidade do fluido na direção x (L);

C – concentração da substância (M/L³).

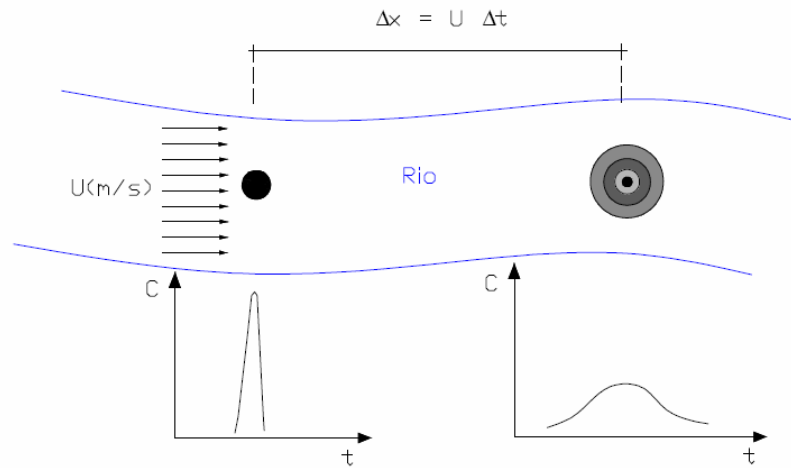
A taxa total de transporte de massa é dada pela soma do termo advectivo com o termo difusivo, expressa pela equação:

$$f = uC + \left(-D_m \frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad (3.5)$$

Ao substituir a Equação (3.5) na equação de conservação de massa unidimensional (Equação 3.3), obtém-se:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(uC)}{\partial x} = D_m \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right) \quad (3.6)$$

Esta é a equação de transporte advectivo difusivo considerando apenas a direção x. A Figura 3–2 apresenta um esquema que ilustra os efeitos dos processos físicos da difusão e advecção. Como pode ser observado, o deslocamento Δx é provocado pelo fluxo advectivo. Já o fluxo difusivo é o responsável pelo espalhamento da substância solúvel no escoamento.



Fonte: RIBEIRO, 2007

Figura 3-2: Efeitos dos processos de difusão e advecção

A solução da equação diferencial unidimensional para uma massa de substância conservativa lançada pontualmente foi obtida por Taylor (Taylor, 1954 *apud* ROLDÃO & PECLY, 1998):

$$C(x, t) = \frac{M_{inj}}{S\sqrt{4\pi D_L t}} \exp\left(-\frac{(x - Ut)^2}{4D_L t}\right) \quad (3.7)$$

onde

C – concentração do constituinte (M/L³);

M_{inj} – massa de constituinte injetada (M);

S – seção transversal do escoamento (L²);

D_L – coeficiente de dispersão longitudinal (L²/T);

x – distância entre o local de injeção e a seção de medição (L);

U – velocidade média entre o local de injeção e a seção de medição (L/T).

Ressalta-se que, em cursos de água naturais, os mecanismos de transporte e dispersão de poluentes são mais relevantes ao longo da direção principal do fluxo. Por este motivo, a equação de transporte advectivo-difusivo em uma única direção é muito utilizada na previsão da qualidade de água em rios (RIBEIRO, 2007).

A Equação 3.6 foi deduzida supondo constante o coeficiente de difusão molecular D_m em todas as direções. Entretanto, na grande maioria dos escoamentos naturais, o regime do escoamento é turbulento.

Assim, para transporte de substâncias em grandes escalas, considera-se o fluxo turbulento, aparecendo uma nova variável, o coeficiente de difusividade turbulenta, que é modelado da mesma forma que o coeficiente de difusão molecular. Desta forma, a equação geral para transporte de substâncias em grandes escalas possui a mesma forma da Equação 3.6, porém o coeficiente de difusividade passa a ser o turbulento, cuja influência é muito superior no transporte da substância do que a difusividade molecular. (RIBEIRO, 2007).

Nesse sentido, em escoamentos em rios, este parâmetro deixa de ser uma constante e deve ser obtido em ensaios de campo.

3.2 APLICAÇÃO DE TRAÇADORES

3.2.1 Introdução

Um traçador é qualquer material dissolvido ou em suspensão utilizado para se determinar o caminho e/ou a taxa do movimento e dispersão de substâncias similares na água (WILSON JR. *et al.*, 1986). Existem diversos tipos de traçadores, que podem ser naturais, referentes a substâncias incorporadas à água através de processos naturais ou por poluentes, e artificiais, substâncias intencionalmente adicionadas na água, como o sal e substâncias radioativas e fluorescentes.

Dentre estes, os traçadores mais freqüentemente empregados em estudos hidrológicos são os fluorescentes e os radioativos. Segundo WILSON JR. *et al.* (1986), o uso extensivo dos traçadores fluorescentes teve início na década de 60, quando severas restrições ao uso de traçadores radioativos impulsionaram a procura por um substituto apropriado.

De acordo com RIBEIRO (2007), os traçadores fluorescentes são substâncias orgânicas empregadas como corantes, principalmente na indústria têxtil, sendo comercializados na forma de um pó fino. Esses traçadores apresentam a propriedade de fluorescência, ou seja, quando é aplicado um feixe de luz num comprimento de onda a que elas são sensíveis, essas substâncias emitem luz, ou fluorescem. Exemplos de traçadores

fluorescentes são: Rodamina B, Fluorascina, Pontacyl Brilliant Pink B, Rodamina BA, Rodamina WT, Sulforodamina B e Amidorodamina G Extra (FONTOURA & NIENCHESKI, 2003).

Alguns fatores são apontados por RIGO (1992) para a vasta aplicação de traçadores fluorescentes em Hidrologia, dentre eles estão a alta solubilidade em água, a facilidade de manuseio do material e a grande sensibilidade dos equipamentos que medem fluorescência, permitindo o emprego de pequenas quantidades de traçador para marcar grandes volumes de água e a coleta de amostras de volume reduzido. Destaca-se, ainda, a simplicidade e a precisão na medição das concentrações destas substâncias utilizando a técnica de traçadores fluorescentes (WILSON JR. *et al.*, 1986).

Entretanto, existem também fatores que podem prejudicar o emprego destas substâncias, tais como efeitos de temperatura, reação química, fotodecomposição e biodegradação (RIGO, 1992, WILSON JR. *et al.*, 1986).

3.2.2 Aplicações de Traçadores em Hidrologia

Muitas são as aplicações de traçadores em águas superficiais, entre elas: determinação de parâmetros de transporte e dispersão para alimentar modelos matemáticos; medição de vazão em cursos de água; determinação do coeficiente de reaeração em cursos de água; estudos sedimentológicos; e planejamento prévio visando minimizar problemas ocasionados por despejos acidentais de poluentes (RIBEIRO, 2007).

Nesse sentido, muitos são os estudos que utilizam a técnica de traçadores para se determinar características hidrológicas de um dado escoamento.

Traçadores podem ser utilizados na determinação da capacidade de diluição de um emissário submarino, inserindo uma substância fluorescente para marcar o efluente e possibilitar seu monitoramento após a mistura com a água do oceano. Essa técnica pode ser aplicada a diversos tipos de efluentes industriais e domésticos. Em ROLDÃO *et al.* (1995), o uso de traçadores foi empregado para medir, diretamente no mar, as concentrações e diluições dos rejeitos do emissário submarino da Aracruz Celulose S.A., no estado do Espírito Santo. Já em ROLDÃO *et al.* (1998b), esta mesma técnica foi utilizada para avaliar a diluição do esgoto lançado no emissário de Ipanema, na cidade do Rio de Janeiro. Nesse mesmo sistema, PECLY (2000) utiliza a técnica de traçadores ambientais e artificiais no monitoramento de emissários submarinos para diferentes situações hidrodinâmicas e climatológicas.

Os traçadores são também utilizados na determinação de coeficientes de dispersão longitudinal e transversal de escoamentos. As medições desses parâmetros *in situ* permitem um melhor conhecimento da problemática da qualidade de água do corpo hídrico em análise. Um exemplo da aplicação desta técnica pode ser encontrada em ROLDÃO *et al.* (1996), que descreve os resultados obtidos do uso de traçadores fluorescentes na laguna Setubal em Santa Fé, Argentina. Em DAMIANI (2007), são utilizados dados de dispersão obtidos com ensaios de traçadores para determinar os caminhos dos fluidos dentro da complexa geologia de um modelo de reservatório de petróleo.

Além das características de dispersão, os traçadores podem ser empregados na determinação da vazão de um corpo hídrico, como relatado em ROLDÃO *et al.* (1998a) que apresenta a metodologia utilizada na determinação destes parâmetros nos rios Corumbá e Pirapetinga.

A técnica de traçadores pode ser, ainda, bastante útil nos estudos dos movimentos dos sedimentos em escoamento com superfície livre. NERY (2002) utiliza uma metodologia baseada na utilização simultânea de métodos hidrossedimentométricos e de traçadores radioativos para estimar o transporte e dispersão de sedimentos na sub-bacia do córrego Horácio, no Paraná.

Verifica-se, portanto, que o emprego de traçadores propicia a obtenção de informações importantes que podem ser utilizadas na calibração de modelos matemáticos, permitindo boa aproximação das particularidades locais de transporte e dispersão do escoamento.

No presente estudo, o uso de traçadores insere-se no planejamento preventivo de ações que visem minimizar os problemas ocasionados por despejos acidentais de poluentes num curso de água. Sendo assim, o uso de traçadores é fundamental para se conhecer os parâmetros de transporte e dispersão do escoamento. Estes parâmetros são essenciais na determinação do tempo de passagem de uma nuvem de poluente em um trecho do curso de água, sendo possível prever os períodos para os quais deve ser suspensa a captação de água nos locais situados a jusante do ponto de despejo do poluente. Além disso, esta técnica permite determinar o local a jusante do despejo no qual é provável que o poluente possa representar maiores riscos (RIBEIRO, 2007).

3.2.3 Determinação do Coeficiente de Dispersão Longitudinal

A determinação do coeficiente de dispersão longitudinal (D_L) pode ser feita por equações empíricas ou por experimentos de campo, através do uso do método de traçadores, sendo este último o mais adequado.

Os experimentos de campo com uso de traçadores consistem na determinação, a cada período de tempo, das concentrações do traçador utilizado. Assim, a partir da distribuição de concentração obtida por ensaios *in situ*, é possível calcular o coeficiente de dispersão longitudinal, tendo como base a equação do transporte unidimensional considerando fluxo uniforme e traçador conservativo.

4 METODOLOGIA

O objetivo principal deste trabalho é avaliar o efeito de cargas poluidoras oriundas de acidentes rodoviários na qualidade de água de corpos hídricos. Nesta avaliação, será utilizada a metodologia descrita a seguir, que será aplicada a um trecho do rio Paraíba do Sul, entre Volta Redonda e Barra do Piraí, municípios situados no médio Paraíba do Sul.

Inicialmente, deve-se caracterizar a sub-bacia de interesse, assinalando os principais usos da água do corpo hídrico e localizando os principais usuários de água da região, além de identificar sua hidrografia e malha viária. Após essa caracterização, segue-se a escolha da unidade de estudo, obtendo um mapa final que apresente os limites principais da unidade escolhida. Define-se, como unidade de estudo, a área situada entre as estradas principais existentes onde, na ocorrência de um acidente envolvendo o transporte de produtos perigosos, possa haver um despejo que alcance o trecho do corpo hídrico em estudo.

A partir da definição da unidade de estudo, é importante identificar os principais pontos críticos desta região, tanto de lançamento como de captação. Os pontos críticos de despejo acidental aqui considerados são aqueles que, caso ocorra algum acidente envolvendo o transporte de substâncias perigosas, estão localizados próximos ao corpo hídrico principal ou a algum córrego que deságüe neste rio. Já os pontos de captação foram considerados as unidades que utilizam a água do corpo hídrico principal para o abastecimento e/ou beneficiamento de produtos, como as estações de tratamento de água e indústrias existentes ao longo do trecho em estudo.

Identificados os principais pontos de lançamento e captação da unidade de estudo, que serão utilizados na simulação dos cenários de interesse, passa-se para a etapa de desenvolvimento do modelo de cálculo. No presente estudo, o cálculo do transporte e dispersão dos poluentes será realizado através da Fórmula de Taylor. Esta fórmula apresenta como dados de entrada tanto parâmetros do escoamento (vazão, coeficiente de dispersão e velocidade) como parâmetros do acidente (massa de injeção do poluente e distância entre os pontos de lançamento e captação).

Ressalta-se, que para melhor caracterizar o comportamento hidrodinâmico da região em estudo, deve-se determinar as vazões predominantes nesse local. Nesse sentido, a determinação das vazões máximas, mínimas e médias a longo termo deve ser realizada em função das informações históricas dos postos fluviométricos existentes na região em estudo.

O coeficiente de dispersão é obtido a partir de dados de traçadores existentes na unidade de estudo. Com estes dados é possível determinar um coeficiente de dispersão longitudinal médio que será adotado no método proposto. Caso não se tenha dados de traçadores, devem ser realizados ensaios no local de interesse para a obtenção de informações referentes a coeficientes de dispersão, vazão e velocidade.

Para se determinar a velocidade do escoamento nas simulações, é necessário estimar uma relação entre este parâmetro e a vazão a ser adotada com base nos ensaios de traçadores realizados no local.

Como parâmetros do acidente, devem ser fornecidas a massa despejada de poluente e a distância entre os pontos de lançamento e de captação. Estes valores dependem do cenário a ser simulado, podendo existir, portanto, inúmeras possibilidades.

Assim, no método de cálculo proposto, é possível prever a capacidade de transporte e dispersão do rio principal em qualquer ponto do trecho considerado, bastando saber a vazão do rio no momento do acidente, a massa do material despejado e a distância entre os pontos de despejo e captação. É possível, ainda, acrescentar à simulação o valor estimado da concentração do poluente existente no rio, caso haja.

Entretanto, a aplicação deste método de cálculo deve ser realizada respeitando algumas restrições. O método só deve ser aplicado a corpos hídricos que apresentem fluxo principal em uma direção. A distância de bom misturamento do poluente deve ser considerada, devendo o ponto de análise estar a uma distância suficientemente a jusante do ponto de despejo para que ocorra a completa diluição do poluente por toda a seção transversal em estudo. Além disso, este método é aplicado a substâncias solúveis e conservativas, ou seja, substâncias que não sofrem degradação, possuindo alto tempo de residência no ambiente aquático.

Para verificar se este método está simulando bem a região em estudo, deve-se realizar sua calibração, sendo possível comparar as curvas de passagem dos poluentes geradas pelo método proposto com as curvas geradas de concentração das medições *in situ*.

Após a calibração, o método pode ser aplicado a diferentes cenários de simulação. As simulações têm o intuito de estimar o tempo de percurso da nuvem de poluentes proveniente de acidentes ocorridos nas rodovias em estudo, apresentando, graficamente, a distribuição temporal de concentrações da referida nuvem em local a jusante de seu lançamento.

5 ESTUDO DE CASO

5.1 A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL

5.1.1 Características gerais

Situada na região sudeste do Brasil, a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul é limitada ao norte pelas bacias dos rios Grande e Doce e pelas serras da Mantiqueira, Caparaó e Santo Eduardo; ao nordeste pela bacia do rio Itabapoana; ao sul pela Serra dos Órgãos e pelos trechos paulista e fluminense da Serra do Mar; e ao oeste pela bacia do rio Tietê, da qual é separada por meio de diversas ramificações dos maciços da Serra do Mar e da Serra da Mantiqueira.

Drenando uma das regiões mais desenvolvidas do país, a bacia do rio Paraíba do Sul possui uma área de aproximadamente 55.500 km², estendendo-se pelos estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo, com respectivamente 20.900 km², 20.700 km² e 13.900 km². Destes, o Rio de Janeiro é o estado onde a bacia adquire a maior importância relativa considerando a área total, a situação geográfica da bacia e os usos da água. A bacia do rio Paraíba do Sul ocupa quase a metade da área de todo o estado, além de receber os respectivos impactos do uso e ocupação do solo e da água de Minas Gerais e São Paulo, situados a montante, e abastecer de água aproximadamente 80% da população fluminense (CAMPOS, 2005).

Ao todo, são 184 municípios com território na bacia, sendo 88 em Minas Gerais, 53 no Rio de Janeiro e 39 em São Paulo. Estima-se que a população seja de cerca 5,5 de milhões de habitantes, sendo 2,4 milhões no Rio de Janeiro, 1,3 milhão em Minas Gerais e 1,2 milhão em São Paulo (ACSELRAD *et al.*, 2007). É importante ressaltar, ainda, que cerca de 14 milhões de pessoas são abastecidas das águas da bacia mediante a transposição para o sistema Guandu.

Segundo ACSELRAD *et al.* (2007), cerca de 87% desta população vive em áreas urbanas, tendência esta observada em outras regiões brasileiras. A maior concentração populacional nas cidades é um dos fatores que favorecem não apenas a poluição dos recursos hídricos, mas também o desmatamento da bacia.

Com cerca de 1.100 km de comprimento, o rio Paraíba do Sul é formado a partir da união dos rios Paraitinga e Paraibuna, ambos situados no estado de São Paulo. A Tabela 5-1 a seguir apresenta informações dos principais afluentes do rio Paraíba do Sul: rios Paraibuna, Pomba, Muriaé, Pirai, Piabanha e Dois Rios. De acordo com COPPETEC (2006), além desses principais formadores, outros 86 cursos de água cadastrados de domínio federal e 184 de domínio estadual fazem parte da rede hidrográfica da bacia do rio Paraíba do Sul

Tabela 5-1: Características Gerais dos Principais Afluentes do rio Paraíba do Sul

Rio		Extensão (km)	Nascente	Principais afluentes	Características gerais
Margem Esquerda	Paraibuna Mineiro	160	MG	rio Peixe	Drena a cidade de Juiz de Fora
				rio Preto	
	Pomba	300	MG	rio Xopotó	Sua bacia encontra-se quase toda em território mineiro. A foz está próxima a Itaocara, limite entre os trechos médio e baixo Paraíba
				rio Novo	
Margem Direita	Muriaé	250	MG	Rio Carangola	Apresenta características de rio de planície em seu curso inferior, em território fluminense.
	Pirai	100	SP	rio Vigário	Possui dois barramentos em seu curso, Tocos e Santana.
	Piabanha	80	RJ	rio Paquequer	drena os municípios de Petrópolis, Areal e Três Rios
	Dois Rios	170	RJ	rio Negro	Formado pela confluência dos rios Negro e Grande. Constitui a maior sub-bacia exclusivamente fluminense.
				rio Grande	

Fonte: COPPETEC, 2006; SEMADS, 2001.

O rio Paraíba do Sul, ao longo de seu comprimento, apresenta algumas represas, com destaque para as represas de Paraibuna, Santa Branca e Funil. No município de Barra do Pirai, situa-se a barragem de Santa Cecília (Light), onde são retirados 160 m³/s e efetuado o bombeamento destas águas para dois reservatórios no Rio Pirai (Santana e Vigário) e daí transpostas para o Ribeirão das Lajes-Rio Guandu. (SEMADS, 2001)

Desde dezembro de 1996, a bacia do Paraíba do Sul é gerenciada pelo Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul (CEIVAP). A criação deste comitê auxiliou a implantação de um novo modelo de gestão na bacia, fortalecido com a aprovação da Lei 9.433/97, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos.

5.1.2 Aspectos Climáticos

A bacia do Paraíba do sul é caracterizada por clima tropical, quente e úmido, com variações determinadas pelas diferenças de altitude e entradas de ventos marinhos. A temperatura média anual varia entre 18 °C e 24 °C, com máximas entre 14,8 e 32,2 °C e mínimas entre 2,7 e 21,9 °C. As mais altas temperaturas ocorrem na região de Itaperuna, na bacia do rio Muriaé, com média das máximas situada em torno de 32 °C. De novembro a janeiro, observa-se um período muito chuvoso, quando ocorrem grandes extravasamentos de cheia. Já a estiagem ocorre entre os meses de junho a setembro (COPPETEC, 2001).

Os dados médios anuais de temperatura (máxima, média e mínima), umidade, nebulosidade e evaporação foram obtidos das normais climatológicas do INEMET (*apud* COPPETEC, 2001), levantados em diversos pontos da bacia e adjacências.

Na bacia do Paraíba do Sul, os índices pluviométricos variam principalmente em função da altitude. Os maiores índices são verificados no trecho paulista da serra do Mar, nas regiões do maciço do Itatiaia e seus contrafortes e na serra dos Órgãos; nestes locais, a precipitação anual atinge valores superiores a 2.000 mm. Já os menores índices pluviométricos verificados variam entre 1.000 mm e 1.250 mm, ocorrendo em uma estreita faixa do Médio Paraíba, entre os municípios de Vassouras e Cantagalo, e nas regiões norte e noroeste do Rio de Janeiro.

5.1.3 Uso e ocupação atual do solo

A caracterização do uso e ocupação atual do solo auxilia no entendimento dos processos que propiciaram a degradação da bacia, entre eles o comprometimento dos recursos hídricos por processos da dinâmica superficial, como erosão e assoreamento, e outras formas de degradação, como despejos sanitários e lançamento e disposição de resíduos agropecuários, industriais, de mineração, entre outros.

A Tabela 5-2 apresenta informações sobre a cobertura vegetal e o uso do solo na bacia do Paraíba do Sul, levantamento realizado em 1995 para o Grupo Executivo para Recuperação e Obras de Emergência do Estado do Rio – GEROE (*apud* Fundação COPPETEC, 2006). A partir dos dados desta tabela, conclui-se que o processo de ocupação e uso do solo na bacia transformou bastante sua paisagem original, alterando

sua paisagem natural, constituída basicamente por florestas (Mata Atlântica), para uma paisagem predominantemente formada por campos e pastagens.

Tabela 5-2: Cobertura Vegetal e Uso do Solo na Bacia do Paraíba do Sul

Classe de Cobertura/Uso	Minas Gerais		Rio de Janeiro		São Paulo		Total Bacia	
	ha	%	ha	%	há	%	ha	%
Total de Florestas	107.516	5,2	276.236	13,2	217.364	15,6	601.116	10,8
Vegetação Secundária	190.208	9,2	372.424	17,8	170.884	12,3	733.516	13,2
Campo/Pastagem	1.657.196	80,2	1.281.560	61,2	800.344	57,6	3.739.100	67,4
Área Agrícola	40.688	2,0	51.012	2,4	63.176	4,5	154.876	2,8
Reflorestamento	11.160	0,5	8.008	0,4	60.916	4,4	80.084	1,4
Área Urbana	7.900	0,4	22.328	1,1	35.736	2,6	65.964	1,2
Afloramento Rochoso	1.096	0,1	9.784	0,5	436	0,0	11.316	0,2
Área Não Sensoriada	39.452	1,9	45.848	2,2	2.912	0,2	88.212	1,6
Campos de Altitude	1.968	0,1	2.792	0,1	12.296	0,9	17.056	0,3
Mangue	-	-	500	0,0	-	-	500	0,0
Restinga	-	-	1.112	0,1	-	-	1.112	0,0
Água	2.412	0,1	14.808	0,7	23.220	1,7	41.936	0,8
Solo Exposto	364	0,0	5.456	0,3	1.576	0,1	7.396	0,1
Várzea	5.424	0,3	352	0,0	-	-	5.776	0,1
TOTAL	2.065.384	100	2.093.220	100	1.388.860	100	5.547.464	100

Fonte: GEROE, 1995 *apud* COPPETEC, 2006.

Observa-se, assim, que na bacia do rio Paraíba do Sul, inserida na região de abrangência da Mata Atlântica, bioma florestal mais destruído do Brasil, menos de 11% de todo o território é composto por área florestal.

5.1.4 Usos múltiplos da bacia

A bacia do rio Paraíba do Sul fornece água para diversos usos. Os usos consuntivos constituem-se de: abastecimento de cidades, vilas e povoados; abastecimento de populações humanas do meio rural; dessedentação animal; irrigação; consumo industrial; e consumo de agroindústrias e aquicultura. Já os usos não consuntivos abrangem: manutenção de biodiversidade fluvial; pesca; controle de cheias; geração hidrelétrica (não consuntivo, porém restritivo); e navegação; recreação, lazer e turismo (SEMADS, 2001).

Em termos de volume de captação, as águas do Paraíba do Sul são destinadas, principalmente, para as atividades de irrigação, sem considerar as transposições realizadas pra o abastecimento da região metropolitana fluminense (vide Tabela 5-3).

Tabela 5-3: Tipo de uso e vazão de captação correspondente

Tipo de uso	Vazão de captação (m³/s)
Abastecimento urbano	16,5
Uso industrial	13,65
Irrigação	49,73
Uso pecuário (criação de animais)	3,45
Transposições	180
Total (sem transposição)	83,33
Total (com transposição)	263,33

Fonte: Projeto Marca d'água, 2002.

No período compreendido entre as décadas de 1930 a 1960, foram construídas as principais barragens ao longo do rio, sendo elas: Paraibuna/Paraitinga, Santa Branca, Funil, Santa Cecília e Ilha dos Pombos. Destaca-se o sistema Paraíba do Sul/Guandu, que é composto por dois subsistemas, Paraíba e Lajes, projetados para suprir energia elétrica e água à cidade do Rio de Janeiro (COPPETEC, 2006).

O sistema Paraíba do Sul/Guandu retira, diariamente, 160 m³/s do rio Paraíba do Sul, através da estação elevatória de Santa Cecília, e 20 m³/s da bacia do rio Piraí, através do túnel que conecta o reservatório de Tocos ao de Lajes e da estação elevatória de Vigário. Essas transposições abastecem cerca de 8 milhões de habitantes da região metropolitana do Rio de Janeiro, além de indústrias e algumas usinas termelétricas situadas nas proximidades desta região (CAMPOS, 2005).

5.2 TRECHO ESCOLHIDO PARA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

5.2.1 Características Gerais

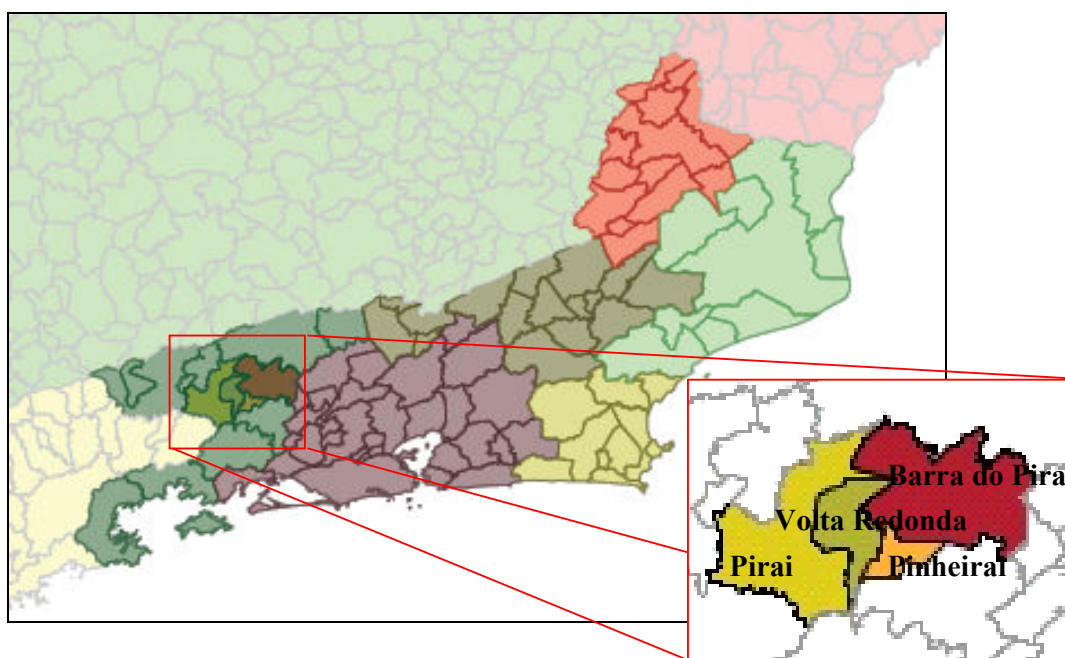
A área escolhida para aplicação da metodologia compreende um trecho de cerca de 40 km do rio Paraíba do Sul, entre a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), localizada no município de Volta Redonda, e a elevatória de Santa Cecília, em Barra do Piraí. Esta região está situada na bacia do médio Paraíba do Sul.

Nesse trecho de rio, foram realizados, no período de setembro de 1986 a dezembro de 1987, quatro ensaios de dispersão longitudinal, que forneceram resultados referentes a

vazões, velocidades e coeficientes de dispersão. O monitoramento foi realizado por equipe do Laboratório de Traçadores da COPPE/UFRJ.

Por estar situado a montante da estação de tratamento de água do Guandu, este trecho é de vital importância para o gerenciamento dos recursos hídricos do estado do Rio de Janeiro. A presença de contaminantes na água pode levar ao fechamento da captação e, conseqüentemente, à interrupção do fornecimento de água para cerca de 80% da população fluminense.

Neste trecho, o rio Paraíba do Sul é o corpo receptor natural dos rios e córregos de 4 municípios: Volta Redonda, Barra do Piraí (na margem direita), Pinheiral e Piraí (ambos na margem esquerda). A Figura 5-1 representa estes municípios. Juntos, estes municípios apresentam área de cerca de 1.300 km² e uma população estimada de quase 400.000 habitantes (Portal IBGE, 2009).



Fonte: Portal IBGE, 2009.

Figura 5-1: Municípios pertencentes à região em estudo

Apesar de o rio Paraíba do Sul não estar inserido dentro do município de Piraí, alguns dos corpos hídricos que nascem nesta localidade deságuam no referido rio.

A Tabela 5-4 apresenta dados gerais desses municípios. Como pode ser observado, Volta Redonda é o município mais populoso, com aproximadamente 260 mil habitantes. A cidade de Barra do Piraí, com uma população de 96.282 habitantes, possui a maior área territorial, de 578 km².

Tabela 5-4: Informações gerais dos municípios pertencentes à região em estudo

Parâmetro	Município				Total
	Volta Redonda	Pinheiral	Piraí	Barra do Piraí	
População em 2007	255.653	20.885	24.170	96.282	396.990
Área (km²)	182	77	505	578	1.342
Indústrias Extrativas	11	1	1	10	23
Indústrias de Transformação	450	54	55	194	753
Agricultura, pecuária, silvicultura e exploração florestal	17	5	8	9	39
Produção e distribuição de eletricidade, gás e água	4	-	9	3	16

Fonte: Portal IBGE – Banco de Dados Cidades@, 2009.

Neste trecho, situa-se uma grande quantidade de indústrias, sendo 753 unidades de transformação (segmento destinado ao beneficiamento de matéria prima em algum tipo de produto comercial) e 23 unidades de indústrias extrativas (segmento que retira a matéria-prima da natureza – mineral ou vegetal – para ser utilizada por outras indústrias). A maior quantidade de indústrias concentra-se em Volta Redonda (461 unidades), seguido de Barra do Piraí (204 unidades).

É em Volta Redonda que se localiza a maior indústria siderúrgica do Brasil e da América Latina, além de uma das maiores do mundo. A Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) tem capacidade anual de produção de 5,8 milhões de toneladas de aço bruto e ocupa no município uma área total de 3,76 km² (Portal da CSN, 2009).

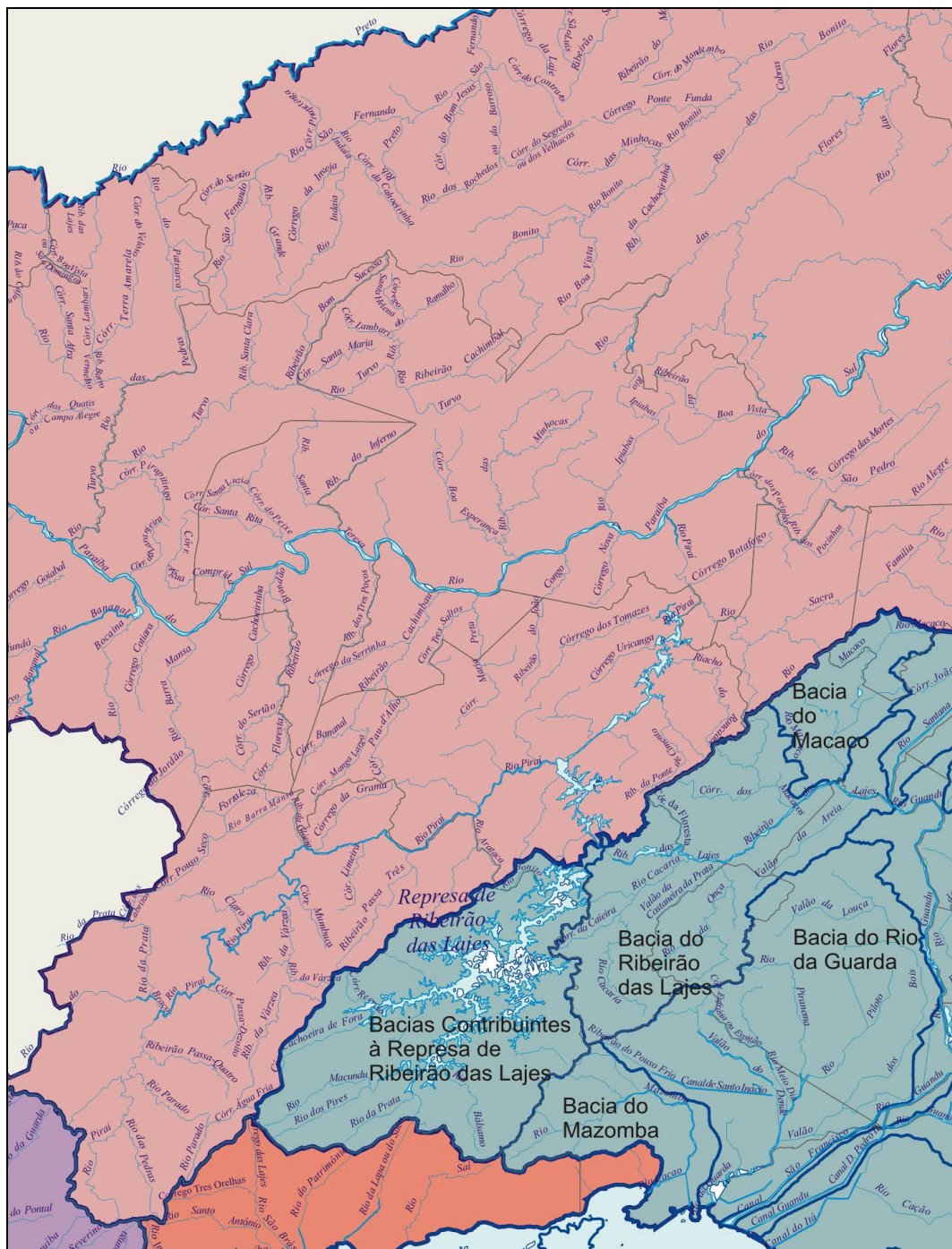
Nestes municípios, existem 39 unidades destinadas a agricultura, pecuária, silvicultura e exploração florestal, sendo 17 em Volta Redonda, 5 em Pinheiral, 8 em Piraí e 9 em Barra do Piraí.

5.2.2 Hidrografia

O rio Paraíba do Sul é o corpo receptor natural da malha hidrográfica dos municípios de Volta Redonda, Pinheiral, Piraí e Barra de Piraí, além de ser o manancial de abastecimento das referidas cidades. No município de Piraí, a drenagem local também destina-se ao rio Piraí, afluente do rio Paraíba do Sul, cuja foz localiza-se logo a jusante da elevatória de Santa Cecília.

A rede hidrográfica da região escolhida para aplicação da metodologia caracteriza-se pela grande quantidade de riachos e córregos que deságuam no rio Paraíba do Sul, estabelecendo pequenas bacias ao longo de seu curso. Na região, destaca-se a bacia do rio Piraí localizada na margem direita do rio Paraíba do Sul.

A Figura 5-2 apresenta os principais cursos de água da região, de acordo com mapa da bacia hidrográfica do estado do Rio de Janeiro (Portal Fundação CIDE, 2009).



Fonte: Portal Fundação CIDE, 2009.

Figura 5-2: Hidrografia da região em estudo

No trecho selecionado, entre a CSN (em Volta Redonda) e a elevatória de Santa Cecília (em Barra do Piraí) os principais afluentes do Paraíba do Sul pela margem esquerda são:

córrego Santa Rita, Ribeirão do Inferno, Ribeirão das Minhocas e Rio Ipiabas. Já pela margem direita, os afluentes são: ribeirão Brandão, ribeirão dos Três Poços, ribeirão Cachimbau, Córrego Maria Preta, ribeirão do João Congo e córrego Nova.

Situado na margem direita, o ribeirão Brandão marca a divisa natural entre os municípios de Volta Redonda e Barra Mansa. Ao longo de seu curso, recebe as águas dos córregos Cachoeirinha ou Brandaozinho, do Sertão e Floresta.

O córrego Santa Rita, na margem esquerda do Paraíba do Sul, nasce da confluência dos córregos Peixe e Santa Luzia. Um pouco mais a jusante, localiza-se a foz do ribeirão do Inferno, corpo hídrico que recebe as águas do ribeirão Santa Tereza, além de marcar a divisa natural entre as cidades de Volta Redonda e Barra do Piraí.

Na divisa entre os municípios de Volta Redonda e Pinheiral, localiza-se o Ribeirão dos Três Poços. Em Pinheiral, encontram-se, ainda, a foz do ribeirão Cachimbau (sendo seus afluentes os córregos da Serrinha, Pau d'Alho, Manga Larga e Bananal) e do córrego Maria Preta (onde deságua o córrego Três Saltos).

Dentro do município de Barra do Piraí, localizam-se a foz do ribeirão das Minhocas e rio Ipiabas, na margem esquerda do Paraíba do Sul, e do ribeirão do João Congo e córrego Nova, na margem direita.

No município de Volta Redonda, o rio Paraíba do Sul sofre uma redução em sua vazão média, com relação ao município de Barra Mansa, que está situado imediatamente a montante (Portal da Prefeitura de Volta Redonda, 2009). A vazão média verificada em Volta Redonda é de, aproximadamente, 318 m³/s, enquanto que em Barra Mansa a vazão média é superior em, pelo menos, 6 m³/s. Tal fato deriva da diferença entre o volume de captação e o volume de contribuição que incide sobre o rio, no trecho que corta a cidade, sendo principalmente influenciada pela captação da CSN.

Ressalta-se que a vazão do rio neste trecho é regulada pela Barragem de Funil, localizada a montante de Volta Redonda.

5.2.3 Usos da água do rio Paraíba do Sul

As águas do rio Paraíba do Sul e de seus afluentes não apenas abastecem a população residente em seu entorno, como também são utilizadas nas indústrias, na mineração e na irrigação, além de servirem como destinação final do esgotamento sanitário.

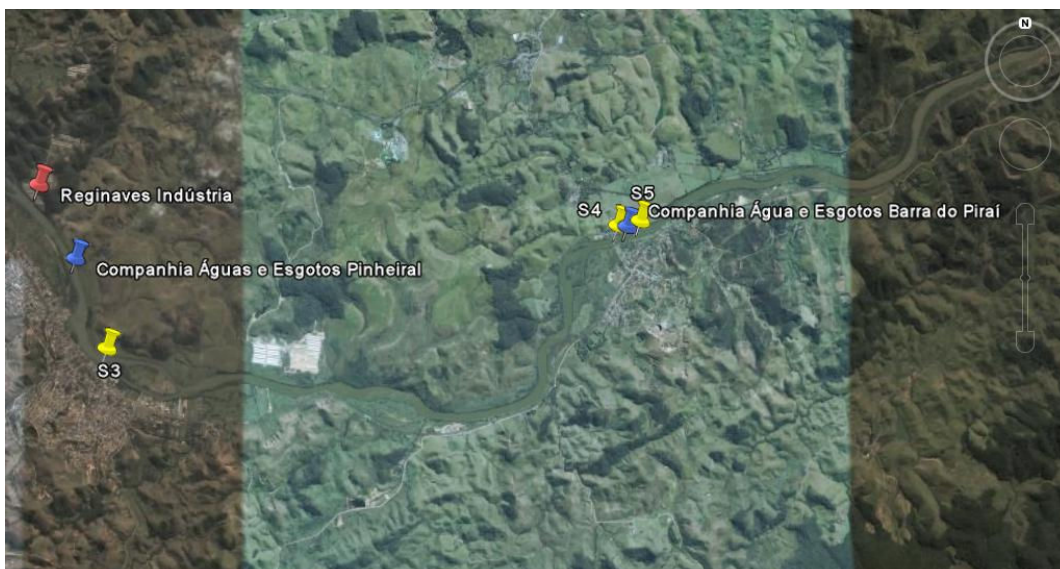
Em relatório sobre cobrança pelo uso de recursos hídricos realizado pela Agência Nacional de Águas (2008), foi apresentado um demonstrativo referente a 243 usuários de água bruta da bacia inscritos do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH) em 2008, apresentando sua razão social, seus volumes de captação, lançamento e consumo (m^3 /ano), carga de DBO e valores cobrados.

De acordo com este relatório, neste trecho em estudo o uso das águas apresenta como finalidades principais a indústria, saneamento, mineração e irrigação/criação animal. A Tabela 5-5 apresenta informações sobre os usuários cadastrados em 2008 nos municípios de Volta Redonda, Pinheiral e Barra do Pirai, indicando os volumes de captação e lançamento e carga DBO (ANA, 2008), além dos corpos hídricos de captação e lançamento (CEIVAP, 2009), entre outras informações. A sequência da Figura 5-3 à Figura 5-5 apresenta a localização aproximada de cada um.



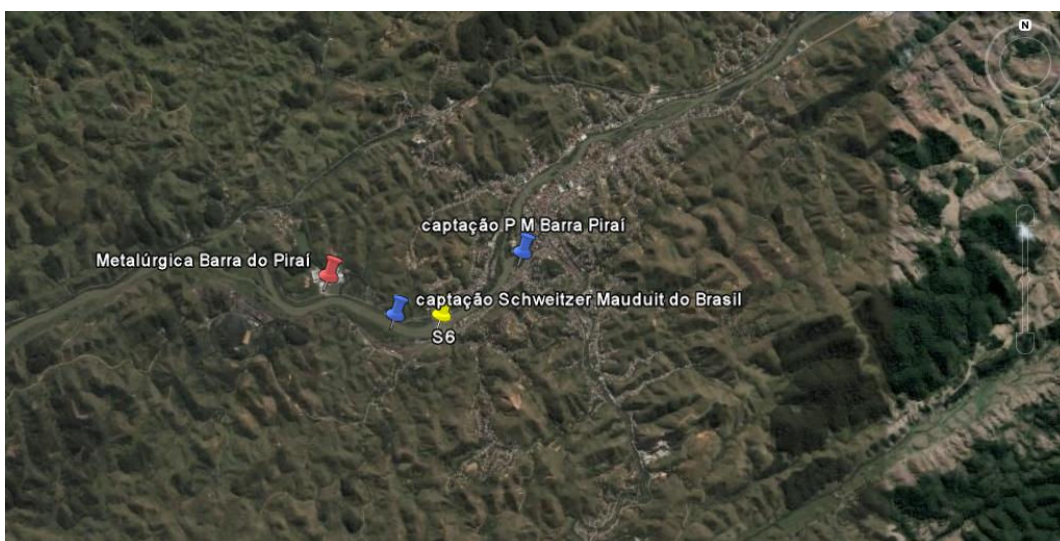
Fonte: Google Earth, 2009.

Figura 5-3: Localização dos usuários de água – parte 1



Fonte: Google Earth, 2009.

Figura 5-4: Localização dos usuários de água – parte 2



Fonte: Google Earth, 2009.

Figura 5-5: Localização dos usuários de água – parte 3

Tabela 5-5: Informações sobre os usuários cadastrados no CNARH em 2008 nos municípios em estudo

Razão Social	Finalidade	Muni cípio	UF	Captação (m³/ano)	Lançamento (m³/s)	Consumo (m³/ano)	DBO (kg/ano)	Corpo Hídrico captação	Corpo Hídrico lançamento	Descrição
Cimento Tupi S/A	Indústria	Volta Redonda	RJ	52.704,00	8.784,00	43.920,00	8,78	rio Paraíba do Sul	rio Paraíba do Sul	fabricação de cimento
Companhia Siderúrgica Nacional	Indústria	Volta Redonda	RJ	194.161.536,00	147.646.689,70	39.470.102,00	1.875,76	rio Paraíba do Sul	rio Paraíba do Sul	siderúrgica
Metalúrgica Barra do Piraí S.A.	Indústria	Barra do Piraí	RJ	49.410,00	30.082,78	19.327,22	9.476,08	rio Paraíba do Sul	rio Paraíba do Sul	metalúrgica
S.A. Tubonal	Indústria	Volta Redonda	RJ	109.800,00	102.279,45	7.520,55	21.358,36	rio Paraíba do Sul	rio Paraíba do Sul/Cecades	Fabricação de tubos e laminados
Schweitzer Mauduit do Brasil	Indústria	Piraí	RJ	5.270.400,00	3.425.760,00	1.844.640,00	73.653,84	rio Paraíba do Sul	rio Piraí	Fabricação de papéis
Votorantim Cimentos Brasil Ltda.	Indústria	Volta Redonda	RJ	18.300,00	6.144,23	12.155,77	614,42	poço profundo	rio Paraíba do Sul	fabricação de cimento
Total trecho				199.662.150,00	151.219.740,16	41.397.665,54	106.987,24			
Total Indústria PS				338.319.931,10	247.908.509,95	77.567.674,52	4.971.827,42			
Reginaves Indústria e Comércio de Aves Ltda. (Alimentos Rica)	Irrigação/Criação Animal	Barra do Piraí	RJ	16.800,00	0	16.800,00	0	rio Paraíba do Sul		
Total trecho				16.800,00	0,00	16.800,00	0,00			
Total Irrigação PS				25.255.778,72	0	6.960.631,86	0			

Tabela 5-5: Informações sobre os usuários cadastrados no CNARH em 2008 nos municípios em estudo

Razão Social	Finalidade	Muni cípio	UF	Captação (m³/ano)	Lançamento (m³/s)	Consumo (m³/ano)	DBO (kg/ano)	Corpo Hídrico captação	Corpo Hídrico lançamento	Descrição
Extratora de Areia Ltda.	Mineração	Volta Redonda	RJ	9.342,00	0	155,7	0	rio Paraíba do Sul		
Extratora de Areia Ltda.	Mineração	Volta Redonda	RJ	6.228,00	0	103,8	0	rio Paraíba do Sul		
Extratora de Areia Volta Redonda Ltda.	Mineração	Volta Redonda	RJ	48.651,43	0	158,4	0	rio Paraíba do Sul		
Total trecho				64.221,43	0,00	417,90	0,00			
Total Mineração PS				568.143,06	0	38.130,64	0			
Barra do Pirai - Companhia Estadual de Águas e Esgotos	Saneamento	Barra do Pirai	RJ	411.091,20	332.140,61	78.950,59	0	rio Paraíba do Sul / rio das Flores	rio Paraíba do Sul	
Companhia Estadual de Águas e Esgotos	Saneamento	Pinheiral	RJ	1.960.588,80	1.606.101,70	354.487,10	0	rio Paraíba do Sul	rio Paraíba do Sul	
Pirai - Companhia Estadual de Águas e Esgotos	Saneamento	Pirai	RJ	3.035.750,40	2.411.113,13	624.637,27	0	rio Pirai/córrego Maria Preta/córrego Pau d' Alho	canal de Vigário/rio Pirai	

Tabela 5-5: Informações sobre os usuários cadastrados no CNARH em 2008 nos municípios em estudo

Razão Social	Finalidade	Muni cípio	UF	Captação (m³/ano)	Lançamento (m³/s)	Consumo (m³/ano)	DBO (kg/ano)	Corpo Hídrico captação	Corpo Hídrico lançamento	Descrição
Prefeitura Municipal de Pinheiral	Saneamento	Pinheiral	RJ	1.517.875,20	1.517.875,20	0	379.468,80		rio Paraíba do Sul, canal de vigário/rio Pirai	
Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Volta Redonda - SAAE - VR	Saneamento	Volta Redonda	RJ	30.004.738,56	24.585.193,27	5.419.545,29	8.436.845,23		córregos do Poço, do Curral, Santa Rita, Bugio, Cafuá, Carvalho/ Ribeirão Brandão/rio Paraíba do Sul	
Total trecho				36.930.044,16	30.452.423,91	6.477.620,25	8.816.314,03			
Total Saneamento PS				400.027.432,36	301.528.263,39	92.570.835,09	59.692.672,34			
Areal 2094 Lida - ME	Outros	Barra do Pirai	RJ	5.068,80	4.828,55	240,25	0	rio Paraíba do Sul		
Petrobras Transporte S.A.	Outros	Volta Redonda	RJ	8.640,00	360,99	8.279,01	11,31	rio Paraíba do Sul		
Total trecho				13.708,80	5.189,54	8.519,26	11,31			
Total Outros PS				3.735.222,60	365.406,74	2.713.607,86	110.031,51			

Fonte: ANA, 2008.

Na Tabela 5-5, observa-se que as indústrias são as que mais captam água desta bacia. Ressalta-se que a Companhia Siderúrgica Nacional utiliza cerca de 90% de toda água captada pelas indústrias cadastradas no trecho considerado. Se comparado à água captada pelos usuários em toda a bacia do Paraíba do Sul, a proporção de água captada permanece alta, sendo de aproximadamente 60% do total. Isto evidencia a grande importância desta indústria na qualidade da água do rio, uma vez que pode gerar um grande desequilíbrio caso haja algum despejo. A Figura 5-6 apresenta uma vista geral da companhia. Verifica-se, ainda, que o principal curso de água para captação de água e lançamento de efluentes é o rio Paraíba do Sul.



Fonte: CAMPOS, 2005.

Figura 5-6: Companhia Siderúrgica Nacional

5.2.4 Transportes

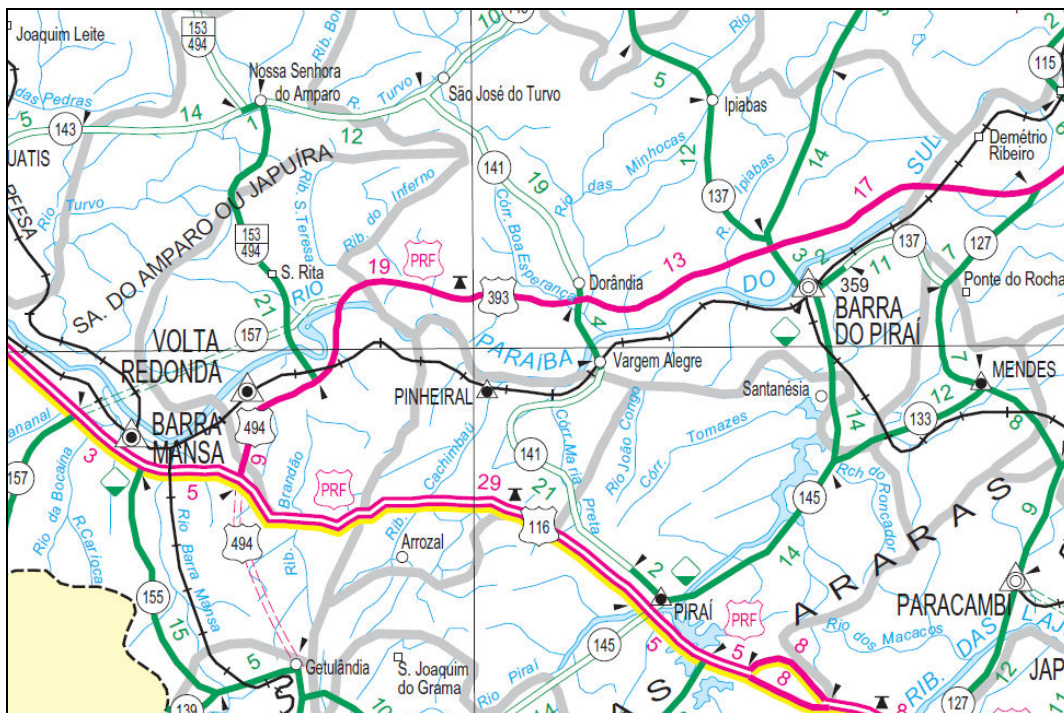
No trecho do rio Paraíba do Sul, entre os municípios de Volta Redonda e Barra do Piraí, passam uma série de rodovias estaduais e federais.

Como pode ser visto na Figura 5-7, neste trecho, a BR 393, conhecida como rodovia do aço, cruza o referido rio na altura de Volta Redonda, permanecendo próxima à margem esquerda do rio até o fim deste trecho.

A rodovia Presidente Dutra também se localiza na região em estudo. Entretanto, nesse trecho, esta estrada localiza-se mais ao sul do rio Paraíba do sul (margem direita).

Nesse trecho, também podem ser observadas algumas rodovias estaduais, como a RJ 157, próximo a Volta Redonda, RJ 153, RJ 141, na altura de Vargem Alegre, e as RJ 145, 137 e 133, próximas a Barra do Pirai.

Além destas rodovias, ao longo da margem direita deste trecho do rio, existe uma linha ferroviária.



Fonte: DNIT, 2002.

Figura 5-7: Mapa Rodoviário do Rio de Janeiro com destaque para a área em estudo

5.2.5 Qualidade das águas

O diagnóstico da qualidade da água do rio Paraíba do Sul no trecho entre Volta Redonda e Barra do Pirai foi elaborado a partir dos dados do monitoramento realizado pela FEEMA em cinco estações, compreendendo o período de janeiro 1990 a novembro de 2000, fornecidos pelo Laboratório de Hidrologia da COPPE/UFRJ.

Os dados disponíveis apresentavam diversos parâmetros de monitoramento, entretanto a obtenção dos dados não foi feita de forma contínua. Sendo assim, alguns parâmetros apresentaram poucas amostragens ao longo do período de monitoramento, não representando bem o período de análise. Nesse sentido, foram considerados apenas os parâmetros com maior número de amostragens, identificados como mais representativos para a análise de qualidade de água do trecho em estudo. Portanto, os parâmetros selecionados foram: amônia, cádmio, chumbo, cianeto total, cobre, coliforme fecal, condutividade, cromo hexavalente, DBO, DQO, fenóis, ferro, ferro solúvel, fósforo total, manganês, mercúrio, níquel, nitrato, nitrito, nitrogênio Kjeldahl, ortofosfato dissolvido, oxigênio dissolvido, pH, sólidos dissolvidos totais, sólidos em suspensão, temperatura da água, turbidez e zinco. No anexo B, encontram-se os gráficos obtidos por cada parâmetro, em todo o período de monitoramento, considerando os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357.

A análise das variáveis físico-químicas de água do trecho em estudo permite verificar o estado atual da qualidade de água deste trecho, assim como observar a influência de elementos situados em seu entorno no lançamento de efluentes deste segmento do rio Paraíba do Sul.

Para a avaliação da qualidade de água deste trecho, foi considerado o enquadramento realizado para a bacia do rio Paraíba do sul pela Portaria GM/086 de 04/06/81, que estabeleceu como classe 2 as águas do rio Paraíba do Sul situadas entre a barragem de Santa Branca e a cidade de Campos.

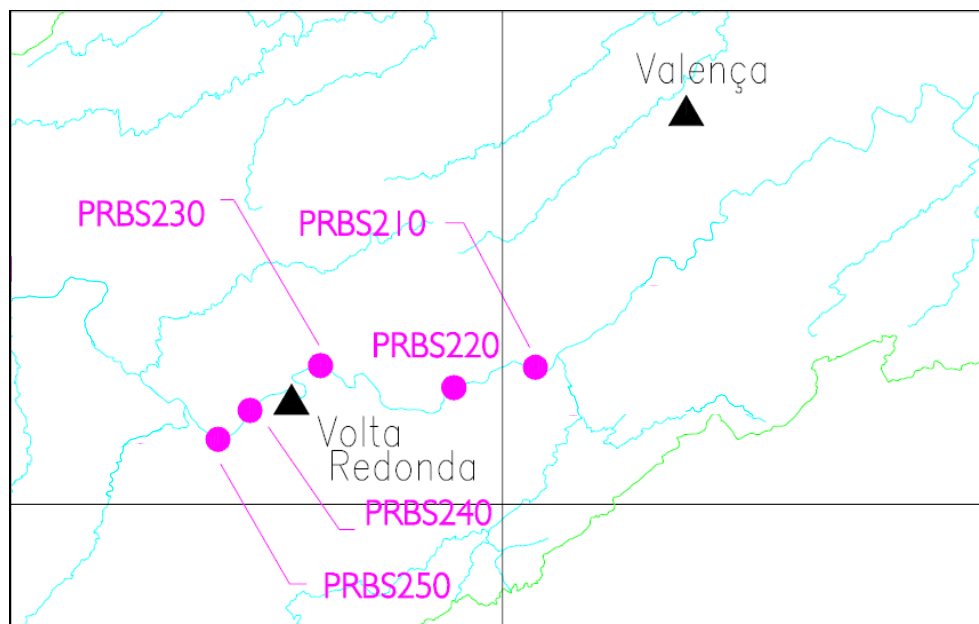
Como análise preliminar, foram determinadas as médias dos parâmetros para cada estação no período de monitoramento considerado. A Tabela 5-6 apresenta os valores de concentrações médias no período para cada estação e a Figura 5-8 apresenta a localização das estações analisadas, sendo elas: PRBS250, ponte a jusante da linha férrea em Barra Mansa; PRBS240, próximo a Indústria de Cimento Tupi; PRBS230,

primeira ponte depois de Volta Redonda; PRBS220, ponte em Vargem Alegre; PRBS210, junto ao bombeamento da represa de Santa Cecília (COPPETEC, 2001).

Tabela 5-6: Média dos parâmetros de qualidade de água (1990 a 2000)

Parâmetro	Unidade	Estação					Média	Variação (%)	Limite CONAMA n° 357
		210	220	230	240	250			
Amônia	mg/L	0,135	0,144	0,201	0,042	0,036	0,112	80,3	-
Cádmio	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0	0,001
Chumbo	mg/L	0,030	0,020	0,021	0,022	0,022	0,023	30,9	0,01
Cianeto Total	mg/L	0,012	0,014	0,017	0,013	0,013	0,014	23,7	0,005
Cobre	mg/L	0,006	0,009	0,007	0,006	0,010	0,008	34,3	0,009
Coliforme									
Fecal	NMP/100mL	52794	50772	119257	88214	73131	76834	55,2	1000
Condutividade	µS/cm	74,592	72,740	73,642	65,889	65,709	70,514	5,8	-
Cromo									
Hexavalente	mg/L	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0	-
DBO	mg/L	2,768	2,314	2,786	2,371	2,914	2,631	10,8	<5
DQO	mg/L	13,265	14,490	15,625	13,818	62,143	23,868	160,4	-
Fenóis	mg/L	0,003	0,003	0,006	0,002	0,003	0,003	68,0	0,003
Ferro	mg/L	0,840	0,874	1,374	1,499	1,910	1,299	47,0	-
Ferro Solúvel	mg/L	0,359	0,444	0,384	0,301	0,313	0,360	23,3	0,3
Fósforo Total	mg/L	0,097	0,100	0,116	0,114	0,093	0,104	11,5	0,05
Manganês	mg/L	0,099	0,079	0,076	0,054	0,068	0,075	31,5	0,1
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	17,1	0,0002
Níquel	mg/L	0,012	0,013	0,011	0,011	0,011	0,011	14,0	0,025
Nitrato	mg/L	0,646	0,609	0,574	0,539	0,526	0,579	11,7	10
Nitrito	mg/L	0,031	0,035	0,022	0,017	0,009	0,023	53,2	1,0
Nitrogênio									
Kjeldahl	mg/L	0,996	1,026	0,970	0,748	0,804	0,909	12,9	-
Ortofosfato									
Dissolvido	mg/L	0,020	0,018	0,025	0,022	0,016	0,020	25,1	-
Oxigênio									
Dissolvido	mg/L	6,573	6,820	6,941	7,018	7,243	6,919	-	>5
ph	nd	6,9	6,9	6,9	7,0	7,0	7,0	-	6 a 9
Sólidos									
Dissolvidos									
Totais	mg/L	75,641	68,667	83,450	78,026	70,079	75,172	11,0%	500
Sólidos em									
Suspensão	mg/L	21,041	24,680	21,019	18,370	19,509	20,924	18,0%	-
Temperatura									
da Água	°C	22,080	21,940	22,116	21,936	21,951	22,005	0,5%	-
Turbidez	UNT	16,989	16,926	17,346	15,647	16,067	16,595	4,5%	100
Zinco	mg/L	0,123	0,019	0,023	0,017	0,014	0,039	213,6%	0,18

Fonte: dados fornecidos pelo Laboratório de Hidrologia da COPPE/UFRJ.



Fonte: COPPETEC (2001)

Figura 5-8: Localização das estações de monitoramento

Observa-se que alguns dos parâmetros analisados apresentam-se acima dos limites estabelecidos pela CONAMA nº 357, como coliformes fecais e fósforo total.

Na Tabela 5-6, estão destacadas em negrito as variáveis que apresentaram as maiores médias no período considerado. Nesse sentido, é possível observar que a estação 230 apresenta diversos parâmetros cujas médias foram as maiores entre as demais estações monitoradas, dentre os quais destacam-se amônia, cianeto total, coliforme fecal, fenóis e ortofosfato. Isto indica que a qualidade da água desta estação, localizada logo após o descarte da CSN, é bastante influenciada pelos estabelecimentos situados entre as estações 240 e 220.

A Tabela 5-6 apresenta, ainda, a variação do valor máximo observado em relação à média das estações. Observa-se, assim, que a estação PRBS230 apresenta valores médios de concentrações de amônia, fenol e coliformes fecais muito acima da média entre as estações analisadas, de respectivamente, 80,3%, 68,0% e 55,2%. A estação PRBS250 apresenta duas variáveis com concentrações bastante acima da média entre as estações, sendo elas DQO, com 160,4%, e ferro, com 47,0%. O parâmetro zinco na estação PRBS210 foi o que mais ultrapassou a média entre as demais estações, apresentando o valor de 213,6%, mantendo-se, entretanto, abaixo do valor de referência

vigente. A estação PRBS220 ultrapassou em 53,2% a média de concentrações de nitrito durante o período de análise.

Nesta análise simplificada, é possível verificar a influência das unidades estabelecidas ao longo deste trecho do rio Paraíba do Sul na qualidade de água do referido rio. Destaca-se o trecho a montante da estação 230 que apresenta um aumento de diversos parâmetros, entre eles amônia cianeto e fenol. O aumento verificado desses parâmetros nesta estação pode ser atribuído à Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), que produz quantidades dessas substâncias, de acordo com ROLDÃO *et al.* (1991).

5.3 USO DE TRAÇADORES NA OBTENÇÃO DE PARÂMETROS PARA O MODELO MATEMÁTICO

5.3.1 Ensaios de campo

A região em estudo considerada no presente trabalho é um trecho de 40 km do rio Paraíba do Sul, entre a cidade de Volta Redonda e Barra do Piraí. Nesse trecho de rio, foram realizados, no período de setembro de 1986 a dezembro de 1987, quatro ensaios de dispersão longitudinal, que forneceram resultados referentes a vazões, velocidades e coeficientes de dispersão. O monitoramento foi realizado por equipe do Laboratório de Traçadores da COPPE/UFRJ.

O ponto inicial de monitoramento encontra-se no local de despejo de efluentes da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). Já o ponto final de monitoramento localiza-se na estação elevatória de Santa Cecília, no município de Barra do Piraí. Ao todo, foram 6 seções de monitoramento. Na seleção dessas seções, foram considerados como critérios a acessibilidade, a importância do local tendo em vista o abastecimento da população, entre outros (ROLDÃO *et al.*, 1991). A Tabela 5-7 resume as características das seções de injeção e monitoramento dos ensaios realizados, cuja localização é apresentada na Figura 5-9.

Tabela 5-7: Características das seções de monitoramento

Seção	Distância (km)	Nº de Verticais	Descrição
0	0,0	-	Saída de emissário de efluente da CSN
1	2,6	6	Ponte urbana em Volta Redonda
2	9,8	6	Ponte rodoviária no bairro São Luis,
3	19,3	1	Captação de Pinheiral
4	28,3	3	Ponte urbana de Vargem Alegre
5	28,6	1	Captação de Vargem Alegre
6	39,6	1	Elevatória de Santa Cecília, Barra do Pirai

Fonte: ROLDÃO *et al*, 1991.



Fonte: Google Earth, 2009.

Figura 5-9: Localização das seções de estudo

Foram realizadas 4 campanhas em diferentes condições de vazão. Em todas as campanhas foi feita uma injeção simultânea do traçador utilizado em um poço de visita de uma tubulação dentro das instalações da CSN, sendo lançado no rio Paraíba do Sul através de um emissário de efluentes. Foram utilizados, nas primeiras campanhas os

traçadores uranina e amidorodamina G extra e na última uranina e sulforodamina B. A Tabela 5-8 apresenta as principais características desses ensaios.

Tabela 5-8: Características dos ensaios realizados

Campanha	Data	Vazão (m³/s)	Massa injetada (kg)		
			A	U	S
1	09/09/1986	272	10	10	-
2	08/01/1987	342	5	5	-
3	29/01/1987	639	5	5	-
4	15/12/1987	294	-	5	5

Fonte: ROLDÃO *et al.*, 1991.

Nestes ensaios, as seções de medição que estavam situadas em pontes (seções 1, 2 e 4) foram subdivididas em, respectivamente, 6, 6 e 3 verticais, com o objetivo de avaliar o grau de misturamento dos traçadores ao longo da seção transversal (RIGO, 1992). Esse monitoramento permite determinar experimentalmente a partir de que ponto do rio a dispersão da nuvem de traçador pode ser considerada uni-dimensional.

5.3.2 Análises em Laboratório

Os dados coletados em campo são devidamente acondicionados e encaminhados para a realização de estudos em laboratório.

Em laboratório, são determinados a vazão, velocidade e coeficiente de dispersão longitudinal de cada seção do rio. Esses parâmetros são determinados de acordo com o melhor ajuste entre a curva gerada e a curva experimental da seção de jusante.

Neste trabalho, foi utilizado o modelo de Taylor para a determinação do coeficiente de dispersão longitudinal (D_L). Neste método, também conhecido como método de ajuste, o coeficiente de dispersão longitudinal obtido com traçadores é determinado pelo ajuste entre a curva da distribuição experimental de concentrações ao longo do tempo, obtida *in situ* para uma dada seção de monitoramento, com a curva gerada pelo modelo de Taylor. Por tentativa e erro, chega-se ao coeficiente de dispersão longitudinal, através da curva que melhor se ajuste aos dados medidos (RIBEIRO, 2007).

5.4 UNIDADE DE ESTUDO

Na região de estudo, verifica-se a presença de duas estradas principais no entorno do rio Paraíba do Sul.

Uma delas é a BR-116 denominada de Presidente Dutra. Esta estrada, no trecho considerado, não cruza o rio principal diretamente, mas atravessa uma série de córregos afluentes ao Paraíba do Sul que podem levar substâncias perigosas ao rio. Entre esses rios estão o rio Barra Mansa, o ribeirão Brandão, o ribeirão Cachimbaú e o córrego Maria Preta.

A BR-393, a rodovia do Aço, está situada bem próxima ao rio no trecho considerado. Próximo à divisa de Volta Redonda e Barra do Piraí, a estrada cruza o rio através de uma ponte municipal, permanecendo contíguo à margem esquerda do rio. Em Barra do Piraí, um pouco a jusante da elevatória de Santa Cecília, a estrada cruza novamente o referido rio. Alguns corpos de água que cortam a BR-393 deságuam no rio Paraíba do Sul, sendo eles o ribeirão do Inferno, o córrego da Boa Esperança e o rio Ipiabas.

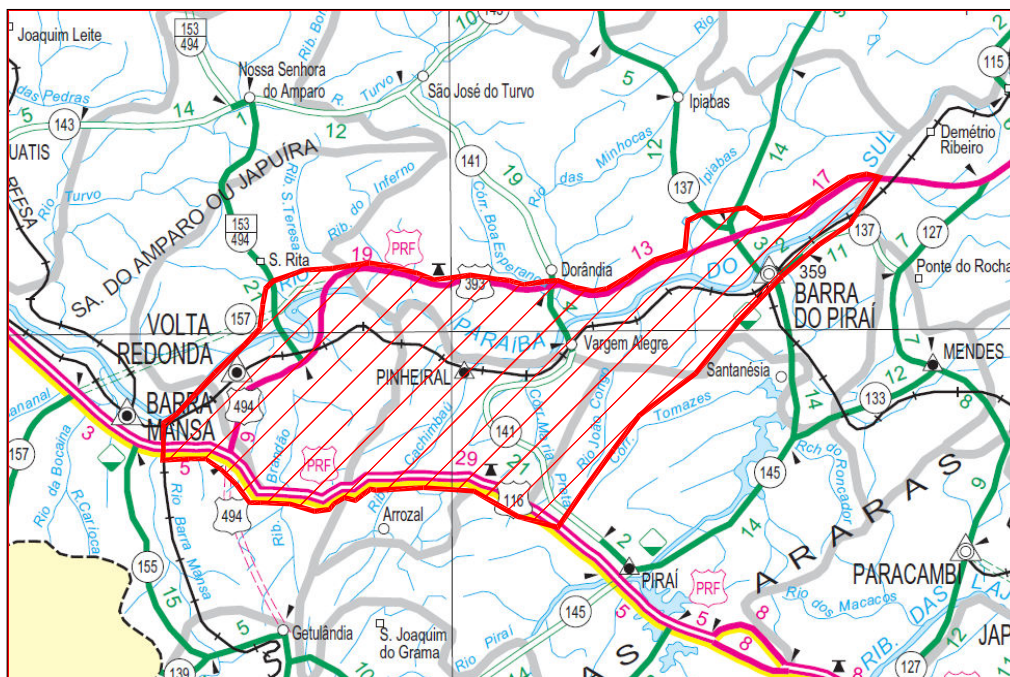
As rodovias estaduais RJ-153, RJ-141 e RJ-137 também cruzam o rio Paraíba do Sul no trecho em estudo.

Nesse trecho verifica-se, ainda, a linha ferroviária ao longo da margem direita do rio Paraíba do Sul.

Nesse trabalho, procurou-se definir como Unidade de Estudo a área situada entre as rodovias BR-116 e BR-393 onde, na ocorrência de um acidente envolvendo o transporte de produtos perigosos, possa haver um despejo que alcance o rio Paraíba do Sul no trecho entre Volta Redonda e Barra do Piraí. Sendo assim, foi considerada como unidade de trabalho a área formada entre as duas rodovias principais, a BR-116 e BR-393, o cruzamento do córrego Maria Preta e RJ-141 e cruzamento entre a BR-393 e o rio Paraíba do Sul. A Figura 5–10 demonstra a Unidade de Estudo.

Nesta unidade, estão inseridos alguns trechos identificados por VIANA (2009) que apresentam riscos de acidentes ambientais associados ao transporte de produtos perigosos, podendo comprometer a qualidade de água dos rios Paraíba do Sul e Guandu. Um deles é o cruzamento da BR-393 com o rio Paraíba do Sul na altura do município de Volta Redonda, que foi classificado com gravidade média. Mesma classificação recebeu o cruzamento entre o referido rio e a RJ-141, na localidade de Vargem Alegre, e o

cruzamento entre a RJ-153/BR-494 e o rio Paraíba do Sul, na área urbana de Volta Redonda.



Fonte: Adaptada de DNIT, 2002.

Figura 5-10: Unidade de Estudo

6 DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE CÁLCULO

6.1 CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

As simulações a serem realizadas têm o intuito de estimar o tempo de percurso da nuvem de poluentes proveniente de acidentes ocorridos nas rodovias em estudo, apresentando, graficamente, a distribuição temporal de concentrações da referida nuvem em local a jusante de seu lançamento.

Nesse sentido, será utilizado um modelo de cálculo que permite a previsão do comportamento dos poluentes no curso de água. No gerenciamento dos recursos hídricos, como em diversos campos da engenharia, modelos numéricos apresentam-se como uma ferramenta de apoio fundamental, auxiliando na tomada de decisão.

No presente estudo, o cálculo do transporte e dispersão dos poluentes será realizado através da Fórmula de Taylor.

Na determinação dos cenários de simulação, muitas variáveis podem ser consideradas, já que existe uma série de possibilidades para que, em diversos pontos ao longo do rio, haja algum despejo accidental. Entretanto, foram escolhidos alguns cenários que pudessem retratar possíveis ocorrências na região em estudo.

No item 5.4, foi definida a Unidade de Estudo, considerando, principalmente, as estradas existentes que atravessam cursos de água afluentes ao rio Paraíba do Sul, entre Volta Redonda e Barra do Piraí. Nesta área, foram considerados como pontos críticos de lançamento aqueles locais das estradas situados contíguos ao rio Paraíba do Sul ou próximos a córregos que deságuam neste rio principal. Pontos críticos de captação foram considerados os pontos de captação de água para uso das indústrias e para abastecimento da população.

A seguir, serão apresentados os locais considerados críticos no presente estudo, abrangendo os pontos de lançamento dos poluentes e de captação de água.

6.1.1 Pontos críticos na área de estudo

6.1.1.1 Possíveis locais de despejo accidental

Dentro da área de estudo, podem ser encontradas diversas áreas possíveis de despejo accidental de poluentes. Os pontos críticos aqui considerados são aqueles que, caso ocorra algum acidente envolvendo o transporte de substâncias perigosas, estão localizados próximos do rio Paraíba do Sul ou a algum córrego que deságüe neste rio principal.

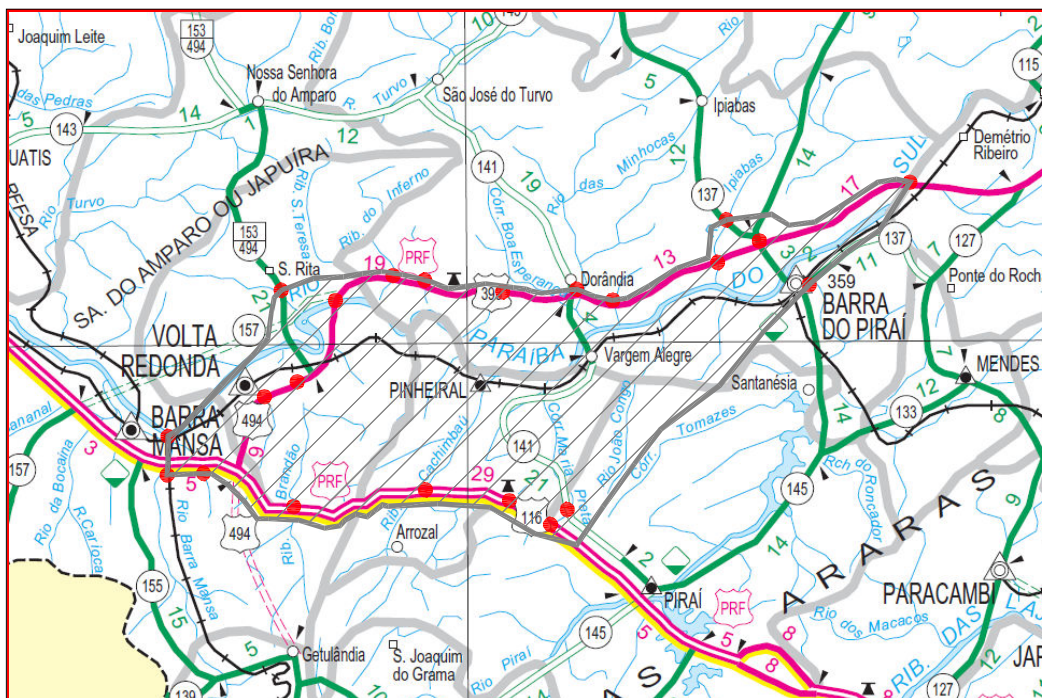
Ressalta-se, portanto, que, ao longo das rodovias, qualquer ponto pode ser considerado como possível local de despejo dessas substâncias, devido ao caráter de imprevisibilidade dos acidentes rodoviários. Entretanto, consideram-se como pontos principais de lançamento os cruzamentos das estradas com os corpos de água, já que, nesses locais, é possível conduzir os poluentes diretamente ao rio Paraíba do Sul ou a seus afluentes.

O trecho da rodovia Presidente Dutra, apesar de estar um pouco distante do rio Paraíba do Sul na unidade de estudo considerada, atravessa alguns afluentes do referido rio. Logo a montante da unidade de estudo, verifica-se o cruzamento da via Dutra com o rio Barra Mansa, afluente da margem esquerda do Paraíba do Sul. Nesse mesmo ponto, há também o encontro desta estrada com a rede ferroviária. O ribeirão Brandão, que atravessa a via após o cruzamento com a BR 494, deságua no rio principal próximo à CSN. A seguir, a rodovia apresenta dois pontos críticos no cruzamento com o ribeirão Cachimbaú, cuja foz está localizada no município de Pinheiral: um ponto no cruzamento do referido curso d'água com a estrada e o outro no cruzamento da Dutra com o córrego Pau d'Alho, que deságua no ribeirão Cachimbaú. Por fim, a via Dutra atravessa o córrego Maria Preta, afluente do rio Paraíba do Sul localizado em Pinheiral.

A BR 393, conhecida como a rodovia do aço, atravessa o rio Paraíba do Sul em dois locais: o primeiro localizado numa ponte dentro do município de Volta Redonda; e o outro localizado numa ponte no limite entre os municípios de Barra do Piraí e Vassouras.

No trecho considerado, esta rodovia situa-se bastante próxima do rio Paraíba do Sul e cruza diversos cursos de água afluentes deste rio principal, tais como ribeirão do Inferno, córrego da Boa Esperança e rio Ipiabas, localizados no município de Barra do Piraí.

A Figura 6-1 apresenta os citados pontos críticos de despejo de poluentes no trecho considerado na rodovia Presidente Dutra e BR-393.



A rodovia estadual RJ 153 cruza o córrego do Peixe no município de Volta Redonda. Já a rodovia RJ-141 atravessa o córrego Maria Preta, que deságua na margem esquerda do rio Paraíba do Sul em Pinheiral.

Tabela 6-1: Distância dos possíveis locais de despejo acidental em relação à seção

S0	
Descrição	Distância (km)
ribeirão Brandão	1,8
córrego do Peixe	6,8
ribeirão do Inferno	10,6
ribeirão Cachimbaú	22,6
córrego Maria Preta	24,9
ribeirão das Minhocas	29,9
rio Ipiabas	36,8

6.1.1.2 Locais existentes de captação

Foram considerados como principais pontos de captação as indústrias e estações de tratamento de água existentes ao longo do trecho em estudo. Estas unidades utilizam a água do rio Paraíba do Sul para o abastecimento e/ou beneficiamento de seus produtos. Assim, a presença de poluentes na água não significa apenas prejuízos à saúde da população, mas também prejuízos econômicos.

A Tabela 6-2 a seguir apresenta as distâncias de diversos pontos de captação existentes no trecho em estudo, de acordo com pesquisa realizada pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2008), em relação à seção 0 (S0) dos ensaios de traçadores realizados no local.

Tabela 6-2: Distância dos possíveis locais de captação em relação à seção S0

Descrição	Distância (km)
S.A. Tubonal	1,1
SAAE Volta Redonda	2,5
Petrobras Transportes	3,6
Extratora de Areia	5,7
Cimentos Brasil Ltda.	11,9
Areal 2094 Ltda.	12,1
Cesbra Química S.A.	13,2
Reginaves Ind.	18,1
Companhia de Águas e Esgotos de Pinheiral	19,1
Companhia de Águas e Esgotos	29,2
Metalúrgica Barra do Pirai	38,9
Schweitzer Mauduit	39,9
P.M. Barra do Pirai	41,8

6.2 DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE CÁLCULO

6.2.1 Modelo de cálculo através da Fórmula de Taylor

Para o desenvolvimento do modelo de cálculo, primeiramente foram determinadas as vazões que melhor caracterizam a região em estudo. Estas vazões foram utilizadas como dados de entrada das simulações realizadas. Como visto, a vazão do rio nos ensaios realizados nas campanhas 1, 2, 3 e 4 eram de, respectivamente, 272, 342, 639 e 294 m³/s.

A partir de dados da Hidroweb (portal Hidroweb, 2009), foi feita pesquisa para a determinação das vazões máximas, mínimas e médias a longo termo em postos da região em estudo. Nesta pesquisa, foi constatado apenas um posto fluviométrico,

situado em Volta Redonda, próximo à CSN, com observações realizadas desde novembro de 1940 até novembro de 2008, apresentando um período de falhas entre os anos de 1979 a 1987 e 2006 a 2007. A Figura 6-2 apresenta gráfico com a vazão média anual deste posto no período considerado.

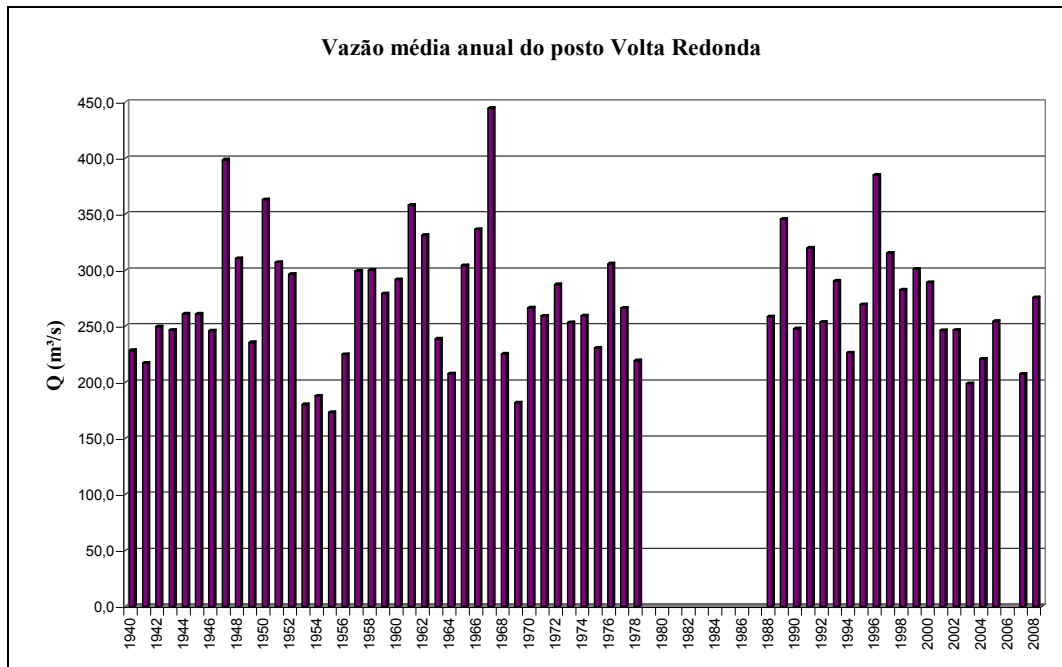


Figura 6-2: Vazões médias no posto fluviométrico Volta Redonda no período de monitoramento

O hidrograma calculado a partir destes dados encontra-se na Figura 6-3.

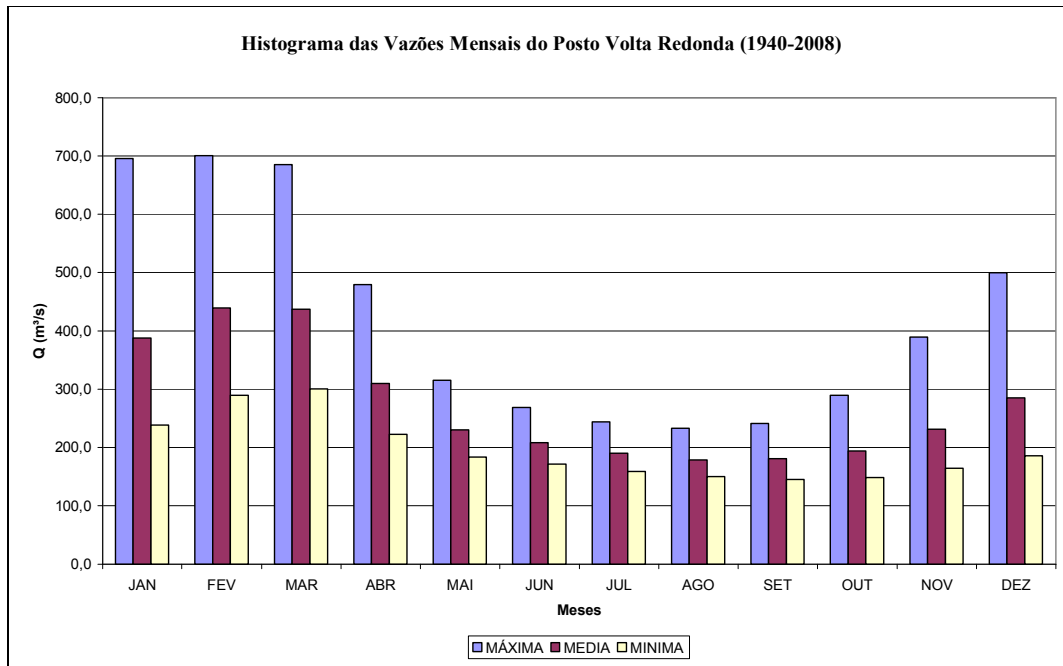


Figura 6-3: Hidrograma das vazões mensais máximas, médias e mínimas no período de 1940-2008

Com estes resultados, é possível verificar que os meses que apresentaram maiores vazões de cheia vão de janeiro a março, com valor médio de 694 m³/s, e os meses que apresentaram menores vazões vão de agosto a setembro, com média de 148 m³/s. O valor médio de vazão observada em todo o período de monitoramento desta estação foi de 273 m³/s. Estas vazões foram utilizadas na determinação das curvas de concentração para os diferentes cenários de simulação.

Na determinação da concentração em uma dada seção ao longo do tempo foi utilizado o modelo de Taylor (Taylor, 1954 *apud* Roldão & Pecly, 1998), expresso pela equação (3.7), abaixo reescrita:

$$C(x,t) = \frac{M_{inj}}{S\sqrt{4\pi D_L t}} \exp\left(-\frac{(x - Ut)^2}{4D_L t}\right)$$

onde

C – concentração do constituinte (M/L³);

M_{inj} – massa de constituinte injetada (M);

S – seção transversal do escoamento (L²);

D_L – coeficiente de dispersão longitudinal (L²/T);

x – distância entre o local de injeção e a seção de medição (L);

U – velocidade média entre o local de injeção e a seção de medição (L/T).

Nas campanhas realizadas pela equipe do Laboratório de Traçadores, os resultados obtidos através do emprego de traçador fluorescente nas seções de monitoramento são apresentados na Tabela 6-3.

Tabela 6-3: Resultados obtidos nas campanhas de traçadores no rio Paraíba do Sul

Seção	D_L (m ² /s)	velocidade (m/s)			
		$Q_1=272$ m ³ /s	$Q_4=294$ m ³ /s	$Q_2=342$ m ³ /s	$Q_3=639$ m ³ /s
1	10,3	0,72	0,74	0,77	0,72
2	27,7	0,69	0,79	0,84	0,98
3	30,1	0,63	0,75	0,82	0,98
4	33,2	0,66	0,79	0,86	1,04
5	31,6	0,64	0,73	0,70	0,96
6	34,4	0,63	0,75	0,85	1,05

Na aplicação da fórmula, foi considerado um valor médio do coeficiente de dispersão longitudinal (D_L), desconsiderando o valor atribuído à primeira seção, de 10,3 m²/s, pois, nesta seção, ainda não havia sido atingida a distância de bom misturamento. Neste sentido, o valor médio adotado foi de 31,4 m²/s.

Para se determinar a velocidade do escoamento nas simulações, foi necessário estimar uma relação entre este parâmetro e a vazão a ser adotada com base nas medições realizadas.

Sendo assim, optou-se por interpolar os valores médios de velocidade entre as vazões de 272 a 639 m³/s, já que este intervalo apresenta medições de velocidade determinadas no trecho em estudo. Desta forma, foi possível obter um melhor ajuste entre a curva de passagem gerada pelo método de cálculo proposto e a curva referente aos ensaios realizados.

Para o cálculo das demais velocidades, foi plotado o gráfico a seguir (Figura 6-4), que relaciona a média ponderada das velocidades nas seções com as vazões dos ensaios.

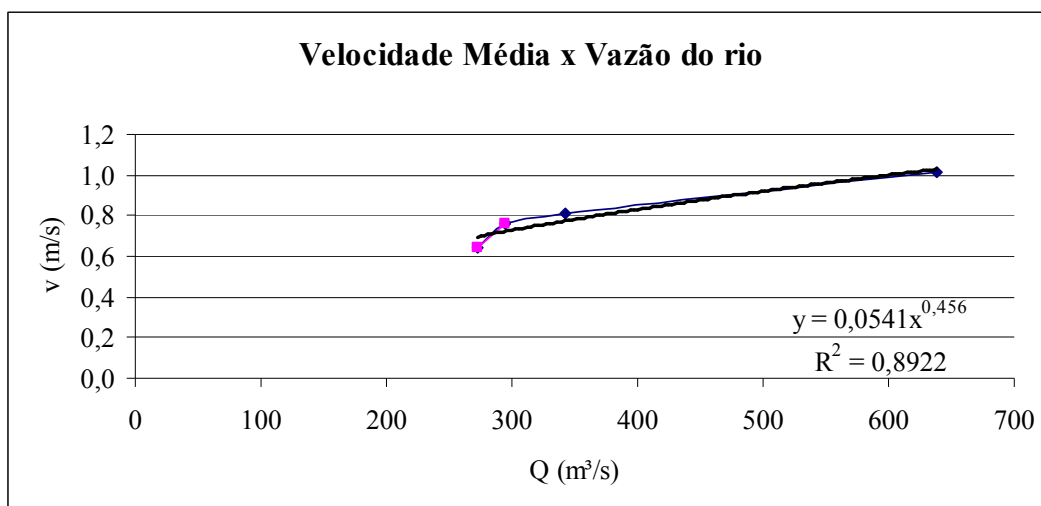


Figura 6-4: Gráfico velocidade média x vazão do rio

No gráfico $v \times Q$, a melhor linha de tendência que se ajusta à curva gerada pelos referidos pontos é dada pela equação:

$$v(Q) = 0,0541 \cdot Q^{0,456}$$

A equação de velocidade acima foi utilizada para vazões menores que 272 m³/s e maiores que 639 m³/s, já que não havia medições nestes intervalos.

Ressalta-se que os valores de vazões líquidas, velocidade média do escoamento e coeficiente de dispersão longitudinal, medidos através do emprego do traçador fluorescente, são valores médios representativos entre o local de injeção e a seção em questão, não devendo ser confundidos com os valores médios correspondentes a uma dada seção de monitoramento.

Assim, no método de cálculo proposto, é possível prever a capacidade de transporte e dispersão do rio principal em qualquer ponto do trecho considerado, bastando saber a vazão do rio no momento do acidente, a massa do material despejado, a distância entre os pontos de despejo e captação e, caso haja, o valor estimado da concentração do poluente existente no rio (valor de background).

6.2.2 Restrições

O modelo de cálculo proposto apresenta uma simplificação do que ocorre na natureza e, portanto, apresenta algumas restrições de utilização.

Como visto no item 5.3.1, existe uma distância a partir da qual os resultados do ensaio de traçador podem ser considerados unidimensionais, denominada de distância de bom misturamento. Esta distância é necessária para que o traçador esteja bem diluído por toda a seção transversal em estudo.

Observa-se que o poluente, ao ser lançado no curso de água em estudo, apresenta, da mesma forma, uma distância em que a substância ainda não foi totalmente diluída na água. Neste trecho, o poluente pode apresentar uma zona com alta concentração e outra com baixa, podendo até apresentar zonas que ainda não contenham traços do poluente, como pode ser visualizado na Figura 6-5.

O ponto de análise deve estar, portanto, a uma distância suficientemente a jusante do posto de injeção para que ocorra o completo misturamento do poluente com a água do escoamento. Entretanto, esta distância não é de fácil determinação. Nos ensaios realizados pelo Laboratório de Traçadores para este trecho do rio Paraíba do Sul, a distância de bom misturamento foi alcançada entre as seções 3 e 4 (ROLDÃO *et al.*, 1991).

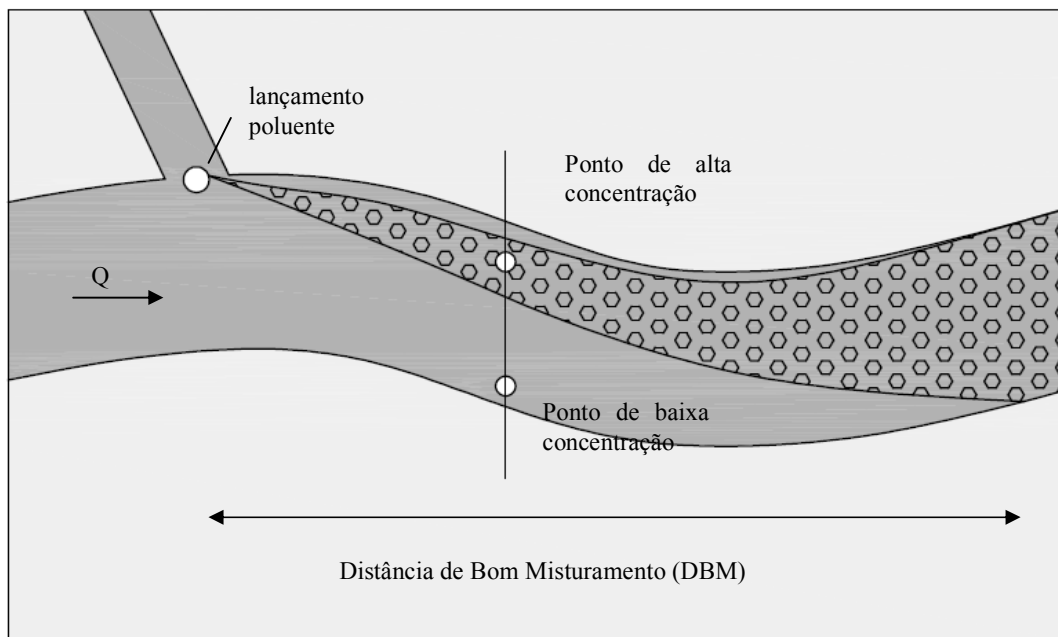


Figura 6-5: Esquema da mistura do poluente com a água do escoamento

Ressalta-se, ainda, que os lançamentos acidentais podem despejar tanto substâncias solúveis, tais como pesticidas, como também substâncias não solúveis, como os óleos. As substâncias solúveis podem ser subdivididas em conservativas e não conservativas,

dependendo de sofrer ou não modificações por reação química ou biológica na água natural.

Assim, quanto à capacidade de serem diluídas ou assimiladas pelo corpo d'água, as substâncias podem ser classificadas como: conservativas ou não-conservativas. As primeiras não sofrem transformações nem químicas nem biológicas, apenas diluindo-se no corpo d'água. As outras sofrem transformações químicas, biológicas e físicas, sofrendo decaimento ao longo do tempo. Estas reações incluem: assimilação e acumulação pelas plantas e animais; degradação ou decomposição bacteriana; decaimento radioativo; transformação química para outra forma; absorção pelas partículas de sedimentos; volatilização e redução - oxidação. (SARMENTO *et al.*, 1997)

Os traçadores utilizados nas campanhas são conservativos, já que não sofrem decaimento ao longo do tempo. Portanto, o modelo proposto simula o comportamento de substâncias que tenham as mesmas características, ou seja, que não sofrem degradação, possuindo alto tempo de residência no ambiente aquático.

Exemplos de substâncias conservativas são: os metais pesados, como o mercúrio, o cádmio, o chumbo e o zinco; os hidrocarbonetos halogenados, como inseticidas (DDT) e produtos químicos industriais do grupo dos PCBs (bifenilas policloradas); e os produtos radioativos (DUARTE, 2002; PENTEADO & VAZ, 2001). Exemplos destas substâncias são apresentados na Tabela 6-4.

Tabela 6-4: Exemplos de substâncias conservativas

Tipo	Exemplo
Metais Pesados	Cádmio
	Chumbo
	Mercúrio
	Zinco
Hidrocarbonetos Halogenados	DDT
	Aldrin
	Clordano
	Dieldrin
	Endrin
	Heptacloro
	Mirex
	Toxafeno
Produtos Radioativos	PCBs

Fonte: DUARTE, 2002; PENTEADO & VAZ, 2001.

Além disso, neste método, considera-se que o escoamento no corpo hídrico em estudo siga apenas uma direção, sendo os mecanismos de transporte e dispersão de poluentes mais relevantes ao longo da direção principal do fluxo. Em rios muito largos, que apresentem movimentos bidimensionais, devem ser utilizados modelos mais complexos.

6.2.3 Calibração

Nos gráficos a seguir é possível comparar as curvas de passagem dos poluentes geradas pelo método proposto com as curvas geradas de concentração das medições *in situ* e as curvas calculadas para a seção específica pelo modelo de Taylor.

Foram plotadas curvas para a vazão do rio nos ensaios realizados nas campanhas 1, 2, 3 e 4 de, respectivamente, 272, 342, 639 e 294 m³/s. As curvas correspondem à seção S6 do ensaio de traçador realizado, situada a cerca de 40 km do ponto de lançamento do traçador.

Na Figura 6-6, observa-se que a curva de passagem para a concentração medida nesta seção apresentou concentração máxima de 5,56 mg/m³, após 17,42 horas do despejo do poluente (injeção do traçador ocorrida às 6:35). O melhor ajuste da curva de Taylor para as medições realizadas nesta seção (curva em azul), apresentou valor de 4,44 mg/m³ transcorridos 17,42 horas do despejo. Já o modelo proposto, apresentou concentração de pico de 4,80 mg/m³ transcorridas 17,10 horas.

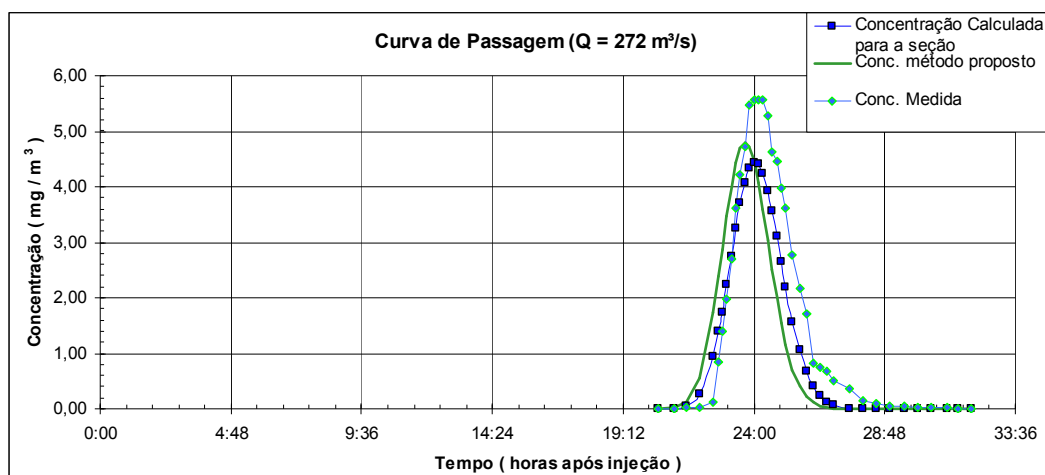


Figura 6-6: Curva de calibração para a vazão de 272 m³/s

Para a vazão observada de 294 m³ (Figura 6-7), observa-se que a curva de passagem para a concentração medida nesta seção apresentou concentração máxima de 2,32 mg/m³, após 14,58 horas do despejo do poluente (momento de injeção ocorrida às 7:00).

O melhor ajuste da curva de Taylor para as medições realizadas nesta seção (curva em azul), apresentou valor de 2,67 mg/m³ transcorridos 14,67 horas do despejo. Já o modelo proposto, apresentou concentração de pico de 2,84 mg/m³ transcorridas 14,50 horas.

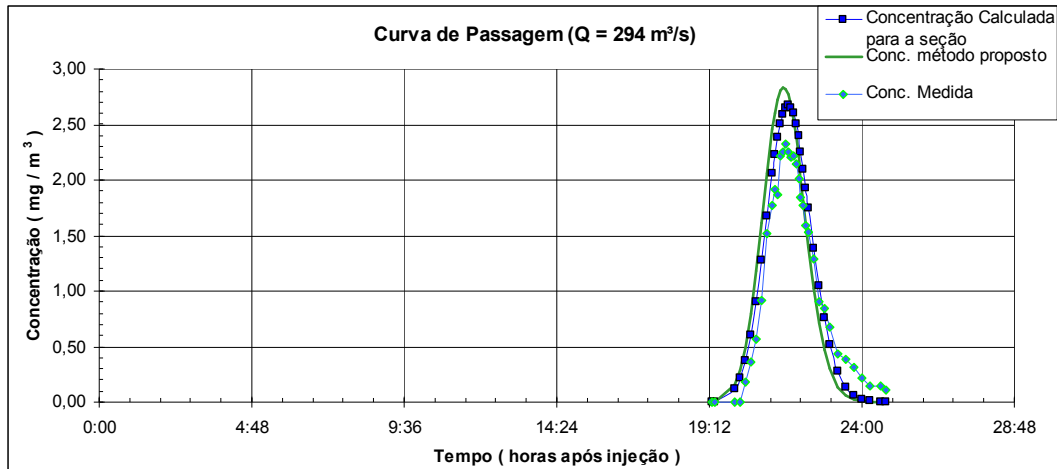


Figura 6-7: Curva de calibração para a vazão de 294 m³/s

Para a vazão de 342 m³ (Figura 6-8), tanto as medições *in situ* tanto a concentração calculada para esta seção apresentaram concentrações máximas após 13,0 horas do lançamento de traçador (ocorrido às 6:15), cujos valores foram de, respectivamente, 2,38 e 2,72 mg/m³. O modelo proposto apresentou concentração de pico de 2,71 mg/m³ transcorridas 13,5 horas.

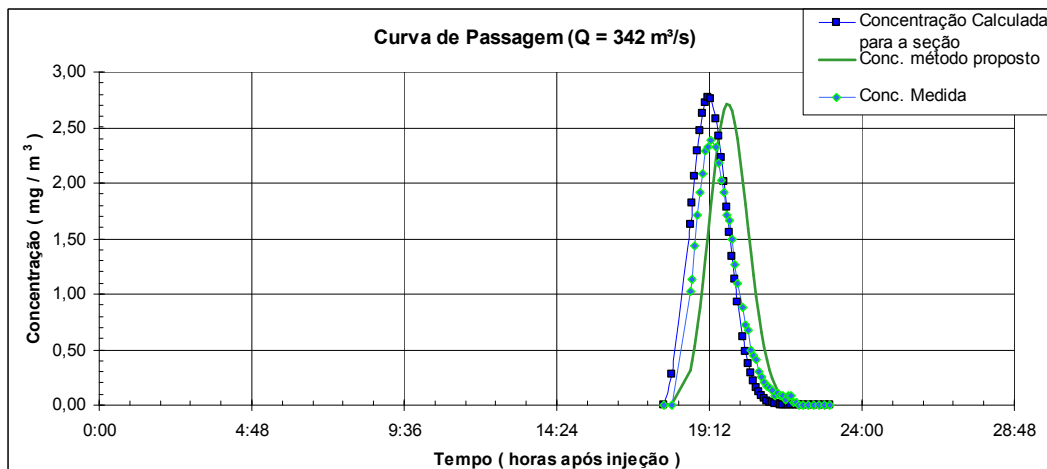


Figura 6-8: Curva de calibração para a vazão de 342 m³/s

Para a vazão de 639 m³/s (Figura 6-9) a concentração de pico medida e calculada para a seção é de 1,67 e 2,03 mg/m³, respectivamente, ambas ocorridas após cerca de 10,5

horas do despejo (ocorrido às 7:00). No modelo proposto, a concentração calculada é de 2,01 mg/m³ após cerca de 11 horas do ponto inicial.

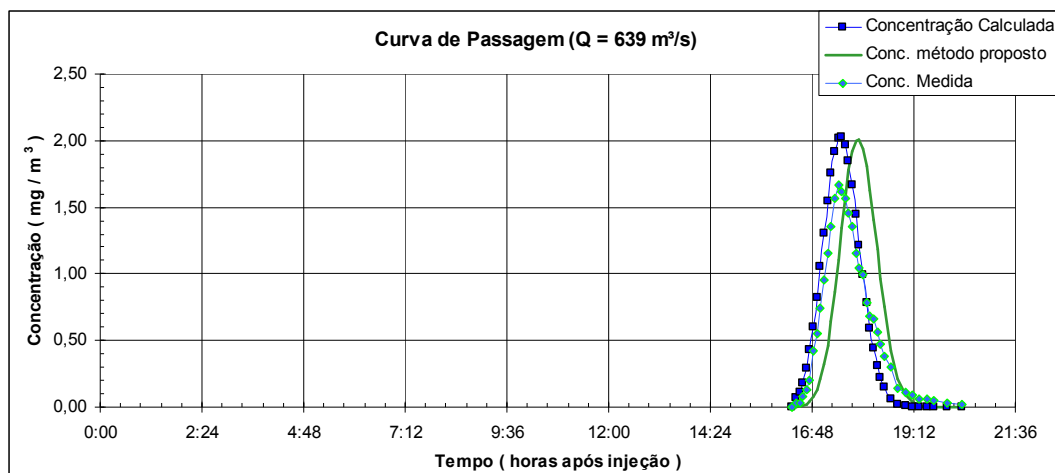


Figura 6-9: Curva de calibração para a vazão de 639 m³/s

7 ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES

7.1 CENÁRIOS

Nos cenários propostos a seguir objetiva-se simular a variação da concentração de substâncias solúveis e conservativas a jusante do lançamento e determinar o tempo de trânsito da nuvem do poluente nas seções localizadas a jusante.

Há inúmeras possibilidades de cenários, já que é possível variar o ponto de despejo e captação, as condições hidrodinâmicas do rio, a quantidade de poluente etc.

A determinação dos parâmetros de entrada na Fórmula de Taylor foi feita a partir dos dados de traçadores referentes a 4 campanhas distintas, que simularam o comportamento de um poluente solúvel e conservativo despejado no rio Paraíba do Sul, no trecho considerado.

Ressalta-se que os valores de vazões líquidas, velocidade média do escoamento e coeficiente de dispersão longitudinal, medidos através do emprego do traçador fluorescente, são valores médios representativos entre o local de injeção e a seção em questão, não devendo ser confundidos com os valores médios correspondentes a uma dada seção de monitoramento (ROLDÃO & PECLY, 1998a).

Nos cenários a seguir, foram adotados como tempos de “início” e “fim” da curva de passagem da pluma os momentos que apresentavam pelo menos 1% de concentração do poluente na unidade considerada (mg/m^3).

7.1.1 Cenário 1

Neste cenário, simulou-se o lançamento de uma substância conservativa despejada instantaneamente. Considerou-se, neste caso, três situações distintas de vazão, com valores de 148, 273 e 694 m^3/s . Nestas condições, a velocidade do escoamento calculada pelo modelo é de, respectivamente, 0,53, 0,65 e 1,07 m/s .

Esta primeira aplicação será realizada para apresentar o modelo de cálculo, e como ele responde a pequenas diferenças na entrada de dados, variando-se a distância e a massa do poluente. O momento de despejo considerado foi o tempo 0.

Nesse sentido, adotou-se como ponto inicial de lançamento a seção S0, referente ao ponto de despejo da CSN. Foi considerada uma distância de 10, 20, 30 e 40 km deste ponto inicial de lançamento. Para avaliar essa situação, considerou-se a massa constante de 50kg.

Nestas condições, a curva de passagem do poluente para as diferentes seções situadas a jusante do ponto de despejo são apresentadas na Figura 7-1. A seqüência da Figura 7-2 à Figura 7-4 apresenta as curvas de passagem para as vazões máximas, média e mínima separadamente.

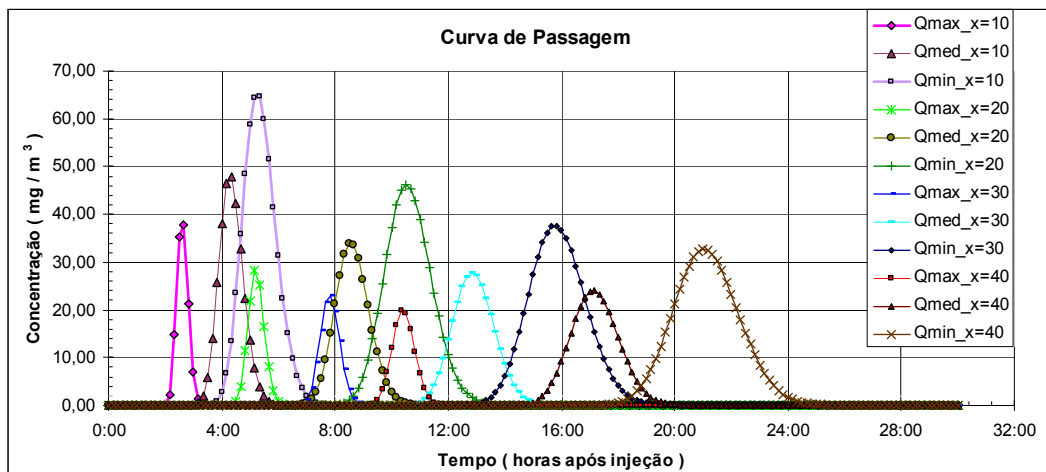


Figura 7-1: Curva de passagem para a situação de massa constante e seção variável – todas as vazões

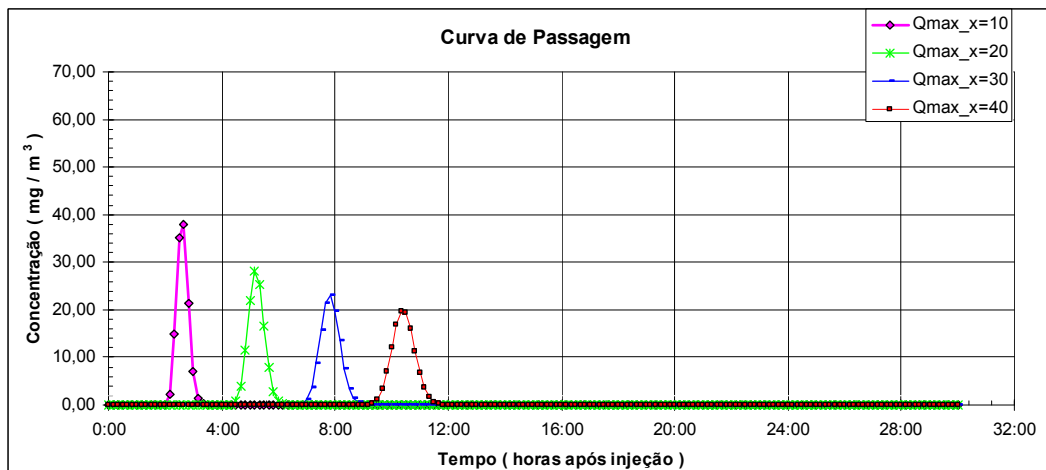


Figura 7-2: Curva de passagem para a situação de massa constante e seção variável – vazão de 694 m³/s

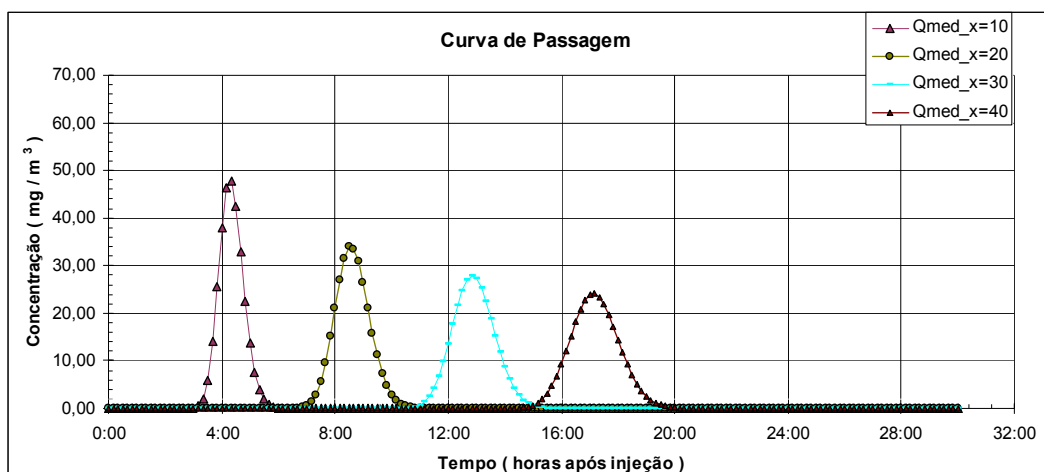


Figura 7-3: Curva de passagem para a situação de massa constante e seção variável – vazão de 273 m³/s

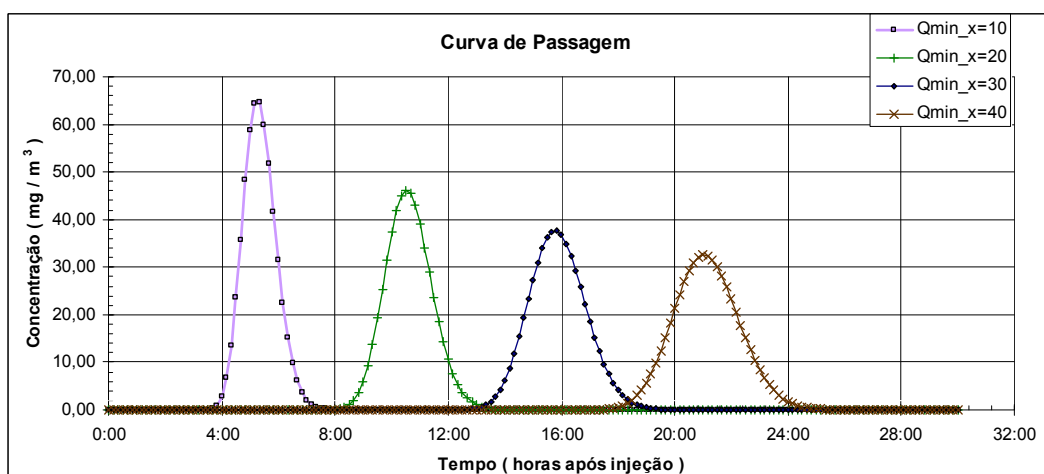


Figura 7-4: Curva de passagem para a situação de massa constante e seção variável – vazão de 148 m³/s

Da análise destas figuras, é possível perceber que quanto mais próximo o ponto de despejo é da seção de monitoramento, maior é o valor máximo de concentração. Ao se afastar do ponto de lançamento do efluente, as concentrações de pico diminuem, entretanto, o poluente permanece por mais tempo na seção de análise.

Da Figura 7-2, verifica-se que na condição de vazão máxima o pior cenário aconteceria na seção distante 10 km do ponto inicial, pois neste local o poluente começaria a passar cerca de 2 horas após o despejo, com concentração máxima de 37,89 mg/m³ às 2:40 do

lançamento. A passagem completa desta substância seria finalizada às 3:30, apresentando 1:30 hora de permanência no local.

Ressalta-se, que numa seção distante 10 m do ponto de lançamento a substância pode ainda não estar completamente misturada na coluna d'água, sendo os resultados para este caso valores de referência a serem usados, apresentando uma aproximação do que acontece numa situação real.

A Tabela 7-1 apresenta um resumo dos resultados fornecidos pelo método de cálculo para este cenário.

Tabela 7-1: Resultados para a situação de massa constante e seções variáveis

Distância do despejo (km)		Concentração Máxima (mg/m ³)	Tempo início (h)	Tempo final (h)	Tempo de permanência (h)
10,0	Qmax	37,89	02:00	03:30	01:30
	Qmed	47,83	02:50	06:30	03:40
	Qmin	64,75	03:20	08:20	05:00
20,0	Qmax	28,15	04:10	06:30	02:20
	Qmed	33,90	06:30	11:20	04:50
	Qmin	46,16	07:40	14:30	06:50
30,0	Qmax	23,01	06:40	09:20	02:40
	Qmed	27,82	10:10	16:10	06:00
	Qmin	37,64	12:10	20:30	08:20
40,0	Qmax	19,78	09:00	12:00	03:00
	Qmed	24,07	14:00	20:50	06:50
	Qmin	32,63	16:50	02:20	09:30

7.1.2 Cenário 2

Neste cenário, será simulado o despejo de diferentes valores de massa de um poluente conservativo em uma seção distante 30 km do ponto de lançamento. Neste caso, o modelo de cálculo terá como dados de entrada a massa da substância de 10, 20, 30, 40 e 50 kg.

Para estes dados, a Figura 7-5 mostra o resultado da simulação para as vazões máxima, média e mínima. A seqüência da Figura 7-6 a Figura 7-8 apresenta os resultados para cada vazão considerada separadamente. Já a Tabela 7-2 apresenta um resumo dos principais resultados fornecidos por este método de cálculo.

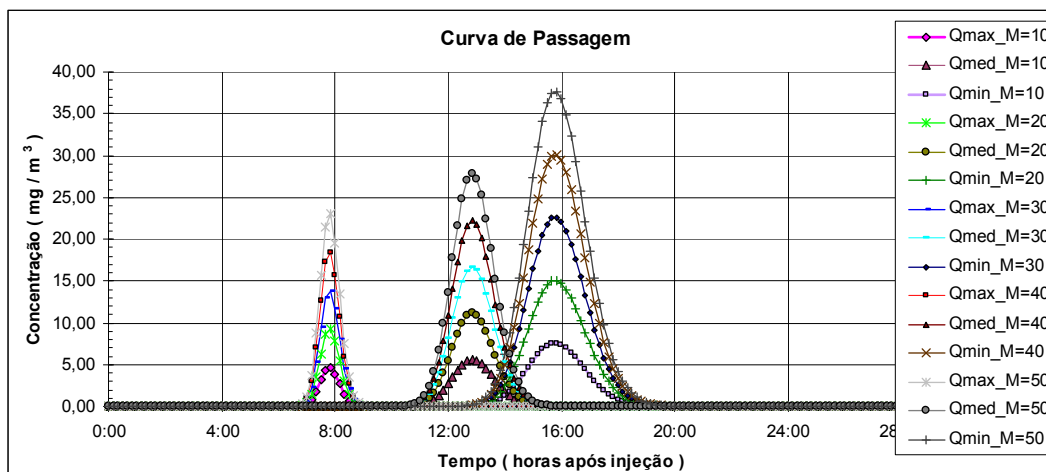


Figura 7-5: Curva de passagem para a situação de seção constante e massa variável – todas as vazões

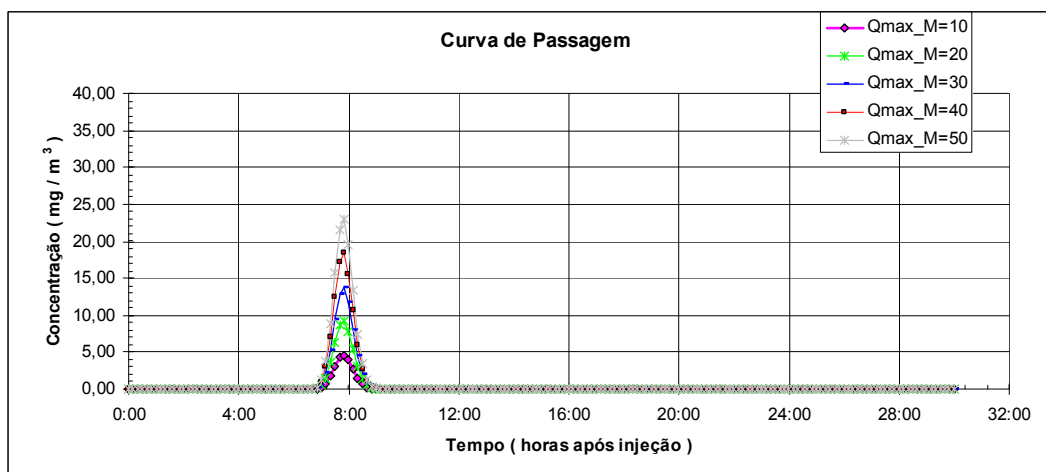


Figura 7-6: Curva de passagem para a situação de seção constante e massa variável – vazão de 694 m³/s

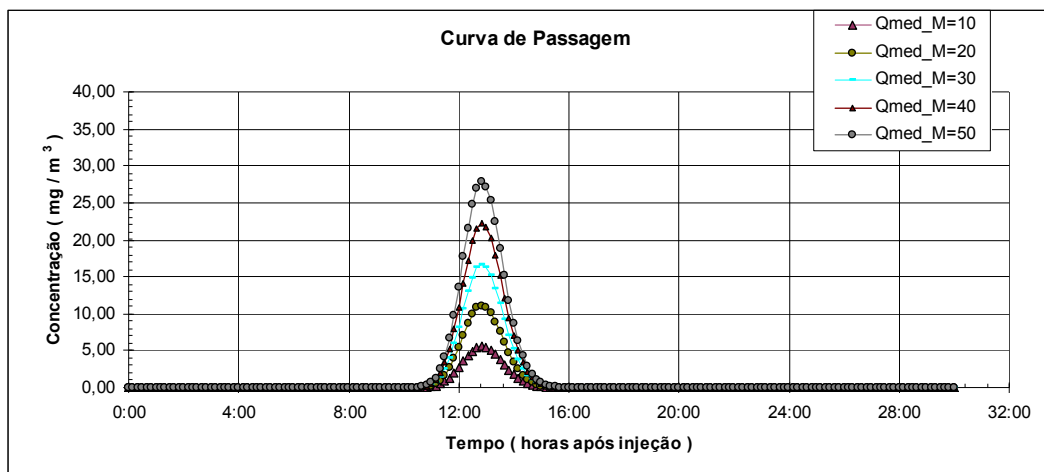


Figura 7-7: Curva de passagem para a situação de seção constante e massa variável – vazão de 273 m³/s

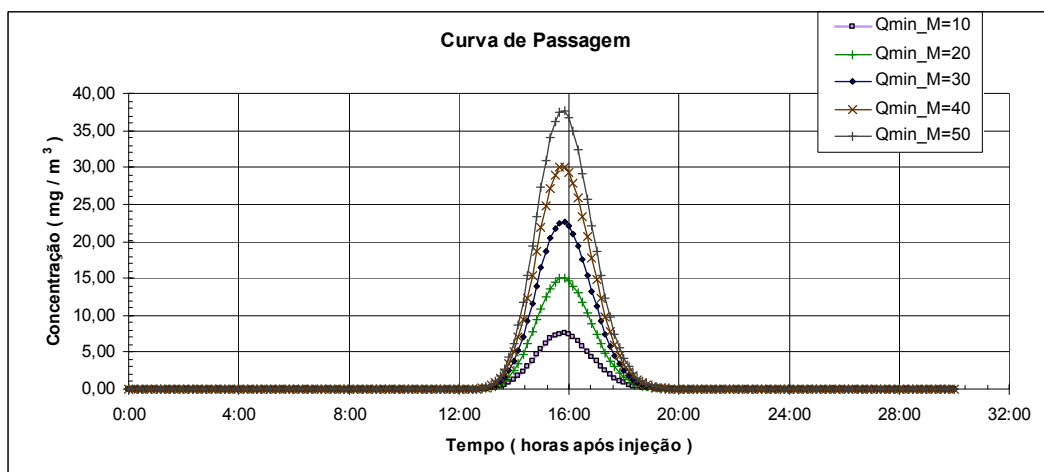


Figura 7-8: Curva de passagem para a situação de seção constante e massa variável – vazão de 148 m³/s

Tabela 7-2: Resultados para a situação de seção constante e massa variável

Massa despejada (kg)		Concentração Máxima (mg/m³)	Tempo início (h)	Tempo final (h)	Tempo de permanência (h)
10,0	Qmax	4,60	06:40	09:10	02:30
	Qmed	5,56	10:30	15:50	05:20
	Qmin	7,53	12:30	20:00	07:30
20,0	Qmax	9,20	06:40	09:10	02:30
	Qmed	11,13	10:20	16:00	05:40
	Qmin	15,05	12:20	20:10	07:50
30,0	Qmax	13,81	06:40	09:10	02:30
	Qmed	16,69	10:20	16:00	05:40
	Qmin	22,58	12:20	20:20	08:00
40,0	Qmax	18,41	06:40	09:10	02:30
	Qmed	22,26	10:20	16:10	05:50
	Qmin	30,11	12:10	20:20	08:10
50,0	Qmax	23,01	06:40	09:10	02:30
	Qmed	27,82	10:20	16:10	05:50
	Qmin	37,64	12:10	20:30	08:20

Neste exemplo, é possível perceber que o tempo de início e fim na seção de monitoramento, mesmo com a variação da massa, permanece praticamente o mesmo. O que altera, nestes exemplos, é o valor máximo de concentração, tanto maior quanto maior a massa despejada.

7.1.3 Cenário 3

Neste cenário objetivou-se simular os efeitos de um despejo acidental de um poluente solúvel e conservativo em duas seções distintas do trecho em estudo: a Companhia de Águas e Esgotos de Barra do Piraí e a elevatória de Santa Cecília. Estes pontos de captação se localizam, respectivamente, a 29,2 e 39,6 km de distância em relação à seção 0 (S0) dos ensaios de traçadores realizados no local.

A estação elevatória de Santa Cecília é responsável pela transposição de 160 m³/s do rio Paraíba do Sul para o sistema Guandu, que abastece aproximadamente 8 milhões de habitantes da região metropolitana do Rio de Janeiro.

Considerou-se como ponto de despejo um acidente ocorrido na BR-116, com vazamento para o ribeirão Brandão, curso d'água que cruza a via Dutra e deságua no rio Paraíba do Sul a 1,8 km da seção S0 de monitoramento. Logo, A Companhia de Águas

e Esgotos de Barra do Pirai dista cerca de 27,4 km do local de despejo; já a elevatória de Santa Cecília fica a aproximadamente 37,8 km.

Nas simulações, adotou-se um acidente envolvendo um caminhão transportador com cerca de 1000 kg de massa do poluente conservativo.

Para este cenário, serão consideradas três situações de vazão: vazões máxima, média e mínima calculadas anteriormente. Para cada situação, serão considerados despejos de 100%, 50% e 10% da capacidade total do caminhão transportador.

Ressalta-se que nestas simulações não foram considerados o tempo de percurso do poluente no ribeirão Brandão, nem a da diluição ocorrida neste curso d'água. Verifica-se que, desta forma, os resultados são majorados, indicando os piores cenários.

Na sequência da Figura 7-9 a Figura 7-16, são apresentados os resultados referentes às simulações nas seções de monitoramento Companhia de Águas e Esgotos de Barra do Pirai e elevatória de Santa Cecília para todas as situações de vazões consideradas e para as vazões máxima, média e mínima separadamente. A Tabela 7-3 e Tabela 7-4 apresentam um resumo dos principais resultados fornecidos por este método de cálculo.

Nestas figuras, verifica-se que apesar da variação da massa do poluente, os tempos de início e fim da passagem da pluma se mantêm praticamente os mesmos.

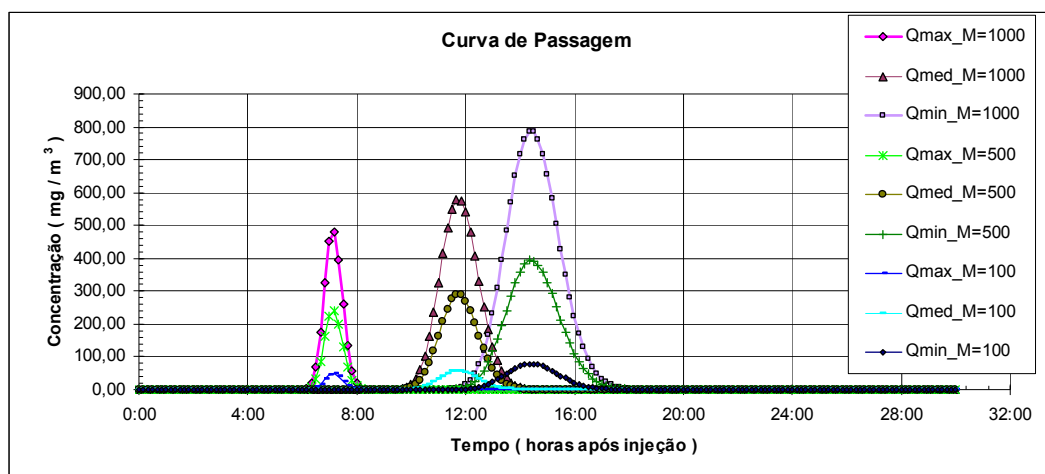


Figura 7-9: Curva de passagem na seção Companhia de Águas e Esgotos de Barra do Pirai – todas as vazões

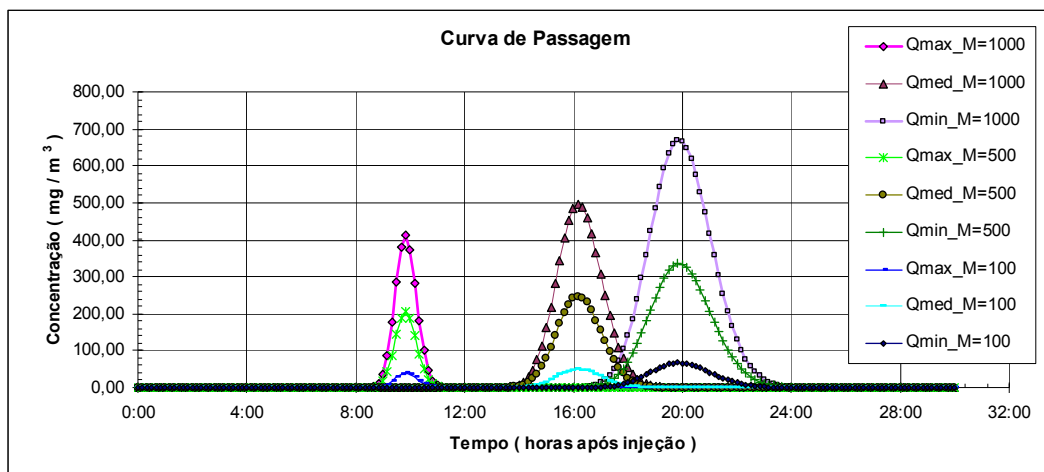


Figura 7-10: Curva de passagem na seção estação elevatória de Santa Cecília – todas as vazões

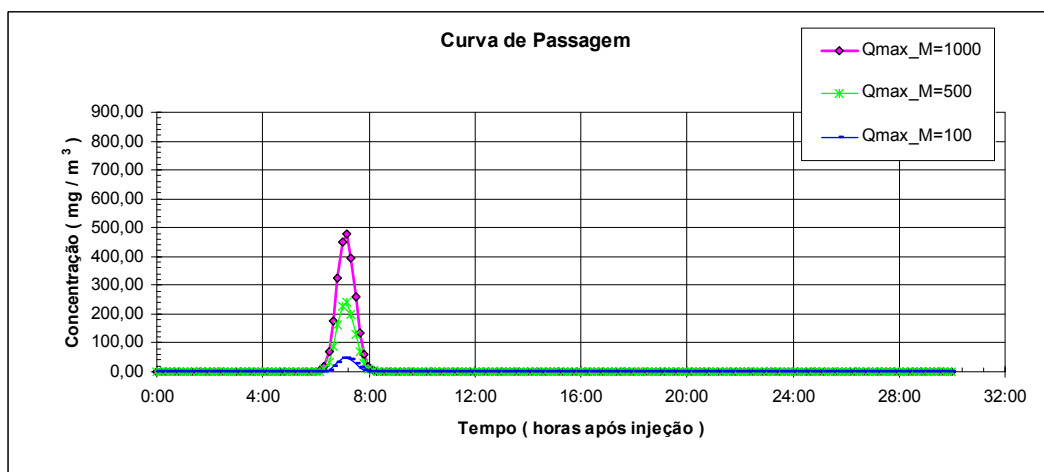


Figura 7-11: Curva de passagem na seção Companhia de Águas e Esgotos de Barra do Pirai – vazão de 694 m³/s

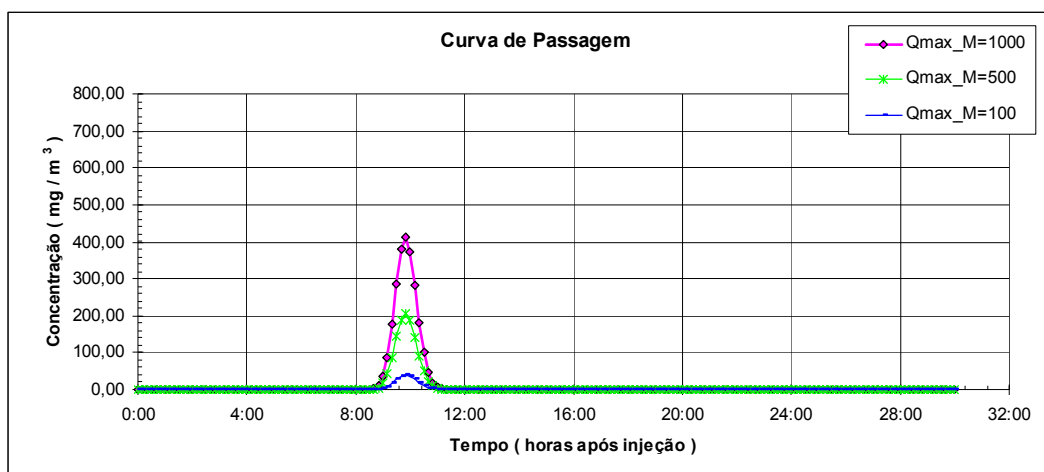


Figura 7-12: Curva de passagem na seção estação elevatória de Santa Cecília – vazão de 694 m³/s

Como pode ser observado nos resultados, na situação de vazão máxima, o poluente atinge a seção da Companhia de Água e Esgotos de Barra do Pirai às 05:50, permanecendo durante 3:00 neste local (Figura 7-11). Na elevatória de Santa Cecília, a substância começa a passar por esta estação às 8:10 e às 11:50 a concentração do poluente volta a ser nula (Figura 7-12).

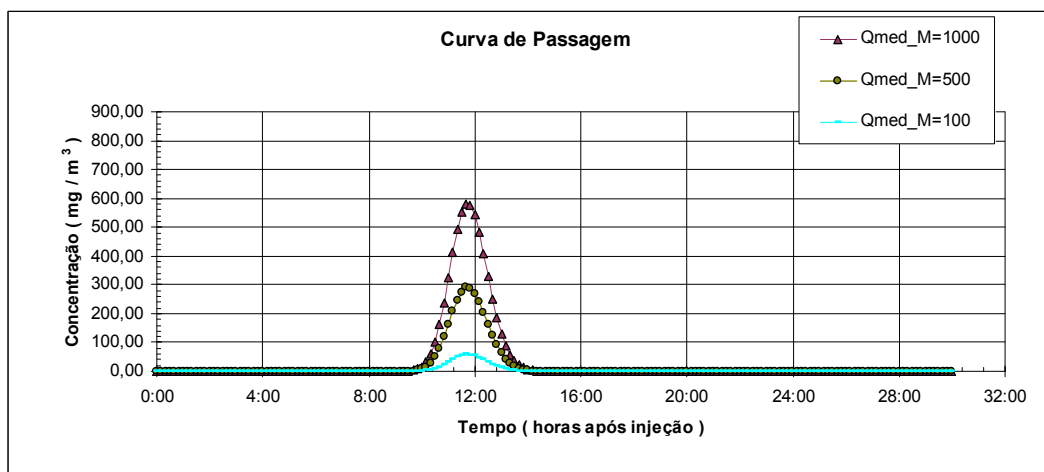


Figura 7-13: Curva de passagem na seção Companhia de Águas e Esgotos de Barra do Pirai – vazão de 272 m³/s

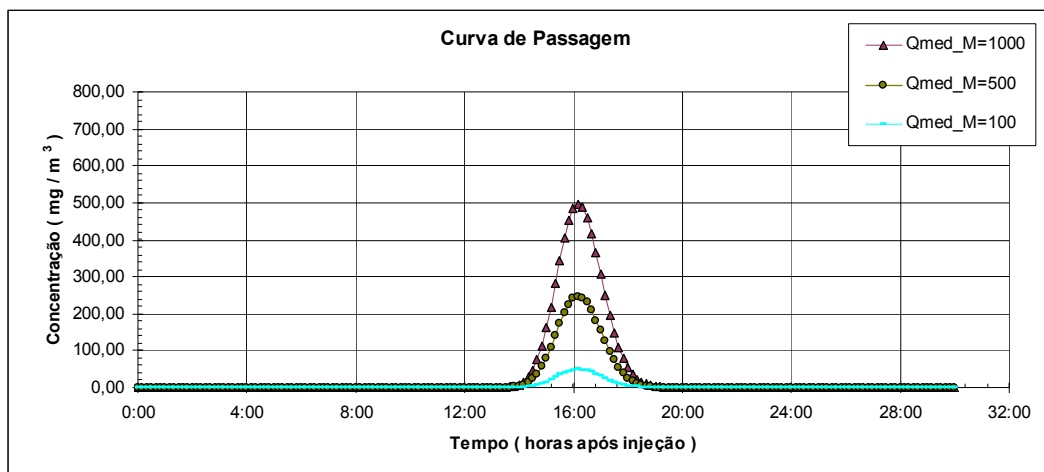


Figura 7-14: Curva de passagem na seção estação elevatória de Santa Cecília – vazão de 272 m³/s

Da Figura 7-13, verifica-se que na condição de vazão média que o poluente começaria a passar cerca de 9 horas após o despejo e a passagem completa desta substância seria finalizada aproximadamente às 15:30, apresentando cerca de 6,5 horas de permanência no local. Na Figura 7-14, que apresenta os resultados para a estação elevatória Santa Cecília, o tempo de início e fim do poluente na seção é de, respectivamente, 12:50 e 20:30, com permanência de aproximadamente 7,5 horas no local.

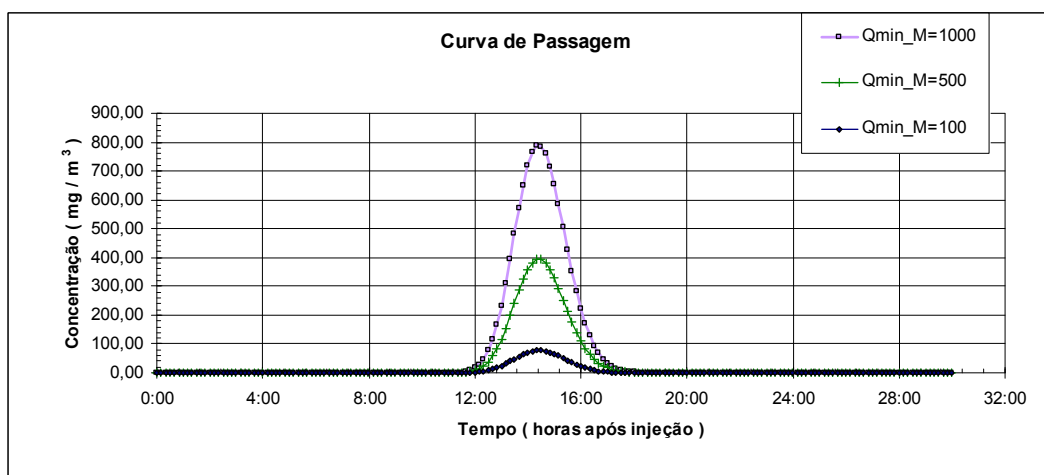


Figura 7-15: Curva de passagem na seção Companhia de Águas e Esgotos de Barra do Pirai – vazão de 148 m³/s

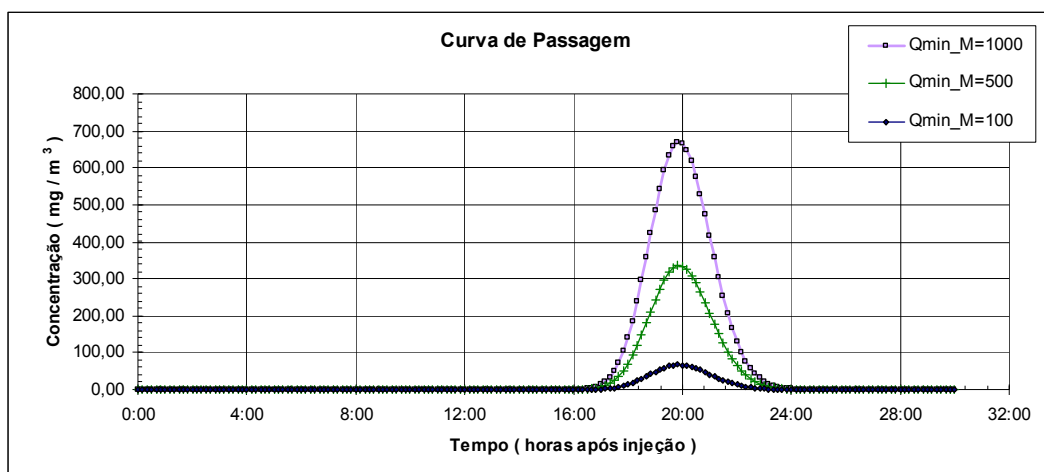


Figura 7-16: Curva de passagem na seção estação elevatória de Santa Cecília – vazão de 148 m³/s

Para as vazões mínimas, a passagem da substância na 1ª seção em estudo (Figura 7-15) dura cerca de 9,3 horas, de 10:30 a 19:50. Já na 2ª seção (Figura 7-16), o poluente apresenta tempo de permanência de cerca de 10,8 horas, de 15:10 a 2:00.

Tabela 7-3: Resultados para a seção Companhia de Águas e Esgotos de Barra do Pirai

Massa despejada (kg)		Concentração máxima (mg/m ³)	Tempo início (h)	Tempo final (h)	Tempo de permanência (h)
1000,0	Qmax	479,72	05:50	08:50	03:00
	Qmed	579,94	08:50	15:30	06:40
	Qmin	786,48	10:30	19:50	09:20
500,0	Qmax	239,86	05:50	08:40	02:50
	Qmed	289,97	09:00	15:20	06:20
	Qmin	393,24	10:40	19:40	09:00
100,0	Qmax	47,97	06:00	08:40	02:40
	Qmed	57,99	09:10	15:00	05:50
	Qmin	78,65	10:50	19:10	08:20

Tabela 7-4: Resultados para a seção estação elevatória de Santa Cecília

Massa despejada (kg)		Concentração máxima (mg/m³)	Tempo início (h)	Tempo final (h)	Tempo de permanência (h)
1000,0	Qmax	412,11	08:10	11:50	03:40
	Qmed	495,69	12:50	20:30	07:40
	Qmin	671,19	15:10	02:00	10:50
500,0	Qmax	206,05	08:20	11:40	03:20
	Qmed	247,85	12:50	20:20	07:30
	Qmin	335,59	15:20	01:50	10:30
100,0	Qmax	41,21	08:20	11:30	03:10
	Qmed	49,57	13:10	20:00	06:50
	Qmin	67,12	15:40	01:20	09:40

Percebe-se, que para a vazão máxima, a substância apresenta cerca de 2 horas de defasagem entre a 1ª seção de monitoramento, localizada a 27,4 km do ponto de despejo, e a seção distante 37,8 km. Para as vazões média e mínima, este método de cálculo indica uma defasagem entre as duas seções em estudo de cerca de 4 e 5 horas, respectivamente.

Segundo os resultados deste método de cálculo, na seção Companhia de Água e Esgotos de Barra do Pirai os momentos que se atinge a concentração máxima do poluente para as situações de vazão máxima, média e mínima é o mesmo apesar da variação de massa, sendo de, respectivamente, 7:10, 11:40 e 14:20. Já para a seção elevatória de Santa Cecília os momentos de concentrações máximas foram de, para as vazões máxima, média e mínima, 9:50, 16:10 e 19:50, respectivamente.

Observa-se, dos resultados obtidos, que quanto maior a vazão, menor é o intervalo entre o despejo e o pico de concentração da curva de passagem do poluente. Nesse sentido, verifica-se que a vazão de entrada do modelo fornece uma escala de tempo em que é possível adotar medidas emergenciais para cada incidente, sendo tanto menor o tempo disponível quanto maior a vazão do curso d'água em estudo.

Entretanto, na situação de vazão de cheia, o poluente apresenta as menores concentrações de pico, devido à maior massa de água disponível para diluição da substância. De modo inverso, quanto menor a vazão, maior é a concentração máxima do poluente no rio, sendo maiores os prejuízos ao ambiente e à população.

Além de determinar os momentos iniciais e finais da passagem do poluente conservativo em uma seção de monitoramento, o presente método de cálculo também poderia fornecer os tempos de início e fim que o poluente ultrapassa um limite máximo de purificação da água bruta numa estação de tratamento, seja para abastecimento público ou para um processo produtivo. Sendo assim, é possível verificar até que momento será possível uma dada estação de tratamento eliminar a substância presente na água de forma eficiente.

Outra aplicação seria avaliar o momento em que a concentração do poluente atinge o valor permitido definido pela legislação vigente. Entretanto, despejos acidentais envolvem o derramamento de grandes quantidades de poluentes. Nestes casos, mesmo que o poluente apresente valores de concentração aceitáveis até um dado limite, o despejo acidental normalmente excede estes valores de referência, sendo ultrapassados em momentos muito próximos dos tempos de início e fim da passagem do poluente na seção.

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

INTRODUÇÃO

Um dos principais objetivos do presente estudo foi mostrar a problemática do despejo acidental de poluentes durante o transporte rodoviário e suas consequências caso a carga de poluente chegue a um curso de água local.

Escolheu-se como unidade de estudo o trecho do rio Paraíba do Sul entre os municípios de Volta Redonda e Barra Mansa. Nesse trecho, encontra-se a estação elevatória de Santa Cecília, local que desvia cerca de 2/3 da vazão ($160\text{m}^3/\text{s}$) do referido rio para o Sistema Guandu, que abastece aproximadamente 80% da região metropolitana do Rio de Janeiro.

Para avaliar o impacto de acidentes rodoviários nesse trecho, foram simulados 3 cenários, sendo que, para cada um deles, foram consideradas as vazões máxima, média e mínima observadas em posto fluviométrico situado na região de estudo. Procurou-se, em cada cenário, analisar possíveis pontos críticos de despejo de poluentes e captação de água na região em estudo. Nessas simulações, procurou-se prever os efeitos de um lançamento de substância solúvel e conservativa em seções situadas a jusante do local de despejo. Assim, os cenários escolhidos permitiram simular o transporte de substâncias solúveis e conservativas no rio Paraíba do Sul, considerando diferentes situações hidrodinâmicas.

Os parâmetros utilizados de transporte e dispersão da água foram obtidos através de ensaios realizados no rio Paraíba do Sul pelo Laboratório de Traçadores da COPPE/UFRJ, no período de setembro de 1986 a dezembro de 1987. Estes dados, embora obtidos há mais de 20 anos, podem ser utilizados pois o trecho onde foram realizados os ensaios ainda apresenta essencialmente as mesmas características hidrodinâmicas.

CENÁRIOS SIMULADOS

Os dois primeiros cenários serviram para fazer uma análise de sensibilidade do modelo de cálculo proposto, variando-se ou a distância da seção de monitoramento ou a massa

da substância despejada. Em ambos os cenários, adotou-se como ponto inicial de lançamento a seção próxima à CSN (S0).

No primeiro cenário, foi analisada a dispersão da substância conservativa com massa constante de 50 kg em seções distantes 10, 20, 30 e 40 km do local de despejo. Com isto, observou-se que quanto mais próximo o ponto de despejo está da seção de monitoramento, maior é o valor máximo de concentração. Ao se afastar do ponto de lançamento do efluente, as concentrações de pico diminuem; entretanto, o poluente permanece por mais tempo na seção de análise.

No segundo cenário, foi avaliado como a variação da massa de uma substância se comporta numa mesma seção de monitoramento. Neste caso, foi simulado o despejo de 10, 20, 30, 40 e 50 kg de massa de um poluente conservativo, numa seção distante 30 km do ponto de lançamento. Foi possível perceber, portanto, que o tempo de início e fim na seção de monitoramento, mesmo com a variação da massa, permanece praticamente o mesmo, alterando, apenas, o valor máximo de concentração.

No cenário 3, foram simulados os efeitos de um despejo acidental de um caminhão transportando 1000 kg de massa de um poluente solúvel e conservativo em duas seções distintas do trecho em estudo, sendo elas a Companhia de Águas e Esgotos de Barra do Pirai e Elevatória de Santa Cecília, distantes, respectivamente, 27,4 e 37,8 km da seção de despejo. Neste cenário, foi considerado como ponto de despejo um acidente ocorrido na BR-116, com vazamento para o ribeirão Brandão, curso de água que cruza a via Dutra e deságua no rio Paraíba do Sul. Para cada situação de vazão, foram analisados despejos de 100%, 50% e 10% da capacidade total do caminhão transportador.

Nesse cenário, verificou-se, mais uma vez, que, apesar da variação da massa do poluente, os tempos de início e fim da passagem da pluma se mantêm praticamente os mesmos. Na seção 1, as curvas de passagem do poluente tiveram início às 5:50, 8:50 e 10:30 e término às 8:50, 15:30 e 19:50, para as vazões máxima, média e mínima, respectivamente. Já para a seção 2 de estudo, o tempo de passagem da curva durou de 8:10 a 11:50, para a vazão máxima, de 12:50 a 20:30, para a vazão média, e de 15:10 a 2:00, para a vazão mínima. Observou-se, ainda, que os momentos em que se atinge a concentração máxima do poluente, para as três situações de vazão analisadas, são os mesmos, apesar da variação de massa em ambas as seções de monitoramento.

RESULTADOS DO MODELO E CONTRIBUIÇÕES ESPECÍFICAS PARA GESTÃO

Os resultados obtidos para os três cenários reforçam o fato de que quanto maior a vazão, menor é o intervalo entre o despejo e o pico de concentração da curva de passagem do poluente em uma dada seção de monitoramento. Esse fato permite afirmar que a vazão de entrada do modelo fornece uma escala de tempo em que é possível adotar medidas emergenciais para cada incidente, sendo tanto menor o tempo disponível quanto maior a vazão do curso d'água em estudo.

No que se refere às concentrações nas captações, na situação de vazão de cheia, o poluente apresenta as menores concentrações de pico, devido à maior diluição da substância na água. De modo inverso, quanto menor a vazão, maior é a concentração máxima do poluente no rio, sendo maiores os prejuízos ao ambiente e à população.

Apesar de qualitativamente estes resultados serem esperados, a aplicação do modelo permite a quantificação aproximada do tempo de passagem e da concentração de um despejo acidental de poluentes.

Estes resultados visam auxiliar, portanto, na restrição de captações quando ocorrem acidentes em rios e no planejamento de medidas corretivas caso um acidente ocorra, podendo ser empregado também na avaliação da capacidade de recuperação de rios para diferentes níveis de descarga de poluentes. Sendo assim, os resultados permitem alertar os diversos usuários de água do rio para eventuais interrupções na captação, indicando, caso seja necessário, quando deve ser suspensa e retomada a captação de água bruta.

Locais mais próximos do lançamento apresentam menos tempo para a adoção de ações emergenciais. Nos locais mais afastados do ponto de despejo, tem-se mais tempo para a execução de medidas corretivas. Nesse sentido é possível fazer um planejamento mais eficiente, já que apresenta uma estimativa aproximada do tempo que o poluente atingirá a seção de análise.

Os resultados permitem, ainda, analisar a necessidade de se tomar medidas corretivas que envolvam até sistemas que não estejam inseridos na região do acidente, como a liberação de água num reservatório a montante de forma a aumentar a vazão e, conseqüentemente, a diluição do poluente no corpo hídrico a jusante. Entretanto, medidas como esta devem ser adotadas apenas em casos extremos, avaliando atentamente os efeitos adversos de tal ação.

Ressalta-se que, antes de se estabelecer medidas corretivas, deve-se dar maior ênfase a medidas preventivas que impeçam que substâncias poluidoras sejam despejadas no ambiente. Entre essas medidas, destacam-se o maior investimento em sinalização e monitoramento das estradas e a adoção de melhores formas de acondicionamento dos produtos tóxicos nos veículos transportadores.

A metodologia desenvolvida possibilita, portanto, a simulação do efeito de um despejo acidental em uma seção de interesse de jusante, servindo, principalmente, como um mecanismo de alerta em situações de despejo de substâncias perigosas no rio em estudo. Essa metodologia pode ser aplicada a outras bacias, desde que respeitadas as restrições de uso do método proposto.

Em se tratando de despejos acidentais no transporte rodoviário, a utilização de sistemas de alerta contribui bastante para reduzir o caráter de imprevisibilidade de tais eventos, uma vez que fica possível prever o comportamento da nuvem de poluentes em seções de jusante, após a ocorrência de algum acidente. Assim, é possível tomar medidas para minimizar os problemas advindos com a contaminação do curso de água, como a suspensão da captação em sistemas de tratamento de água para abastecimento.

O método proposto pode, ainda, ser aplicado a substâncias que não sejam tóxicas, mas que podem trazer grandes prejuízos em estações de tratamento existentes. Destaca-se, como exemplo, o despejo de corantes que não sejam prejudiciais à saúde humana, mas que causam efeitos visuais na água bruta e podem trazer dificuldades na sua remoção.

Destaca-se como maior contribuição deste trabalho o desenvolvimento de uma metodologia que prevê tempos de transporte e concentrações baseados no emprego de um modelo matemático 1D (Fórmula de Taylor). A simplicidade desta fórmula permite a utilização de planilhas eletrônicas. Já as características de dispersão e transporte do poluente no corpo hídrico dependem de ensaios de campo, onde se destaca o emprego de traçadores fluorescentes conservativos, que se comportam como os poluentes reais, utilizando massas bem reduzidas graças à existência de aparelhos (espectrofluorímetros) que conseguem detectar concentrações extremamente baixas.

RECOMENDAÇÕES

O modelo de cálculo proposto considerou um trecho de 40 km do rio Paraíba do Sul entre os municípios de Volta Redonda e Barra do Piraí, por já serem conhecidos

características hidrodinâmicas deste rio, obtidos através de ensaios com traçadores artificiais. Como forma de aumentar a região de estudo, deve-se expandir o monitoramento para outros locais, permitindo conhecer as características de transporte e dispersão de outros trechos do referido rio.

Os cenários aqui considerados foram realizados apenas considerando despejos acidentais decorrentes de acidentes em rodovias. Entretanto, as simulações podem ser aplicadas para despejos provenientes de diversas origens, como lançamentos provenientes de indústrias, estações de tratamento etc, sendo necessário o maior conhecimento das características de cada unidade estabelecida às margens do rio Paraíba do Sul.

Recomenda-se, ainda, que o estudo seja estendido a lançamentos contínuos, considerando, assim, situações em que o despejo acidental não tenha sido instantâneo. Neste sentido, recomenda-se utilizar o conceito de convolução, que permite aproximar os efeitos de um lançamento contínuo no tempo pela superposição de vários lançamentos concentrados (considerados no presente trabalho) defasados no tempo durante o período de despejo.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACSELRAD, M., BARCELLOS, F. C., COSTA, V. G. “Condições ambientais na bacia do Paraíba do Sul e a efetividade da cobrança pelo uso da água pelo Estado do Rio de Janeiro”. In: **anais I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: O Eucalipto e o Ciclo Hidrológico**, pp 17-24, Taubaté/SP, Novembro, 2007.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Panorama do enquadramento dos corpos d’água**. ANA/MMA, Brasília/DF, 2005.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Relatório 2008: cobrança pelo uso de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul**. ANA/MMA, Brasília/DF, 2008.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **Cadastro de drenagem da rodovia BR-393/RJ – Rodovia do Aço. Trecho: divisa Minas Gerais/Rio de Janeiro – Entrada BR-116 (Dutra)**. Concessionária Rodovia do Aço SA/ANTT/MT. 2008.
- BRASIL, **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. MMA/SRH, 1997.
- CAMPOS, J. D., **Desafios do gerenciamento dos recursos hídricos nas transferências naturais e artificiais envolvendo mudança de domínio hídrico**. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 357/2005. Brasília/DF, 2005.
- COPPETEC. **Compatibilização e Articulação do Plano de Recursos Hídricos do Rio Paraíba do Sul**. PGRH-RE-27-R1 – ANA/COPPETEC, Rio de Janeiro, 2002.
- COPPETEC. **Diagnóstico e prognóstico do Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul**. Capítulo 7. Contrato 019/2001 – ANA/COPPETEC, Rio de Janeiro, 2001.

- COPPETEC. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Diagnóstico dos Recursos Hídricos/Relatório Final**. PSR-010-R0. Laboratório de Hidrologia e Estudos do Meio Ambiente/COPPE/UFRJ, AGEVAP, Rio de Janeiro, 2006.
- DAMIANI, M. C., **Determinação de padrões de fluxo em simulações de reservatório de petróleo utilizando traçadores**. Dissertação de M.Sc, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2007.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual para implementação de planos de ação de emergência para atendimento a sinistros envolvendo o transporte rodoviário de produtos perigosos**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias/DNIT/MT, Rio de Janeiro 2005.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Mapa Rodoviário do Rio de Janeiro**. DNIT/MT, 2002.
- DUARTE, M. A. I. **Poluentes Orgânicos Persistentes**. Monografia. Pós-Graduação em Gestão Ambiental/Escola Politécnica/UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.
- FONTOURA, J.A.S., NIENCHESKI, L.F.H. “Metodologia para utilização do traçador fluorescente ‘Rodamina B’ no estudo da dispersão superficial, adaptada para aplicação no estuário da lagoa dos Patos”. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**, volume 8, nº 3, pp 105-116, Julho/Setembro, 2003.
- FREITAS, C. M., AMORIM, A. E. “Vigilância Ambiental em saúde de acidentes químicos ampliados no transporte rodoviário de cargas perigosas”. **Informe Epidemiológico do SUS**, nº 10, pp. 31-42, 2001.
- GUSMÃO, A. C. F., **O controle e a prevenção da poluição accidental no transporte rodoviário de produtos perigosos: Ação aplicada no Estado do Rio de Janeiro**. Dissertação de M.Sc., PEAMB/UERJ, Rio de Janeiro, RJ, 2002.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE (IBAMA). **Acidentes Ambientais 2006 e 2007**. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA/MMA, Brasília, 2008.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE (IBAMA). **Acidentes Ambientais 2008**. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA/MMA, Brasília, 2009.

- LIVI, C. P. **Fundamentos de fenômenos de transporte: um texto para cursos básicos**. LTC. Rio de Janeiro, 2004.
- NERY, R. A., **Estimativa do transporte e dispersão de sedimentos com uso de métodos clássicos e radioativos: aplicação na sub-bacia do córrego Horácio / noroeste do Paraná**. Dissertação de M.Sc, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2002.
- NOGUEIRA, M. R. S., **Acidentes com Produtos Perigosos no Transporte Rodoviário do Estado do Rio de Janeiro: Propostas de Melhorias nas Ações Emergenciais**. Projeto Final de Curso, Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente/Escola Politécnica/UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.
- PECLY, J. O. G., **Monitoramento ambiental do emissário submarino de Ipanema usando traçadores e técnicas geoestatísticas**. Dissertação de M.Sc, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2000.
- PENTEADO, J.C.P., VAZ, J.M. “O legado das Bifenilas Policloradas (PCBs)”. **Química Nova**, volume 24, nº 3, pp 390-398, 2001.
- PROJETO MARCA D’ÁGUA. Relatórios Preliminares 2001 – A Bacia do rio Paraíba do Sul, São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais
- PROJETO MARCA D’ÁGUA. **Relatórios Preliminares 2001 – A bacia do rio Paraíba do Sul, São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais 2001**. Núcleo de Pesquisa em Políticas Públicas, 2001.
- RIBEIRO, C. B. M., **Sistema de alerta ambiental fundamentado em estudo teórico-experimental de transporte e dispersão de poluentes solúveis em cursos d’água**. Tese de D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil, 2007.
- RIGO, D., **Dispersão longitudinal em rios: desempenho de métodos de previsão e de traçadores fluorescentes**. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1992.
- ROLDÃO, J.S.F., PECLY, J.O.G, “Determinação da vazão e da dispersão longitudinal nos rios Corumbá e Pirapetinga através do emprego de traçador fluorescente”. **II Simposio de Recursos Hidricos del Cono Sur**, Santa Fe, Argentina, Agosto, 1998a.

- ROLDÃO, J.S.F., PECLY, J.O.G, AMARAL, K. J., “Medições Sinópticas de dados Hidrológicos, meteorológicos e oceanográficos visando a calibração de modelos computacionais aplicados à gestão estuarina”. **XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, João Pessoa, Pernambuco, Novembro, 2005.
- ROLDÃO, J.S.F., PECLY, J.O.G, TRENTA, A., “Determinação de coeficientes de dispersão mediante traçadores fluorescentes na laguna Setubal (Argentina)”. In: **anais do XVII Congresso Latinoamericano de Hidráulica (IAHR)**, volume 1, pp 57-68, Quayaquil, Equador, Outubro, 1996.
- ROLDÃO, J.S.F., PECLY, J.O.G, VALENTINI, E., LEAL, L. “Evaluation of Sewage Outfalls by Using Tracer Techniques Combined with Oceanographics Measurements”. In: **Enviromental Coastal Regions 98**, volume 1, pp 209-218, Cancun, Mexico, Setembro, 1998b.
- ROLDÃO, J.S.F., SOARES, J.H.P., WROBEL, L.C., BÜGE, T.R., DIAS, N.L.C. “Pollutant Transport Studies in Paraíba do Sul River, Brazil”. In: **First International Conference on Modelling, Measuring and Prediction**, Southampton, 1991.
- ROLDÃO, J.S.F., WILSON JR., G, SOARES, J.H.P., PECLY, J.O.G., LEAL, L.C.P. “Determinação da capacidade de diluição de um emissário submarino com utilização de traçador fluorescente”. In: **anais do XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, volume 1, pp 427-432, Recife, Pernambuco, Novembro, 1995.
- SARMENTO, R., SERAFIM, A. J., DORIGUETO, J. M., DONATELLI, M. R. “Determinação da capacidade de assimilação dos corpos de água para a disposição final dos efluentes domésticos e industriais”. **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, vol 26, pp 2044-2052, 1997.
- SCHENINI, P. C., NEUENFELD, D.R., ROSA, A.L.M. “O gerenciamento de riscos no transporte de produtos perigosos”. **XIII SIMPEP**, Bauru/SP, Novembro, 2006.
- SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (SEMADS). **Bacias Hidrográficas e Rios Fluminenses – Síntese informativa por macrorregião ambiental**. Projeto PLANÁGUA-SEMADS/GTZ, 2001.

VIANA, V. J., **Riscos ambientais associados ao transporte de produtos perigosos na área de influência da ETA Guandu – RJ.** Tese de M.Sc., PEAMB/UERJ, Rio de Janeiro, RJ, 2009.

WILSON JR., J.F., COBB, E. D., KILPATRICK, F. A. **Techniques of water-resources investigations of the United States Geological Survey. Fluorimetric procedures for dye tracing.** Book 3 – Applications of Hydraulics, 34 pp, U. S. Geological Survey, 1986.

Sítios eletrônicos consultados

Portal CEIVAP. Disponível em: <http://ceivap.org.br>. Acessado em maio de 2009.

Portal CSN. Disponível em: <http://www.csn.com.br>. Acessado em julho de 2009.

Portal da Prefeitura de Volta Redonda. Disponível em: <http://www.voltaredonda.rj.gov.br>. Acessado em julho de 2009.

Portal da revista DAE. Disponível em:

http://www.revistadae.com.br/novosite/noticias_interna.php?id=1048#. Acessado em setembro de 2009.

Portal Fundação CIDE. Disponível em: <http://www.cide.rj.gov.br>. Acessado em julho de 2009.

Portal G1. Disponível em: <http://g1.globo.com>. Acessado em setembro de 2009.

Portal Hidroweb. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br> . Acessado em agosto de 2009.

Portal IBAMA. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br>. Acessado em agosto de 2009.

Portal IBGE – Banco de Dados Cidades@. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em junho de 2009.

Portal Transporte Produtos Perigosos. Disponível em: <http://www.trpp.com.br>. Acessado em agosto de 2009.

ANEXOS

ANEXO A - Normas e legislações referentes ao transporte de produtos perigosos por rodovias brasileiras (Portal Transporte Produtos Perigosos, 2009)

Tipo	Descrição
Convenção da Basiléia, de 22 de março de 1989	A Convenção de Basiléia trata sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito, adotada sob a égide da Organização das Nações Unidas, concluída em Basiléia, Suíça, em 22 de março de 1989, foi promulgada pelo Governo Br
Decreto Nº 96.044, de 18 de maio de 1988	Aprova o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos e dá outras providências.
Decreto Nº 1.080, de 08 de março de 1994	Regulamenta o Fundo Especial para calamidades públicas (FUNCAP) e dá outras providências.
Decreto Nº 1.797, de 25 de janeiro de 1996	Decreto Federal que estabelece o Acordo de Alcance Parcial para a Facilitação do Transporte de Produtos Perigosos no MERCOSUL.
Decreto Nº 3179, de 21 de setembro de 1999	Dispõe sobre a especificação das sanções aplicáveis às condutas e atividades lesivas ao Meio Ambiente.
Decreto Nº 3665, de 23 de dezembro de 2000	Dá nova redação ao Regulamento para a Fiscalização de Produtos Controlados (R-105).
Decreto Nº 4097, de 23 de janeiro de 2002	Altera a redação de artigos sobre incompatibilidade de produtos do RTPP – Regulamento para o Transporte de Produtos Perigosos.
Decreto Nº 4262, de 10 de junho de 2002	Estabelece normas de controle e fiscalização sobre produtos químicos que direta ou indiretamente possam ser destinados à elaboração ilícita de substâncias entorpecentes, psicotrópicas ou que determinem dependência física ou psíquica, e dá outras providências
Decreto Nº 5376, de 17 de fevereiro de 2005	Decreto federal que dispõe sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil – SINDEC e o Conselho Nacional de Defesa Civil.
Lei Nº 8176 de 08 de fevereiro de 1991	Define os crimes contra a ordem econômica e cria o Sistema de Estoques de Combustíveis.
Lei Nº 9503, de 23 de setembro de 1997	Estabelece o Código Nacional de Trânsito.
Lei Nº 9605 de 12 de fevereiro de 1998 (Lei de Crimes Ambientais)	Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente.
Lei Complementar nº 121, de 9 de fevereiro de 2006	Esta Lei Complementar cria o Sistema Nacional de Prevenção, Fiscalização e Repressão ao Furto e Roubo de Veículos e Cargas e inclui a obrigatoriedade de todo condutor de veículo comercial de carga portar uma autorização para conduzi-lo quando este não for
Portaria Nº 38/MT de 10 de dezembro de 1998	Acrescenta ao Anexo IV da Portaria nº 01/98 - DENATRAN os códigos das infrações referentes ao Transporte de Produtos Perigosos, instituídos através do Anexo desta Portaria.
Portaria SUP/DER nº 264, de 14 de dezembro de 1999	Proíbe a circulação de veículos de carga de produtos perigosos na SP.070
Portaria Nº 27 de 16 de setembro de 1996	Dispõe sobre a distribuição, o transporte e o comércio do gás liquefeito de petróleo (GLP) – exceto o gás canalizado de rua para utilização como combustível.
Portaria Nº 22/MT de 19 de janeiro de 2001	Aprova as instruções para a Fiscalização do Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos no MERCOSUL.
Portaria Nº 349/MT de 04 de junho de 2002	Aprova as instruções para a Fiscalização do Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos no âmbito nacional.
Resolução Nº 420/ANTT de 12 de fevereiro de 2004	Aprova as Instruções Complementares ao Regulamento do Transporte Terrestre de Produtos Perigosos. Substituiu as portarias MT nº261, de 11/04/1989, MT nº204 de 20/05/1997, MT nº409 de 12/09/1997, nº101 de 30/03/1998, nº 402 de 09/09/1998, nº490 de 16/09/19
Resolução Nº 437/ANTT de 16 de fevereiro de 2004	Institui o Registro Nacional de Transportador Rodoviário de Carga.
Resolução Nº 701/ANTT de 25 de agosto de 2004	Altera itens da Resolução 420/04 da Agência Nacional de Transportes Terrestres.

Tipo	Descrição
Resolução Nº 1644/ANTT de 26 de setembro de 2006	Altera o anexo à Resolução nº 420, de 12 de fevereiro de 2004, que aprova as Instruções Complementares ao Regulamento do Transporte Terrestre de Produtos Perigosos.
Resolução Nº 189, de 25 de janeiro de 2006	Acresce alínea "c" ao inciso I do art. 2º da Resolução nº 68/98. Reconhece CVCs pesados com menos de 25m.
Resolução ANTT nº 2657, 18 de fevereiro de 2008	Altera o Anexo à Resolução nº 420, de 12 de fevereiro de 2004, que aprova as Instruções Complementares ao Regulamento do Transporte Terrestre de Produtos Perigosos.
Resolução ANTT nº 2975, 18 de dezembro de 2008	Altera o Anexo à Resolução nº 420, de 12 de fevereiro de 2004, que aprova as Instruções Complementares ao Regulamento do Transporte Terrestre de Produtos Perigosos.
Deliberação CONTRAN nº 50, de 29 de junho de 2006	Dispõe sobre os códigos das infrações referentes ao Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos, instituídos através do Anexo desta Portaria.
Portaria DENATRAN nº 38, de 10 de dezembro de 1998	Dispõe sobre os códigos das infrações referentes ao Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos, instituídos através do Anexo desta Portaria.
Resolução Nº. 12/98 (CONTRAN), de 06/02/98 REVOGADA PELA RES.210/06	Estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por via terrestre.
Resolução Nº. 26/98 (CONTRAN), de 21/05/98	Disciplina o transporte de carga em veículos destinados ao transporte de passageiros.
Resolução Nº. 36/98 (CONTRAN), de 21/05/98	Estabelece a forma de sinalização de advertência para veículos imobilizados, em situações de emergência.
Resolução CONTRAN Nº 38, de 21 de maio de 1998	Ementa:Regulamenta o art. 86 do CTB, que dispõe sobre a identificação das entradas e saídas de postos de gasolina e de abastecimento de combustíveis, oficinas, estacionamentos e/ou garagens de uso coletivo.
Resolução Nº. 62/98 (CONTRAN)	Estabelece o Uso de Pneus Extralargos e Define seus Limites de Peso.
Resolução Nº 68, de 23 de setembro de 1998 - REVOGADA PELA RES.211/06	Ementa: Requisitos de segurança necessários à circulação de Combinações de Veículos de Carga - CVC, a que se referem os arts. 97, 99 e 314 do Código de Trânsito Brasileiro - CTB e os §§ 3º e 4º do art. 1º e os §§ 3º e 4º do art. 2º da Resolução CONTRAN nº
Resolução CONTRAN Nº 91 de 4 de maio de 1999	Ementa:Dispõe sobre os Cursos de Treinamento Específico e Complementar para Condutores de Veículos Rodoviários Transportadores de Produtos Perigosos.
Resolução Nº. 87/99 (CONTRAN), de 04/05/99	Dá nova redação e prorroga prazos para a entrada em vigor de artigos da Resolução Nº 14/98 do CONTRAN (Equipamentos Obrigatórios).
Resolução Nº. 102/99 (CONTRAN), de 31/08/99	Dispõe sobre a tolerância máxima de peso bruto de veículos.
Resolução Nº. 114/00 (CONTRAN), de 05/05/00	Altera texto da Resolução Nº 104/99 (Tolerância Máxima de Peso Bruto).
Resolução Nº. 116/00 (CONTRAN), de 05/05/00	Revoga a Resolução Nº 506/76 (Disciplina do Transporte de Carga em Caminhão-Tanque).
Resolução Nº. 128/01 (CONTRAN), de 06/08/01	Estabelece obrigatoriedade de utilização de dispositivo de segurança para prever melhores condições de visibilidade.
Resolução Nº. 137/02 (CONTRAN), de 28/02/02	Dispõe sobre a atribuição de competência para a realização da inspeção técnica nos veículos utilizados no transporte rodoviário internacional de cargas.
Resolução Nº. 210/06 (CONTRAN), de 22/11/06	Estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres e dá outras providências.
Resolução Nº. 211/06 (CONTRAN), de 22/11/06	Requisitos necessários à circulação de Combinações de Veículos de Carga - CVC, a que se referem os arts. 97, 99 e 314 do Código de Trânsito Brasileiro-CTB.
Resolução Nº. 223/07 (CONTRAN), de 09/02/07	Altera a Resolução nº 157/2004, de 22 de abril, do CONTRAN, que fixa as especificações para os extintores de incêndio.

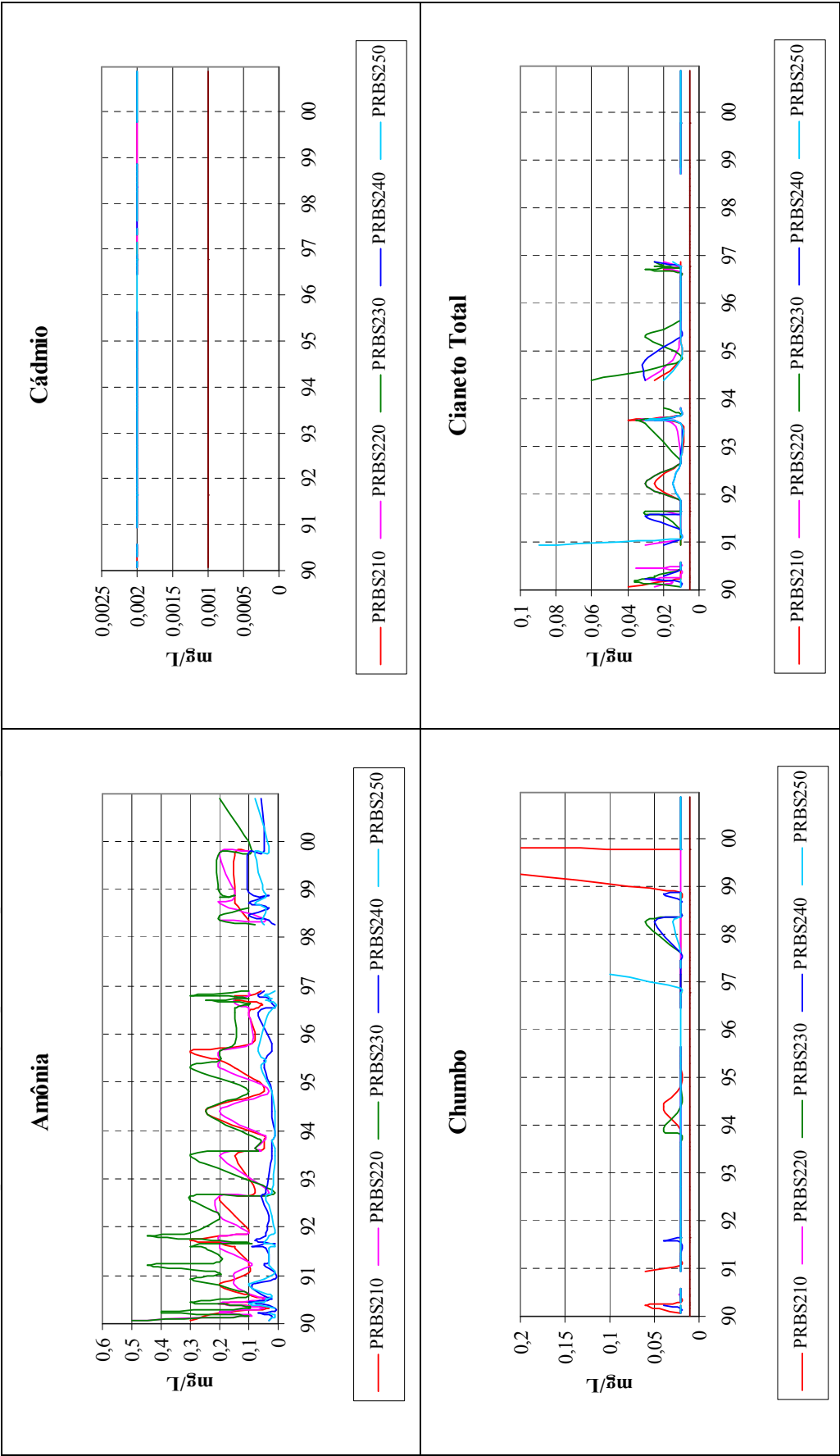
Tipo	Descrição
NBR 7500: SÍMBOLO DE RISCO E MANUSEIO PARA TRANSPORTE E ARMAZENAMENTO DE MATERIAIS - SIMBOLOGIA	Esta norma estabelece os símbolos convencionais e seu dimensionamento, para serem aplicados nas unidades de transporte e nas embalagens para indicação dos riscos e dos cuidados a se tomar no seu manuseio, transporte e armazenamento de acordo com a carga c
NBR 7501: TRANSPORTE DE PRODUTOS PERIGOSOS- TERMINOLOGIA	Esta norma define os termos empregados no transporte de produtos perigosos, tais como: artigo explosivo, avaliação de emergência, tipos de carga, compartimento, embalagem, emergência, filtros (combinados, mecânicos, químicos), gases (refrigerados, dissolv
NBR 7503: FICHA DE EMERGÊNCIA PARA TRANSPORTE DE PRODUTOS PERIGOSOS – CARACTERÍSTICAS E DIMENSÕES	Esta norma especifica as características e dimensões para a confecção da ficha de emergência e envelope para o transporte terrestre de produtos perigosos. Ficha de emergência: documento resumindo os principais riscos do produto e as providências essenciais
NBR 8285: PREENCHIMENTO DA FICHA DE EMERGÊNCIA PARA O TRANSPORTE DE PRODUTOS PERIGOSOS - Substituída pela NBR 7503/2005.	Esta norma estabelece um sistema para o correto preenchimento da ficha de emergência para o transporte de produtos perigosos; apresenta em anexo o modelo desta ficha, explicando o significado de cada um dos itens nela contidos.
NBR 8286: EMPREGO DA SINALIZAÇÃO NAS UNIDADES DE TRANSPORTE E DE RÓTULOS NAS EMBALAGENS DE PRODUTOS PERIGOSOS - Substituída pela NBR 7503/2005.	Esta norma especifica as condições necessárias para o emprego da sinalização nas unidades de transporte e de rótulos nas embalagens de produtos perigosos. Sinalização que as unidades de transporte devem possuir: § sinalização geral, indicação de “transporte de produtos perigosos”, através de painéis de segurança (painel que contém o número de risco e o número de identificação do produto). § Sinalização indicativa da classe ou subclasse de risco do produto transportado, através do rótulo de risco (losango que apresenta símbolo e/ou expressões emolduradas, referentes à classe do produto perigoso). § Sinalização do risco subsidiário para o transporte de produtos perigosos. Além da sinalização das unidades de transporte, as embalagens devem portar rótulo de risco e de segurança (local onde constam as informações do produto e símbolo de manuseio, conforme o caso.
NBR 11174	Armazenamento de Resíduos Classe II – não Inertes e Classe III – Inertes (1990).
NBR 12235	Armazenamento de Resíduos Sólidos Perigosos (1992).
NBR 12710: PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO POR EXTINTORES NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PRODUTOS PERIGOSOS	Esta norma especifica as características exigíveis para proteção contra princípios de incêndio por extintores portáteis (veiculares- PQS), no transporte rodoviário de produtos perigosos.
NBR 13095: INSTALAÇÃO E FIXAÇÃO DE EXTINTORES DE INCÊNDIO PARA CARGA NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PRODUTOS PERIGOSOS	Esta norma especifica as características exigíveis para instalação e fixação de extintores de incêndio, tal como o local que deve estar.
NBR 14064: ATENDIMENTO A EMERGÊNCIA NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PRODUTOS PERIGOSOS	Esta norma estabelece as condições mínimas para orientar as ações básicas a serem adotadas por entidades ou pessoas envolvidas direta ou indiretamente em situações de emergência no transporte rodoviário de produtos perigosos. As ações previstas nesta norm § treinar periodicamente suas equipes de atendimento de formas individual e/ou integrada com outros órgãos; § manter sistemas de plantão permanentemente para o atendimento às emergências;

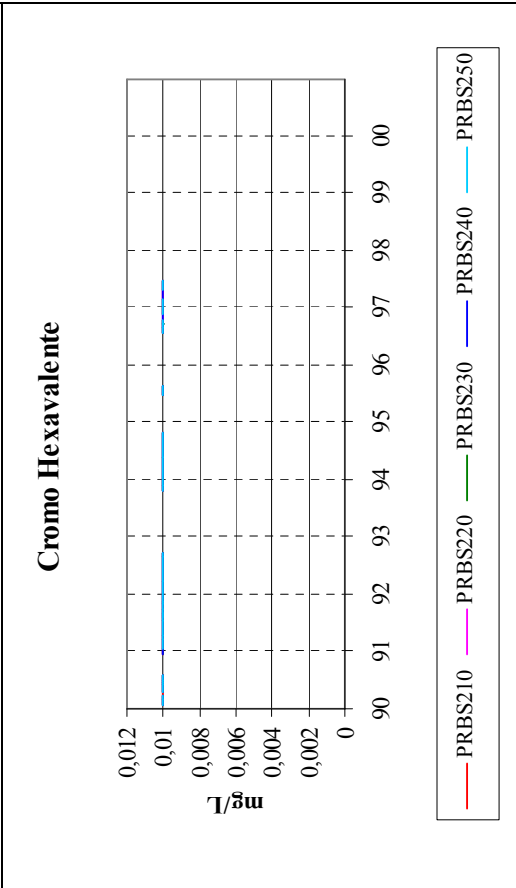
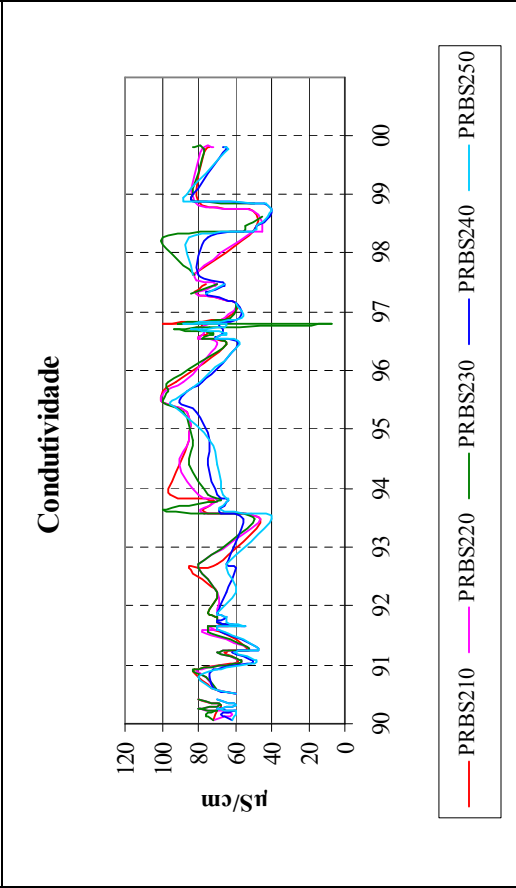
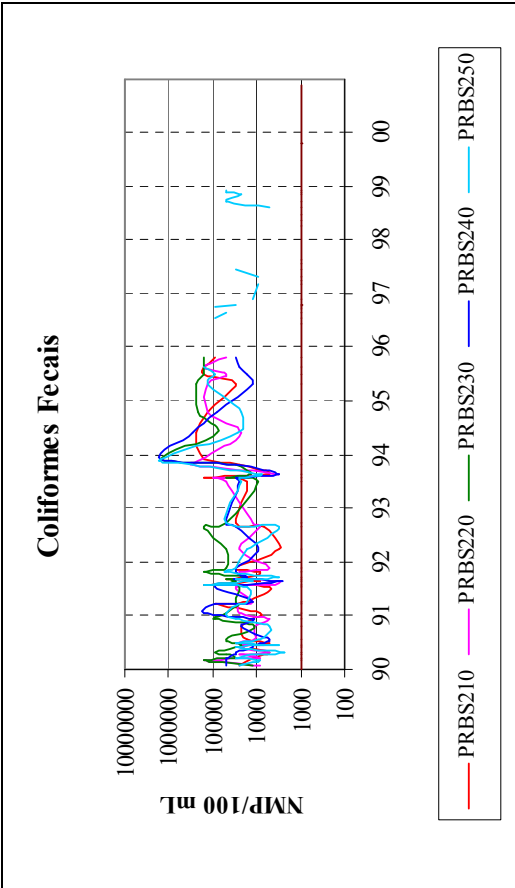
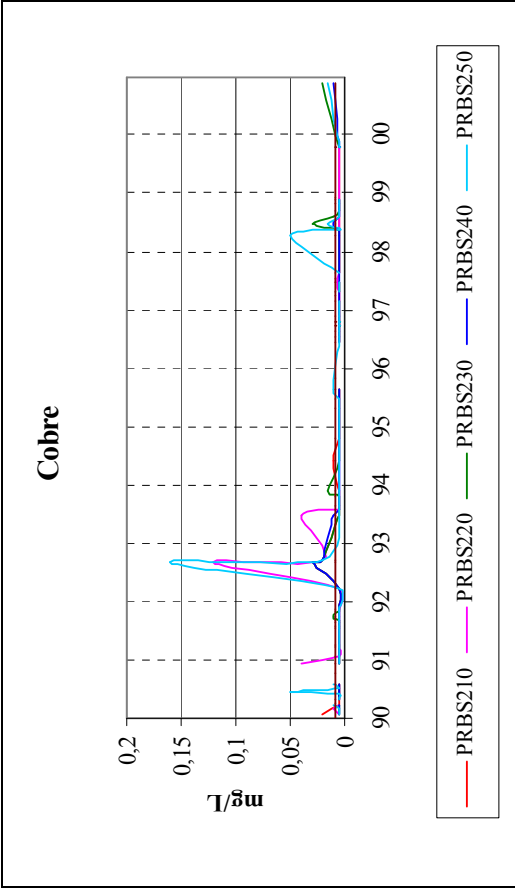
Tipo	Descrição
	§ independentemente do acionamento e mobilização de outros órgãos, a primeira entidade presente no local do acidente deve adotar medidas iniciais de controle de situação, tais como: avaliação preliminar da ocorrência, sinalização do local Além dessas atribuições há atribuições legais, próprias de cada órgão envolvido no transporte rodoviário de produtos perigosos, tais como a do transportador: § fornecer equipamentos e mão de obra para a solução do problema apresentado, tanto do ponto de vista de segurança, como ambiental e de trânsito; § operacionalizar a remoção do veículo e a transferência de cargas; § fornecer informações necessárias aos órgãos envolvidos; Providenciar a neutralização, remoção ou disposição dos eventuais produtos ou resíduos envolvidos na ocorrência. De acordo com a classe do produto são dados os procedimentos específicos a serem tomados.
NBR 14095: ÁREA DE ESTACIONAMENTO PARA VEÍCULOS RODOVIÁRIOS DE TRANSPORTE DE PRODUTOS PERIGOSOS	Esta norma fixa as condições de segurança mínimas exigíveis para as áreas de estacionamento para veículos rodoviários de transporte de produtos perigosos.
NBR 14848	Transporte de Produtos para Consumo Humano ou Animal – Identificação do Equipamento (2002).
NBR 9734: CONJUNTO DE EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL PARA AVALIAÇÃO DE EMERGÊNCIA E FUGA NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PRODUTOS PERIGOSOS - Substituída pela NBR 9735/2005.	Esta norma especifica a composição do conjunto de equipamento de proteção individual (EPI) a ser utilizado no transporte rodoviário de produtos perigosos. Os EPI devem ser utilizados pelo motorista e ajudante treinados ao uso destes, caso haja, na ocorrên
NBR 9735: CONJUNTO DE EQUIPAMENTOS PARA EMERGÊNCIAS NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PRODUTOS PERIGOSOS	Esta norma estabelece o conjunto de número de equipamentos que devem acompanhar o transporte rodoviário de produtos perigosos para atender as situações de acidente, emergência ou avaria. O conjunto prevê elementos para a sinalização e o isolamento da área § dois calços § jogo de ferramentas adequado para reparos em situações de emergência durante a viagem § dispositivo para sinalização/isolamento da área.
NBR 10004: RESÍDUOS SÓLIDOS	Esta norma classifica os resíduos sólidos quanto seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que estes resíduos possam ter manuseio e destinação adequados. Os resíduos são classificados em: § resíduos classe I – perigosos São aqueles que apresentam risco à saúde pública ou riscos ao meio ambiente, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas. Estes também podem apresentar as seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, § resíduos classe II – não-inertes São aqueles que não se enquadram nem na classe I e III. Esses podem ter propriedades, tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. § resíduos classe III- inertes São aqueles que no teste de solubilização não tem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água.

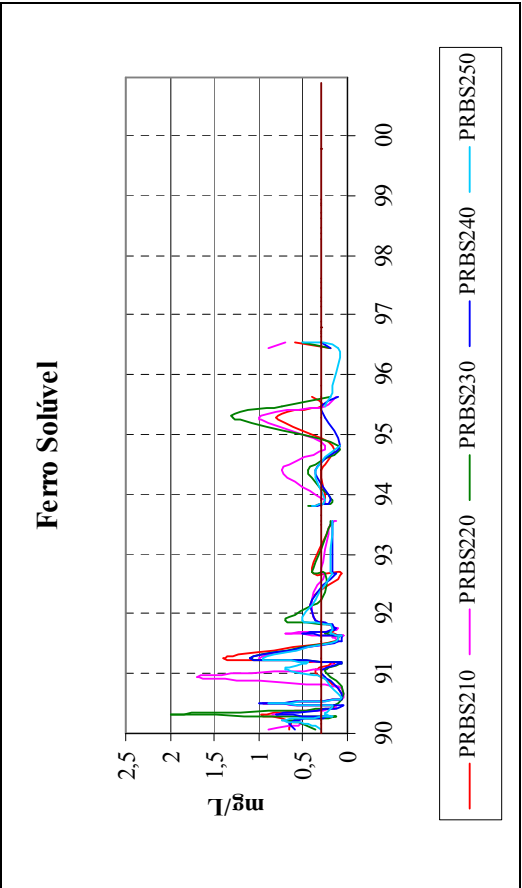
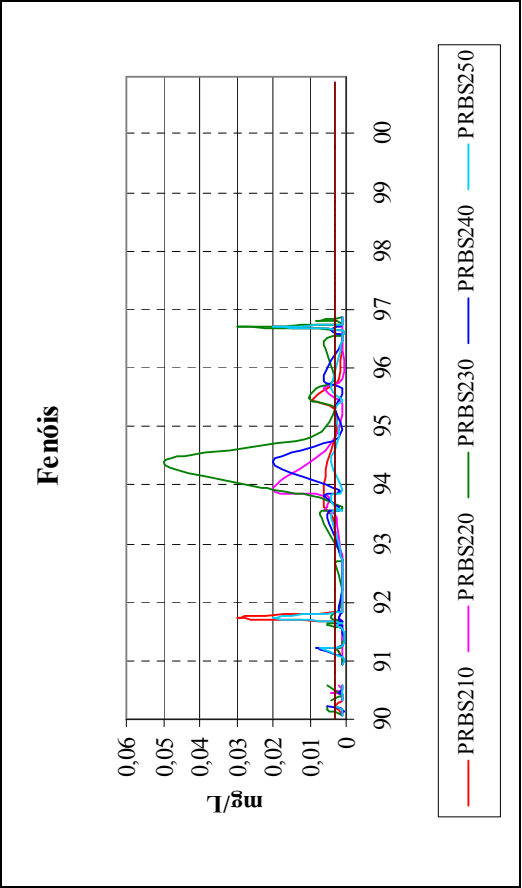
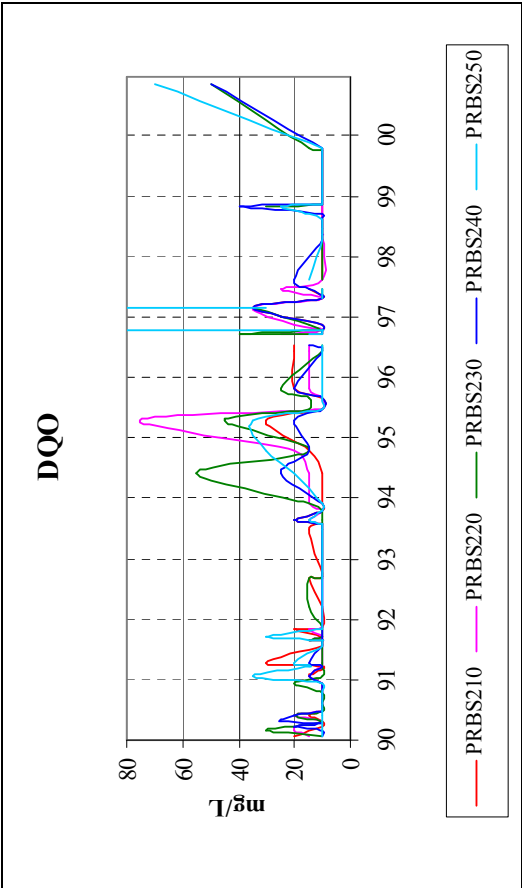
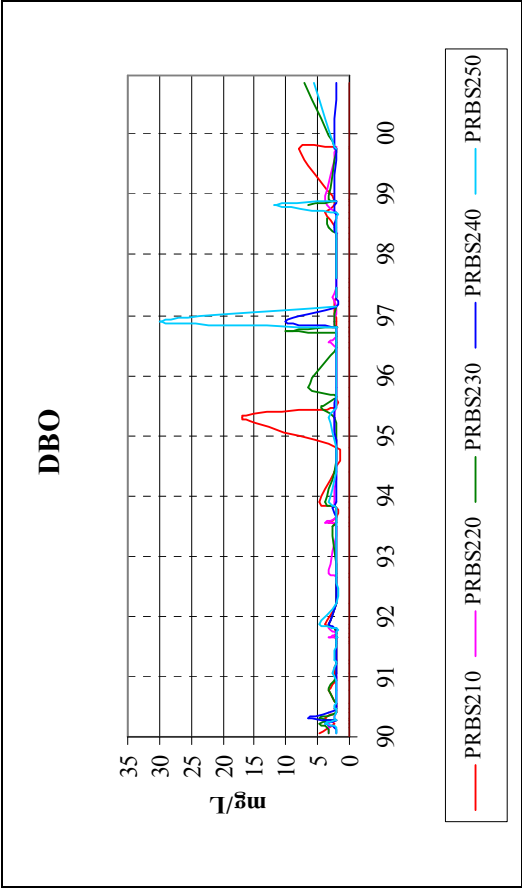
Tipo	Descrição
NBR 10271: CONJUNTO DE EQUIPAMENTOS PARA EMERGÊNCIAS NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE ÁCIDO FLUORÍDRICO	Além dos equipamentos citados na NBR 9735, todos os veículos utilizados no transporte deste produto, devem portar: § Ferramentas para o reparo de válvulas do tanque de carga, não se aplicando aos isotanques: kit C (anexo C); § Uma lanterna hermética; § Dispositivos para contenção de derramamentos: Enxada;Pá; § Dispositivos de primeiros socorros: dois pares de luvas cirúrgicas estéreis; cinco ampolas 10cc de gluconato de cálcio a 10%; duas seringas 10cc descartáveis; um pote contendo pasta de gluconato de cálcio a 2,5% (base de vaselina ou nuj)
NBR 13221: TRANSPORTE DE RESÍDUOS	Esta norma especifica o caso do não enquadramento do resíduo em uma das classes de risco de 1 a 9 mas se for considerado um resíduo perigoso (Convenção da Basiléia), classe I, pela ABNT NBR 10004, deve ser transportado como pertencente à classe 9 (Números
NBR 12982: DESVAPORIZAÇÃO DE TANQUE PARA TRANSPORTE TERRESTRE DE PRODUTOS PERIGOSOS – CLASSE DE RISCO 3 – LÍQUIDOS INFLAMÁVEIS	Esta norma é aplicável sempre que: § For necessária a execução de trabalhos a quente, tanto nos equipamentos (tais como tanque, vagões-tanque, contêiner-tanque), como no veículo quando formar um único conjunto; § O tanque necessitar de inspeção interna; § O conjunto for enviado para manutenção (oficina mecânica, elétrica, lanternagem). Métodos de desvaporização aplicáveis: § Método de exaustão com ar comprimido § Método de ventilação forçada § Método de arraste com vapor de água saturado
RTQ-1i	Trata do relatório técnico de qualidade da inspeção Periódica de Equipamentos para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos a Granel – Grupo 1.
RTQ-1c	Trata do relatório técnico de qualidade da inspeção na Construção de Equipamentos para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos a Granel – Grupo 1.
RTQ-3i	Trata do relatório técnico de qualidade da inspeção Periódica de Equipamentos para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos a Granel – Grupos 3 e 27E.
RTQ-3c	Trata do relatório técnico de qualidade da inspeção na Construção de Equipamentos para o Transporte Rodoviário e Produtos Perigosos a Granel – Grupos 3 e 27E.
RTQ-05	Trata do relatório técnico de qualidade da inspeção de Veículos Rodoviários para o Transporte de Produtos Perigosos.
RTQ-6i	Trata do relatório técnico de qualidade da inspeção Periódica de Equipamentos para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos a Granel – Grupos 6 e 27D.
RTQ-6c	Trata do relatório técnico de qualidade da inspeção na Construção de Equipamentos para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos a Granel – Grupos 6 e 27D.
RTQ-7i	Trata do relatório técnico de qualidade da inspeção periódica de Equipamentos para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos a Granel – Líquidos com Pressão de Vapor até 175 kPa.
RTQ-7c	Trata do relatório técnico de qualidade da inspeção na Construção de Equipamentos para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos a Granel – Líquidos com pressão de vapor até 175 kPa.
RTQ-32	Trata do relatório técnico de qualidade do para choque traseiro de veículos rodoviários para o transporte de Produtos Perigosos – Construção, Ensaio e Instalação.
RTQ-36	Trata do relatório técnico de qualidade da inspeção de Revestimento Interno de Equipamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos a Granel – Aplicação e Periódica.
RTQ-CAR	Trata do relatório técnico de qualidade da inspeção Periódica de Carroçarias de Veículos Rodoviários e Caçambas Intercambiáveis para o Transporte de Produtos Perigosos.

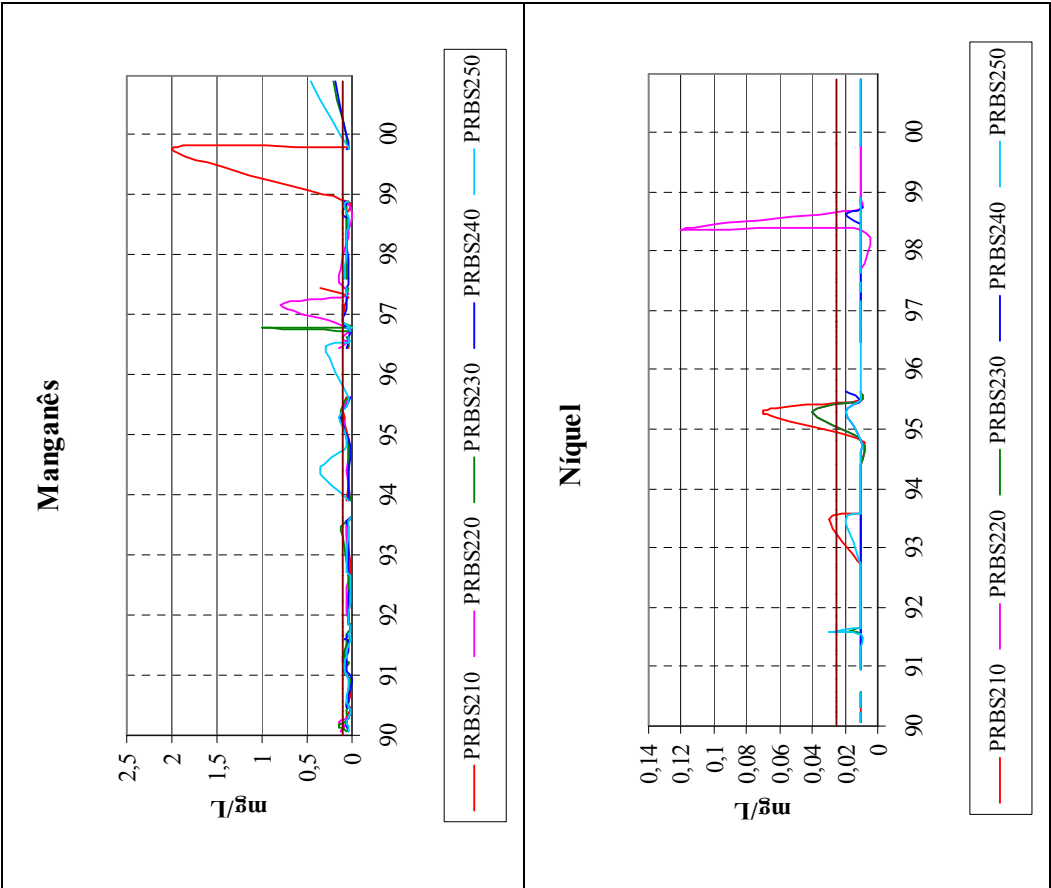
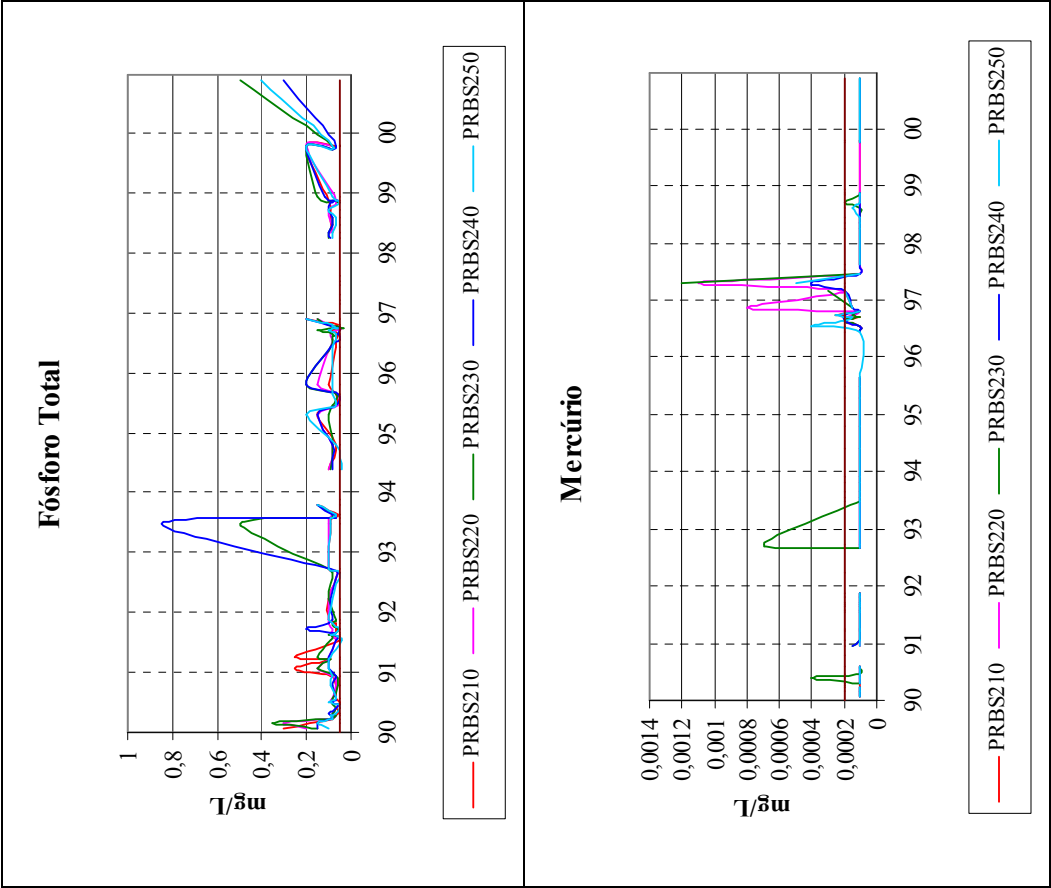
Tipo	Descrição
Portaria Inmetro nº 075 de 02 de março de 2007	Determinar que todos os equipamentos rodoviários destinados ao transporte de bebidas alcoólicas a granel (nº ONU 3065) e de etanol (álcool etílico), ou solução de etanol, para uso humano e animal (nº ONU 1170) devem conter, em toda a sua extensão, uma faix
Portaria Inmetro nº 91 de 02 de abril de 2009	Aprova a revisão dos Regulamentos Técnicos da Qualidade da área de produtos perigosos e do “Glossário de Terminologias Técnicas Utilizadas nos RTQ para o Transporte de Produtos Perigosos”.
Portaria Inmetro nº 101 de 09 de abril de 2009	Aprova a nova “Lista de Grupos de Produtos Perigosos” e o novo Anexo E, anexos a esta Portaria.
Portaria nº 250 de 16 de outubro de 2006	Aprova o Regulamento de Avaliação da Conformidade para Contentores Intermediários para Granéis (IBC) utilizados no Transporte Terrestre de Produtos Perigosos.
Portaria Inmetro nº 326, de 11 de dezembro de 2006	Aprova o Regulamento de Avaliação da Conformidade para Embalagens Utilizadas no Transporte Terrestre de Produtos Perigosos.
Portaria Inmetro nº 457 de 22 de dezembro de 2008	Aprova o Regulamento Técnico da Qualidade 5 - Inspeção de Veículos Rodoviários Destinados ao Transporte de Produtos Perigosos.

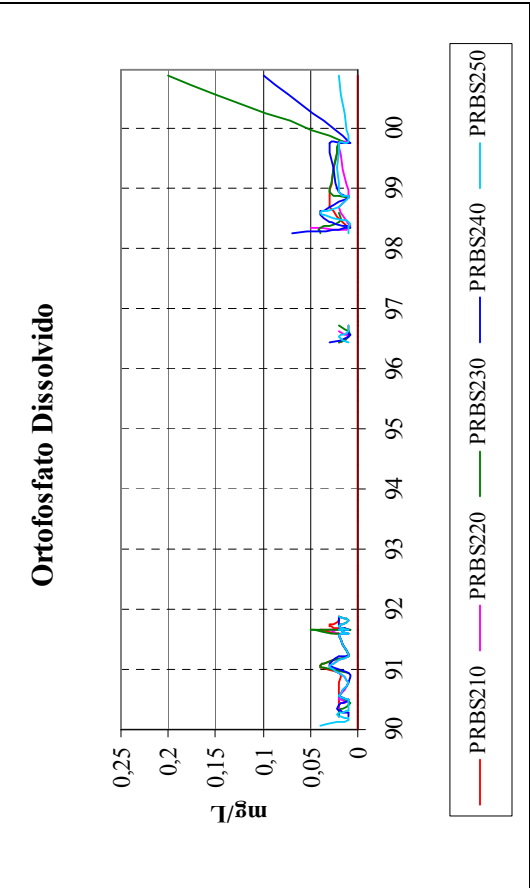
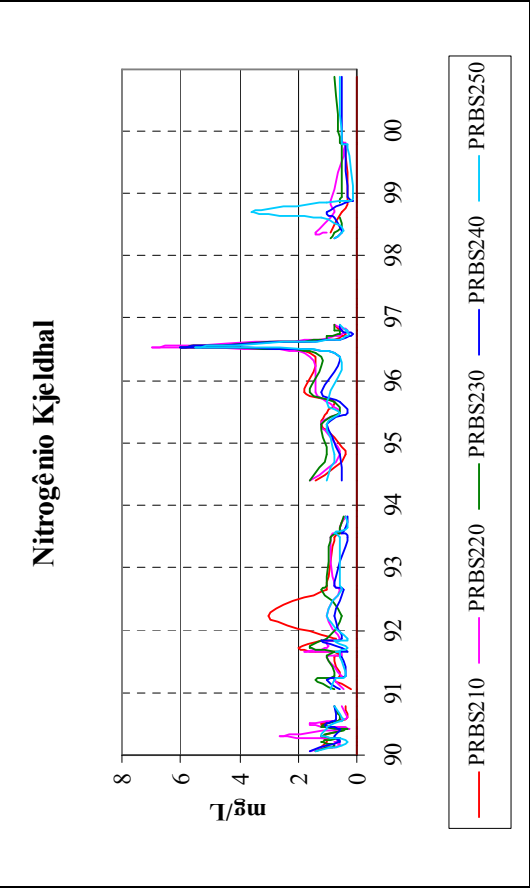
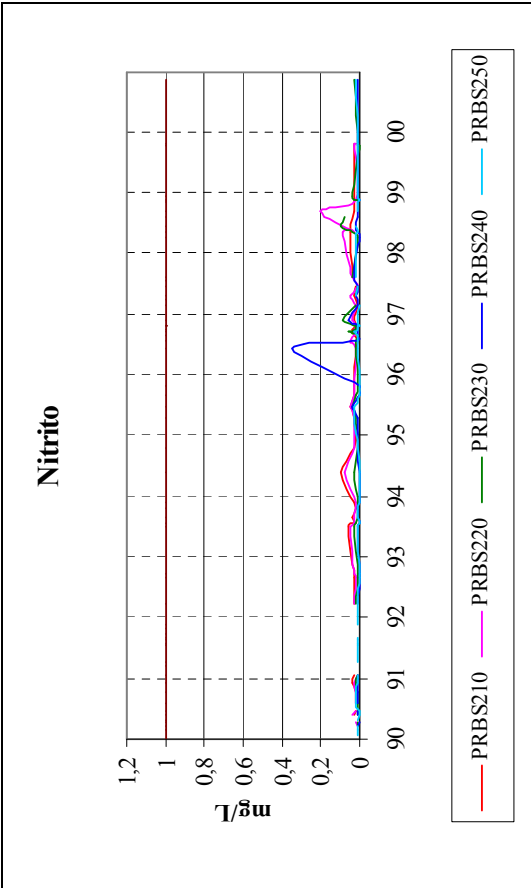
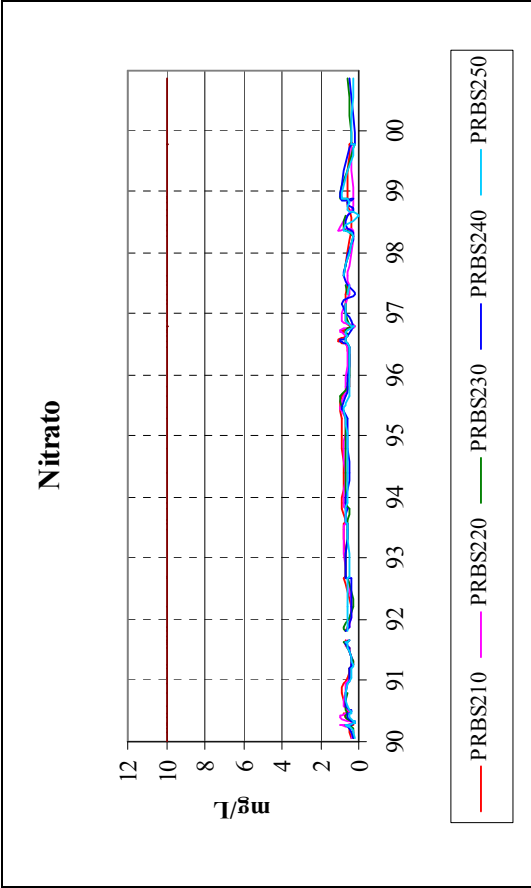
ANEXO B: Gráficos de qualidade de água para cada parâmetro no período considerado.

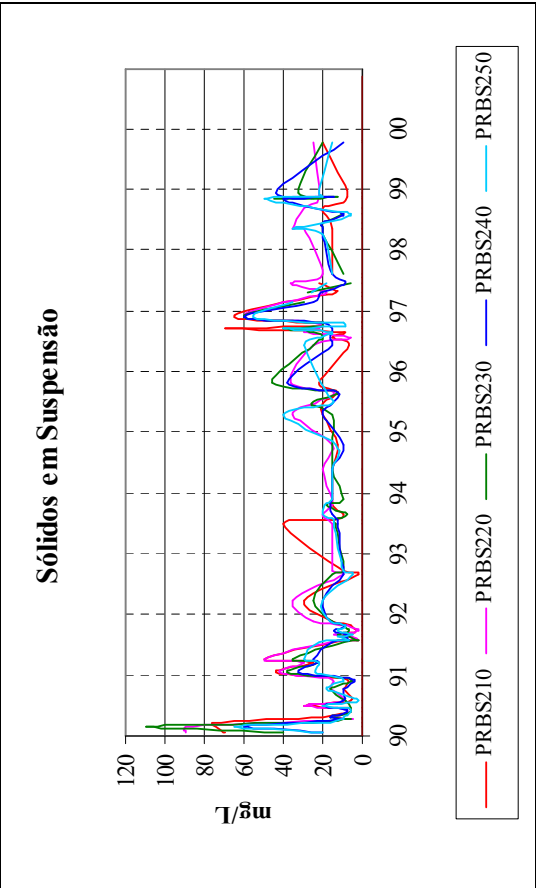
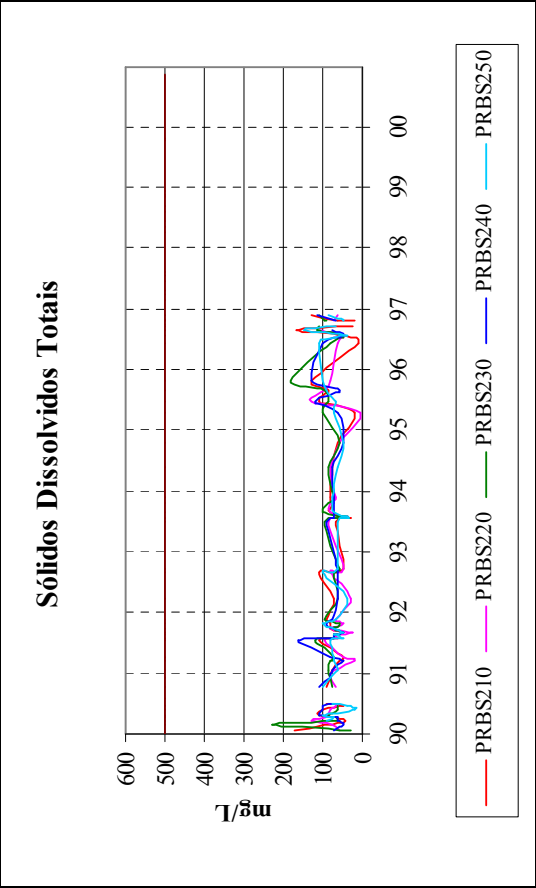
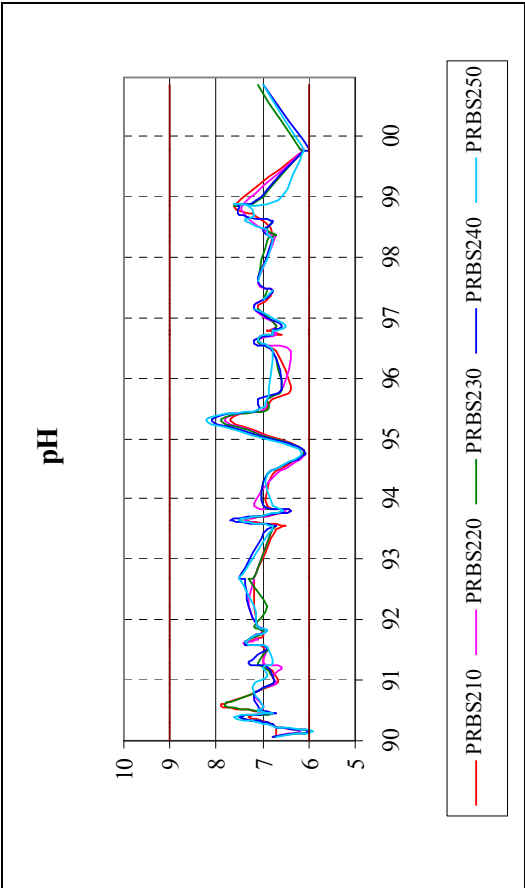
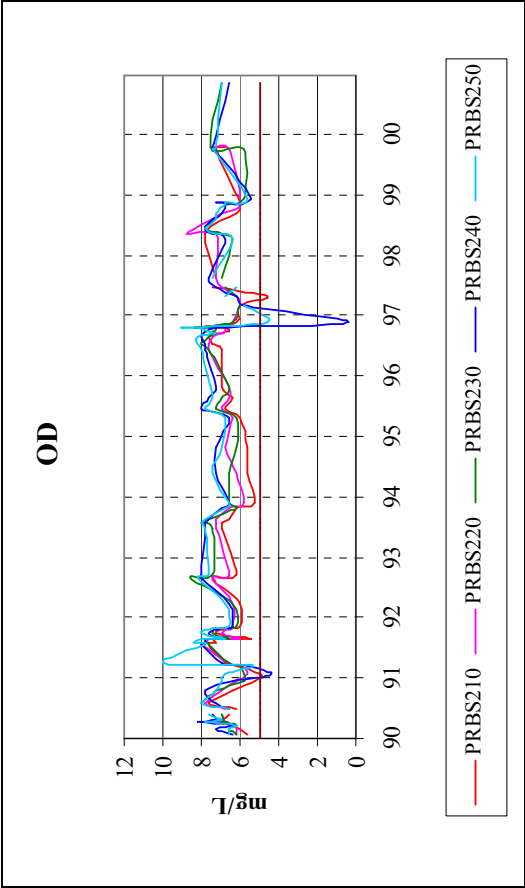


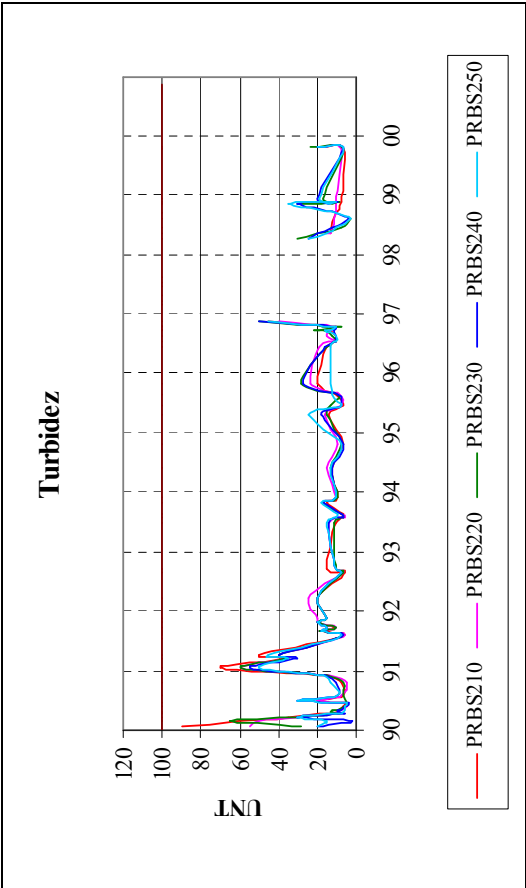
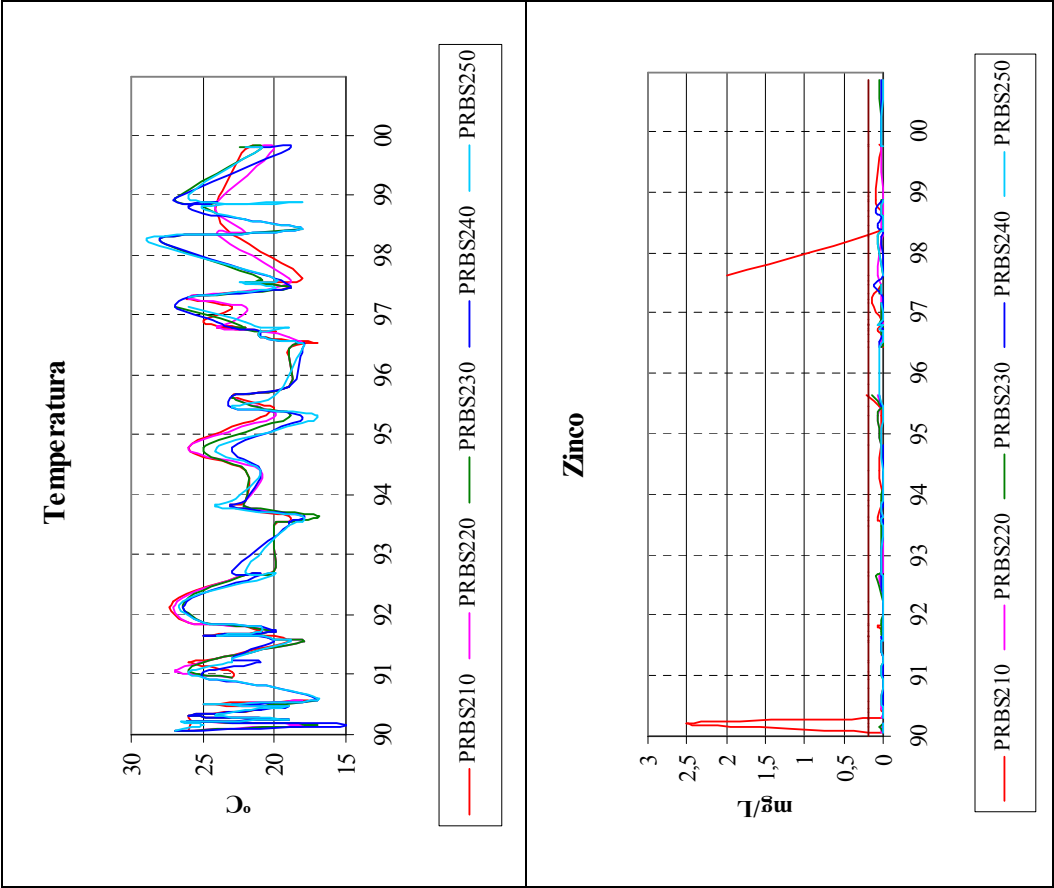












Livros Grátis

(<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](#)