

engenharia e ambiente

ISSN 1413-4152

Órgão Oficial de Informação Técnica da ABES - Rio de Janeiro
 Vol. 9 - Nº 4 - Out / Dez 2004

NOTAS TÉCNICAS

Indicadores para o monitoramento da sustentabilidade em sistemas urbanos de abastecimento de água e esgotamento sanitário

Indicators of monitoring sustainability of the urban water supply and sewerage systems

Aline Branco de Miranda, Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira.

Tratamento anaeróbico de resíduos orgânicos com baixa concentração de sólidos

Anaerobic treatment of organic wastes with low concentration of solids

Valderi Duarte Leite, Wilton Silva Lopes, José Tavares de Sousa, Shiva Prasad.

Utilização de wetland construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB

Use of constructed wetland for the post-treatment of domestic sewage anaerobic effluent from UASB reactor

José Tavares de Sousa, Adrianus van Haandel, Eduardo Pedroza da Cunha Lima, Israel Nunes Henrique.

Aplicabilidade das técnicas de determinação de tamanho de partículas em sistemas de tratamento de água e esgoto sanitário

Applicability of particle size measurement techniques in water and wastewater treatment systems

Hélio Rodrigues dos Santos, Gustavo Silva Prado, Carlos Magno de Sousa Vidal, Rodrigo Braga Moruzzi, José Roberto Campos.

ARTIGOS TÉCNICOS

Fatores ambientais associados às helmintoses intestinais em áreas de assentamento subnormal, Juiz de Fora, MG

Environmental factors related to intestinal helminth infections in subnormal settled areas, Juiz de Fora, MG

Júlio César Teixeira, Léo Heller.

Integração de processos físico-químicos e oxidativos avançados para remediação de percolado de aterro sanitário (chorume)

Integration of physical chemistry and advanced oxidative processes for remediation of landfill leachate

Jailson Rodrigo Pacheco, Patrício G. Peralta-Zamora.

Avaliação das perdas físicas de um setor de rede de abastecimento de água de Campo Grande-MS via modelo inverso

Leakage evaluation in a water supply network sector of Campo Grande-MS through inverse model

Alexandre Kepler Soares, Peter Batista Cheung, Luisa Fernanda Ribeiro Reis, Marilúcia Pereira Sandim.

Qualidade microbiológica da água em rios de áreas urbanas e periurbanas no baixo Amazonas: o caso do Amapá

Microbiologic water quality in urban and periurban rivers on low Amazon river - stude of case: Amapá State

Alan Cavalcanti da Cunha, Hellenilza Ferreira Albuquerque Cunha, Antônio César Pinho Brasil Júnior, Luis Antonio Daniel, Harry Edmar Schulz.

Índice de impacto dos resíduos sólidos urbanos na saúde pública (IIRSP): metodologia e aplicação

Impact index solid wastes management systems on public health (IIRSP): methodology and application

Ana Beatriz Souza de Deus, Sérgio João de Luca, Robin Thomas Clarke.

Fotocatálise heterogênea com TiO₂ aplicada ao tratamento de esgoto sanitário secundário

TiO₂ heterogeneous photocatalysis in secondary wastewater treatment

Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira, Luiz Antonio Daniel.

O licenciamento ambiental da mineração no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais - uma análise da implementação de medidas de controle ambiental formuladas em EIAs/RIMAs

Mining environmental licensing in the Quadrilátero Ferrífero of Minas Gerais State - analysys of the implementation of environmental control measures indicated in EIAs/RIMAs

José Francisco do Prado Filho, Marcelo Pereira de Souza.



ABES ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
 ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
 Capítulo Nacional da AIDIS



engenharia sanitária ambiental

ISSN 1413-4152

Vol.9 - Nº 4 - out/dez 2004 - Circulação: dezembro de 2004

A Revista Engenharia Sanitária e Ambiental tem por objetivo a publicação de contribuições técnicas e científicas originais nas áreas de saneamento e do meio ambiente e em suas interfaces. As contribuições são publicadas após aprovação de pelo menos dois componentes do Conselho Editorial e desde que atendam ao Regulamento para Apresentação de Contribuições, publicado no primeiro fascículo de cada ano e disponível em <http://www.abes-dn.org.br>

DIRETOR RESPONSÁVEL

José Aurélio Boranga

EDITORES CIENTÍFICOS INTERNACIONAIS

Adalberto Noyola, Bela Petry, David Duncan Mara, Jorge Arboleda Valencia

EDITORES CIENTÍFICOS NACIONAIS

Beatriz S. O. de Ceballos, Eugênio Foresti, Léo Heller, Sérgio João de Luca

CONSELHO EDITORIAL CIENTÍFICO

Adrianus van Haandel, Aristides de Almeida Rocha, Arlindo Philippi Jr., Armando Borges de Castilho Junior, Asher Kiperstock First, Cícero Onofre de Andrade Neto, Cleverson Vitorio Andreoli, Cristina Célia Silveira Brandão, Edmilson Teixeira, Eduardo von Sperling, Eglé Novaes Teixeira, Fernando Fernandes, Francisco Suetônio Mota, Harry Bollmann, Henry Xavier Corseuil, João Alberto Ferreira, João Sérgio Cordeiro, José Roberto Guimarães, Jurandy Povinelli, Lisete Celina Lange, Luiz Di Bernardo, Luiz Fernando de Abreu Cybis, Luiz Roberto Santos Moraes, Marcelo Libânia, Marco Antonio Almeida de Souza, Marco Antonio Penalva Reali, Marcos von Sperling, Mário Takayuki Kato, Miguel Mansur Aisse, Nelson Luiz Rodrigues Nucci, Odílio Clécio da Cruz Roque, Ricardo Franci Gonçalves, Rosana Filomena Vazoller, Rui de Oliveira, Sueli Faria, Szchana Eliasz Cynamon, Tania Mascarenhas Tavares, Wanderley da Silva Paganini

COORDENAÇÃO/EDITORAÇÃO

Maria Isabel Pulcherio Guimarães/Tirza Lima

CORRESPONDÊNCIA

Avenida Beira Mar, 216 - 13º andar
CEP: 20021-060 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil
Tel.: (21)2210-3221 - E-mail: esa@abes-dn.org.br

DISTRIBUIÇÃO

Associados da ABES, bibliotecas, universidades, órgãos públicos

PUBLICIDADE

CM Trade - Fernando Poyart
Tel.: (11)3262-2713 - E-mail: cmtrade@uol.com.br
Studio Criar - Michelle Louise
Tel.: (21)2293-0315 - Email: michelle.criar@uol.com.br

ASSINATURAS

ABES/Dep.Cadastro-Tel.: (21)2210-3221
Fax:(21)2262-6838-E-mail: cadastro@abes-dn.org.br

APOIO:



Os artigos assinados não necessariamente refletem a opinião da ABES.

INDEXAÇÃO: Repidisa - Rede Panamericana de Informaciones en Salud Ambiental
Home Page - <http://www.cepis.org.pe>



ABES ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
Capítulo Nacional da AIDIS

**DIRETORIA NACIONAL**

Presidente: José Aurélio Boranga, Vice-Presidente: Alexandre Bugin, Secretário-Geral: Evandro Rodrigues de Britto, Secretário-Geral Adjunto: Edmilson Fonseca, Tesoureiro-Geral: Sergio Antonio Gonçalves, Tesoureiro-Geral Adjunto: Paulo Cesar Quintanilha, Diretor da Região Norte: Luiz Otávio Mota Pereira, Diretor da Região Nordeste: Sérgio Bezerra Pinheiro, Diretor da Região Sudeste: Valter Vilela Cunha, Diretor da Região Sul: Afonso Veiga Filho, Diretora da Região Centro-Oeste: Rita Terezinha Queiroz Figueiredo

CONSELHO FISCAL

Titulares: Emiliano José Silva Santiago; Pedro Luis Ibraim Hallack; Rubens Falcão da Silva Neto

Suplentes: José Nelson de Almeida Machado; Luiz Fernando de Abreu Cybis; Renato Mayer Bueno

SUPERINTENDÊNCIA EXECUTIVA

Superintendente: Roberto Souza Barros, Assessoria Técnica: Anna Virgínia Muniz Machado, Maria Isabel Pulcherio Guimarães, Assessoria Institucional: Jorge Rodrigues de Andrade, Assessoria Financeira: João Batista Paiva, Gerência de Desenvolvimento e Treinamento: Vasti de Moura Ribeiro

CONSELHO DIRETOR MEMBROS NATOS

Antônio César da Costa e Silva (SP), Antônio Marsíglia Netto (SP), Clovis Francisco do Nascimento Filho (RJ), Evandro Rodrigues de Britto (RJ), Horst Osterstetter (EUA), Hugo de Mattos Santos (RJ), João Alberto Viol (SP), José Aurélio Boranga (SP), José Carlos Vieira (RJ), Lineu Rodrigues Alonso (SP), Luiz Otávio Mota Pereira (PA), Nelson Luiz Rodrigues Nucci (SP), Paulo Cezar Pinto (RJ), Walter Pinto Costa (RJ)

MEMBROS ELEITOS

Anna Virginia Muniz Machado; Antônio Carlos Gerardi; Carlos Alberto Rosito; Clarice Azambuja Arnt; Claudio von Sperling; Eduardo Farias Topazio; Eduardo von Sperling; Emilia Rutkowsky; Ernani Ciríaco de Miranda; Estanislau Marck; Fernando Penna Botafogo Gonçalves; Francisco André Martins Pinto; João Batista Comparini; Jorge Briseno Torres; Jorge Luiz Pereira Mendes; Jose Alves Nunes; José Dantas de Lima; Josemá de Azevedo; Manoel Imbiriba Junior; Maria de Lourdes Florêncio dos Santos; Maria do Carmo Varella Bastos; Marize Lechuga Moraes Boranga; Neide Pessin; Otto Elias Pinto; Roberto Souza Barros; Tarcio Paulo Dias Papa; Ulisses Cruz de Andrade; Valter Katsume Hirachi; Vasti Ribeiro Facincani; Wanderley da Silva Paganini

SEÇÕES ESTADUAIS (PRESIDENTES)

Ricardo de Castro Martins Vieira (AL), Marcia Adriana da Silveira (AM), José Roberto P. Franco Celestino (BA), Francisco Humberto de Carvalho Júnior (CE), Fausto de Marco Rabelo Filho (DF), Jacqueline Rogeria Bringhenti (ES), João Guimarães de Barros (GO), Pedro Aurélio da Silva Carneiro (MA), Eliana Beatriz Nunes Rondon Lima (MT), Aroldo Ferreira Galvão (MS), José Antônio da Cunha Melo (MG), Vera Maria Nobre Braz (PA), Fátima Morosine (PB), Reinaldo José Rodrigues dos Santos (PR), Antônio Geraldo Brandão Alves (PE), Joper Padrão do Espírito Santo (RJ), Maria Geny Formiga de Farias (RN), Maria Lúcia B. Coelho Silva (RS), Sebastião dos Reis Salvador (SC), Lineu Andrade de Almeida (SP), Liliana Pena Naval (TO)

ESTATUTO EM VIGOR

Alteração de Estatuto referendada pela Assembléia Geral Extraordinária, realizada em Joinville - SC, em 18 de setembro de 2003. Esta nova versão do Estatuto recebeu Protocolo nº 20040107-0946108 e foi averbada na matrícula nº 1244 do Registro Civil das Pessoas Jurídicas do Rio de Janeiro em 16 de abril de 2004.

Publicação trimestral da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, com tiragem de 10 mil exemplares. Fundada com o título Engenharia Sanitária em 1962 (V. 1: nº 1 - Junho de 1962), formato 18,0 x 26,0 cm, até o V. 12 nº 3, quando foi adotado o formato A4. A partir do V. 28: abr/jun de 1989, passou a chamar-se B10, com o formato 21,0 x 28,0 cm, sendo a Engenharia Sanitária transformada em encarte técnico da B10. A partir de 1996, retorna a Engenharia Sanitária, desta feita incorporando a palavra Ambiental (ANÔI - N° 1-Jan/Mar 1996).

LIVROS

Data Review on the Physical/Chemical Removal of *Cryptosporidium*
American Water Works Association Research Foundation

267-268

NOTAS TÉCNICAS

Indicadores para o monitoramento da sustentabilidade em sistemas urbanos de abastecimento de água e esgotamento Sanitário

Indicators of monitoring sustainability of the urban water supply and sewerage systems

Aline Branco de Miranda, Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira

269-279

Tratamento anaeróbio de resíduos orgânicos com baixa concentração de sólidos

Anaerobic treatment of organic wastes with low concentration of solids

Valderi Duarte Leite, Wilton Silva Lopes, José Tavares de Sousa, Shiva Prasad

280-284

Utilização de *wetland* construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB

Use of constructed *wetland* for the post-treatment of domestic sewage anaerobic effluent from UASB reactor

José Tavares de Sousa, Adrianus van Haandel, Eduardo Pedroza da Cunha Lima, Israel Nunes Henrique

285-290

Aplicabilidade das técnicas de determinação de tamanho de partículas em sistemas de tratamento de água e esgoto sanitário

Applicability of particle size measurement techniques in water and wastewater treatment systems

Hélio Rodrigues dos Santos, Gustavo Silva do Prado, Carlos Magno de Sousa Vidal, Rodrigo Braga Moruzzi, José Roberto Campos

291-300

ARTIGOS TÉCNICOS

Fatores ambientais associados às helmintoses intestinais em áreas de assentamento subnormal, Juiz de Fora, MG

Environmental factors related to intestinal helminth infections in subnormal settled areas, Juiz de Fora, MG

Júlio César Teixeira, Léo Heller

301-305

Integração de processos físico-químicos e oxidativos avançados para remediação de percolado de aterro sanitário (chorume)

Integration of physical chemistry and advanced oxidative processes for remediation of landfill leachate

Jailson Rodrigo Pacheco; Patricio G. Peralta-Zamora

306-311

Avaliação das perdas físicas de um setor da rede de abastecimento de água de Campo Grande-MS via modelo inverso

Leakage evaluation in a water supply network sector of Campo Grande-MS through inverse model

Alexandre Kepler Soares, Peter Batista Cheung, Luisa Fernanda Ribeiro Reis, Marilúcia Pereira Sandim

312-321

Qualidade microbiológica da água em rios de áreas urbanas e periurbanas no baixo Amazonas: o caso do Amapá

Microbiologic water quality in urban and periurban rivers on low Amazon river - study of case: Amapá State

Alan Cavalacanti da Cunha, Helenilda Ferreira Albuquerque Cunha, Antônio César Pinho Brasil Júnior, Luis Antonio Daniel, Harry Edmar Schulz

322-328

Índice de impacto dos resíduos sólidos urbanos na saúde pública (IIRSP): metodologia e aplicação

Impact index of solid wastes management systems on public health (IIRSP): methodology and application

Ana Beatris Souza de Deus, Sérgio João de Luca, Robin Thomas Clarke

329-334

Fotocatálise heterogênea com TiO_2 aplicada ao tratamento de esgoto sanitário secundário

TiO_2 heterogeneous photocatalysis in secondary wastewater treatment

Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira, Luiz Antonio Daniel

335-342

O licenciamento ambiental da mineração no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais – uma análise da implementação de medidas de controle ambiental formuladas em EIAs/RIMAs

Mining environmental licensing in the Quadrilátero Ferrífero of Minas Gerais

State – analysis of the implementation of environmental control measures indicated in EIAs/RIMAs

José Francisco do Prado Filho, Marcelo Pereira de Souza

343-349

RESA: Revista Engenharia Sanitária e Ambiental / Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - Vol. 9 - n° 4 out/dez - Rio de Janeiro/RJ: ABES, 2004.

Trimestral

ISSN 1413-4152

1. Engenharia Sanitária e Ambiental

1. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental

CDD: 628

ARTIGO TÉCNICO**QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA EM RIOS DE ÁREAS URBANAS E PERIURBANAS NO BAIXO AMAZONAS:
O CASO DO AMAPÁ****MICROBIOLOGIC WATER QUALITY IN URBAN AND PERIURBAN RIVERS ON LOW AMAZON RIVER - STUDY OF CASE: AMAPÁ STATE***ALAN CAVALACANTI DA CUNHA*

Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá – IEPA. Prof. da Faculdade do Amapá-FAMAP

*C 972g.**HELENILZA FERREIRA ALBUQUERQUE CUNHA*

Universidade Federal do Amapá – UNIFAP, Ciências Sociais

ANTÔNIO CÉSAR PINHO BRASIL JÚNIOR

Universidade de Brasília – UnB, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Eng. Mecânica

*LUIS ANTONIO DANIEL*Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Hidráulica e Saneamento,
Laboratório de Hidráulica Ambiental e Laboratório de Saneamento*HARRY EDMAR SCHULZ*Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Hidráulica e Saneamento,
Laboratório de Hidráulica Ambiental e Laboratório de Fenômenos de Transporte

Recebido: 29/03/04 Aceito: 09/08/04

RESUMO

O presente estudo versa sobre a variação espacial-temporal de parâmetros da qualidade da água e foi realizado em quatro rios estuarinos próximos às cidades de Macapá e Santana (AP) – Brasil, e trata especialmente de poluição microbiológica (coliformes fecais – CF), delineada em pesquisa de campo ocorrida entre o período de setembro de 1999 a setembro de 2002. A análise espacial-temporal dos parâmetros bacteriológicos mostrou um significativo grau de comprometimento e degradação ambiental em algumas seções de coleta. A obtenção de faixas de concentração mostrou-se importante para avaliar as freqüências e distribuições estatísticas de parâmetros da qualidade da água, principalmente para indicar riscos à saúde pública e aos ecossistemas aquáticos. Finalmente, devido a quase completa ausência de informações hidrodinâmica e climática sistematizada, a abordagem fundamentou-se na utilização de análise estatística. Contudo, verificou-se uma tendência de aderência dos dados a uma distribuição normal e um grau de deterioração da qualidade da água já presente nas seções estudadas.

PALAVRAS-CHAVES: Amazônia, rios estuarinos, poluição microbiológica, monitoramento, qualidade da água.

ABSTRACT

This study presents the spatial and temporal variability of water quality parameters in rivers of Macapá and Santana region, State of Amapá, Brazil, especially faecal coliforms (FC), being used as indicators. Laboratory and field experiments were conducted in four estuarine rivers. The experiment included five sampling locations and the research was conducted from September 1999 to September 2002. Samples were collected once a monthly. The results of analysis provided us useful information for sanitary and public health planning. In addition, a socio-economic study of several critical areas in the watershed was carried out. The results showed high faecal coliform concentrations. The complexity of space-temporal variability of the water quality was affected by various factors, such as climatic conditions, tidal variation and human activities. This information can be used in forecasting environmental and public health risks.

KEYWORDS: Amazon, stuarine rivers, microbiologic pollution, monitoring, water quality.

INTRODUÇÃO

Estudar objetivamente qualquer característica ambiental, social, econômico-

ca ou de qualquer outra natureza, na atuação realidade altamente dinâmica da Amazônia, é antes de tudo um exercício de pioneirismo. Esta afirmação não pretende

de ser deletéria, nem tampouco se revestir de uma falsa carapaça de valor com base em pretensas dificuldades. Ela apenas pretende deixar claro que há muitas

lacunas de conhecimento, de monitoramento, de história científica nas regiões que ora apresentam alterações aceleradas do meio, das comunidades humanas e dos fatores de produção e agregação de valores. Independentemente de planejamentos e da presença da ciência, as ações "acontecem", avançando as fronteiras das consequências da presença humana e alterando situações ainda não convenientemente catalogadas e quantificadas. Em outras palavras, a memória natural paulatinamente é perdida pelo simples fato de ser desconhecida, para implantar-se uma realidade já significativamente alterada.

Caminhando no sentido de registrar pelo menos momentos observados das alterações mencionadas, uma vez que o ambiente natural é uma realidade muitas vezes desconhecida, estudos estão sendo conduzidos para avaliar a qualidade das águas em sítios adequadamente escolhidos. Assim, em zonas estuarinas próximas às cidades de Macapá (capital do Estado) e Santana (segunda maior cidade), considerando os complexos fenômenos autodepurativos envolvidos devido às condições locais, tem-se observado uma forte alteração dos níveis de concentração de coliformes fecais (CF) em alguns corpos de águas, em especial nas áreas de drenagem próximas e intercortadas por zonas urbanas e periurbanas dessas cidades. A origem das perturbações na qualidade da água deve-se, de fato, à várias causas simultâneas decorrentes de ações antrópicas e de condicionantes naturais, como o aumento da densidade populacional, a influência de marés e a precipitação pluviométrica em certas épocas do ano (ver Cunha et al., 2001, a, b). Entre as causas antrópicas destacam-se os efluentes oriundos de esgotos, os quais estão vinculados às atividades urbanas, agrícolas, portuárias e industriais. Esses poluentes comportam-se tanto de forma pontual quanto difusa, o que tem sido verificado pelo monitoramento.

Quanto às causas naturais, pode-se dizer que ainda são pouco compreendidas. Interessantemente, locais mais distantes dos centros urbanos ocasionalmente apresentam valores anormais de CF, por exemplo (Cunha et al., 2001a). Contudo, é possível observar seus efeitos intensificadores ou mitigadores sobre a qualidade da água nos locais estudados, como é o caso da intrusão do Rio Amazonas nesses corpos de água (Cunha et al., 2000 b, c).

A constatação dos efeitos antrópicos negativos sobre os corpos de água estu-

dados suscitaram a realização de estudos e investigações mais detalhadas, com o objetivo precípicio de identificar e diagnosticar os impactos e, eventualmente, avaliar o seu nível. Em um horizonte mais distante, visa-se que esta informação auxilie na mitigação dos efeitos deletérios desses impactos ao meio ambiente e à saúde humana. Como desdobramento ideal da pesquisa, espera-se poder contribuir de forma mais objetiva para a gestão dos recursos hídricos e para o planejamento e gestão de bacias hidrográficas regionais. Vale sempre lembrar que a água é, nos nossos dias, uma questão estratégica.

DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

Os escoamentos naturais em escala de rios envolvem fenômenos de transporte de grandezas físicas, que, por sua vez, ocorrem em regime turbulento. Essas grandezas físicas podem ser, por exemplo, sedimentos, massas de poluentes, concentração de microorganismos, massas termicamente afetadas, entre outros. Embora idealmente equacionados, os transportes turbulentos apresentam dificuldades formidáveis de quantificação para os ambientes naturais. A sua quantificação detalhada é momentaneamente uma questão sem resposta adequada, apesar de esforços nesse sentido (Schulz, 2001, 2003). Processos naturais, como a dispersão de poluentes na água, dependem essencialmente do escoamento ou da hidrodinâmica da corrente. Porém, o próprio escoamento é dependente de fatores externos a ele, como características fisiográficas, meteorológicas, físico-químicas, antrópicas, biológicas, entre outras (Cunha, 2000; Velz, 1984; McCuthcheon et al., 1989; Lung, 1993; Chapra, 1997).

Pode-se dizer que a capacidade de dispersão, diluição ou autodepuração de cada corpo de água corrente é uma característica particular e, em seu próprio contexto, altamente variável. Daí decorre a dificuldade de se estudar características generalizadoras desses processos. Velz (1984) afirma que o caráter dos recursos hídricos é dinâmico e complexo (por exemplo, ressaltam-se as regiões estuarinas, com suas variações espaciais e temporais), e que o equilíbrio estável no ambiente hidrológico é estabelecido através de interações complexas entre a água, o canal de escoamento e a cobertura de vegetação, os quais são relativamente variáveis no tempo (tema também visto em

Cunha, 2001; Cunha et al., 2000a; Cunha et al., 2002a,b).

A natureza dos sistemas de drenagem é radicalmente influenciada pela fisiografia (em uma bacia razoavelmente estável, os fatores determinantes como o clima, precipitação, temperatura, velocidade do vento, pressão de vapor, radiação solar, são altamente variáveis no tempo e no espaço), que induz a variações no escoamento e na capacidade de assimilação de resíduos (Siqueira, 1996; Siqueira et al., 1997; Siqueira & Cunha, 2001; Lung, 1993; Velz, 1984). Isto influencia nas características dos canais, os quais têm um papel maior sobre a dispersão, diluição ou autodepuração dos corpos de água.

Um aspecto relacionado indiretamente com os processos de troca e dispersivos é a *disposição* das águas residuárias, associada evidentemente ao impacto ambiental. Segundo Metcalf & Eddy (1991), os regulamentos ambientais, critérios, políticas e revisões visam garantir que os impactos ambientais causados por descargas de águas residuárias tratadas ocorram em níveis aceitáveis. Esta estrutura regulamentar tem implicações na seleção do local da descarga, das estruturas de lançamento e no nível de tratamento requerido. Conseqüentemente, tratamento e disposição locais estão ligados e não podem ser considerados independentemente (Cunha et al., 2001; Velz, 1984).

Em regiões afetadas pelas condições costeiras (presente estudo), como as marés, os fenômenos de autodepuração, dispersão e diluição de poluentes microbiológicos nos corpos de água têm sido abordados com o uso de diferentes pontos de vista ou metodologias. Em uma rápida análise podemos citar cinco desses pontos de vista ou metodologias: (a) ciclo de maré, (b) modelo matemático, (c) modelo experimental, (d) abordagem estatística e (e) abordagem racional. A abordagem do *prisma da maré* (ciclo da maré) considera o corpo de água completamente disponível para a diluição, sendo que os resíduos fluem para o mar após cada ciclo de enchente e vazante, não retornando na próxima enchente (Velz, 1984; Cunha et al., 2002a). A hipótese decorrente deste ponto de vista pouco se aplica a realidade estudada no Amapá.

A abordagem dos *modelos matemáticos* aplica conclusões da mecânica dos fluidos e dos fenômenos de transporte com diferentes graus de complexidade, dependendo do grau de detalhamento

desejado. O uso de modelos matemáticos geralmente decorre da necessidade de *previsões*, quando a medida não está disponível. Em sua forma mais simples, utilizam-se soluções obtidas para a dispersão e transporte de poluentes em correntes (Cunha et al., 2002a). A adoção de modelos não-detalhados (unidimensionais, por exemplo) impõe o uso de hipóteses simplificadoras bastante radicais para o conjunto de variáveis existentes no caso real. A impossibilidade de considerar a superfície da água um contorno em um modelo unidimensional horizontal, por exemplo, culmina com o uso de aproximações empíricas ou *ad hoc* para modelar a transferência de gases interfacial, por exemplo. Aproximações desse tipo são limitadas e devem ser vistas com reservas pelos projetistas. Vale mencionar que há modelos de transporte de poluentes bastante detalhados, que incorporam a resolução dos campos de velocidade e das grandes turbulências associadas, e que conduzem a boas previsões acerca dos fenômenos dispersivos tanto em rios, como lagos e estuários. Contudo, quanto mais um modelo se aproxima da realidade, mais informações acerca dessa realidade devem ser fornecidas para que os resultados correspondam a boas previsões (dados geográficos, cobertura vegetal, etc.).

As complexidades inerentes ao uso dos modelos matemáticos e experimentais têm talvez afastado os pesquisadores que necessitam de resultados mais imediatos, resultando no surgimento do uso da abordagem dita *estatística*. Em princípio, não se definem ou formulam relações fundamentais governantes, confiando-se essencialmente nos resultados de uma análise estatística adequada de dados coletados acerca da qualidade da água observada (Cunha et al., 2002b; Velz, 1984). A utilidade de tal abordagem está na interpolação possível dentro da estrutura de dados disponível, uma vez que não se extraem imediatamente conclusões gerais, por não haver vínculo construído *a priori* com os fundamentos dos processos relevantes (como a hidrodinâmica, ou o clima, fatores antrópicos, etc., na construção de um modelo). Não obstante, conclusões referentes à distribuição probabilística (funções de densidade de probabilidade, por exemplo) podem ser

extraídas de massas de dados, podendo constituir uma característica de fato do fenômeno. Exemplos podem ser vistos em Lakhan (1989), que demonstra que parâmetros físicos como as elevações de ondas apresentam uma distribuição de Rayleigh; as faixas ou amplitudes de marés são normalmente distribuídas; velocidades de corrente ao longo da costa são exponencialmente distribuídas; e o tamanho da partícula do sedimento pode ser distribuído por uma log-normal. Esta é a abordagem mais utilizada no presente estudo em decorrência das dificuldades anteriormente mencionadas.

Finalmente, menciona-se, no contexto do estudo de áreas costeiras, a abordagem dita *racional*, que busca contornar as complexidades inerentes às abordagens com uso de modelos matemáticos incorporando informações decorrentes de *estudos intensos* no local. Visa-se que as características dinâmicas sejam mensuradas da forma mais completa possível, como os efeitos cíclicos de variação de maré e dos parâmetros da qualidade da água, principalmente a salinidade, em cada trecho de rio estudado. Evidentemente consideram-se os fatores e parâmetros reconhecidos como relevantes nos processos e as modificações associadas com a translação da maré e intrusão da frente de concentração da água salgada nas regiões estuarinas (Velz, 1984; Lung, 1993). No presente estudo também buscou-se caminhar no sentido de uma abordagem racional, coletando dados dos corpos de água, as vazões em um ciclo de maré (obtidas com equipamento ADCP¹) no Igarapé da Fortaleza, Vila Nova e Matapi. O equipamento foi gentilmente cedido pela UnB/ANA.

METODOLOGIA E PESQUISA DE CAMPO

Durante a execução e planejamento dos trabalhos de campo e laboratório (IEPA/SEMA) verificou-se localmente a ampla variação espaço-temporal da concentração de poluentes microbiológicos, que é governada principalmente por funções de força *climáticas*, de *marés* e *antrópicas*. A Figura 1 mostra detalhes da área estudada. Os pequenos círculos no mapa indicam os locais de coleta de

amostras de água, onde estão compreendidos trechos de quatro bacias hidrográficas estudadas: Paxicu, Fortaleza, Matapi e Vila Nova.

As concentrações de coliformes fecais foram determinadas em laboratório de análise da qualidade da água (SEMA/IEPA) pela técnica de tubos múltiplos. Os trechos escolhidos para o monitoramento foram determinados por fatores tais como uso da terra, riscos ambientais, influência de tributários derivados de corpós de águas poluídos e não poluídas em áreas urbanas e periurbanas próximas de Macapá e Santana (Cunha et al., 2000; Cunha et al., 2001a,b). O período da investigação abrangeu desde o mês de setembro de 1999 até setembro de 2002, configurando-se em 34 campanhas já realizadas (duas perdidas). As campanhas foram normalmente realizadas na última semana do final de cada mês, no horário entre 8:00 – 14:00h, geralmente nas segundas ou terças feiras, independente de maré, clima ou condição ambiental, com o objetivo de obter as séries históricas. A logística de transporte indicou que as distâncias entre os pontos de coleta foram: máxima 22 km e mínima 0,5 km (ver Figura 1).

As componentes sócio-econômicas das populações ribeirinhas foram também consideradas importantes no processo para avaliar a sensibilidade das populações ribeirinhas quanto a poluição dos recursos hídricos. Para tanto, realizou-se levantamentos sobre o perfil das atividades antrópicas consideradas mais relevantes para as análises no contexto da pesquisa. Parte deste estudo (bacia do Igarapé da Fortaleza) está resumida na Tabela 1.

Foram indicadas as quatro principais zonas estudadas na Bacia do Igarapé da Fortaleza (tema de estudo de Cunha & Couto, 2003). Esta foi considerada a área mais impactada pela poluição microbiológica, por se localizar entre as cidades de Macapá e Santana e foi destacada para indicar os setores mais atuantes em pelo menos uma bacia hidrográfica estudada.

¹ Acoustic Doppler Current Profiler. O equipamento transmite ondas sonoras através da água. As partículas, carregadas pela corrente de água em diferentes profundidades refletem o som de volta para o equipamento, que escuta o eco através de seus sensores. O retorno do som de partículas a diferentes profundidades faz com que os sensores do ADCP também reconheçam diferentes profundidades. Isto faz com que o equipamento construa um perfil vertical da coluna d'água. O movimento das partículas d'água causa mudança na frequência do eco. O ADCP mede essa mudança, denominada de efeito doppler como uma função da profundidade para obter a velocidade de corrente em até 128 posições diferentes na coluna d'água. Para exemplificar, caso utilizássemos os procedimentos convencionais para a realização dessa tarefa, necessitaríamos de 128 correntômetros ou 128 molinetes trabalhando sincronizadamente (Sousa e Kosuth, 2001).

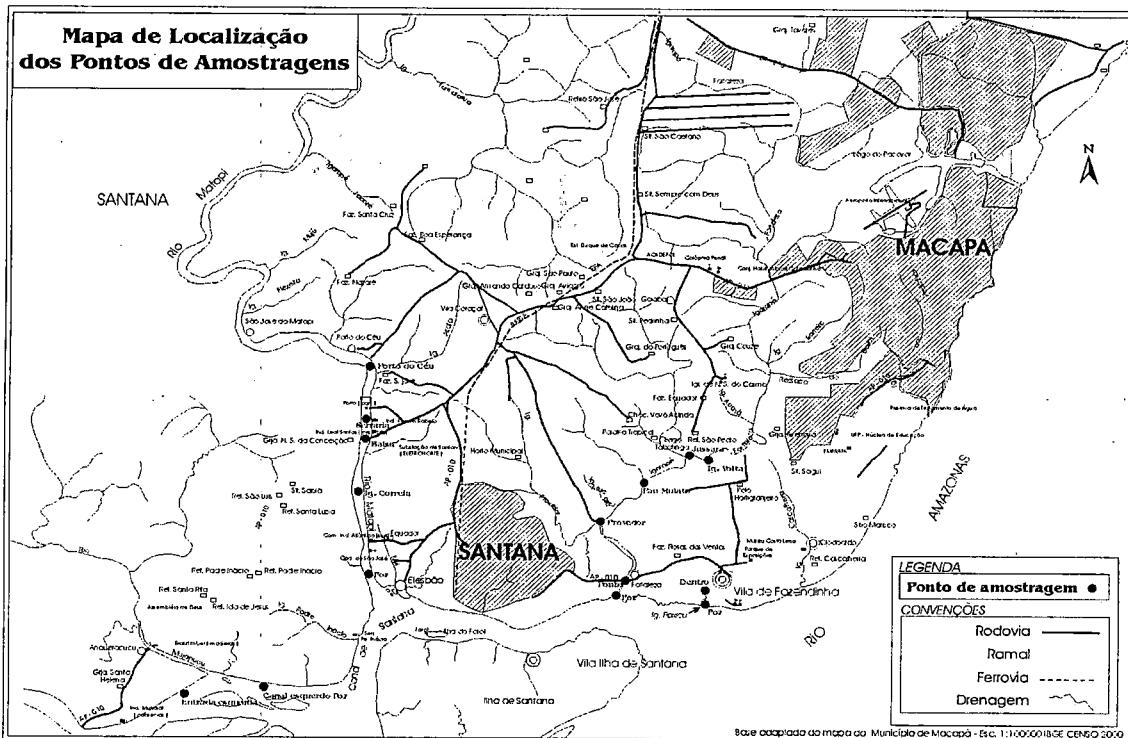


Figura 1 - Mapa da região estudada, indicando os 15 pontos de coleta no período de setembro de 1999 a setembro de 2002. Fonte Cunha et al. (2001a)

Tabela I - Zoneamento ecológico e econômico na micro-bacia do Igarapé da Fortaleza. Definição de setores importantes para o estudo, segundo a visão da própria comunidade e órgãos institucionais participantes do DRP-2003

Fonte: Cunha & Couto (2003)*

Zona	Características sócio econômicas	Características ambientais
Provedor-Ponte	- Maior concentração populacional e atividades urbanas.	- Área ocupada e urbanizada desordenadamente. - Trecho de mata de terra-firme atrás do Colégio da Fortaleza. - Altos níveis de poluição do Igarapé Provedor. - Pequena criação de búfalos.
REBIO da Fazendinha	- Extração de madeira e coleta de açaí. - Porto 24 horas. - Maior parte das atividades rurais da população (pesca, extração de madeira e palmito e coleta de açaí) é realizada fora da reserva. - A ocupação se dá pela atração dos benefícios dos equipamentos e serviços urbanos.	- Floresta de várzea. - Área protegida legalmente.
Calha do Igarapé Fortaleza e afluentes	- Pecuária. - Pequena pesca artesanal de camarão e peixe. - Manejo de açaizal. - Presença de produtores rurais dedicados a roça de cana, milho, macaxeira e sistemas agro-florestais com açaí, cupuaçu, goiaba. - balneários.	- Presença de várzea e mata de terra-firme. - Nas cabeceiras de braços do Ig. - Fortaleza ocorrem pequenos igapós que servem como berçários de peixes. - Na terra firme são feitas construções. - A mata ciliar tem sido afetada para implantação de pastos e balneários e extração predatória de palmito de açaí.
Lagoa dos Índios e Ressacas de Cima (Congos, Zerão, Buritizal e Infraero)	- Lago utilizado como área de lazer, pesca artesanal e banho - Concentração de comércios e grande número de funcionários públicos. - Existência de uma comunidade remanescente de quilombo com aproximadamente 50 famílias, organizadas em 2 associações. - Produção de farinha, milho e feijão, para comercialização.	- Marcado pela lagoa e ressacas. - Alta concentração de infra-estrutura urbana, com residenciais de classe média na lagoa e construções irregulares pela classe baixa nas ressacas. - Resquícios de mata de terra firme no entorno das ressacas. - Altos níveis de poluição. - Ausência de fiscalização ambiental.

* Dados ainda não publicados – DRP-SETEC (2004 - prelo)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra a variabilidade espacial-temporal da concentração de CF nas áreas analisadas. A flutuação da concentração tem sido determinada principalmente por variações e dinâmica de marés. Contudo, o padrão de comportamento tende a se tornar mais complexo com o efeito de precipitações pluviométricas, do período de janeiro a abril. Observa-se também que a concentração na escala logarítmica ultrapassa freqüentemente o nível máximo permitido para rios Classe 2, de acordo com a Resolução 20 do CONAMA (isto é, log CF = 3,0). O eixo temporal indica o número da coleta a partir de setembro de 1999, mês 1. O último mês, 36, indica a coleta de setembro de 2002.

O gráfico da Figura 3 permite avaliar a distribuição estatística da concentração de CF conjuntamente para todos os pontos de coleta. A partir de uma breve observação, verifica-se que, partindo de $Y \approx 3,0$ em direção à curva ajustada e desta até o eixo X, há uma probabilidade de pelo menos 55% de a concentração média global ser igual ou superior a 1000 (ou seja, log CF $\approx 3,00$), indicando os riscos associados a estes valores acima do permitido por lei. Simplificando a interpretação meramente numérica mencionada, verifica-se que, globalmente, já há um grau de comprometimento da qualidade da água, tanto espacialmente quanto temporalmente.

A Figura 3 demonstra ser possível registrar de forma adequada o momento presente das condições de qualidade de água em uma região ainda carente desses dados. A série histórica gerada para os dados de CF e expressa na Figura 3 incorporou, com confiabilidade bastante marcante ($R^2 = 0,95$), as possíveis influências sobre a variabilidade de concentração, mostrando ainda que os dados são bem ajustados a uma curva normal. Este resultado é relevante, porque se mostra que é possível realizar avaliações globais em regiões extensas com a presente metodologia, ou seja, utilizando uma ferramenta estatística simples, sendo possível "filtrar" as possíveis interferências da variabilidade dos fatores que interferem na freqüência, distribuição e nível de concentração espacial-temporal da poluição microbiológica nas áreas estudadas.

A Figura 4 representa um conjunto de dados que mostra o comportamento temporal de parâmetros hidrodinâmicos

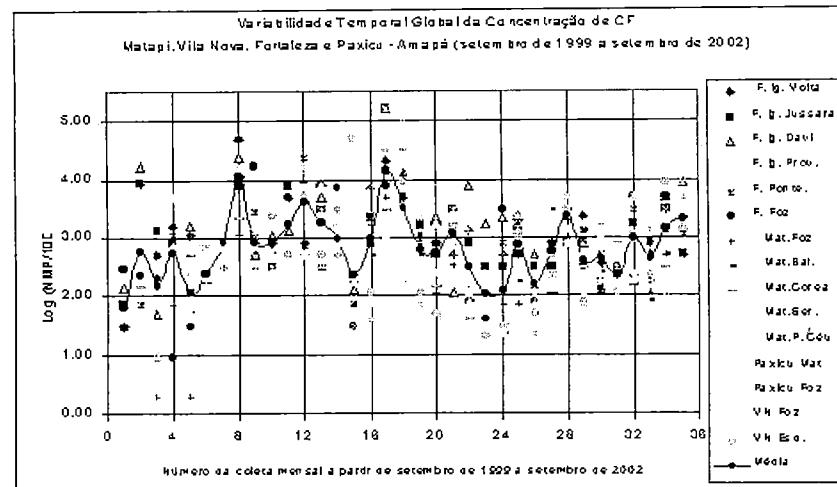


Figura 2 - Variabilidade espaço-temporal da concentração de CF.
Os pontos representam cada coleta mensal nos quinze pontos monitorados durante três anos (NMP CF/100mL da amostra)

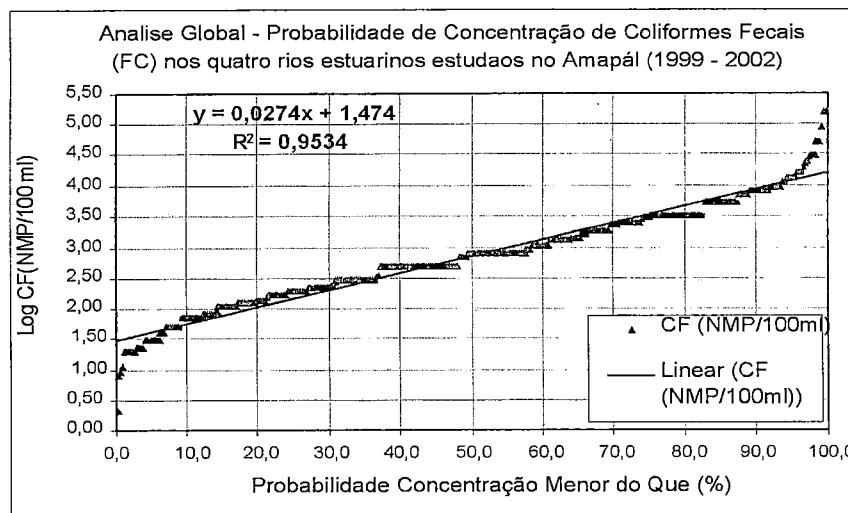


Figura 3 - Curva de probabilidade da concentração global média dos quinze pontos monitorados conjuntamente (log NMP CF/100mL da amostra).
Verifica-se o forte ajuste à normalidade, indicado pelo coeficiente R^2 .
Observe os pontos acima do valor 3,0 permitido pelo CONAMA, rio classe -2

(vazão e velocidade média, obtidas com o uso do ADCP) e de qualidade da água (coletas analisadas em laboratório) para o período de tempo de um ciclo de maré, no Igarapé da Fortaleza. Nessa figura observa-se a influência evidente da maré na vazão e na velocidade, bem como na turbidez e na condutividade. Os demais parâmetros, nesta coleta de dados, mantiveram-se relativamente inalterados.

A Figura 5, por sua vez, mostra a interessante correlação observada entre o comportamento das precipitações (uma variável climática) e a concentração de CF na área estudada.

Verifica-se que é possível, mesmo em um contexto algo limitado para pesquisas ambientais, observar o comportamento hidrodinâmico juntamente com a ava-

liação da qualidade da água em um ciclo completo de maré, conforme mostrado para o Igarapé da Fortaleza. A variabilidade de alguns parâmetros de qualidade da água, em conjunto com a invariabilidade de outros, demonstra que o ambiente abordado é complexo. Mas os resultados demonstram, sobremaneira, que estudos convenientemente conduzidos, ainda que simples, permitem gerar dados que mostram a influência de fatores naturais, sobre a qualidade da água, como o clima e as marés, e de fatores antropogênicos.

CONCLUSÕES

Foi realizado um estudo para determinar a intensidade e as faixas de variação de concentração de coliformes fecais

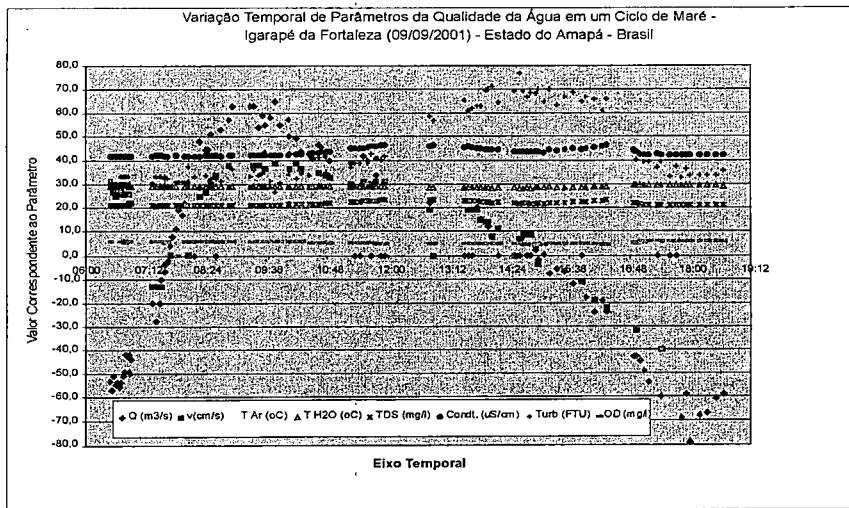


Figura 4 - Comportamento da variação temporal de parâmetros hidrodinâmicos (vazão e velocidade médias) e de qualidade da água no Igarapé da Fortaleza. Neste experimento não constou CF

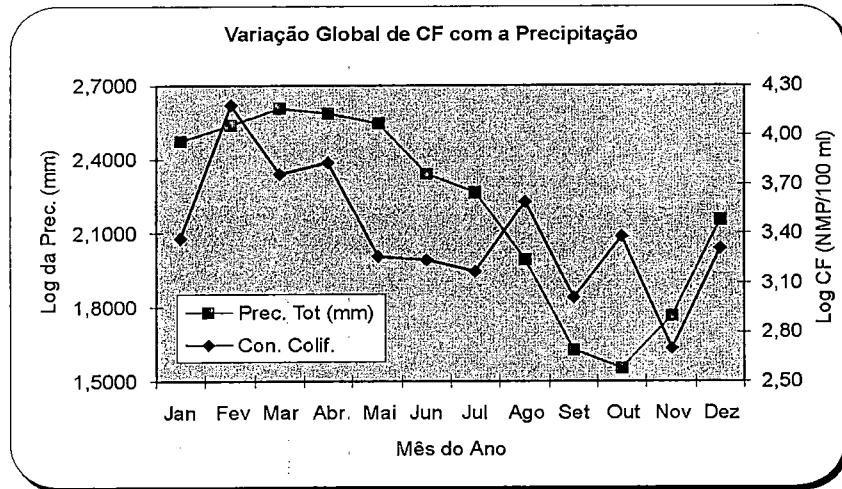


Figura 5 - Comportamento da concentração global média de CF em função das normais climatológicas de Macapá (Fonte: Site INMET-2003).
Observam-se os elevados níveis de CF com a presença de chuvas

e de alguns parâmetros de qualidade da água em rios estuarinos próximos de áreas urbanas e periurbanas de Macapá e Santana. As concentrações de CF foram utilizadas como indicadoras de poluição e respectivo grau de interferência antrópica que provavelmente tem resultado no desequilíbrio dos ecossistemas aquáticos estudados, principalmente causados pelos efeitos de lançamento de esgotos e resíduos domésticos em corpos de água superficiais.

Uma primeira informação relevante relacionada ao levantamento desta série histórica é a possibilidade de verificação (quantificação) do nível de variabilidade das concentrações de CF ao longo do tempo e do espaço (Figura 2). Uma segunda informação relevante é que toda a variabilidade observada, quando orga-

nizada em uma função de distribuição estatística, indica comportamento de uma curva normal, ajustada com 95% de significância (Figura 3). O fato desta distribuição estar bem definida (e aderida a uma curva normal) é uma informação preciosa para tomadores de decisão, visto que, mantendo-se a tendência de antropização nesta área, a confiabilidade de decisões técnicas em saneamento e saúde pública podem ser tomadas com antecipação.

Uma terceira informação diz respeito à tendência misteriosa usual de que esta região do rio Amazonas é capaz de diluir "imensas" quantidades de poluentes. Os resultados parecem indicar antes que as plumas de poluentes não se dispersam completamente e seguem correntes preferenciais do escoamento. Ao

mesmo tempo, essas plumas seguem uma "mão dupla de movimento" (por assim dizer) governada pelas forças de marés e, ocasionalmente, das precipitações pluviométricas (Figura 5). Entre outros fatores eventualmente ainda não descritos, esses aqui mencionados contribuem para a explicação dos elevados níveis de CF nestes corpos de água, aparentemente tão saudáveis a olho nu.

Como já mencionado, os resultados servem de base para a tomada de decisões em regiões semelhantes, bem como para a geração de novos dados nessas regiões.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro da pesquisa cedido pelo CNPq e IEPA e o apoio do LAQ/SEMA. À FAPESP, por manter a linha de pesquisa em aeração de corpos de água junto à EESC/USP. Essas instituições, em conjunto, permitem a integração de conhecimento relevante às tomadas de decisão vinculadas à qualidade de água.

REFERÊNCIAS

- CHAPRA, S. C. *Surface Water-Quality Modeling*. McGraw-Hill. Texas, EUA. 844 p. 1997.
- CUNHA, A. C. *Monitoramento, Parâmetros e Modelos de Qualidade da Água*. Macapá/AP: Secretaria de Estado do Meio Ambiente - AP. 83 p. 2000.
- CUNHA, A. C.; CUNHA, H. F. A. & SIQUEIRA, E. Q. Water Pollution Survey in Rivers of the State of Amapá-Brazil. In: V Workshop Ecolab, Nov, 19-25. Macapá/AP/Brazil. p 315-323. 2000a.
- CUNHA, A. C., BARBOSA Jr.; A. SCHULZ, H. E. Revista Amapá Ciência e Tecnologia. "Processos de Transferência de Massa Através da Interface Ar-Agua: Uma Revisão Descritiva". Período: Abril. Vol. 2, N. 1, pp 20-42. Local: UNIFAP. Macapá-AP. 2000b.
- CUNHA, A. C.; SIQUEIRA, E. Q. & CUNHA, H. F. A.: "Processos de Avaliação das equações de previsão do coeficiente de reaeração no modelo QUAL2E para a modelagem de oxigênio dissolvido: estudo de caso no Ribeirão do Feijão (São Carlos-SP)". Revista AP C&T. Abril. V. 2, n. 1, pp 90-111. Local: UNIFAP. Macapá-AP. 2000c.
- CUNHA, A. C.; CUNHA, H. F. A. & SIQUEIRA, E. Q. "Diffuse Pollution Survey in Rivers of Southeast of Amapá State – Brazil". In: 5th International Conference on Diffuse/Nonpoint Pollution and Watershed Management, Milwaukee, Wisconsin, Proceedings, EUA, June, 10-15. CD-ROM. 2001.
- CUNHA, A. C. "Levantamento de Parâmetros Físico-químicos e Hidráulicos para a Avaliação da Qualidade da Água em escoamentos naturais – Desenv. do Distrito Industrial na Bac. do Rio

- Matapi". Rel. Na. p/ CNPq/IEPA. Macapá-AP, Set., 58p. 2001.*
- CUNHA, A . C. & CUNHA, H. F. A.: "Monitoramento de Águas Superficiais em Rios Estuarinos do Estado do Amapá sob Poluição Microbiológica. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra (Volume Especial ECOLAB). 2002a.
- CUNHA, A . C., et al.: "Approaches to Evaluation of Self-purification in Estuarine Rivers of Southeast of Amapá State - Brazil. In: ABEQUA - VIII CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO QUATERNÁRIO:Período. Local: Mariluz, Imbé - Rio Grande do Sul. 2002b.
- CUNHA, A. C. & COUTO, A.(Orgs). Diagnóstico Rápido Participativo da Bacia do Igarapé da Fortaleza-AP. SETEC/GEA. 55p. 2003.
- LAKHAN, V. C. Ed.. *Modeling and simulation of the coastal system*. In: Applications in Coastal Modeling. Elsevier Oceanography Series, n. 49, pp. 17 - 41. 1989.
- LUNG, SENG-WU. *Water quality modeling*. Vol III: Application to Estuaries. CRC Press, Inc.USA. 194 p. 1993.
- METCALF & EDDY, Inc. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. 3^a ed. McGraw-Hill, series in Water Res.and Envir. Engineering, New York.1334 p. 1991.
- McCUTHEON,S.C.; FRECH,R.H: *Water quality modeling: transport and surface exchange in rivers*. v. 1.Series Edit. CRC Pres. Inc. Boca Raton, Florida. EUA. 334p. 1989.
- SCHULZ, H.E. *Alternativas em Turbulência*, Impresso pela EESC/USP, Editora RIMA, São Carlos, S.P. 2001.
- SCHULZ, H.E. *O Essencial em Fenômenos de Transporte*, Impresso pela EESC/USP, Editora RIMA, São Carlos, S.P. 2003.
- SIQUEIRA, E. Q. *Aplicação do Modelo de Qualidade de Água (QUAL2E) na Modelação de Oxigênio Dissolvido no Rio Meia Ponte (GO)*. São Carlos-SP. Dissertação (Mestrado) - SHS - Escola de Engenharia de São Carlos, USP-SP. 90p. 1996.
- SIQUEIRA, E. Q; CUNHA, A. C. *O Coeficiente de Reoxigenação no Modelo QUAL2E: Metodologia de Previsão*. In: 19º CONGRESO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, Foz do Iguaçu, Paraná, 14 a 19 set. Anais. 1997.
- SIQUEIRA, E. Q; CUNHA, A. C. "Re-oxygenation coefficient in model QUAL2E: Prediction methodology". Int. Stormwater and Urban Water Syst. Modeling Conf. Monog. 9 in the Series, Proc. of the Conference on Stormwater and Urban Systems Modeling, Toronto, Ontario, Guelph. Edited by Willian James. Computational Hydraulics International (CHI). Período 24-25 de fevereiro de 2000. pp. 153-160. 2001.
- SILVA, M.S.; KOSUTH, P. 2001 – Comportamento das vazões do rio Matapi em 27.10.2000. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 8. Imbé-RS. Resumos, ABEQUA, p. 594-596.
- VELZ, C. J. *Applied Stream Sanitation*. A Wiley-Interscience Publication. Second Edition. Michigan, EUA. 799 p. 1984.

Endereço para correspondência:

Alan Cavalcanti da Cunha
SQS 313, Bl. E - Aptº 202
70382-050 - Brasília - DF - Brasil
Tel.: (61) 245-8082
E-mail: accunha@mct.gov.br



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

**Saneamento Ambiental no Brasil:
Utopia ou Realidade?**

Data: 18 a 23 de setembro de 2005

**Local: Centro de Exposições Albano Franco
Campo Grande - MS**