



GOVERNO DO ESTADO DO AMAPÁ
INSTITUTO DE PESQUISAS CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS DO ESTADO DO AMAPÁ - IEPA
CENTRO DE PESQUISAS AQUÁTICAS - CPAQ

**LEVANTAMENTO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E HIDRÁULICOS PARA A
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM ESCOAMENTO NATURAL NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO MATAPI - O DESENVOLVIMENTO DO DISTRITO
INDUSTRIAL DE SANTANA-AP**

CANDIDATO: ALAN CAVALCANTI DA CUNHA

PROCESSO Nº: 300652/99 – 2

MODALIDADE: DCR

RELATÓRIO FINAL

Macapá - AP

Março – 2003

SUMÁRIO

ASSUNTO	Pg.
RESUMO	02
I – APRESENTAÇÃO.....	03
I - INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	07
II – OBJETIVOS.....	12
IV - MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
4.1 – PRINCIPAIS FASES DE ANÁLISE DE ÁGUA DOS RIOS.....	25
4.1 – PLANO DE TRABALHO E CRONOGRAMA.....	26
4.3 - CRONOGRAMA.....	27
V - FORMA DE ANÁLISE.....	27
5.1 – ABORDAGEM GERAL SOBRE OS PROBLEMAS DA QUALIDADE DA ÁGUA NO AMAPÁ.....	28
5.2 – ABORDAGEM PARA AVALIAÇÃO DA AUTODEPURAÇÃO EM RIOS.....	34
5.2.1 – AUTO PURIFICAÇÃO MICROBIOLÓGICA DOS RIOS.....	35
5.2.2 – AUTODEPURAÇÃO EM ESTUÁRIOS E SUA AVALIAÇÃO.....	38
5.3 – ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS DE CAMPO E LABORATÓRIO..	40
5.4 – ANÁLISE DE RUNKEL – MODELAGEM MATEMÁTICA.....	53
VI – CONCLUSÃO.....	55
VII - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

RESUMO EXPANDIDO

Considerando os aspectos relacionados à proteção, conservação e uso dos recursos hídricos do Estado, o estudo objetivou principalmente a geração de informações sobre a **qualidade da água** em zonas estuarinas urbanas e periurbanas de Macapá, capital do Estado do Amapá. O estudo considera os fatores hidrodinâmicos, climáticos e antrópicos no trecho estudado. Seus principais resultados estão direcionados para a classificação dos cursos de água, de acordo com seus respectivos usos. A metodologia consistiu no monitoramento mensal de parâmetros significativos da qualidade da água superficial em quinze pontos de amostragem (11 parâmetros, além da temperatura do ar), compreendendo desde a foz do Rio Vila Nova até a Foz do Igarapé do Paxicu (Figura-1). A área de estudo de monitoramento da qualidade da água abrangeu uma ampla região, em que os pontos de coleta mais distantes entre si eram cerca de 23,2 km de distância e, os mais próximos, cerca de 0,4 km, imprimindo em média um período de cerca de 5 horas de trabalho de campo, desde a saída do laboratório com os equipamentos de análise até a devolução dos frascos com as amostras de água coletadas. Entre estes extremos, Rio Vila Nova e Igarapé Paxicu, encontram-se o Rio Matapi e o Igarapé da Fortaleza, os quais foram mais profundamente analisados. A execução experimental mensal de monitoramento decorreu no período de setembro de 1999 a setembro de 2002. As coletas foram realizadas especificamente em cinco pontos de amostragem selecionados no Rio Matapi, notadamente na zona de influência do Distrito Industrial de Santana e Rio Amazonas. De modo similar, o número de pontos de amostragem foi expandido ao Rio Vila Nova, com dois pontos, Igarapé da Fortaleza, com seis pontos e Igarapé Paxicu, com dois, totalizando 15 estações de coleta, estrategicamente localizados, a fim de avaliar trechos mais impactados. Todos os pontos selecionados sofrem influência direta de marés do Rio Amazonas.



Figura-1: Imagem de satélite da área estudada destacada em círculo. Na imagem observa-se os rios Matapi, Vila Nova e Igarapé da Fortaleza. Não foi possível visualizar o Igarapé Paxicu, à direita do Fortaleza, devido ao seu tamanho reduzido na imagem. Em vermelho observam-se as áreas urbanizadas. A oeste do Igarapé da Fortaleza a cidade de Santana e a leste a cidade de Macapá. Ao sul de ambas as cidades nota-se o Rio Amazonas e a ilha de Santana, separados pelo Canal do Norte. Fonte: CPTEC/INPE (2002).

Em algumas ocasiões também foram feitos levantamentos pontuais sobre o comportamento hidrodinâmico (vazões) nos principais corpos de água estudados utilizando-se ADCP¹, exceto no Igarapé do Paxicu. Neste caso, o intuito foi fundamentar as primeiras simulações numéricas (modelos numéricos unidimensionais de difusão e advecção puras e um modelo analítico para a dispersão de uma fonte de duração finita, inserindo-se os dados já disponíveis nos mesmos). Desta forma, no presente estudo buscou-se integrar informações quantitativas e qualitativas sobre os recursos hídricos nestas zonas estuarinas da região amazônica. A partir dos dados e informações coletadas, também foram analisados alguns princípios sobre autodepuração natural nos corpos de água, como a diluição, dispersão, difusão e advecção de poluentes na água. Os parâmetros da qualidade da água analisados foram: número mais provável de *coliformes fecais* (NMP/100 ml), *turbidez* (FTU), *condutividade elétrica* (CE), *sólidos dissolvidos totais* (SDT), *sólidos em suspensão* (SS), *sólidos totais* (ST), *temperatura do ar e da água*, *oxigênio dissolvido* (OD), *demanda bioquímica de oxigênio* (DBO) e *potencial hidrogeniônico* (pH). Além das informações analíticas, buscou-se a inserção de análise das componentes sócio-econômicas e culturais das áreas de interesse das bacias estudadas.

Em última análise, no aspecto global, a evolução espaço-temporal dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos tem indicado um significativo grau de alteração ou degradação ambiental, fundamentalmente da qualidade da água, em decorrência da expansão desordenada de áreas urbanas e ausência de dispositivos controladores da poluição hídrica, presença crescente de indústrias potencialmente poluidoras, desmatamento intensivo de matas ciliares nas calhas principais e nos seus afluentes e lançamentos pontual e difuso de resíduos nos canais de drenagem e nascentes, que tornam impeditivo o uso da água pelas comunidades ribeirinhas. Estes fatores têm contribuído para a elevação do risco de contração de doenças de veiculação hídrica e perda do patrimônio ambiental local (comunidades ribeirinhas), cujos reflexos já estão sendo observados em ocorrências dos postos de saúde locais, no aumento de internações hospitalares causadas por doenças de veiculação hídrica, alagamento de zonas urbanas e periurbanas, perdas de solos agrícolas, perda de produção econômica sustentável tradicional, entre outras.

Ademais, é importante considerar que a qualidade de projetos atuais e futuros na área de saneamento básico e ambiental as utilizem para compor outras modalidades de informação no tema, como estudos de impactos ambientais na bacia hidrográfica. Tais projetos serão questionáveis em sua qualidade se não forem embasadas de certa forma nas informações técnico-científicas já disponíveis, o que infelizmente tem ocorrido no Estado.

Como conclusão, acreditamos que a maior contribuição do trabalho está no pioneirismo da investigação integrada sobre os corpos de água, levando-se em conta a espacialidade e a temporalidade dos fenômenos que governam a hidrologia e a qualidade das águas nas bacias hidrográficas em uma região cuja ecossistêmica é complexa e bastante desconhecida. Neste aspecto, houve um considerável avanço no conhecimento, principalmente por termos em mãos as informações do monitoramento da qualidade da água nos recentes anos. Tais dados deverão ser importantes como entrada nos modelos da qualidade da água a serem desenvolvidos para este fim específico e para outros, os quais poderão ser utilizados na gestão eminentemente racional dos recursos hídricos e do meio ambiente e na tomada de decisão. Ao mesmo tempo estas mesmas informações servirão de balizamento estatístico inicial, formando uma seqüência histórica de dados que pode ser testada e avaliada ao longo do tempo. Os modelos estatísticos e numéricos resultantes dessas informações buscam retratar um aspecto futuro na previsibilidade dos fenômenos. Contudo, utilizando-se das informações anteriores e atuais. Este é um modo racional de especular sobre o que poderá ocorrer no futuro, funcionando como norteador de novas pesquisas e como previsão probabilística de futuros eventos críticos e até projetos da área ambiental e de recursos hídricos nas bacias hidrográficas estudadas em uma área onde se concentram e ocorrem os principais problemas de poluição hídrica do Estado.

¹ ADCP foi emprestado da ANA em 2001 para a execução das medidas possíveis à época. A tecnologia ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) é um equipamento composto por uma sonda, com quatro transdutores e um "deck box", onde os sinais são filtrados e transmitidos para um PC com um software específico que coordena as ações de todo o sistema, recebe os dados e disponibiliza em forma de gráficos, tabelas, etc. O princípio de funcionamento do equipamento é regido pelo movimento das partículas na água que causam variações na frequência de eco. O ADCP mede estas variações – o efeito Doppler – com uma função da profundidade para obter a velocidade da corrente em até 128 posições diferentes na coluna da água. Com o conhecimento da velocidade da corrente, da área da seção de medição e da profundidade da mesma, um programa de computador especialmente desenvolvido para o ADCP calcula a vazão total na seção de descarga ou de medição (Guyot et al., 1995 *apud* Benedito 2002).

APRESENTAÇÃO

O principal foco do estudo é a qualidade da água do Rio Matapi, em especial na zona que limita o Distrito Industrial de Santana, desde sua foz até 6 km acima (Porto do Céu). Mas, pela sua importância ambiental e econômica, a qualidade do Rio Matapi não deveria ser estudada de forma isolada, devido principalmente às suas características hidrodinâmicas ou hidrológicas, antrópicas e ambiental. Em princípio, seria muito mais fácil tratar o tema isoladamente. Contudo, foi fundamental para a conclusão da pesquisa a inserção dos demais corpos de água, como o Rio Vila Nova, o Igarapé da Fortaleza e o Igarapé Paxicu. Estes serviram de baliza e parâmetros comparativos para o Rio Matapi, uma vez que estes estão sujeitos aos mesmos fenômenos transportes governantes que influenciam na determinação da qualidade da água. Desta forma, tornou-se evidente e importante avaliar onde, quando, como e por quê o comportamento da qualidade das águas diferem ou se assemelham entre si, tanto no eixo espacial quanto no eixo tempo.

É exatamente neste aspecto que o presente trabalho faz sua principal análise espaço-temporal dos parâmetros para os diferentes rios estudados. Por quê, como, onde e quando eles são coincidentes ou divergentes são questões primordiais para projetos na área de saneamento, tanto aplicados para a disposição de resíduos, captação e uso genérico dos corpos hídricos quanto nas questões econômicas, como a cobrança e a outorga do uso da água prevista em Lei (Leis Federal – CONAMA-86 e Estadual de Políticas de Uso dos Recursos Hídricos – LEI-AP 066/02).

O controle do lançamento de efluentes deve ser feito de modo que os cursos de água mantenham-se dentro de padrões pré-estabelecidos por classes. Isso não ocorrerá de fato se não conhecermos a real capacidade de autodepuração dos corpos hídricos. Pode-se dispor de um instrumento de planejamento bastante interessante por permitir e estabelecer a qualidade que cada curso de água deverá manter, de forma a atender seus usos específicos. Neste aspecto, o presente estudo é fundamental para se dar início a um processo definitivo de controle de poluição e determinação e manutenção da classe a ser especificada pelos referidos corpos de água a partir de estudos semelhantes.

I - O Estado do Amapá e o Desenvolvimento do Distrito Industrial de Santana

De acordo com CUNHA (2002), o Estado do Amapá, por conta da proximidade geográfica com a América do Norte, União Européia, Japão, China e Taiwan (estes três últimos, em razão do Canal do Panamá), tem vocação natural para o comércio internacional devido ao fácil acesso pelo Oceano Atlântico (Figura-2). Acesso rápido aos mercados globais, na rota dos transatlânticos turísticos e comerciais, são algumas

das vantagens oferecidas pelo Estado (SEICOM, 2000). Além disso, possui um porto que é o único no Norte do Brasil em águas profundas, o que facilita sobremaneira o desenvolvimento de intercâmbios internacionais sendo promissor ao crescimento econômico do Estado e configurando-se num forte indutor de desenvolvimento industrial.



Figura 2: Localização estratégica do Estado do Amapá que favorece a o comércio e a comunicação do Amapá com outros países (SEICOM, 2001)

A Área de Livre Comércio de Macapá e Santana (ALCMS) é mais um fator a favorecer esta vocação. Trata-se de uma área voltada à comercialização de produtos, existindo, contudo, a possibilidade de instalação de indústrias de beneficiamento de matérias-primas da região. Garante incentivos fiscais às empresas e instituições, concedidos pela Superintendência da Zona Franca de Manaus - SUFRAMA. Os incentivos fiscais incluem suspensão do IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados) e do II (Imposto de Importação), além de reduções de ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços), que chegam a 58% na base de cálculo (SEICOM, 2000).

De acordo com CUNHA (2002), o processo para a implantação plena da ALCMS passou por três fases: a) a *primeira*, em andamento, resume-se à comercialização no varejo de produtos importados; b) a *segunda* inclui a comercialização de produtos no atacado; e c) a *terceira*, a industrialização de produtos. Para concretizar a segunda fase é necessário investir em infra-estrutura. Neste sentido foi inaugurado o Terminal de Contêiner, em Santana, que possibilitou sensível redução no custo do frete de produtos importados. A terceira – implantação de indústrias - deverá contar com investimentos do comércio atacadista (SEICOM, 2000).

Um elemento importante a ser considerado como suporte à terceira fase é a existência do Distrito Industrial, criado em 1982, localizado no Município de Santana, a seis quilômetros do Porto de Santana e a 14 quilômetros da Capital do Estado, Macapá.

Conta com incentivos fiscais especiais e pode contribuir para o desenvolvimento da ALCMS. Possui uma área de 1.300 hectares, dentro da qual está situado o Loteamento Industrial, com área aproximada de 400 hectares, distribuída em 11 quadras, subdivididas em 96 lotes. Os lotes têm dimensões que variam entre 20.000 m², 10.000 m² e 5.000 m². Tem como limite ao norte a linha do equador, ao sul o Rio Amazonas, leste Rodovia Macapá/Mazagão e a oeste o Rio Matapi (Figuras-3,4).



Figura 3: Foto aérea do Distrito Industrial de Santana às margens do Rio Matapi. No detalhe observa-se a foz do Rio Matapi, deságuando no Canal do Norte (Rio Amazonas). Foto CUNHA (2000).

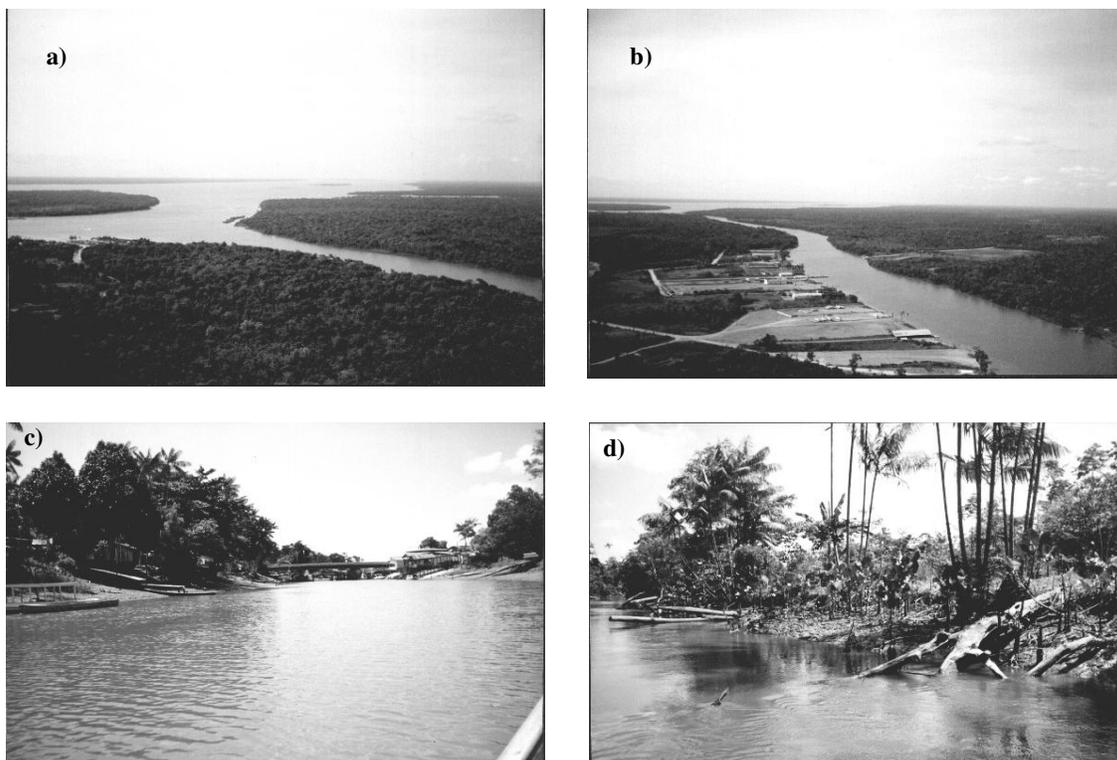


Figure-4: Fotos de alguns dos pontos de coleta: a) Foz do Rio Matap. Na parte superior observa-se a foz do Rio Vila Nova. b) Rio Matapi próximo do Distrito Industrial de Santana. c) Ponto do Igarapé da Fortaleza. d) Derrubada da mata ciliar no Igarapé da Fortaleza, entre os pontos Provedor e Davi.

Até o final de 2002 tramitavam na SEICOM 66 processos de solicitação de lotes para instalação de novos empreendimentos, sendo a maior parte pequenas empresas já instaladas no Estado, as quais funcionam em áreas urbanas e deverão ser relocadas para o Distrito Industrial, como é o caso da indústria moveleira. Há também empresas de outros Estados envolvidas em diferentes atividades, tais como da industrialização de pescado, distribuição de combustíveis, empreendimentos turísticos, entre outros. Trinta e uma empresas em funcionamento geraram 750 empregos diretos e podem ser observadas sua distribuição por setor-atividades (Tabela-1).

Tabela – 1: Empreendimentos no Distrito Industrial de Santana (SEICOM, 2000 *apud* CUNHA, 2002)

Atividade	No.	Situação
Beneficiamento de Pescado	03	2 não estão em funcionamento
Beneficiamento de Pescado	01	Aguarda financiamento da SUDAM para funcionar
Fabricação de Refrigerantes	01	Em funcionamento
Revenda de Cimento	01	Em funcionamento
Fabricação de Compensados	01	Em funcionamento
Fabricação de Papel	01	Em funcionamento
Fabricação de Móveis	04	Em funcionamento
Serrarias	02	Em funcionamento
Comércio de Derivados de Petróleo	02	Em funcionamento
Fabricação de Artefatos de Cimento	01	Em funcionamento
Serviços de Transporte Rodo Fluvial	06	Em funcionamento
Fabricação de Produtos Cerâmicos	08	1 não está em funcionamento
Fabricação de Splash	01	Em instalação
Fabricação de Plásticos	01	Em funcionamento
Fabricação de Casas Pré-moldadas	01	Em funcionamento
Beneficiamento de Granito	01	Em funcionamento
Fabricação de Objetos de Vidros	01	Em instalação
Fabricação de Pré-corte de Madeira para Montagem de Móveis em São Paulo	01	Em funcionamento
Total	37	

Neste aspecto, os setores ou áreas onde são implantados os Distritos Industriais (DI) são importantes pólos de desenvolvimento de atividades potencialmente poluidoras. Os DIs são fatores críticos determinantes para o presente estudo, pois a partir da sua interpretação e análise buscou-se melhor entender como este processo está se iniciando no Estado do Amapá em seu contexto ambiental. Primeiro por ser o maior DI do Estado e segundo pela sua importância econômica e estratégica para o desenvolvimento da região como um todo.

A Secretaria de Estado da Indústria e Comércio (SEICOM) possuía em 2002 um projeto de ampliação da atividade, com a criação dos Distritos Industriais nos municípios de Macapá, Oiapoque (fronteira com a Guiana Francesa), Calçoene (Zona Costeira Norte) e Laranjal do Jari (Divisa com o Pará), onde serão instaladas escolas profissionalizantes com o intuito de desconcentrar e descentralizar as atividades produtivas da capital para o interior e fronteiras.

O governo do Estado iniciou o aparelhamento do Distrito Industrial com condições que atendam demandas para instalação de indústrias de diversos segmentos, com ampliação da rede elétrica e pavimentação asfáltica das principais vias de acesso. Também está sendo requerida para o Estado, através do INCRA/AP, a transferência de uma área de 1.600 hectares, contígua ao Distrito Industrial.

O Estado do Amapá apresenta enormes vantagens competitivas frente aos outros estados da Amazônia. Faz fronteira com a Guiana Francesa e é porta de entrada do Rio Amazonas e saída para produtos do Centro-Oeste brasileiro. A fronteira com a Guiana Francesa faz do Estado um elo entre o Mercosul e a União Européia, sendo mais uma vantagem para a indústria e o comércio local e regional (SEICOM, 2001).

Podemos destacar os inúmeros produtos naturais da Amazônia, como a castanha do Brasil, o tucumã, o açaí, o pescado, a madeira, entre outros.

Com a perspectiva de desenvolvimento do setor industrial e ampliação das atividades econômicas no DI há necessidade de se realizar estudos e pesquisas nas áreas que diretamente sofrerão impactos, não só ambientais, mas também no campo social e econômico, visto que com o seu desenvolvimento haverá um conseqüente aumento do contingente de população com maiores perspectivas de geração de empregos na região (CUNHA, 2002). Além disso, há uma restrição de área disponível para o crescimento urbano, talvez com o avanço da cidade de Santana para a margem direita do Rio Matapi. Além disso, há uma perspectiva de construção de uma ponte de concreto no médio e longo prazo, a qual também exigirá estudos de impactos ambientais. É óbvio que todos os aspectos ambientais da qualidade da água também estão em constante processo de mudança e interação com os fatores climáticos e hidrológicos e biogeoquímicos da bacia, alterando-as as vezes de forma irreversível.

II - DESCRIÇÃO SÓCIO-ECONÔMICO-AMBIENTAL DO DISTRITO INDUSTRIAL (DI)

Atualmente, o Distrito Industrial (DI) possui um número reduzido de empreendimentos que poderiam causar algum impacto real que atingisse significativamente os corpos d'água do Matapi (CUNHA et al. 2002). As principais razões são o elevado volume de descarga do rio que dilui facilmente os poluentes e o efeito das marés que auxiliam na autodepuração do mesmo. Contudo, diante das perspectivas de ampliação e de uma série de incentivos para ocupação do distrito industrial, como os empreendimentos no setor moveleiro e madeireiro, pescado e outros, há necessidade de se conhecer melhor a região, principalmente os possíveis e imediatos impactos ambientais sobre as populações e os corpos d'água atingidos pela poluição e alterações dos recursos naturais que estão ocorrendo ou já ocorreram no DI.

A perspectiva de crescimento em vários segmentos econômicos, tanto comerciais e de serviços, como os industriais, aponta para o surgimento de alterações na estrutura portuária, no saneamento e nos mais diversos setores (GÓES, 1997). Ademais, a industrialização propicia a emergência de fenômenos de urbanização, o aumento rápido da população (explosão populacional) e da mobilidade (geográfica e social) das populações envolvidas no processo (LAKATOS et al, 1999). No mesmo sentido, a industrialização é amplamente reconhecida como fator preponderante na degradação ambiental do planeta. Há, portanto, a necessidade de unir os objetivos do desenvolvimento econômico com a vontade de se gerenciar ou mitigar os problemas decorrentes deste processo. O ponto fundamental é elaborar a pesquisa básica e aplicada para darem suporte a qualquer tipo de ação que se configure nas bacias hidrográficas em estudo. As razões dessa preocupação decorrem da destruição dos recursos naturais: dos recursos hídricos, solo e ar, sobre os quais as poluições passaram a ocorrer em escala praticamente exponencial a partir da revolução industrial (TORRES, 1993).

No Estado do Amapá as alterações mais significativas decorreram do surgimento da Área de Livre Comércio de Macapá e Santana – ALCMS o que provocou uma elevação da taxa de crescimento do Estado e que, segundo o IBGE (2000), é uma das mais altas do Brasil (5,6%), com conseqüentes ocupações de áreas de forma desordenada, causando pressões de toda ordem sobre os recursos hídricos (GÓES, 1997). Os principais impactos que ameaçariam os corpos d'água viriam com as constantes derrubadas de matas ciliares e lançamento de esgotos urbanos, agricultura e pasto desordenado, causando principalmente a poluição difusa local (CUNHA et al. 2001).

A área que compreende o Distrito Industrial é também ocupada de forma desordenada. Além da população ribeirinha que vive às margens do Rio Matapi, a qual chegou na região depois da implantação do distrito no início dos anos 80, há também moradores às margens do Igarapé Corrêa, pequeno afluente na margem esquerda do Rio Matapi e que drena a parte sul do DI de Santana. Um dos impactos de real efeito na região do baixo Matapi (DI) pôde ser destacado na pesquisa, com o estudo feito na comunidade que vivia às margens do Igarapé Corrêa, afluente esquerdo do Matapi. Este corpo de água recebia as descargas de efluentes de uma fábrica de refrigerantes localizada à montante da comunidade. A fábrica, instalada desde 1983 na Rodovia Macapá/Mazagão, km 16, é uma unidade com uma área livre de 60 mil m² tinha por finalidade a fabricação e comercialização de bebidas. A fábrica está localizada à margem direita do Igarapé Corrêa. A fábrica possui 10.796 m² de área construída e emprega 175 pessoas (GEA, 2000). Contudo, impactou muito fortemente a comunidade do Corrêa com lançamento de poluição química e microbiológica, resultantes da lavagem de garrafas e outras operações unitárias da fábrica. Contudo, a mesma pôs em operação um sistema de lodo ativado para controlar e diminuir o lançamento de efluentes da fábrica. Este sistema de lodo ativado é uma das poucas estações preentes no DI. Aparentemente, o Matapi não apresentava significativa influência destes efluentes e muito menos no presente momento. No aspecto social, o principal objetivo do estudo foi avaliar a situação da comunidade da região identificando os principais problemas locais a partir das alterações ambientais ocorridas principalmente em relação a utilização dos recursos hídricos.

Alguns resultados identificaram áreas e períodos de maior risco à saúde pública e ambiental, considerando fatores como a complexidade da dinâmica das marés, clima e influência antrópica local. Tais resultados avaliados sobre a qualidade da água demonstraram que é necessário haver um interesse maior pela gestão de recursos hídricos e sua relação com a Saúde Pública que normalmente se refletem em custos na área da saúde.

Diante disso, a perspectiva da instalação de novos empreendimentos industriais na região justifica a preocupação com a realização de estudos e pesquisas relacionados aos aspectos sócio econômicos e ambientais na área de impacto direto da bacia hidrográfica. Tais estudos devem *iniciar por uma abordagem* que levassem em conta o zoneamento ecológico e econômico das áreas industriais, semi-industriais e urbanas.

II.1 – ASPECTOS ANTRÓPICOS E AMBIENTAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA E POLUIÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO DISTRITO INDUSTRIAL (DI)

Os municípios de Macapá e Santana apresentam problemas de ordem estrutural como a ocupação de áreas potencialmente alagáveis (normalmente denominadas de áreas de Ressacas), agravada pela falta de um planejamento de ocupação racional da orla costeira (aspectos geofísicos do Quaternário – terrenos frágeis). Porém, a escassez de dados e, principalmente, informações referentes à área de estudo é uma das principais preocupações para superar estes problemas, na medida em que aquelas necessitam ser obtidas a partir das investigações de campo, principalmente junto às comunidades ribeirinhas. Para maiores detalhes sobre alguns dos aspectos sócio-ambientais mais importantes do DI consultar (CUNHA, 2002 e CUNHA e COUTO, 2003).

Os principais impactos têm normalmente origem nas atividades antrópicas em áreas urbanas e periurbanas de Macapá e Santana. Por exemplo, tem-se observado elevados níveis de coliformes fecais no rio Vila Nova, distante cerca de 20 km das prováveis fontes de lançamento de poluentes. Em alguns momentos estes níveis apresentaram picos elevados de concentração (para os padrões regionais), provavelmente transportados pelas correntes de marés, as quais por sua vez são bastantes desconhecidas em seu comportamento hidrodinâmico. Estas plumas de contaminantes (no caso coliformes fecais – bactérias termotolerantes) provavelmente devem ter sua origem em áreas de Macapá, Fazendinha e Santana, uma vez que, a exemplo do Rio Vila Nova, não há fontes visíveis de poluição, fazendo-nos concluir o que foi dito acima. Por este motivo, a pesquisa aborda a dinâmica de alteração da qualidade da água, como alguns dos hábitos de lançamentos de despejos domésticos e de efluentes de esgotos e industriais em correntes ou cursos naturais, fundamentalmente os parâmetros físico-químicos, bacteriológicos e hidrodinâmicos. Esses, por sua vez, também puderam ser relacionados com parâmetros climáticos regionais (quase nunca utilizados, até o momento nas pesquisas publicadas). E, uma vez que existe a inversão do fluxo de água causado pela ação das marés, foi importante também realizar estudos comparativos dos parâmetros envolvidos, principalmente nas desembocaduras dos quatro rios estudados, abrangendo as variações espaciais e temporais. Isto favoreceu uma melhor compreensão de suas características relevantes para a diluição e dispersão de substâncias passivas no escoamento e foi possível avaliar o quanto o Rio Amazonas influi nos demais afluentes.

Outra abordagem importante diz respeito a autodepuração destes rios. Em CUNHA et al (2001a), foi descrito alguns dos principais parâmetros que contribuem para essa a capacidade autodepurativa nas bacias próximas de áreas urbanas ocorrerem. Portanto, características físico-químicas e biológicas, nas quais incluem a matéria livre em suspensão, competitividade de microrganismos, pH, incidência da luz, temperatura, entre outros podem aumentar ou diminuir, por exemplo, a capacidade autodepurativa do corpo hídrico. Como cada rio apresenta suas próprias características ambientais, cada um também tem uma capacidade diferente de interferir na manutenção das concentrações de bactérias aeróbicas ou facultativas na coluna líquida. Observou-se também que os efeitos climáticos e de marés são um dos mais importantes neste processo autodepurativo, sem comentar os antrópicos, que incidem sobre a qualidade

da água. Na análise final foi possível fazer uma *correlação estatística* entre as diversas “séries históricas” dos parâmetros da qualidade da água e avaliar como esta variabilidade espaço-temporal se comporta. Foi possível, portanto, analisar os espectros destas variabilidades no Matapi e no Fortaleza.

Neste aspecto a presente pesquisa elaborou um primeiro banco de informações para subsidiar a elaboração de estratégias para o monitoramento da qualidade da água nestes corpos de água. Os benefícios esperados deste levantamento foram:

- a) iniciar e definir um programa de monitoramento para o os quatro rios estudados, principalmente o trecho do DI de Santana;
- b) fornecer informações para um melhor planejamento de gestão da área costeiro-estuarina,
- c) auxiliar em diagnósticos e estudos de impacto ambiental;
- d) identificar estratégias e localizar onde há necessidade de minimizar lançamentos de resíduos domésticos e industriais dentro dos rios da micro-bacia. Saneamento básico e ambiental, qualidade da água, classificação, disposição de resíduos e monitoramento da qualidade e quantidade das águas são componentes de relevância no trabalho. As informações sobre os problemas inerentes da água e gestão dos recursos hídricos, decorrentes do crescimento populacional e crescentes demandas por água estão aumentando drasticamente, com implicações negativas e pressões de toda ordem sobre os recursos hídricos, devem relacionar as causas e os efeitos desta interação entre uso e impactos na bacia hidrográfica.

Como resultados destes benefícios da nova logística de coleta de água nos cursos de água. Por exemplo, a partir de 2003 até a atualidade, já foram identificados os principais pontos ou fontes de contaminação, as quais continuam sendo monitorados, com a diferença que houve diminuição do número de pontos, com o aumento do número de parâmetros analisados.

Na bacia hidrográfica, o mau uso da água tem causado problemas diretos sobre a saúde pública das populações ribeirinhas. Somente com o monitoramento constante, proteção, conservação e tratamento de água de abastecimento e águas residuárias estes problemas poderão ser solucionados. A iniciativa da criação de sistemas de monitoramento da qualidade e quantidade de recursos hídricos são fundamentais para a efetiva proteção, fiscalização e controle de poluição desta micro-bacia, pois sem as redes de monitoramento as decisões a serem tomadas pelo poder público tornam-se frágeis, com repercussões negativas na elaboração de projetos, acarretando um baixo retorno social do recurso aplicado para este fim.

II.2 – ÁREA DE ESTUDO E A ZONA DO DI DE MACAPÁ E SANTANA

Como pode ser visto pela Figura-5 a área de influência do estudo, que inclui o DI, é ampla e de aproximadamente 200 km². Os círculos (pontos em vermelho) são os locais de coleta georreferenciados (Tabela-2). Observa-se a proximidade relativa das cidades de Macapá e Santana aos corpos de água estudados: a oeste de Santana o Rio Matapi, a leste o Igarapé da Fortaleza. A sudoeste de Santana, o Rio Vila Nova e, finalmente, ao sul de Macapá e a leste de Santana, encontra-se o Igarapé do Paxicu.

Apesar das relativas proximidades das desembocaduras dos quatro rios com as áreas urbanas de Macapá e Santana, observa-se que em nenhum dos rios o problema da poluição hídrica é ausente, o que aumenta a preocupação com a qualidade da água nestes ambientes, antes insuspeitadamente poluídos em nenhum grau significativo.

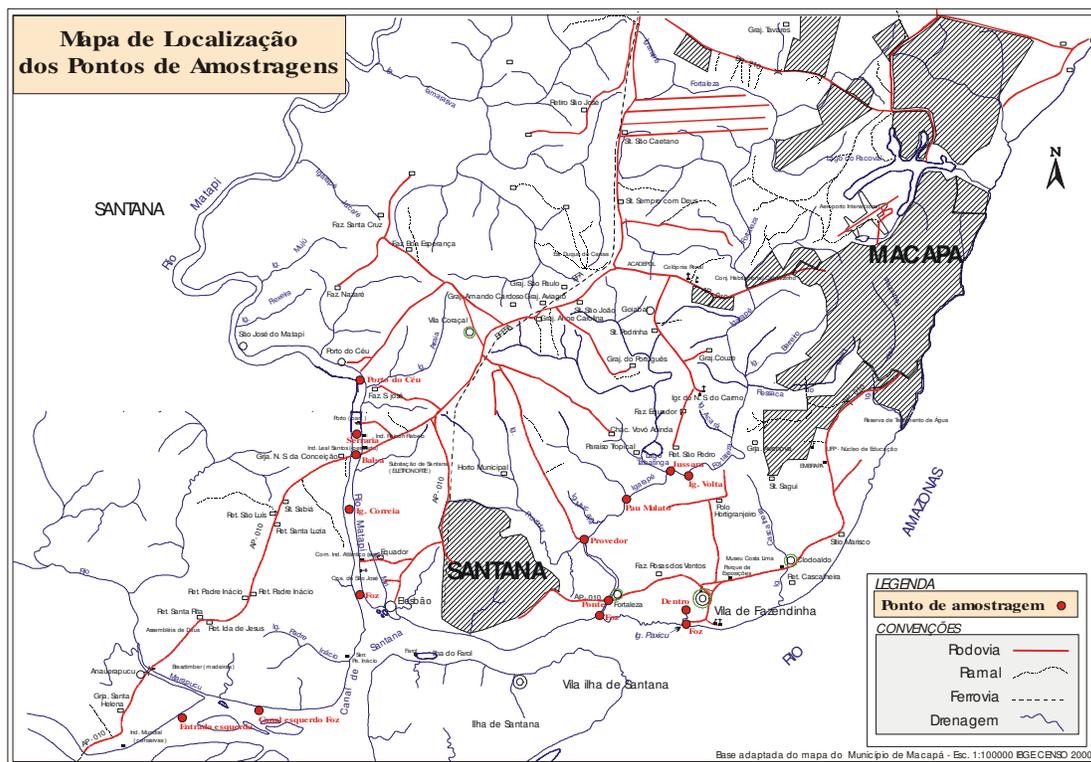


Figura-5: Extensão da pesquisa. Os pontos em vermelho indicam os locais de coleta para cada rio estudado. Fonte: CUNHA et al. (2002b).

Tabela-3: Pontos de coleta de amostras de água georreferenciados e sob monitoramento, compreendendo os rios Matapi, Vila Nova, Igarapé da Fortaleza e Igarapé do Paxicu.

PONTO DE COLETA GEORREFERENCIADO	PONTOS	LOCALIZAÇÃO GEORREFERENCIADA	
	Registros		
1 – Fortaleza – Iq. Volta	1944	S. 00 01' 02.0"	W051 07' 06.1"
2 – Fortaleza – Iq. Jussara	1945	S. 00 01' 05.9"	W051 07' 28.2"
3 – Fortaleza – Iq. Pau Mulato	1955	S. 00 01' 13.8"	W051 08' 01.2"
4 – Fortaleza – Iq. Provedor	1956	S. 00 02' 01.6"	W051 08' 40.4"
5 – Fortaleza – Ponte	1959	S. 00 02' 55.5"	W051 08' 17.2"
6 – Fortaleza – Foz	1959	S. 00 03' 06.0"	W051 08' 24.3"
7 – Matapi – Foz	1981	S. 00 02' 56.6"	W051 12' 07.5"
8 – Matapi – Iq. Correia	1983	S. 00 01' 35.0"	W051 12' 19.6"
9 – Matapi – Balsa	1985	S. 00 00' 40.2"	W051 12' 13.6"
10 – Matapi – Serraria	1987	S. 00 00' 04.9"	W051 12' 12.4"
11 – Matapi – Porto do Céu	1988	S. 00 00' 22.6"	W051 12' 04.3"
12 – Paxicu - Dentro (Matadouro)	1935	S. 00 03' 04.2"	W051 07' 07.5"
13 – Paxicu - Foz	1935	S. 00 03' 15.1"	W051 07' 05.3"
14 – Vila Nova – Canal esquerdo	1973	S. 00 04' 43.1"	N051 14' 59.5"
15 – Vila Nova – E. esquerdo (Foz)	1975	S. 00 04' 34.2"	W051 13' 48.9"

A Figura-6 mostra de forma ampla a área estudada pela presente pesquisa. São feitas indicações da área de drenagem, rede viária, limite da bacia e as quadras da cidade de Macapá e Santana. Observa-se que a urbanização avança fortemente, onde facilmente pode ser visualizado as áreas mais impactadas.

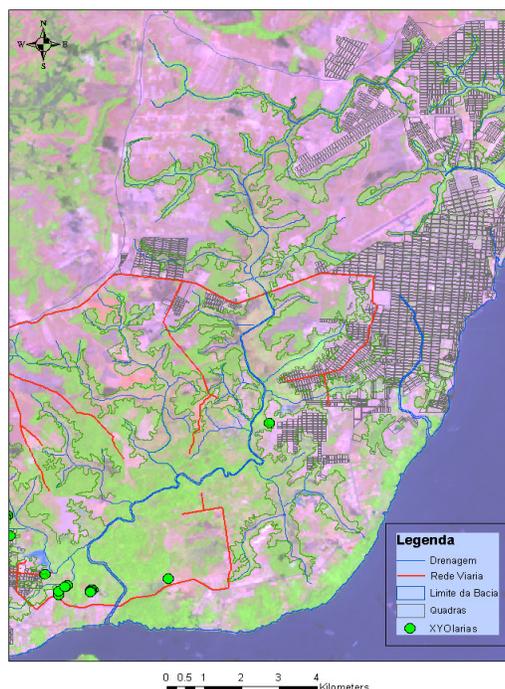


Figura-6: Imagem de satélite processada pelo SIAG-SEMA (2002), com a localização de parte da área estudada, em especial o Igarapé da Fortaleza. A leste observa-se a cidade de Macapá e a oeste observa-se parte da cidade de Santana. Ao sul observa-se o Rio Amazonas e ao norte observa-se a extensão da Lagoa dos Índios, a qual é um importante ecossistema protegido por Lei, porém ameaçado pelo avanço urbano.

II - OBJETIVOS

Monitorar e avaliar parâmetros **físico-químicos, bacteriológicos e hidráulicos** relevantes para a avaliação da qualidade da água em escoamentos naturais, em especial do Rio Matapi e Igarapé da Fortaleza – AP, objetos principais do presente estudo. Estes estão sob forte impactos antrópicos devido estarem localizados próximos dos municípios de Macapá e Santana e serem escolhidos para efeito de comparação. Destacam-se os seguintes objetivos específicos:

- ◆ Escolher representativamente trechos importantes deste curso natural de água;
- ◆ Planejar futuros estudos de campo como a determinação de parâmetros relevantes para a qualidade da água.
- ◆ Viabilizar a elaboração de modelos matemáticos que incorporem parâmetros físicos e hidrodinâmicos para auxiliar no gerenciamento dos recursos hídricos locais, como os coeficientes de autodepuração física, química e microbiológica;
- ◆ Avaliar alguns desses parâmetros relevantes nos processos hidrodinâmicos e acoplamento de um escalar. Neste aspecto busca-se estudar parâmetros relacionados com: dispersão longitudinal, características hidráulicas relevantes (razão entre a área da seção transversal e largura média à superfície do escoamento), tempo de residência de uma pluma poluente num trecho específico, medida de vazão, velocidade, alturas, larguras médias;
- ◆ Sistematizar informações disponíveis sobre o rio Matapi e os demais junto às entidades ligadas às bacias estudadas, de forma a constituir uma fonte de consulta para pesquisadores e profissionais da área de hidráulica, saneamento e engenharia ambiental, favorecendo a troca de conhecimentos entre órgãos ambientais e as comunidades locais;
- ◆ Gerar bases de informações de interesse hidro-sanitário para a caracterização de fontes poluidoras;
- ◆ Utilizar e/ou elaborar modelos hidrodinâmicos disponíveis para a simulação de dispersão de poluentes em corpos de água aplicados à realidade Amazônica.
- ◆ Utilizar a base do *Modelo Racional* como ferramenta de análise, considerando os principais parâmetros relevantes envolvidos nas suas médias temporais, minimizando os fatores de flutuações das marés e as variações das substâncias passíveis do escoamento, bem como os modelos hidrodinâmicos disponíveis para a simulação de dispersão de poluentes em corpos de água aplicados à realidade Amazônica.
- ◆ Elaborar um diagnóstico sócio-econômico-ambiental da microbacia do Igarapé da Fortaleza.

IV - MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo foi reportada a amplitude em que a qualidade da água está sendo afetada pela poluição nas correntes de água de rios estuarinos próximos às cidades de Macapá e Santana, iniciando-se com uma fundamentação teórica da contextualização sócio-econômica do DI e sua importância para o Estado.

Na linha ambiental da análise das informações, os parâmetros bacteriológicos e físico-químicos foram avaliados nas 15 estações de coleta, como indicadas pela Figura-5 e pela Tabela-2. Os parâmetros referidos que compreendem os bacteriológicos foram os coliformes fecais. Os parâmetros físico-químicos são aqueles normalmente mais utilizados para a qualidade da água, ou seja, pH, oxigênio dissolvido, turbidez, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos, sólidos totais, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e temperaturas do ar e da água, etc. Os trechos escolhidos para o monitoramento da qualidade da água foram determinados por fatores tais como a dinâmica hídrica da zona costeiro-estuarina, uso da terra, riscos ambientais, influência de tributários por corpos de águas poluídas em áreas urbanas e periurbanas, bem como outras possíveis fontes de poluição (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.

- As coletas foram feitas no centro transversal do corpo de água, realizadas por meio de frascos apropriados de amostras, próximas da superfície, cerca de 20 cm abaixo da lâmina d'água. As análises bacteriológicas foram feitas em laboratório usando a técnica dos tubos múltiplos. Os parâmetros físico-químicos avaliados *in loco* foram: oxigênio dissolvido (OD), pH, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais, turbidez, temperaturas do ar e da água. Em laboratório foram analisados *a posteriori*, sólidos totais e sólidos suspensos. Um barco a motor era utilizado nas coletas, que percorria todos os trechos normalmente em um período entre 2,5 h a 4,0h.
- Os equipamentos para análise físico-química utilizados foram: para pH, pHmetro da marca Hanna instruments, HI8314; para oxigênio dissolvido, o equipamento da marca OD-Orion, IP-CE 66; para turbidez, o turbidímetro da marca Hach-2100P, e condutividade e sólidos dissolvidos totais, o equipamento da marca Hach - SEM Ion 5. Na Figura-7 pode se observar uma foto de uma das campanhas realizada pelo presente pesquisador no Igarapé da Fortaleza e Matapi.

Nos estudos do Rio Matapi e demais rios os quinze pontos considerados estratégicos foram suficientes para a presente investigação, tendo em vista a variabilidade espacial-temporal dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos inicialmente estudados (Cunha et al., 2001a, b). A análise resultou da observação de uma intensa ocupação urbana, desmatamento da mata ciliar, num ritmo considerado preocupante, e sensível diminuição da qualidade da água, facilmente observáveis durante as visitas prévias inicializadas desde setembro de 1999 até a atualidade (2004).

O Rio Matapi e o Igarapé da Fortaleza, no âmbito das bacias próximas, parecem estar com a qualidade da água sendo alterada num ritmo rápido, como será visto mais adiante, apesar de se considerar que as tendências ora observadas podem se inverter ou apenas indicar uma flutuação temporal.

O Igarapé da Fortaleza, além de ser um elemento comparativo com o Rio Matapi nas respostas das análises espaço-temporal dos parâmetros da qualidade da água, tornou-se importante também em virtude de ser um afluente próximo do Rio Amazonas como são os demais rios estudados, mas com uma ligação única com a Lagoa dos Índios, que por sua vez é um ponto turístico tombado pela Lei Estadual 455/99 (Lei das Ressacas).



Figura-7: Foto de uma campanha de coleta em uma das quinze estações sob pesquisa (Igarapé da Fortaleza, dezembro de 2003).

A Figura-8a,b mostra os limites e alguns detalhes da bacia hidrográfica do Igarapé da Fortaleza. A área indicada pela cor azul indica a extensão da área de estudo dentro da bacia. Esta área achuriada representa cerca de 5% do total da bacia.

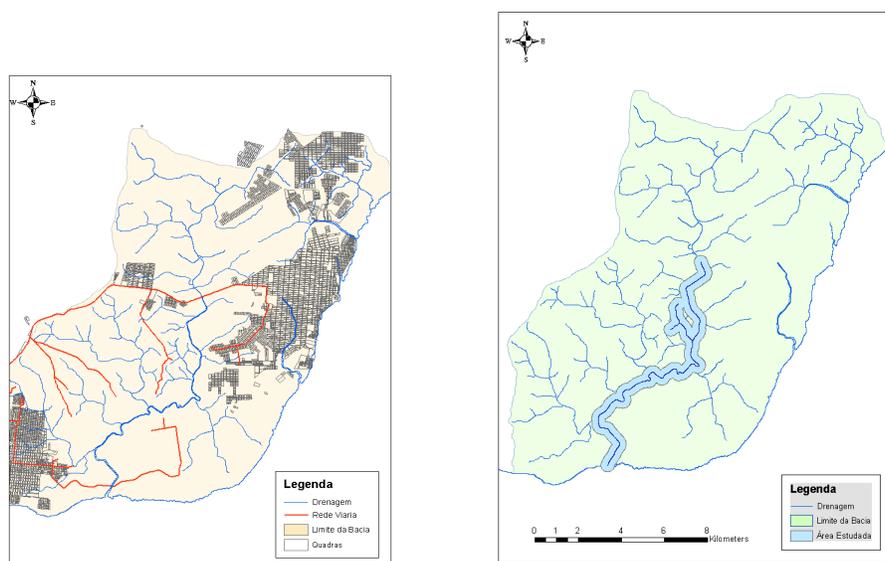


Figura-8: a) Imagem geoprocessada mostrando parte da área estuda no Igarapé da Fortaleza com as malhas urbana de Macapá e Santana. b) Zona de influência do estudo na Bacia do Igarapé da Fortaleza. *Fonte: CUNHA e COUTO (2002).*

Como uma das principais componentes dos estudos que quantificam a capacidade de suporte ambiental da bacia hidrográfica é aquela que envolve a hidrologia e a hidrodinâmica, ou qualquer outro parâmetro de avaliação da qualidade da água, é importante observar que os mesmos devam incorporar, em suas avaliações, respectivamente, grandezas físico-químicas e hidráulicas do escoamento que sejam facilmente mensuráveis como: a altura da lâmina d'água, declividade do canal, perímetro molhado da seção reta em que se está fazendo o estudo, etc. Estas últimas grandezas influenciam terminantemente na dinâmica de dispersão de substâncias, na autodepuração (como a reaeração atmosférica – absorção de oxigênio pela água, ou volatilização de substâncias tóxicas a partir da água – dessorção), na sedimentação e outros processos importantes nos ciclos biogeoquímicos naturais. A Figura-9 mostra de forma mais objetiva as áreas de drenagem, a rede viária, os limites da bacia e as quadras das cidades de Macapá e Santana.



Figura-4: Foto aérea mostrando parte da área estuda no Igarapé da Fortaleza. Acima se observa a foz do Igarapé desembocando no rio Amazonas (ponto de coleta próximo do Canal do Norte). Logo abaixo se visualiza a ponte do Igarapé da Fortaleza, um outro ponto de coleta (Ponte). Na margem direita localiza-se parte do município de Santana e a esquerda Distrito de Fazendinha, Macapá. *Fonte:* Diagnóstico Rápido Participativo – CUNHA e COUTO (2002).

Na Tabela-4 elaborou-se um zoneamento ecológico e econômico participativo para avaliar a percepção da população ribeirinha quanto às características ambientais por zona, aspectos sócio-econômicos e ambientais.

Tabela-4: Zoneamento Ecológico e Econômico na Microbacia do Igarapé da Fortaleza. Definição de setores importantes para o estudo segundo a visão da própria comunidade e órgãos institucionais participantes do DRP-2002.

Zoneamento Econômico Ecológico na Microbacia do Igarapé da Fortaleza. Fonte: Cunha et al (2002) ² .		
Zona	Características sócio econômicas	Características ambientais
Provedor - Ponte	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Maior concentração populacional e atividades urbanas 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 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	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 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 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Floresta de várzea ◆ Área protegida legalmente
Calha do Igarapé Fortaleza e afluentes	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Pecuária ◆ Pequena pesca artesanal de camarão e peixe ◆ Manejo de açazal ◆ Presença de produtores rurais dedicados a roça de cana, milho, macaxeira e sistemas agroflorestais com açaí, cupuaçu, goiaba... ◆ balneários 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 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)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 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. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 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

Como um dos resultados mais importantes do DRP e conseqüentemente do monitoramento da qualidade da água desta pesquisa, intensificou-se a pressão sobre os órgãos governamentais com relação a uma antiga reivindicação das comunidades locais. Ou seja, transformar a REBIO (Reserva Biológica da Fazendinha) em Área de Proteção Ambiental, conforme a ATA da audiência pública referente à mudança de categoria de reserva biológica para área de proteção ambiental, no dia 20 de setembro de 2002.

² Dados ainda não publicados (2002).

As razões são múltiplas, mas destacam-se principalmente: a) as estruturas básicas como posto de saúde, policiamento e segurança, escolas, etc e os recursos financeiros e humanos para operacionalizá-los; b) a questão ambiental da degradação intensa do Igarapé da Fortaleza. Neste caso, consta em ATA da audiência pública que a população solicita a inclusão da APA o canal do Igarapé da Fortaleza bem como sua extensão até a Lagoa dos Índios.



Figura-5: Foto aérea mostrando parte da área estudada no Igarapé da Fortaleza. Ao lado, observa-se o avanço da urbanização sobre o canal do Igarapé da Fortaleza. Na margem esquerda (lado direito da foto) localiza-se o bairro do Zerão em Macapá. *Fonte:* Diagnóstico Rápido Participativo - DRP-CUNHA e COUTO (2002).

A seguir serão descritas as principais fases do trabalho de pesquisa.

4.1. LOGÍSTICA

A Tabela-5 mostra a amplitude do trabalho de pesquisa e as distâncias relativas de cada ponto de coleta georreferenciado. O intuito desta quantificação foi dar uma idéia de espaço e distância para futuro planejamento de coletas ou campanhas na região. Este novo planejamento poderá ser útil na otimização das campanhas de campo, traduzindo-se em maior rapidez, com redução do tempo e custos operacionais. As distâncias são indicadas em km, entre cada ponto de coleta dos quatro rios.

Tabela-5: Distâncias entre os pontos de coleta, dentro da abrangência global do projeto de pesquisa. Estão incluídos os pontos dos rios Matapi, Vila Nova e Paxicu, além do Fortaleza³.

Distâncias Relativas Aproximadas entre os Pontos de Coleta (km)																
Nome	Referência	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Fortaleza Ig. Volta	S. 00 01'02.0" W051 07'06.1"	1	0,6	2,2	4,3	6,7	7,1	15,0	17,3	19,0	19,6	21,2	10,6	9,9	23,2	21,2
Fortaleza Jussara	S. 00 01'05.9" W051 07'28.2"	2	0,6	1,6	3,7	6,1	6,5	14,4	16,7	18,4	20,0	20,6	10,0	9,3	22,6	20,6
Fortaleza Davi	S. 00 01'13.8" W051 08'01.2"	3	2,2	1,6	2,1	4,5	4,9	12,8	15,1	16,8	17,4	19,0	8,4	7,7	21,0	19,0
Fortaleza Provedor	S. 00 01'01.6" W051 08'40.4"	4	4,3	3,7	2,1	2,4	2,8	10,7	13,0	14,7	15,3	16,9	6,3	5,6	18,9	16,9
Fortaleza Ponte	S. 00 02'55.5" W051 08'17.2"	5	6,7	6,1	4,5	2,4	0,4	8,3	10,6	12,3	12,9	14,5	3,8	3,2	16,5	14,5
Fortaleza Foz	S. 00 03'06.0" W051 08'24.3"	6	7,1	6,5	4,9	2,8	0,4	7,9	10,2	11,9	12,5	14,0	3,5	2,8	16,1	14,1
Matapi - Foz	S. 00 02'56.6" W051 12'07.5"	7	15,0	14,4	12,8	10,7	8,3	7,9	2,3	4,0	4,6	6,2	11,4	10,7	8,2	6,2
Matapi - Ig. Correia	S. 00 01'35.0" W051 12'19.6"	8	17,3	16,7	15,1	13,0	10,6	10,2	2,3	1,7	2,3	3,9	13,7	13,0	10,5	8,5
Matapi - Balsa	S. 00 01'40.2" W051 12'13.6"	9	19,0	18,4	16,8	14,7	12,3	11,9	4,0	1,7	0,6	2,2	15,4	14,7	12,1	10,1
Matapi - Serraria	S. 00 00'04.9" W051 12'12.4"	10	19,6	20,0	17,4	15,3	12,9	12,5	4,6	2,3	0,6	1,6	13,2	12,5	12,7	10,7
Mat Pórt. Céu	S. 00 00'22.6" W051 12'04.3"	11	21,2	20,6	19,0	16,9	14,5	14,0	6,2	3,9	2,2	1,6	17,6	16,9	12,3	14,3
Paxicu Dentro	S. 00 03'04.2" W051 07'07.5"	12	10,6	10,0	8,4	6,3	3,8	3,5	11,4	13,7	15,4	13,2	17,6	0,7	19,6	17,6
Paxicu Foz	S. 00 03'15.1" W051 07'05.3"	13	9,9	9,3	7,7	5,6	3,2	2,8	10,7	13,0	14,7	12,5	16,9	0,7	18,9	16,9
V. N. C. Esquerdo	S. 00 04'43.1" W051 14'59.5"	14	23,2	22,6	21,0	18,9	16,5	16,1	8,2	10,5	12,1	12,7	12,3	19,6	18,9	2,0
V. N. E. Esquerdo	S. 00 04'34.2" W051 13'48.9"	15	21,2	20,6	19,0	16,9	14,5	14,1	6,2	8,5	10,1	10,7	14,3	17,6	16,9	2,0

A importância da Tabela-5 se dá no momento em que realiza a análise espacial dos parâmetros da qualidade da água, por exemplo, concentração variando ao longo do eixo longitudinal do rio. Ao se realizar tais comparações os 11 parâmetros estudados, entre o Matapi e Fortaleza, torna-se mais fácil visualiza-lo utilizando a presente tabela.

³ Utilizar esta tabela em conjunto com a Figura-1 para melhor compreensão.

4.2. PRINCIPAIS FASES DE ANÁLISE DAS ÁGUAS DOS RIOS

Dentre as principais fases do projeto que estão sendo detalhadas na avaliação da capacidade de assimilação de resíduos, compreenderam-se os seguintes itens:

- a) Avaliação dos impactos ambientais nos rios (incluindo sócio-econômico).
- b) Identificação e estimativa de cargas de resíduos;
- c) Definição de fatores hidrológicos e climatológicos;
- d) Adoção e verificação de fatores de autodepuração;
- e) Previsão de condições de correntes esperadas;

A fase a) é uma fase de acompanhamento e de verificação mensal nas zonas de interesse das bacias hidrográficas estudadas. Muitos impactos sobre a qualidade da água nestes corpos de água já foram sendo observados (Cunha et al., 2000, Cunha et al., 2001a,b), devido aos problemas de desmatamento, industrialização, urbanização e agricultura. Esta última com elevado comprometimento das matas ciliares, principalmente nos rios Matapi, Fortaleza e Paxicu, pelas características de acesso e localização estratégica que favorecem ocupações desses espaços.

As fases d) e e) foram as que tiveram maiores dificuldades na sua execução, devido principalmente às análises correntométricas e batimétricas, as quais somente foram definitivamente cumpridas uma única vez, no final de setembro de 2001, – quando o equipamento ADCP fora disponibilizado pela UnB/ANA-ANEEL para únicas medições. Naquele presente ano o ADCP não esteve disponível em tempo suficientemente para avaliar completamente os efeitos de marés durante pelo menos um ciclo completo, e para análise conjunto da qualidade da água em um período ou ciclo de maré. A exceção foi o Igarapé da Fortaleza em que ambas foram realizadas.

A seguir serão descritas as principais etapas de Análise de Resultados obtidos em testes de campo e laboratório para todos os pontos de coleta, seguindo a distribuição temporal da evolução dos mesmos.

4.3. PLANO DE TRABALHO E CRONOGRAMA

O trabalho de pesquisa se desenvolveu através da definição de algumas etapas:

- ♦ A primeira etapa foi concluída. Esta compreendeu as atividades que já foram realizadas nos levantamentos da literatura de suporte teórico e histórico relacionadas às especificações físico-químicas da água e estudos sobre modelos de qualidade da água – utilizando-se os recursos logísticos e de laboratório da SEMA-IEPA. Esse levantamento foi complementado na medida em que havia necessidade de novas informações.
- ♦ Levantamento e sistematização de dados estatísticos existentes sócio-econômicos e ambientais em excursões de campo e consulta à literatura: tais como o número de habitantes, informações meteorológico, informações disponíveis da qualidade da água e sobre a terra, desmatamento de áreas, imigração - que permitiram traçar uma evolução das transformações da bacia através das atividades antrópicas.

- ♦ Possível continuação do estudo das características físico-químicas, bacteriológicas, sócio-econômicos e hidráulicas nos cursos de água nas bacias citadas (a partir de 2003).
- ♦ Continuação do trabalho de campo e coletas de dados ao longo dos rios citados, cuja importância estratégica para o gerenciamento de recursos hídricos é comprovadamente relevante.
- ♦ Expansão dos dados das planilhas e gráficos de resultados das coletas específicas para fins de análises para o projeto.
- ♦ Diagnóstico sobre a qualidade da água e variabilidade espaço-temporal dos parâmetros analisados. Geração e estudos dos modelos estatísticos e hidrodinâmicos elaborados.
- ♦ Simulações utilizando modelos de difusão e advecção unidimensionais canais com as características do Rio Matapi.

4.4 CRONOGRAMA PREVISTO E EXECUTADO – CONCLUÍDO

O presente cronograma tem como objetivo o cumprimento das etapas da pesquisa ora apresentada. Na Tabela-6 é descrita as principais etapas do projeto.

Tabela-6: Cronograma de atividades previstas.

ATIVIDADES	1999	2000	2001	2002	2003
♦ Revisão Bibliográfica	♦	♦	♦		
♦ Levantamento da Área de Estudo	♦	♦	♦		
♦ Coleta de dados em campo – delimitação da área de estudo (três anos de coleta).	♦	♦	♦	♦	
♦ Trabalho de campo – coletas de água, hidrodinâmica e análise de dados meteorológicos e climáticos.			♦	♦	
♦ Análise estatísticas dos dados coletados e simulação numérica utilizando modelos unidimensionais de difusão e advecção.			♦	♦	
♦ Apresentação do relatório final – DCR ⁴					♦

4.5 FORMA DE ANÁLISE

Os resultados obtidos foram bastante consistentes, pois apresentaram certa robustez e aderência quando confrontados com os resultados da análise estatística. Em primeiro lugar foram listados abaixo os itens mais importantes da pesquisa:

⁴ Foi concluído em dezembro de 2002.

- ♦ Avaliações qualitativas e quantitativas das condições hidro-sanitárias do pólo industrial e proximidades da bacia do Matapi-AP. Banco de dados.
- ♦ Avaliação e análise dos dados obtidos em Laboratório de Química (SEMA – IEPA) e no Campo – Elaboração e ajustes de curvas. Análise Estatística dos Parâmetros. Comparações entre médias. Modelos Estatísticos.
- ♦ Elaborar metodologias apropriadas para região. Localização de pontos de coleta ótimos. Analisar: coleta de amostras de água, topografia, medidas de velocidade e vazão, área. Estimativa da capacidade de autodepuração dos corpos de água, utilizando modelos de qualidade da água encontrados na literatura.
- ♦ Estimar a zonas de mistura e os coeficientes de dispersão longitudinais.
- ♦ Analisar a seleção de trechos importantes para a coleta de amostras. Condições de escoamento predominante: regime permanente e não-permanente dos escoamentos.
- ♦ Uso de modelos matemáticos 1D disponíveis na literatura para elaboração e planejamento de atividades de monitoramento de recursos hídricos. Avaliar e estimar a qualidade da água em função de simulação com modelos disponíveis. Simulações numéricas de escoamentos em situações pontuais ou em trechos diferentes, ideais ou reais.
- ♦ Conjuguar as principais conclusões obtidas para elaborar estratégias de gerenciamento.
- ♦ Levantamento dos possíveis efeitos da poluição das águas sobre a saúde humana, nos municípios que envolvem a bacia hidrográfica. Algumas doenças veiculadas por via hídrica dependem fundamentalmente da melhoria da disposição dos excrementos ou efluentes de atividades antrópicas. Isto poderia auxiliar na legislação sobre águas, no âmbito estadual, a fim de efetuar a classificação dos corpos de água.

V – RESULTADOS E ANÁLISES

Como já foi discutido anteriormente, a partir deste ponto, são mostrados os resultados e análises de trabalho de campo, laboratório e computacional, ou seja, a verdadeira contribuição da presente pesquisa.

5.1 ANÁLISE SÓCIO ECONÔMICA

Na investigação sócio-econômica foram aplicados questionários específicos voltados às preocupações da poluição dos recursos hídricos e saneamento. Neste aspecto, buscou-se explorar as informações sobre como os ribeirinhos utilizam os recursos hídricos, bem como a importância para sua vida cotidiana, por que eles os utilizam, como, em que condições e quando.

A Tabela-7, a utilização das águas nestes rios implicam já em algumas restrições de uso, tais como: pesca, banho, alimentação, higiene e outros. As áreas que apresentam alguma alteração na qualidade da água são naturalmente não utilizadas, mesmo que a população não tenha consciência real de que esta pode estar em condições inadequadas. Por exemplo: parte dos pescadores do Igarapé da Fortaleza não gostam de pescar neste rio.

A Tabela-5 mostra o resultado deste comportamento, que tem implicações sobre os problemas de Saúde Pública. É importante observar que estes dados foram obtidos em 2001, muito antes da presente análise estatística completa dos dados.

Tabela-7: Utilização das águas dos rios para diversas atividades, em percentuais de respostas dadas dos entrevistados. (CUNHA et al. 2001)

Utilização do rio	Matapi		Fortaleza		Vila Nova		Paxicu	
	Total	%	Total	%	Total	%	Total	%
Pesca	23	89	24	48	19	95	3	16
Banho	23	89	37	74	20	100	4	20
Alimentação	22	85	8	16	16	80	0	0
Navegação	19	73	4	8	19	95	2	10
Higiene de animais	13	50	13	12	10	50	0	0
Irrigação	3	12	0	0	2	10	0	0
Não utiliza	1	4	0	0	0	0	14	74

A partir da Tabela-7, observa-se que quanto mais urbano é o rio maior é sua restrição de uso. E é fácil avaliar esta afirmação comparando as colunas em que as respostas dos entrevistados refletem os números percentuais. Quanto mais próximo da área urbana é o rio maior é a restrição de uso que cada cidadão faz da água

(independentemente de qualquer informação oficial sobre a qualidade da água local). Estes são o caso do Paxicu e do Fortaleza.

Em *primeiro* lugar no *ranking* de **restrição de uso da água**, o Igarapé do Paxicu (mais próximo da área urbana e de um matadouro municipal) é o que apresenta mais perceptivelmente as características de águas poluídas, como mal cheiro, substâncias flutuantes, coloração diferenciada, entre outras. Estas características têm dificultado bastante a pesca, o banho ou recreio no Distrito da Fazendinha, próximo de Macapá e Santana. Na Tabela-7 o índice ou percentual de entrevistados que utilizam a água do rio Paxicu para alimentação e banho, respectivamente, é de apenas 0% e 20%, sendo o caso mais grave de restrição.

Em *segundo* lugar, perceptivelmente o Igarapé da Fortaleza é o que tem apresentado o maior índice de rejeição quanto aos usos da água para fins nobres. Se observarmos na Tabela-7 o índice ou percentual de entrevistados que utilizam a água do rio para alimentação e banho, respectivamente, este é de 8% e 74%.

Em *terceiro* lugar, em um nível intermediário, o Matapi é o segundo melhor, seguido pelo Vila Nova, em quarto lugar. No presente caso, o Rio Matapi, de acordo com a Tabela-7, apresenta o índice ou percentual de entrevistados que utilizam a água do rio para alimentação e banho, respectivamente, em 85% e 89%, o qual foi considerado alto quando comparado com os dois anteriores.

Em *quarto* lugar, com o menor nível de restrição e com o mais elevado na percepção da qualidade da água, de acordo com a Tabela-7, o índice ou percentual de entrevistados apontou para alimentação e banho, respectivamente, os valores de 80% e 100%. Isto é, quase não há restrição nenhuma quanto a qualquer uso da água para fins nobres pela população local entrevistada.

Na avaliação sócio-econômica os resultados caminharam em direção à lógica, ou seja, houve uma coincidência entre os níveis de restrição do uso da água com os resultados obtidos das análises bacteriológicas, por exemplo. Mesmo antes destas últimas terem sido realizadas à época. Atualmente, como será visto adiante, as opiniões encerradas pelas comunidades ribeirinhas foram sábias e refletiram a real situação de risco que algumas delas vivem, principalmente aquelas sob influência das áreas urbanas de Macapá e Santana. Contudo, é importante manter o monitoramento para averiguar se a tendência comportamental da qualidade da água é mantida, o que tem ocorrido desde então com a manutenção das coletas por tempo indeterminado (IEPA/SEMA).

De fato, o que se tem observado, tanto pelas entrevistas quanto pelas análises químicas e bacteriológicas da água, é um aparente crescimento do nível de poluição perceptível no eixo temporal, sendo que espacialmente esta tende a diminuir com o afastamento das áreas urbanas de Macapá e Santana.

Esta parece uma conclusão óbvia, mas não se configura em regra. Pois em certas épocas do ano, as plumas de poluição observadas pelas análises se deslocam para locais sem quaisquer fontes de descarga de efluentes ou dejetos. São os efeitos das marés, da hidrodinâmica do escoamento, do clima e dos hábitos de lançamento de despejos de cada população local. Tais efeitos têm características sazonais, as quais podem se intensificar no inverno ou no verão, como será observado nos gráficos das

análises. Associado a todos estes fatores há as interferências antrópicas mais evidentes, tais como atividades agrícolas em épocas de plantio, elevado tráfego de embarcações para escoamento de produção do açaí, pesca, madeira, etc, os quais têm o caráter de influenciar muito mais os corpos de água de menor capacidade de diluição, dispersão ou autodepuração, como no Igarapé da Fortaleza (com vazão aproximada de 69m³/s no verão) comparado ao Rio Matapi (com vazão aproximada de 1000 m³/s no verão).

Em Macapá e Santana observou-se que os hábitos da população em utilizar as águas sob alto risco, em especial próximas da orla estuarina no verão (balneários), já podem estar refletindo em problemas de Saúde Pública. Ou seja, é difícil entender porque a população não apresenta índices de morbidade maiores do que o esperado, uma vez que é muito comum o uso desses locais como balneários públicos, processamento de alimentos, usos domésticos e outros. Na linha de discussão aqui arrolada, devemos crer que o poder autodepurativo dos corpos de água são uma das componentes importantes que favorecem uma menor morbidade apresentada pela população do que a possivelmente esperada para muitas das situações observadas.

Por outro lado, além dos resultados de exames bacteriológicos de amostras de água em laboratório, a interpretação da qualidade da água destinada para o uso e contato humano depende fortemente da extensão da investigação detalhada em campo e da observação vigilante da área tributária ao curso d'água estudado, como é o caso do Igarapé do Provedor que tem apresentado os maiores índices de coliformes fecais dentre todos os demais analisados (Cunha et al, 2001b). Pode-se afirmar que, na ausência de dados extensivos, a descarga *per capita* de bactérias não patogênicas em esgotos municipais é extremamente alta. Segundo Street (1928) *apud* Velz (1984), de aproximadamente 200 bilhões de organismos coliformes⁵.

O padrão sazonal de contribuição de bactérias coliformes *per capita* é um fator importante que controla estas variações. Desta forma, a literatura da área sugere que a evidência aponta para um período de máxima contribuição como nas estações mais quentes (Velz, 1984). Mas Cunha et al (2001a,b) afirmam que, nos ambientes da Zona Estuarina do Estado do Amapá estudado, a influência sazonal provavelmente seja muito mais dependente das precipitações das estações chuvosas do que propriamente da maior elevação de temperatura (diminuição dos níveis do rio na estação seca), nas estiagens, por causa de seu comportamento pouco variável ao longo do ano. Na análise estatística poderemos observar inclusive as correlações existentes entre as séries históricas de parâmetros climáticos com os índices de coliformes fecais ou contaminação bacteriológica nas águas dos rios.

O fato pode ser melhor interpretado quando se avaliam os resultados de análises de coliformes fecais, turbidez, etc nas águas nos períodos de chuvas, no início do inverno. Torna-se evidente que grande parte da carga de poluentes urbana pode estar sendo lixiviada para as áreas de drenagens dos rios, principalmente urbanos, com forte impacto na qualidade da água. Em Cunha et al (2001a,b), foram mostrados que

⁵ Normalmente estes números são elevados e apenas configuram-se em indicativos de que na água há a presença de poluição recente por esgoto, matadouros, criação de animais silvestres ou domésticos. Os coliformes fecais são inofensivos e habitam necessariamente os intestinos de animais de sangue quente, como o homem e o gado, tendo uma função fisiológica importante. Estes apenas podem indicar uma certa probabilidade de que haja presença de patogênicas na água, ou seja, uma probabilidade de alguma pessoa doente ter disposto seus dejetos na mesma, contaminando a mesma. Portanto, se há coliformes fecais em nível considerável, maior a probabilidade de haver patogênico, como aqueles que causam diarreia, vômito, leptospirose, entre outras.

durante o período de inverno, ou de maior incidência das chuvas, entre dezembro e abril, o número de doenças de veiculação hídrica é significativamente maior do que no verão, contrariando a hipótese de que no inverno esta incidência diminuiria pelo fato do maior poder de diluição ser alcançado com maiores volumes de água no corpo hídrico receptor de dejetos. Contudo, esta tendência não tem sido mantida para todos os parâmetros da qualidade da água, nem em todos os rios estudados. Muito pelo contrário. Cada parâmetro responde de forma diferente às tendências temporal ou variabilidade espacial nas zonas estudadas.

Neste aspecto, podemos notar as causas principais. No que se refere às precárias condições de drenagem e saneamento das áreas urbanas, periurbanas e rurais nas principais cidades e até mesmo nas menores, essa hipótese é sustentada, uma vez que as condições de infra-estrutura não são suficientes para evitar uma contaminação elevada dos corpos de água, tais como as encontrada nos rios Fortaleza, Matapi e Paxicu. Neste sentido, o Rio Vila Nova serviu como um “branco” – uma referência de qualidade (aquele rio que ainda não sofreu influência antrópica significativa ou facilmente observável). Contudo, poucas foram as vezes que níveis de coliformes não resultaram em número elevado, acima do esperado por exemplo, pelo CONAMA-86. Raras foram as exceções.

Neste caso, chamo a atenção para a *poluição difusa*, que na opinião do autor tem um papel muito mais importante que as localizadas, deve ser considerada como a principal causa de contaminação nas áreas estudadas, exceto no Paxicu, em que a fonte de contaminação é bem definida pelo matadouro municipal e por algumas áreas de drenagens urbanas próximas.

Para encerrar este tópico, pode-se concluir que os resultados das entrevistas foram significativas como ponto de referência do uso das águas ou restrição de uso das mesmas. Portanto, as populações ribeirinhas que vivem às margens dos rios fazem uso destes de forma contundente e os utilizam para atender suas necessidades mais básicas, como alimentação, pesca, higiene, lazer, transporte e disposição de dejetos domésticos. Se levarmos em conta os níveis de saneamento do Estado, principalmente Macapá e Santana, vemos que há muito o que fazer. Não há políticas governamentais para atender especificamente o ribeirinho. Pode até haver para o cidadão urbano, mas não para o ribeirinho. Há pouca orientação de higiene. Os níveis de morbidade são elevados e as crianças e jovens sofrem com doenças das mais variadas, sendo que as ações de prevenção dos governos têm sido ineficazes.

Na presente análise já foi possível avaliar o comportamento sócio-ambiental em que o cidadão ribeirinho vive. Sua reação aos usos restritivos da água, pelo fato da água estar poluída, é, sem dúvida, um mau sinal. É um processo de marginalização do cidadão já tão marginalizado, que se ressentido da falta de serviços adequados e específicos das estruturas do poder público que pelo menos minimize o grau de sofrimento do cidadão comum. Desta forma, os níveis de restrição do uso da água tende a se expandir no sentido urbano-rural, sendo que a sua evolução temporal somente será determinada pela soma complexa entre as ações do homem, do clima e do sabor das correntes que governam a dispersão de plumas poluentes em toda a zona estuarina que circunda as capitais de Macapá e Santana.

5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS DE CAMPO

Os resultados destes estudos, nas questões específicas de interesse desse projeto, **não devem** ser extrapoladas para outras regiões e sim utilizados para uma primeira avaliação local, como um experimento piloto. Isto se deve ao fato de que os fatores externos, além de outros parâmetros de influência da qualidade da água, têm pouca relação com o que se tem obtido das análises de campo e laboratório. Ou seja, até o presente momento, esta análise tem seu fundamento em resultados mais fundamentados na avaliação estatística do que numa relação direta de **causa-efeito** com a dinâmica do ecossistema aquático, influências de impactos antrópicos verdadeiramente mensuráveis ou até mesmo com os fatores climatológicos determinantes.

Estas são as razões cruciais para que não se façam extrapolações dos modelos estatísticos obtidos para outras áreas ou regiões do Estado. Contudo, esta limitação não minimiza a importância do estudo, pois fornece as informações iniciais para implementação e seqüência de outras pesquisas mais aprofundadas e direcionadas para a quantificação de parâmetros da qualidade da água e da gestão dos recursos hídricos. De tal forma que venham a se desdobrar na melhoria da qualidade de vida dos cidadãos afetados pela poluição.

Nos quatro rios estudados as fontes de poluição detectadas foram principalmente de esgoto bruto e *runoff* (lixiviação do solo pela chuva, por exemplo) urbano e rural. Mas em alguns casos, como no Igarapé Provedor (Igarapé da Fortaleza) e Paxicu as fontes eram pontuais e facilmente detectáveis (provedor, ponte, balsa, etc). Desta forma, nos dois primeiros anos de coleta os principais picos de concentração de coliformes fecais foram encontrados no período de início das chuvas e durante as marés baixas. No terceiro ano foi mantida esta tendência. Nem sempre o mesmo ocorria com outros parâmetros, como o pH, condutividade elétrica da água, oxigênio dissolvido, sólidos suspensos, etc. E é justamente neste aspecto que o presente trabalho apresenta sua contribuição.

Como pode ser observado da Tabela-8 abaixo, foi adaptado de SINDERMAN (1995) um esquema explicativo de como os efeitos da poluição são sentidos pela fauna aquática ao longo de um período de tempo, bem como seus respectivos efeitos sobre os seres humanos e os riscos que representam.

Tabela-8: Mudanças percebidas da qualidade da água nas áreas estudadas. Sequências temporais dos efeitos de *stress* causados pela poluição sobre a vida aquática e bacias hidrográficas, adaptadas de Sinderman (1995).

Sequência Temporal	Efeitos Negativos da Contaminação	Atual Estágio de Entendimento no Estado do Amapá
Imediato	Detecção de mudanças de comportamentos dos ambientes	Devastação das matas ciliares, desaparecimento de espécies de peixes e mariscos; desaparecimento de animais silvestres e pássaros. Invasão da urbanização, pasto e agricultura. Em menor, escala a indústria.
	Efeitos sobre os sistemas neurais e endócrinos de peixes e outros.	Não há estudos locais sobre estes aspectos ou efeitos desconhecidos.
	Efeitos sobre as membranas epiteliais de peixes e outros.	Não há estudos locais sobre estes aspectos ou efeitos desconhecidos.
Minutos a dias	Respostas Bioquímicas Alteração no metabolismo, fluidos dos corpos e enzimas	Não há estudos locais sobre estes aspectos ou efeitos desconhecidos.
	Respostas Fisiológicas: Consumo de oxigênio Balanço osmótico Alimentação Digestão	Não há estudos locais sobre estes aspectos ou efeitos desconhecidos. Nas águas dos rios estudados apenas se tem observado baixos níveis de oxigênio, mas que se supõem serem normais para a região e característico dos rios amazônicos. Em casos esporádicos já se detectou concentrações de até 3,5 mg/l, no Paxicu, o que é preocupante. Outro fator importante é o pH levemente ácido que têm sua importância para o balanço osmótico e bioquímico dos peixes. Alterações das faixas normais têm sido observadas no rio Paxicu e Fortaleza. É fato que quando se desmatam as margens dos rios, deixa-se de produzir os alimentos dos peixes: faltam as sementes, as folhas, os frutos e outros. Esse fator é basicamente um dos prováveis diminuidores da disponibilidade de peixes antes abundantes em alguns dos rios estudados. Além disso, o desbarrancamento dos rios podem provocar intensas influências sobre diminuição da penetração de luz, aumento da turbidez e sedimentos na água, que influenciam na biota bentônica e de superfície, alterando a cadeia alimentar dos animais superiores.
Dias a meses	Desempenho fisiológico alterado: Crescimento e Reprodução	Não há estudos locais sobre estes aspectos ou efeitos desconhecidos.
Meses a Anos	Impacto na população	Restrição de uso amplo da água e de seus recursos aquáticos (peixes, crustáceos, mariscos). Água potável, mesmo quando existente, não é segura, porque outras formas de contato de risco são o banho, alimentos, cozinhar, com água de rio contaminada.
		Altos níveis de coliformes fecais (elevados níveis de matéria orgânica), alterações de pH, alterações elevadas na turbidez, além das faixas normais; Problemas de Saúde Pública. Assoreamento de rios. Restrição para a navegação. Captação de água. Aumento progressivo de risco de doenças de veiculação hídrica. Devido ao saneamento básico extremamente difícil de ser efetivado em consequência de que há muitas restrições físicas e naturais de entradas de caminhões de lixo nestas áreas, dificuldades de implementação de infra-estrutura para esgoto e água potável. Contaminação dos lençóis freáticos e morte e sepultamento de pequenos córregos que drenam as bacias hidrográficas.
Anos a décadas	Estrutura de comunidades Estrutura e Função do Ecossistema	Não há estudos sobre estes aspectos ou efeitos desconhecidos. O Período de estudo exige um acompanhamento que extrapola a atual condição do Estado para avaliar esses efeitos.

5.2.1. ANÁLISE DE COLIFORMES FECAIS

O presente resultado mostra a tendência aparente da deteriorização da qualidade da água em termos de concentração de coliformes fecais nos quatro corpos de água estudados. A Figura-8 mostra níveis ou os patamares da concentração média de coliformes fecais apresentados nos rios estudados. A curva de probabilidade de concentração indica que há um certo comportamento cíclico de variabilidade da concentração, conforme a época do ano. Porém, isto demonstra e reforça a hipótese de que ela ocorre nitidamente nas épocas de chuva, quando ocorrem os maiores picos. O comportamento é obviamente cíclico e apresenta uma certa homogeneidade de flutuação, que quando observada em uma curva de probabilidade é capaz de capturar (e simplificar) as flutuações complexas que tais sistemas apresentam. O valor do eixo x (tempo) representa cada campanha de coleta, iniciando-se com a primeira em setembro de 1999.

Observa-se a ampla variabilidade espaço-temporal das concentrações. A linha do gráfico representa um comportamento médio de todos os pontos estudados. No mesmo gráfico é possível ainda observar a variabilidade espacial, notando-se em cada coleta a amplitude das concentrações nos eixos verticais. Quanto maior for o afastamento ou dispersão dos pontos em cada eixo vertical (cada um representa uma data ou período de coleta), maior terá sido a diferença nos valores das concentrações.

A Tabela-9 mostra os valores numéricos de todas as coletas realizadas ao longo dos três anos de estudo.

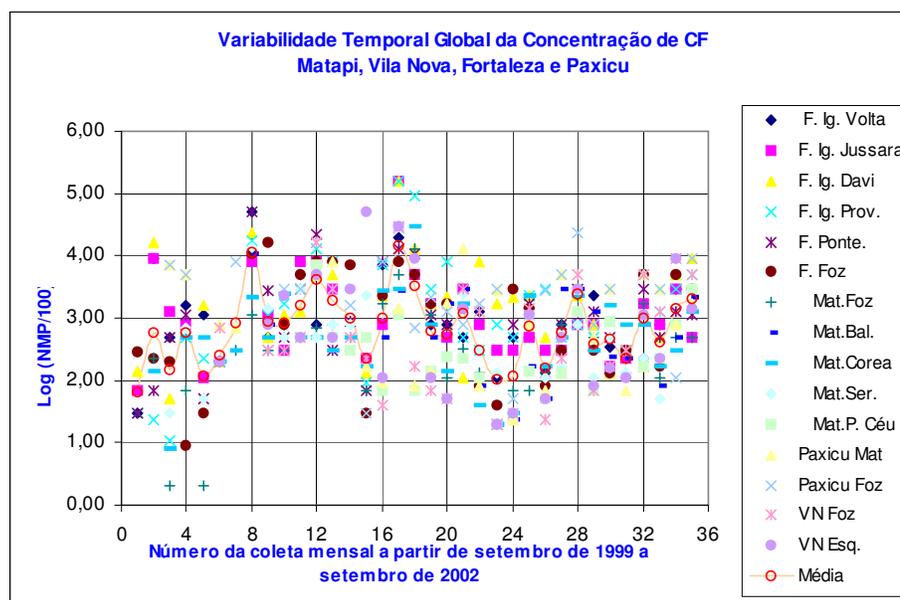


Figura-8: Variabilidade Temporal Global envolvendo todas as análises de concentração de coliformes fecais para os quatro rios. Entre os anos de 1999 e 2002 totalizaram-se 451 análises. A média está indicada pela linha.

Tabela-9: Valores da concentração de Coliformes Fecais na escala logarítmica.

F. Ig. Volta	F. Ig. Jussara	F. Ig. Davi	F. Ig. Prov.	F. Ponte.	F. Foz	Mat.Foz	Mat.Bal.	Mat.Corea	Mat.Ser.	Mat.P. CóiPax.	MatacPaxicu	Foz VN Foz	VN Esq.
1,477	1,845	2,146	1,477	1,477	2,447								
3,954	3,954	4,204	1,362	1,845	2,362	2,342		2,146					
2,699	3,114	1,699	1,041	2,699	2,301	0,301		0,903	1,477		3,845	3,845	
3,204	2,903		2,699	3,041	0,954	1,845		2,699	2,845		3,699	3,699	
3,041	2,041	3,204	2,342	1,699	1,477	0,301		2,699	1,699				
2,301		2,301	2,301	2,301	2,301	2,301		2,301	2,301		2,903	2,301	2,845 2,301
						2,477		2,477			2,845	3,903	
4,699	3,903	4,362	4,230	4,699	4,041	3,041	4,041	3,342	4,146				
2,699	3,041	2,699	3,041	3,447	4,204	2,477	2,903	2,699	3,146			2,477	2,477 2,903
2,903	2,477	3,041	3,230	2,699	2,903	2,477		3,380	2,699			3,477	2,477 3,362
3,699	3,903	3,114	3,477	3,477	3,699	2,699		2,699	3,477	2,699		3,477	2,699 2,699
2,903	3,903	3,699	4,114	4,342	3,903	2,845		2,699	2,699	3,845		4,204	4,204 3,699
3,903	3,477	3,699	3,903	2,477	3,903	2,903		2,477	2,903	2,699	3,903	3,477	3,477 2,699
				2,954	3,845	2,699		2,699	2,903	2,477		3,204	2,699 3,477
2,362	2,362	2,114	1,954	1,845	1,477	1,845		2,230	2,699	2,230		1,477	2,362 4,699
3,845	2,903	3,362	3,845	3,903	3,362	3,230	2,699	3,431		1,845	1,954	3,903	1,602 2,041
4,301	5,204	5,204	5,204	4,114	3,903	3,699	3,447	3,477		3,041	3,146	4,447	4,477 4,477
3,699	3,699	4,114	4,954	4,041	3,699	4,114		4,477		1,845	1,903	2,845	2,230 3,954
2,903	3,230	3,230	3,477	3,041	3,230	3,041	2,699	2,903		2,146	2,146	3,342	1,845 2,041
2,903	2,699	3,342	3,903	2,908	3,230	2,041	3,230	2,146		2,380	3,230	3,114	1,699 1,699
2,699	3,477	2,041	2,699	3,477	3,146	2,519	3,477	3,230	3,380	2,362	4,114	2,903	3,477 3,146
3,114	2,903	3,903	2,477	1,903	1,903	2,114	1,903	1,602	2,477	2,041	1,903	3,230	3,114
2,041	2,477	3,230	2,903	1,301	1,602	1,301	1,301	1,301	2,114	1,301	3,447	3,477	1,301 1,301
2,699	2,477	3,342	2,699	2,903	3,477	1,845	1,362	1,477	1,477	1,362	1,362	1,699	1,477 1,477
2,699	2,699	3,362	3,362	3,230	3,146	1,845	2,230	3,362	2,903	2,146	2,903	3,041	3,146 3,041
2,114	2,477	2,699	3,477	2,114	1,903	2,114	1,699	2,230	2,041	1,699	1,845	3,447	1,362 1,699
2,903	2,477	2,114	2,699	2,903	2,477	2,903	3,477	2,699	2,230	2,114	3,699	3,699	2,362 2,699
3,362	2,903	3,362	2,903	3,477	3,380	3,362	3,477	3,362	2,903	3,114	3,477	4,380	3,699 3,477
3,362	2,903	2,903	2,699	3,114	2,477	2,699	3,114	2,477	2,041	1,845	2,699	2,903	1,845 1,903
2,544	2,230	2,114	2,954	2,699	2,114	2,699	2,380	3,204	2,699	2,954	3,477	3,477	2,230 2,204
2,362	2,362	2,477	2,477	2,477	2,477	2,114	2,362	2,903	2,114		1,845	2,477	2,477 2,041
2,342	3,230	2,230	2,230	3,477	3,699	3,230	2,903	2,903	2,362	2,230	3,699	3,699	3,699 3,041
2,903	2,903	2,699	3,114	2,699	2,230	2,041	1,903	2,230	1,699	2,342	3,477	3,477	3,114 2,362
3,477	3,477	3,699	3,477	3,114	3,699	2,699	2,699	2,477	2,903	2,903	2,903	2,041	3,954 3,954
2,699	2,699	3,954	3,699	3,041	3,477	2,699	3,342	3,114	3,477	3,477	3,230	3,954	3,699 3,146

Com relação a Figura-8, é importante também observar que o valor 3,00 (eixo vertical – y) é o valor máximo permitido para coliformes fecais em rios de classe 2. Esta classe indica que a água pode ser captada para consumo humano por meio de processos convencionais de tratamento de água. Isto é, da mesma forma como a água da CAESA capta água na Estação Santa Inês, apenas com tratamento simples: coagulação, filtração, cloração, sem haver necessidade por exemplo de maiores cuidados com metais pesados, o que dificultaria imensamente o processo de tratamento da água.

Como primeira conclusão importante é possível observar que a contribuição das fontes de contaminação microbiológicas é sazonal e cíclica. Tal comportamento é esperado como aponta a literatura da área (VELZ, 1984). A partir destes dados é possível se elaborar uma tabela que exponha os padrões sazonais esperados da contribuição de coliformes fecais fundamentado na média anual de 200 bilhões/catpa.dia, por exemplo.

A seguir serão apresentados os resultados da análise estatística para cada ponto de coleta individualmente. A análise gráfica representa a distribuição estatística mais confiável do ecossistema aquático até o momento. Os níveis de aderência das análises de regressões lineares (log normal) são elevadíssimos e configuram-se realmente em dignos representantes matemático-estatísticos do fenômeno da distribuição espaço-temporal das concentrações ora analisadas, com $R^2 \geq 0,90$ (coeficiente de ajuste dos dados que geram as equações em cada gráfico). É importante observar os padrões em cada ponto de coleta analisado. Na Figura-10a,b...etc, visualmente observam-se semelhanças comportamentais e de distribuição. Às vezes, há alguma correlação comportamental nas respectivas distribuições das concentrações entre pontos

próximos. Por outro lado, também isso ocorre entre pontos tão distantes quanto o Igarapé da Volta e Canal Esquerdo do Vila Nova a 20 km de distância.

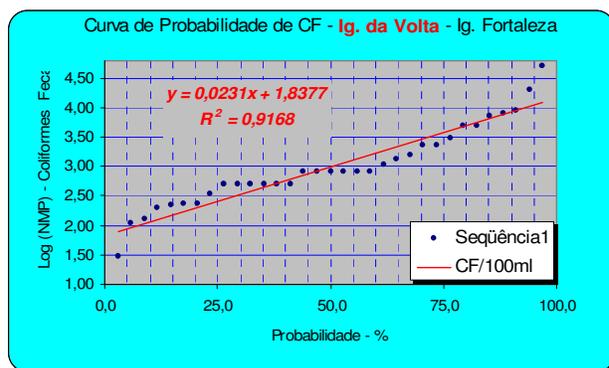


Figura-10a: Curva de probabilidade da distribuição temporal de coliformes fecais no ponto Igarapé da Volta – **Fortaleza**. O valor de $R^2 = 0,9168^6$ indica uma excelente aderência dos dados a uma distribuição log normal. O gráfico também indica a probabilidade de ocorrência da referida concentração ao nível de 0,5% de significância.

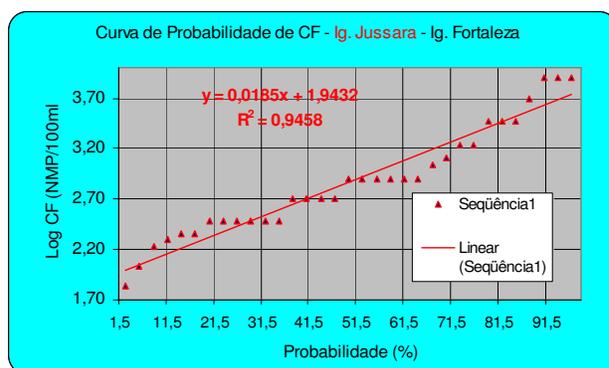


Figura-10b: Curva de probabilidade da distribuição temporal de coliformes fecais no ponto Igarapé Jussara – **Fortaleza**. O valor de $R^2 = 0,9458$ indica uma excelente aderência dos dados a uma distribuição log normal. O gráfico também indica a probabilidade de ocorrência da referida concentração ao nível de 0,5% de significância.

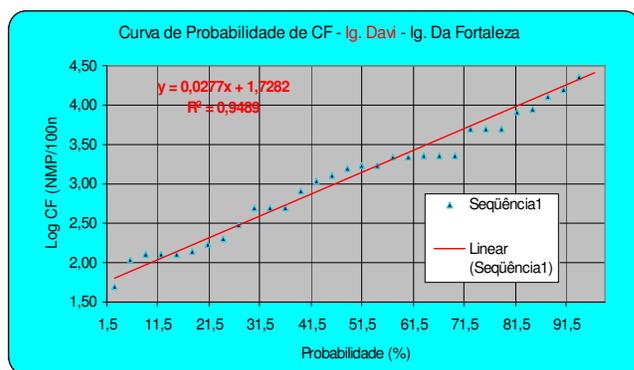


Figura-10c: Curva de probabilidade da distribuição temporal de coliformes fecais no ponto Igarapé da Davi – **Fortaleza**. O valor de $R^2 = 0,9489$ indica uma excelente aderência dos dados a uma distribuição log normal. O gráfico também indica a probabilidade de ocorrência da referida concentração ao nível de 0,5% de significância.

⁶ O Coeficiente de Pearson R^2 indica o quão estão os dados ajustados ao modelo matemático proposto ($y = ax + b$).

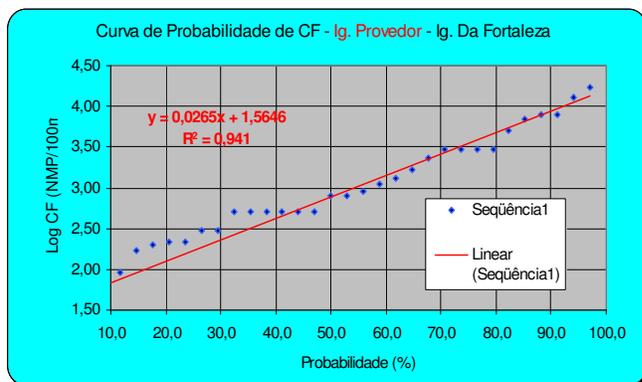


Figura-10d: Curva de probabilidade da distribuição temporal de coliformes fecais no ponto Igarapé Provedor – **Fortaleza**. O valor de $R^2 = 0,9410$ indica uma excelente aderência dos dados a uma distribuição log normal. O gráfico também indica a probabilidade de ocorrência da referida concentração ao nível de 0,5% de significância.

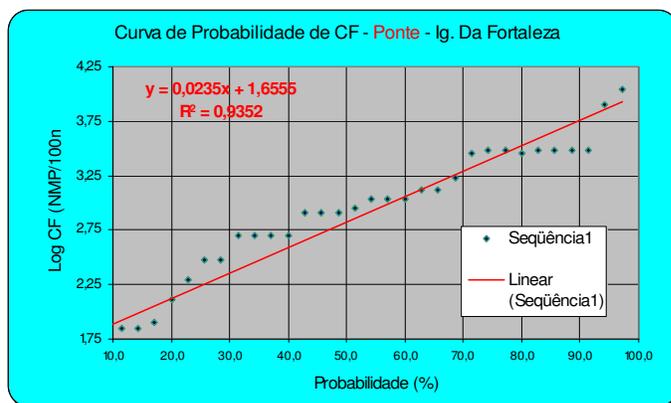


Figura-10e: Curva de probabilidade da distribuição temporal de coliformes fecais no ponto Igarapé Ponte – **Fortaleza**. O valor de $R^2 = 0,9352$ indica uma excelente aderência dos dados a uma distribuição log normal. O gráfico também indica a probabilidade de ocorrência da referida concentração ao nível de 0,5% de significância.

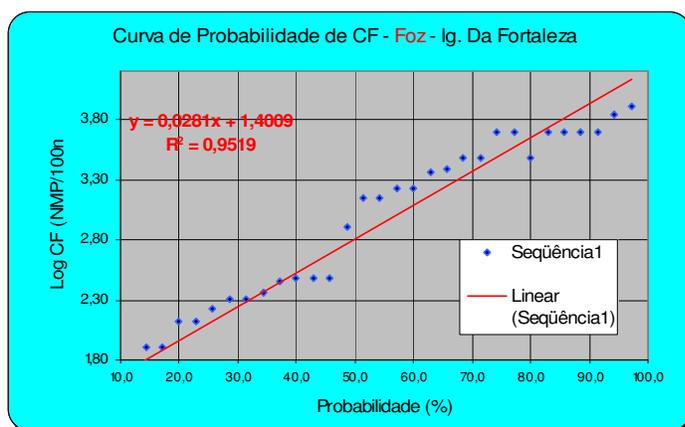


Figura-910: Curva de probabilidade da distribuição temporal de coliformes fecais no ponto Igarapé Foz – **Fortaleza**. O valor de $R^2 = 0,9519$ indica uma excelente aderência dos dados a uma distribuição log normal. O gráfico também indica a probabilidade de ocorrência da referida concentração ao nível de 0,5% de significância.

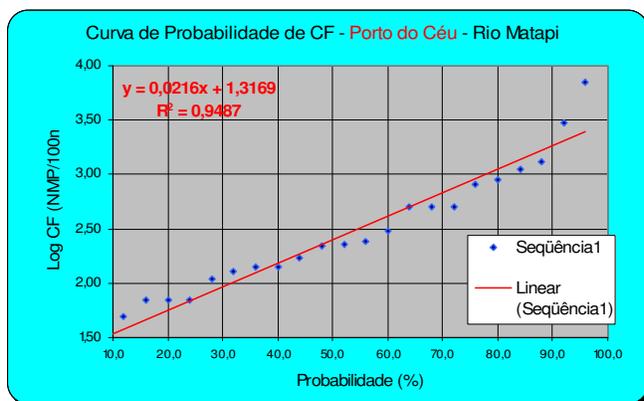


Figura-10g: Curva de probabilidade da distribuição temporal de coliformes fecais no ponto Porto do Céu – **Matapi**. O valor de $R^2 = 0,9487$ indica uma excelente aderência dos dados a uma distribuição log normal. O gráfico também indica a probabilidade de ocorrência da referida concentração ao nível de 0,5% de significância.

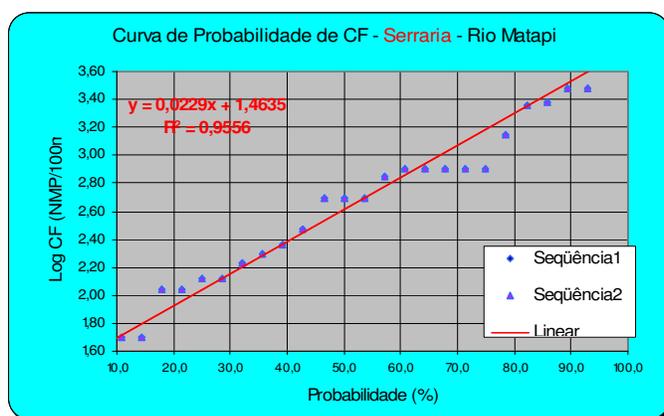


Figura-10h: Curva de probabilidade da distribuição temporal de coliformes fecais no ponto Serraria – **Matapi**. O valor de $R^2 = 0,9556$ indica uma excelente aderência dos dados a uma distribuição log normal. O gráfico também indica a probabilidade de ocorrência da referida concentração ao nível de 0,5% de significância.

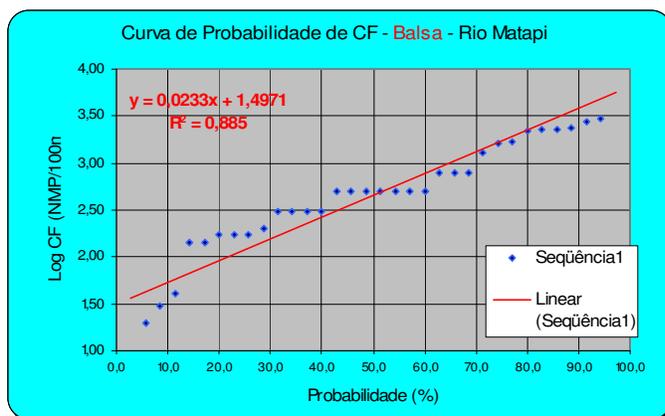


Figura-10i: Curva de probabilidade da distribuição temporal de coliformes fecais no ponto Balsa – **Matapi**. O valor de $R^2 = 0,8850$ indica uma excelente aderência dos dados a uma distribuição log normal. O gráfico também indica a probabilidade de ocorrência da referida concentração ao nível de 0,5% de significância.

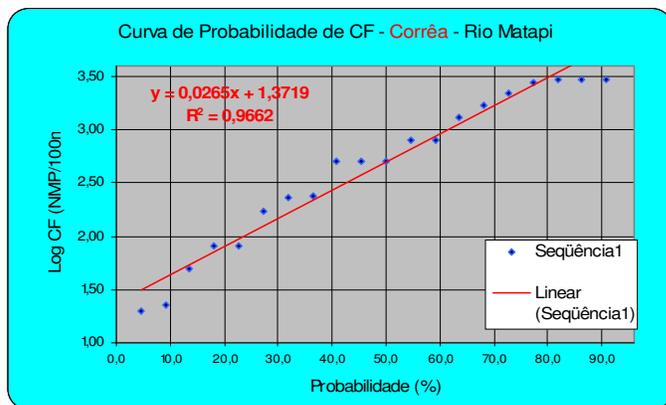


Figura-10j: Curva de probabilidade da distribuição temporal de coliformes fecais no ponto **Corrêa – Matapi**. O valor de $R^2 = 0,9662$ indica uma excelente aderência dos dados a uma distribuição log normal. O gráfico também indica a probabilidade de ocorrência da referida concentração ao nível de 0,5% de significância.

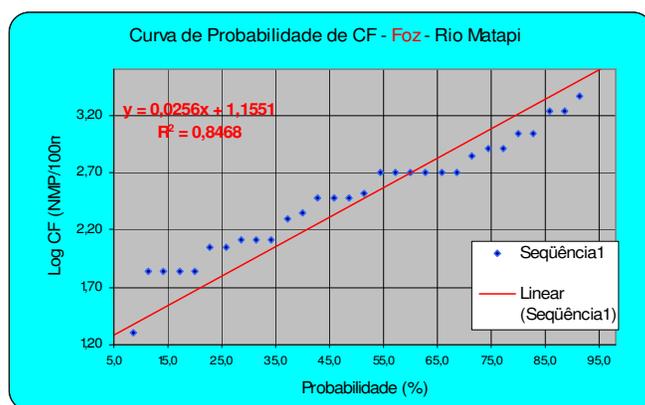


Figura-10k: Curva de probabilidade da distribuição temporal de coliformes fecais no ponto **Foz – Matapi**. O valor de $R^2 = 0,868$ indica uma muito boa aderência dos dados a uma distribuição log normal. O gráfico também indica a probabilidade de ocorrência da referida concentração ao nível de 0,5% de significância.

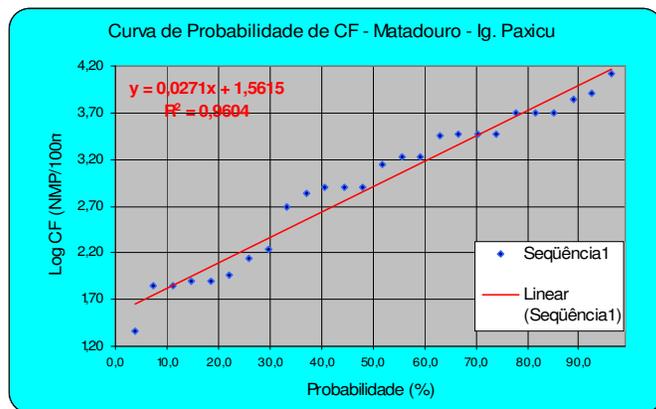


Figura-10l: Curva de probabilidade da distribuição temporal de coliformes fecais no ponto **Matadouro – Paxicu**. O valor de $R^2 = 0,9604$ indica uma excelente aderência dos dados a uma distribuição log normal. O gráfico também indica a probabilidade de ocorrência da referida concentração ao nível de 0,5% de significância.

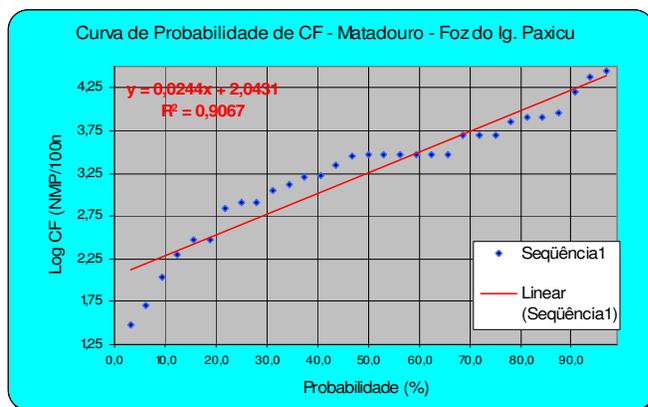


Figura-10m: Curva de probabilidade da distribuição temporal de coliformes fecais no ponto Foz – **Paxicu**. O valor de $R^2 = 0,9067$ indica uma excelente aderência dos dados a uma distribuição log normal. O gráfico também indica a probabilidade de ocorrência da referida concentração ao nível de 0,5% de significância.

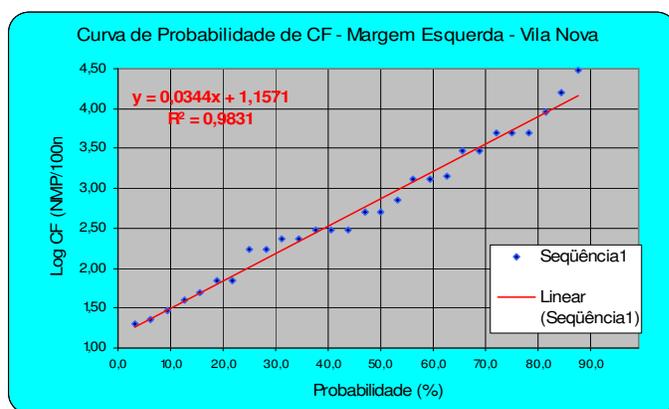


Figura-10n: Curva de probabilidade da distribuição temporal de coliformes fecais no ponto Margem Esquerda do Canal Esquerdo – **Vila Nova**. O valor de $R^2 = 0,9831$ indica uma excelente aderência dos dados a uma distribuição log normal. O gráfico também indica a probabilidade de ocorrência da referida concentração ao nível de 0,5% de significância.

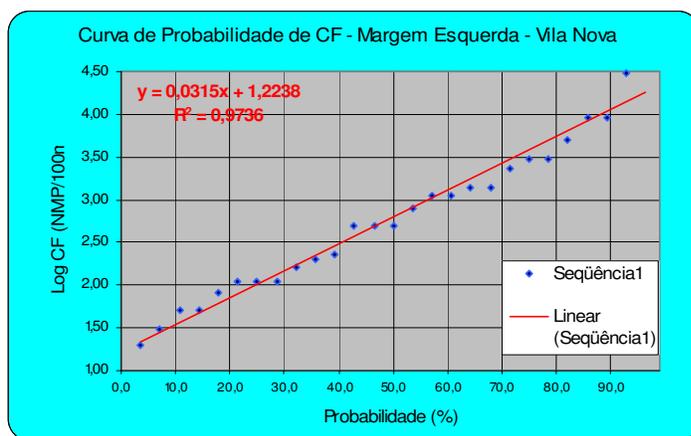


Figura-10o: Curva de probabilidade da distribuição temporal de coliformes fecais no ponto Foz do Canal Esquerdo – **Vila Nova**. O valor de $R^2 = 0,9410$ indica uma excelente aderência dos dados a uma distribuição log normal. O gráfico também indica a probabilidade de ocorrência da referida concentração ao nível de 0,5% de significância.

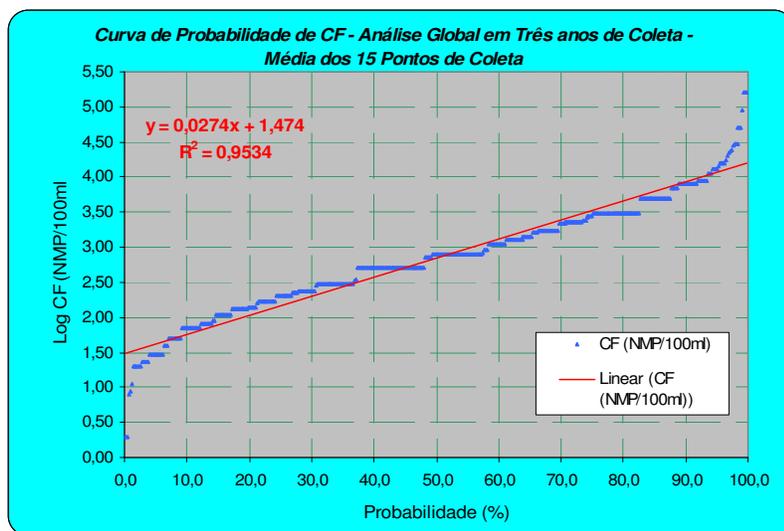


Figura-10p: Análise conjunta para todos os quinze pontos de coleta ao longo de 3 três anos. Observa-se, assim como em todos os casos individualmente, a forte aderência à distribuição log normal, cujo coeficiente $R^2 = 0,9534$ representa uma elevada concordância e confiabilidade dos resultados.

As Figuras-10 a,b,c...p mostram de fato que a análise estatística conseguiu representar bem o fenômeno da variabilidade espaço-temporal da zona estuarina estudada, apesar de seu aspecto complexo e dinâmico, governado principalmente pelos fatores antropogênicos, climáticos e das marés.

Para uma melhor interpretação e leitura dos gráficos apresentados podemos dar um exemplo de como utiliza-lo. Por exemplo, se quisermos saber qual a probabilidade de se realizar uma campanha de simultânea nos 15 pontos apresentados e encontrar uma concentração média acima de 1000 CF/100 ml de amostra é de aproximadamente 55%. Para entender o processo, parte-se do eixo vertical em $\log Y = 3,0$ até a curva do gráfico, e rebatendo uma linha imaginária até o eixo horizontal. Neste caso, há cerca de 55 a 60% de chance de que a média de concentração entre os 15 pontos analisados em uma coleta seja menor ou igual a este valor (ou de outra forma, de 40 a 45% de probabilidade de se encontrar em média valores acima de 1000 de CF/100ml da amostra).

As Figuras 9 a,b, c...p nos fazem concluir que há uma enorme faixa de variação das concentrações de coliformes fecais, tanto do ponto de vista espacial quanto do ponto de vista temporal. Entretanto, quando os valores são analisados conjuntamente, verificamos que as ocorrências mais críticas se dão nos períodos de inverno, especialmente durante os meses de janeiro a março. A mais intensa ocorreu entre fevereiro e março de 2001, após uma forte chuva, seguida de sol.

Apesar dos gráficos serem bastante interessantes e indicarem como se dão estas distribuições, elas não detalham nem correlacionam especificamente cada ponto de coleta entre si. A Tabela-10 mostra uma **análise de correlação** global da variabilidade espaço-temporal das concentrações e em que nível (valores da tabela) de coincidência comportamental as mesmas se dão.

Tabela-10: Análise de correlação entre as variabilidades **espaço-temporais** das concentrações de **coliformes fecais** para os quinze pontos de coleta. Os números destacados em vermelho indicam uma forte correlação, acima de 70%.

	F. I.Volta	F. Jussara	F. Ig. Davi	F. Ig. Prov.	F. Ponte.	F. Foz	Mat.Foz	Mat.Bal.	Mat.Cor	Mat.Ser.	Mat.P. Céu	Pax. Mat	Pax. Foz	VN Foz	VN Esq.
F. Ig. Volta	1,0000														
F. Ig. Jussara	0,7315	1,0000													
F. Ig. Davi	0,7214	0,6249	1,0000												
F. Ig. Prov.	0,5255	0,5106	0,6613	1,0000											
F. Ponte.	0,5787	0,6329	0,3677	0,6575	1,0000										
F. Foz	0,4411	0,5765	0,4543	0,5877	0,7267	1,0000									
Mat.Foz	0,4667	0,5327	0,4048	0,6409	0,6568	0,6381	1,0000								
Mat.Bal.	0,5918	0,5119	0,1806	0,3603	0,7605	0,5970	0,7336	1,0000							
Mat.Corea	0,3808	0,2640	0,2907	0,6025	0,6246	0,4285	0,7004	0,7011	1,0000						
Mat.Ser.	0,4692	0,5007	0,3593	0,5300	0,5125	0,4486	0,5553	0,7242	0,6078	1,0000					
Mat.P. Céu	0,2434	0,3905	0,2160	0,2613	0,4006	0,3910	0,3312	0,6460	0,3295	0,6522	1,0000				
Paxicu Mat	0,0258	0,1845	-0,2573	-0,1609	0,0745	-0,0011	-0,0941	0,5232	-0,0187	0,2704	0,4702	1,0000			
Paxicu Foz	0,3213	0,3430	0,2748	0,3047	0,3532	0,1181	0,2492	0,3858	0,2168	0,0188	0,3675	0,4669	1,0000		
VN Foz	0,3368	0,6072	0,3343	0,2068	0,4283	0,4474	0,3814	0,4965	0,3026	0,4889	0,7586	0,4990	0,3301	1,0000	
VN Esq.	0,3659	0,5103	0,3017	0,2681	0,4139	0,3479	0,4662	0,6168	0,5130	0,7018	0,6157	0,1640	0,0406	0,6939	1,0000

A Tabela-10 indica que neste caso o comportamento variacional temporal das concentrações nos 15 pontos de coleta estão pouco correlacionados, a exceção são os números destacados em vermelho, indicando valores de correlação acima de 70%. Isto significa que, quando a concentração de CF do Igarapé da Fortaleza varia, a variação da concentração do Igarapé Jussara é 73,15% semelhante ao do primeiro. Estes resultados já são suficientes para que, na evolução dos trabalhos de campo futuros, se possa excluir pelo menos um ponto de coleta. Esta foi uma das razões para que atualmente apenas 6 dos 15 pontos sejam necessários ou suficientes para manter o monitoramento da qualidade da água. É claro que o espectro encontrado na Tabela-10 difere para cada parâmetro da qualidade da água individualmente. Cabe a quem está pesquisando decida se permanece ou continua com o mesmo número de pontos de coleta que gere o mesmo nível de confiabilidade da análise anterior. Mas, em caso de redução do número de pontos, pode-se compensar com o aumento do número de parâmetros, uma vez que já se conhece hipoteticamente o meio em que se está estudando. Isso ocorreu com as novas análises que se iniciaram em outubro de 2003.

5.2.2. ANÁLISE DE OUTROS PARÂMETROS DA QUALIDADE DA ÁGUA

5.2.2.1 OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)

De acordo com BARBOSA (1997) a busca do controle da qualidade da água de escoamentos naturais exige uma efetiva atuação no sentido de minimizar os efeitos causados pela ação de fontes poluidoras. Para isso são tomadas decisões que por vezes se apóiam em modelos para o oxigênio dissolvido (OD) e que se observam os padrões de qualidade da água. Estes modelos, simulando as trocas do OD, são utilizados nos cálculos de resíduos suportáveis pelo escoamento para que os padrões definidos para o OD não sejam violados.

Logo após um resíduo orgânico ter sido lançado no corpo de água receptor, tem andamento um processo natural de purificação, isto é, o abatimento do nível de concentração do material objetável ocorre pela sua transformação em uma forma mais estável, através da oxidação biológica, e pelo efeito de diluição e do decaimento natural em decorrência das ações físicas da advecção e da mistura transversal turbulenta e dispersão longitudinal.

No processo de oxidação biológica o OD é utilizado pelos microrganismos (bactérias) aquáticos para metabolizar a matéria orgânica. A quantidade de oxigênio requerida pelos microrganismos para estabilizar a matéria orgânica sob condições aeróbicas denomina-se de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

Para uma carga de resíduos, a capacidade de auto-purificação ou autodepuração de um rio dependerá das concentrações do OD e, fundamentalmente da capacidade do escoamento repor o oxigênio que será consumido na biodegradação de resíduos orgânicos (BARBOSA, 1997).

Segundo LUNG (1993), em estuários a reaeração tem sido calculada como uma função da tensão do fundo ou avaliado como uma constante empírica. A equação de O'Connor *apud* LUNG (1993) uma equação genérica em função de um coeficiente de reaeração K_a (dia⁻¹), velocidade média da maré durante um ciclo completo (m/dia), da difusividade molecular do oxigênio (m²/d) e da altura média da coluna líquida (m).

$$K_a = \frac{D_L U_o}{H^{\frac{3}{2}}} \quad (1)$$

Esta equação será utilizada para elaborar as primeiras estimativas da capacidade de reaeração no Matapi. E, portanto, a capacidade de reaeração de um corpo hídrico qualquer é uma função direta da movimentação turbulenta sofrida pela água em escoamento, e pode ser avaliada mediante a quantificação do parâmetro K_a , no caso de estuários.

Considerando-se cursos de água receptores de despejos orgânicos caracterizados por uma disponibilidade limitada de oxigênio dissolvido, a reaeração constitui-se no parâmetro crítico para a definição do nível de tratamento requerido dos resíduos

orgânicos. É esta capacidade que diz o quanto se poderá despejar no corpo hídrico receptor de dejetos.

Por estas razões, conhecer bem a capacidade de reoxigenação natural de um curso de água constitui-se em uma exigência básica para o planejamento do controle da poluição e para o gerenciamento da disposição final dos resíduos (BARBOSA, 1997).

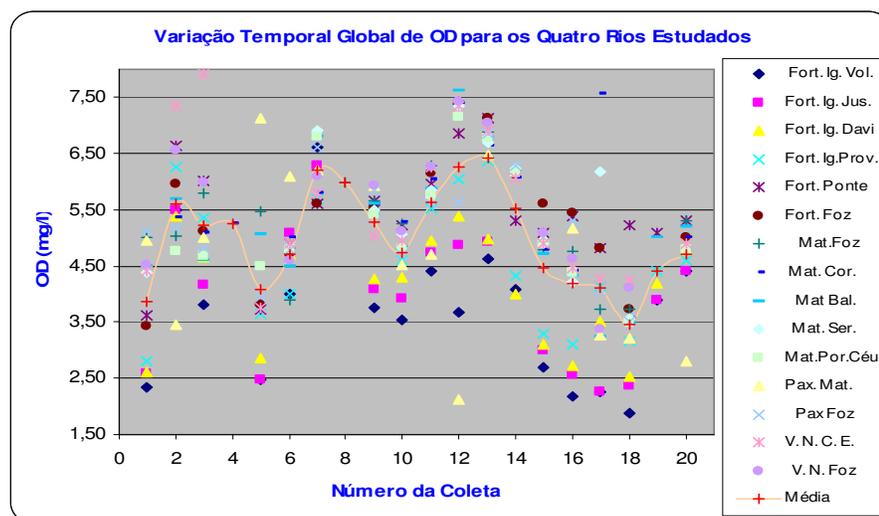


Figura-11: Variabilidade Temporal Global envolvendo todas as análises de concentração de OD para os quatro rios. Entre os anos de 1999 e 2002 totalizaram-se 451 análises. A média está indicada pela linha.

Observa-se na Figura-11 o comportamento sazonal da concentração média, onde é possível avaliar que em alguns pontos de coleta os níveis de OD estão muito abaixo do normal (abaixo de 5 mg/l). Apesar da pesquisa ter demonstrado que nos ambientes aquáticos amazônicos estes níveis são um pouco inferior ao normal principalmente pelo teor de matéria orgânica normalmente presente nos rios e estuários e também devido as altas temperaturas (próximo de 30°C) que fazem com que os gases dissolvidos escapem com maior facilidade da água e causando uma diminuição da concentração de saturação na superfície da água.

Normalmente o comportamento é de aumento da concentração no verão e diminuição no inverno, não sendo necessariamente uma regra. Contudo, está em certo acordo com o aumento da concentração de CF no inverno que está relacionada com o aumento da poluição no inverno já demonstrado pela análise de contaminação bacteriológica.

Para complementar a análise, a Tabela-10 mostra uma avaliada alguns resultados da análise de correlação espaço-temporal do OD nos rios estudados. Observa-se que os números destacados com cores vermelhas apresentam níveis de correlação acima de 75%, ou seja, apresentam comportamentos variacionais semelhantes entre si no nível de 75% ou mais.

Tabela-11: Análise de correlação entre as variabilidades espaço-temporais das concentrações de **oxigênio dissolvido (OD)** para os quinze pontos de coleta. Os números destacados em vermelho indicam uma forte correlação, acima de 70%.

	Fort. Vol.	Fort. Jus.	Fort. Davi	Fort..Prov.	Fort. Pont	Fort. Foz	Mat.Foz	Mat. Cor.	Mat Bal.	Mat. Ser.	Mat.Por.Céu	Pax. Mat.	Pax Foz	V. N. C. E.	V. N. Foz
Fort. Ig. Vol.	1														
Fort. Ig. Jus.	0,9535	1													
Fort. Ig. Davi	0,9200	0,9592	1												
Fort. Ig.Prov.	0,7786	0,8102	0,8864	1											
Fort. Ponte	0,5479	0,6421	0,6854	0,8236	1										
Fort. Foz	0,5310	0,6138	0,6510	0,7496	0,8660	1									
Mat.Foz	0,5021	0,5197	0,5565	0,6673	0,5681	0,7250	1								
Mat. Cor.	0,2330	0,2560	0,4581	0,5653	0,3849	0,6434	0,5011	1							
Mat Bal.	0,6906	0,7477	0,7426	0,7701	0,6313	0,7635	0,9169	0,4670	1						
Mat. Ser.	0,7163	0,7608	0,8639	0,8408	0,6256	0,7783	0,7422	0,8859	0,7710	1					
Mat.Por.Céu	0,6062	0,6865	0,6925	0,6910	0,5687	0,8312	0,8906	0,9318	0,9549	0,9949	1				
Pax. Mat.	0,1258	0,0668	-0,0623	-0,0566	-0,2579	-0,1363	0,0405	-0,1349	0,0842	0,0242	0,0714	1			
Pax Foz	0,6958	0,6973	0,6167	0,5934	0,5425	0,7326	0,7344	0,3959	0,7925	0,6504	0,8579	0,3061	1		
V. N. C. E.	0,6119	0,6829	0,7138	0,8043	0,8246	0,7282	0,6586	0,3615	0,6226	0,8052	0,5423	-0,1787	0,5260	1	
V. N. Foz	0,6835	0,7521	0,7549	0,8528	0,8374	0,8282	0,9083	0,3554	0,9264	0,6876	0,8236	0,0630	0,7399	0,8529	1

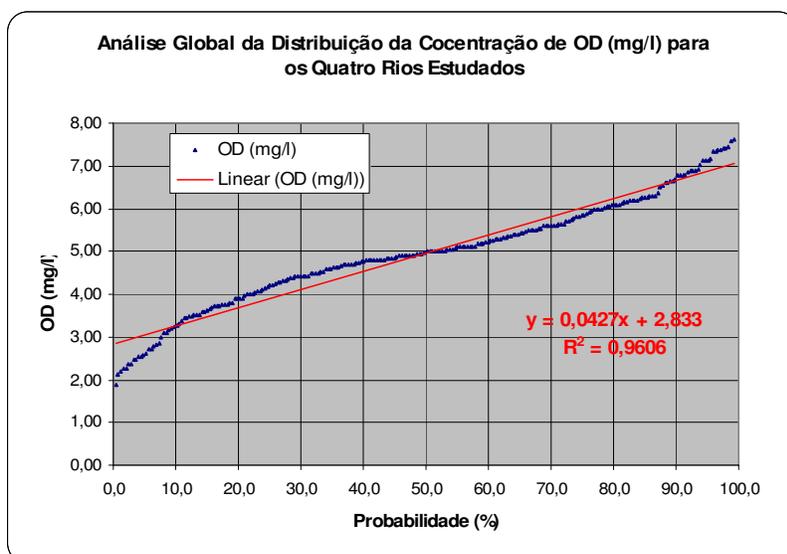


Figura-12: Variabilidade Temporal Global envolvendo todas as análises de concentração de OD para os quatro rios. Entre os anos de 1999 e 2002 totalizaram-se 246 análises. A análise de regressão resultou em $R^2 = 0,9627$ o qual representa uma elevada aderência a uma distribuição normal.

5.2.2.2 SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS (STD)

De acordo com CUNHA (2000) as concentrações de SDT são geralmente inversamente proporcionais à vazão de descarga dos rios. Esta relação é o resultado da mistura de mais águas subterrâneas mineralizadas, dominantes durante fluxo básico, com mais águas superficiais diluídas. Esta relação inversa pode ser vista quando uma variação sazonal de SDT é plotada com as correspondentes descargas. As variações relativas podem ser bastante altas: de 30% para rios com baixo nível de SDT (Sagami, Tenesse) até 200% ou 400% para rios mais salinos (Ebro, Murray). Os SDT podem surgir proporcionalmente com a vazão em regiões áridas levando depósitos de sal que podem ocorrer durante o surgimento de estágio da cheia.

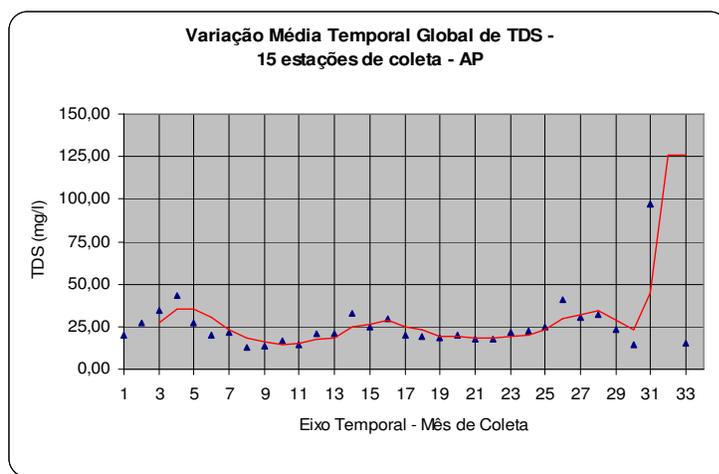


Figura-13: Variação da média móvel de TDS global ao longo dos três anos de coleta nos quatro rios estudados. Observa-se um aumento das concentrações nos meses com menor índice pluviométrico, ou seja, com menores capacidades de vazão. O aumento abrupto no final indica um possível lançamento de poluentes no momento da coleta da amostra.

A análise dos dados, obtidas nos períodos de chuvas, tem apontado para a piora da qualidade da água em qualquer situação. Em dias de sol a qualidade da água pode piorar ou não, dependendo da época do ano, devido a ação antrópica, ou marés. As variáveis a serem controladas são tantas que se torna quase impossível fazer uma análise mais profunda, sem o controle das fontes e sumidouros do agente passivo do escoamento.

5.2.2.3 SÓLIDOS SUSPENSOS (SS)

Segundo CUNHA (2000) as concentrações de SS é compreendido como partículas orgânicas e minerais que são transportadas na coluna de água e por este motivo são importantes para a qualidade da água. Os SS estão intimamente ligados à erosão de terras como à erosão dos canais dos rios e podem ser extremamente variáveis, compreendendo as faixas de menos de 5 mg/l até extremos como 30.000 mg/l em alguns rios. Estão intimamente ligados ao transporte de nutrientes (especialmente

fósforo), metais, e ampla faixa de substâncias químicas industriais e de agriculturas através de bacias de drenagens (rios).

Na maioria dos rios os SS são primariamente compostos de pequenas partículas minerais, normalmente são referidos como turbidez e é freqüentemente insuficientemente mensurada. Maiores valores de TSS (> 1000 mg/l) podem enormemente afetar o uso da água por limitação da penetração da luz e pode limitar a vida de reservatórios através da sedimentação do material de sólidos suspensos.

Os níveis de SS e suas flutuações influenciam a vida aquática, do fitoplâncton ao peixe. Os SS, especialmente quando as partículas individuais são pequenas (< 63 μm), carregam muitas substâncias que são perigosas ou tóxicas. Como resultado, partículas suspensas são geralmente os vetores primários que carregam estas substâncias para os lagos e para as zonas costeiras de oceanos onde elas sedimentam. Em rios, lagos e zonas costeiras estas finas partículas são fonte de alimento para filtro-dosadores que fazem parte da cadeia alimentar, levando à bioelevação de poluentes químicos em peixes e, ultimamente, em seres humanos. Em lagos profundos, no entanto, a deposição de partículas finas efetivamente remove poluentes a partir da água sobrenadante pelo aquecimento térmico delas no sedimento do fundo dos lagos. Em bacias hidrográficas (rios), onde o problema de erosão é sério, os sólidos suspensos podem cobrir o leito do rio destruindo o *habitat* natural de peixes.

Séries instantâneas temporais de cargas de SS (kg/s) fornecem informações úteis sobre o comportamento físico dos rios. Devido a concentração de sólidos suspensos ser parcialmente uma função da vazão, a carga de SS aumenta com o aumento da vazão. Em muitos rios, a quantidade de sedimento (sólidos) em transporte pode variar por mais de três ou mais ordens de magnitude durante o ano.



Figura-14a: Variação espacial longitudinal média da concentração de SS no Rio Matapi. Observa-se que na média há um comportamento de diminuição concentração em direção a foz do rio. A análise de regressão que gerou o modelo linear resultou num coeficiente de ajuste $R^2 = 0,7654$.

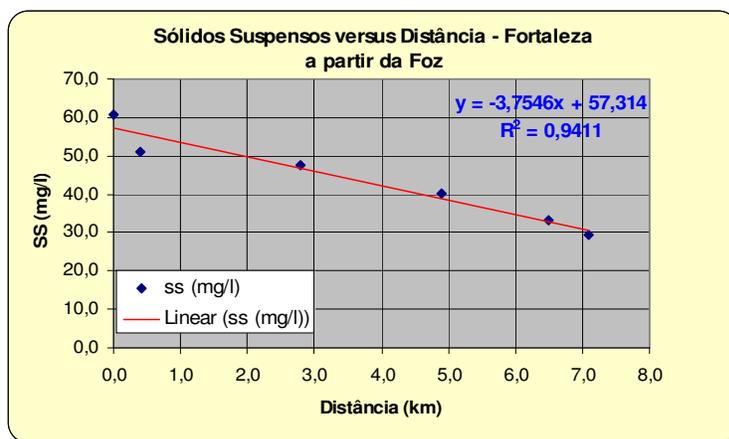


Figura-14b: Variação espacial longitudinal média da concentração de SS no Igarapé da Fortaleza. Observa-se que na média há um comportamento de aumento da concentração em direção a foz do rio. A análise de regressão que gerou o modelo linear resultou num coeficiente de ajuste $R^2 = 0,9411$.

Os resultados mostrados indicam um comportamento inverso para rios sob as mesmas influências e fenômenos climáticos e de marés. A exceção talvez seja com relação às ações antrópicas. Como pode dois rios relativamente tão próximos apresentar um caráter tão distinto com relação ao comportamento da distribuição espacial de SS? A resposta ainda não está sedimentada, mas talvez as razões destas diferenças estejam nos usos diferenciados das águas de ambas as bacias, além das próprias características hidrogeoquímicas de cada um deles. Mas deve-se salientar que não apenas estes se comportaram desta forma. Os parâmetros como a DBO, CF e temperatura da água, além da variação das concentrações de sólidos totais, foram os que também apresentaram esta característica marcante e dissonante com relação aos demais.

5.2.2.4 DEMAIS PARÂMETROS DA QUALIDADE DA ÁGUA

A seguir serão apresentados os principais resultados envolvendo outros parâmetros da qualidade da água. Podemos analisar conjuntamente os parâmetros restantes dentre um total de 11.

ANÁLISE DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E A QUALIDADE DA ÁGUA

Este parâmetro tem uma forte relação com as intrusões de marés, sendo um excelente indicador de variabilidade de concentração espacial e é muito útil para a determinação de parâmetros hidráulicos como coeficiente de dispersão lateral, longitudinal, etc. Percebe-se uma variabilidade sazonal da concentração durante certas épocas do ano, marcando acentuadamente as épocas de verão (alta concentração de íons) e época de inverno (baixa concentração de íons). A figura-15 mostra esta variabilidade espaço-temporal, sendo esta associada aos períodos de inverno e verão, com o avanço ou retração do Oceano Atlântico.

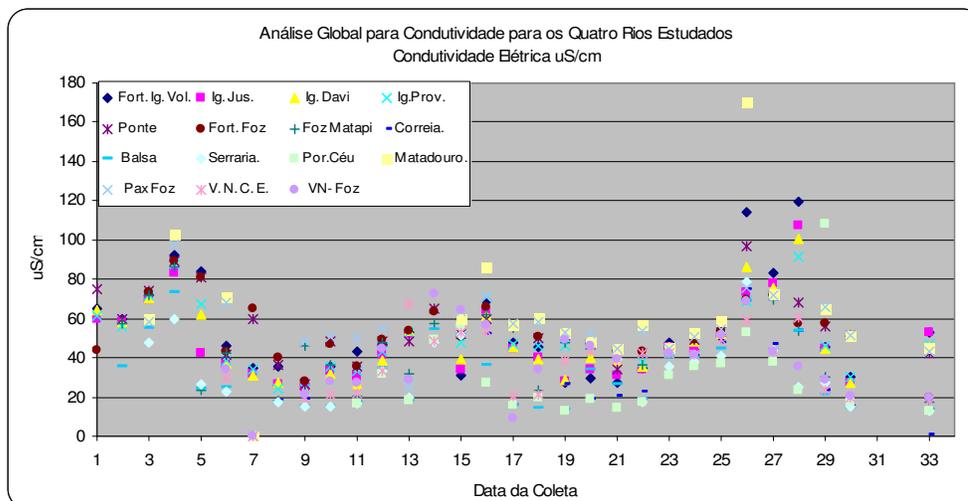


Figura-15: Variação global da concentração de eletrólitos (sais principalmente) ao longo do ano. O espalhamento dos dados na vertical indicam as diferenças entre pontos distintos. Não há uma aparente tendência da elevação do parâmetro condutividade elétrica, ou seja, há uma forte tendência deste parâmetro estar relacionado com as variações sazonais do que com a dinâmica de causa-efeito de impactos antrópicos na bacia.

ANÁLISE DO PH E A QUALIDADE DA ÁGUA

De acordo com CUNHA (2000) a acidez é medida com pH que é um parâmetro chave da qualidade da água. O pH está intimamente relacionado com produtividade microbológica em sistemas aquáticos e é um fator limitante para certos usos da água. A escala de pH é logarítmica. O pH 7.0 é neutro. Cada unidade na escala representa um fator de multiplicação de 10. Assim, a água com um pH de 5.0 é 100 vezes mais ácida do que a água com pH de 7.0.

Na ausência de ânions fortemente ácidos tais como SO_4^{-2} e NO_3^- , a água da chuva é naturalmente ácida (pH = 5.7). Esta acidez é causada pela dissolução do CO_2 atmosférico. Após as reações úmidas, os níveis de pH naturais em rios são geralmente próximos da neutralidade.

Quando a umidade é limitada e os SDT são baixos, a principal carga dissolvida é normalmente dominada por ácidos orgânicos dissolvidos resultantes de lixiviamento do solo (que pode ser causada por poluição difusa). Na Amazônia Central, e particularmente na bacia do Rio Negro, as assim chamadas águas negras têm um pH natural de 5.0. Outros rios sulamericanos são muito mais neutros.

Em rios eutrofizados ou a jusante de lagos e reservatórios, onde os níveis de clorofila máximos podem exceder 100 mg/m^3 , o pH aumenta como um resultado do processo de assimilação do bicarbonato pelas plantas aquáticas. Valores que excedem 8.5 são bastante comuns em tais corpos de água. Sob condições não usuais os valores de pH podem aumentar e decrescer por uma unidade em um simples dia e valores podem exceder 9.0 ao meio dia.

Desta forma, o parâmetro da qualidade da água – potencial hidrogeniônico (pH), tem uma importância fundamental ao equilíbrio osmótico dos seres aquáticos, ciclos biogeoquímicos e controle e regulação das reações bioquímicas nos ecossistemas aquáticos. A figura-17 mostra a curva de probabilidade do pH no Igarapé da Volta, demonstrando um comportamento levemente ácido ($5 < \text{pH} < 7,0$) ao nível à neutralidade ($\text{pH} = 7$), devido às características do solo, quantidade elevada de matéria orgânica e chuvas, levemente ácidas.

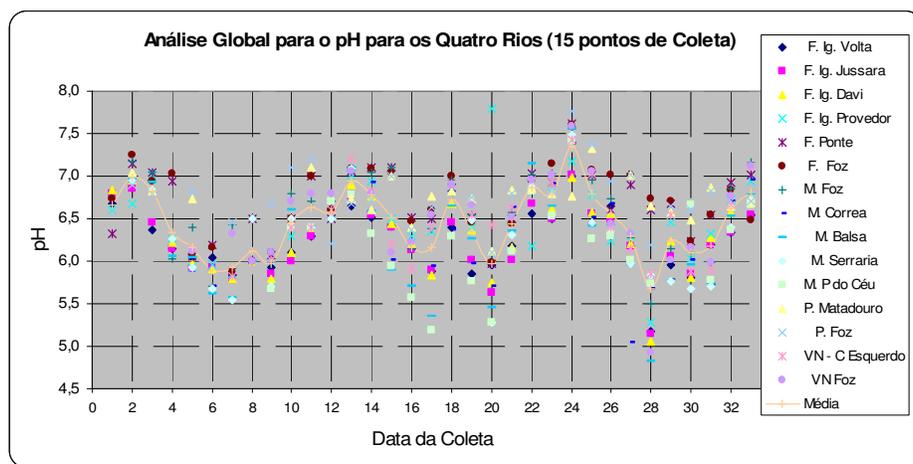


Figura-16: Variação espaço-temporal do pH nos quatro rios estudados. A linha no gráfico indica o comportamento médio. Estas faixas eram esperadas dentro de um certo limite. Contudo, há uma tendência para a acidificação das águas devidos aos processos erosivos, já acusados pelos parâmetros TDS, os quais influenciam na qualidade da água.

ANÁLISE DA TURBIDEZ DA ÁGUA

De acordo com BRAGA et al. (2002) os sólidos em suspensão aumentam a turbidez da água, isto é, diminuem a transparência. O aumento da turbidez da água reduz as taxas de fotossíntese e prejudica a procura de alimento para algumas espécies, levando a desequilíbrios na cadeia alimentar.

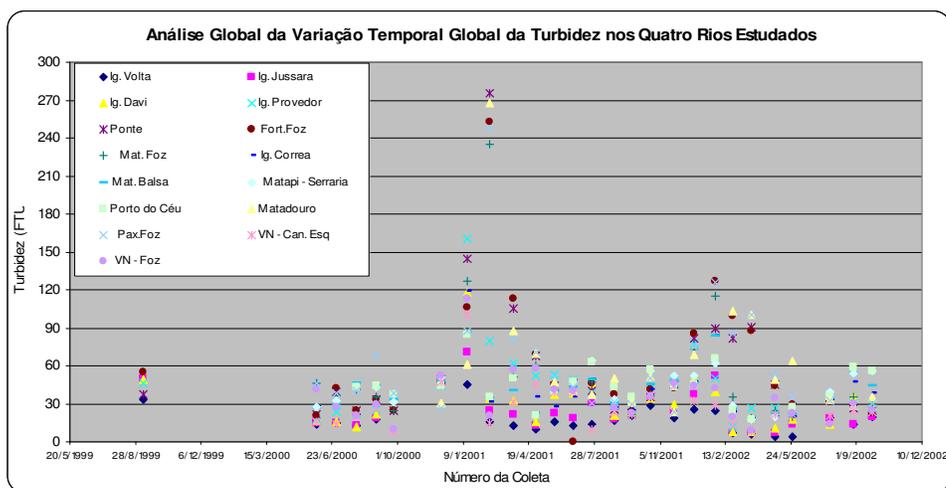


Figura-17a: Variação espaço-temporal da turbidez nos quatro rios estudados. Estas faixas eram esperadas dentro de um certo limite. Contudo, observa-se uma tendência a dispersão dos valores nos períodos de chuva.

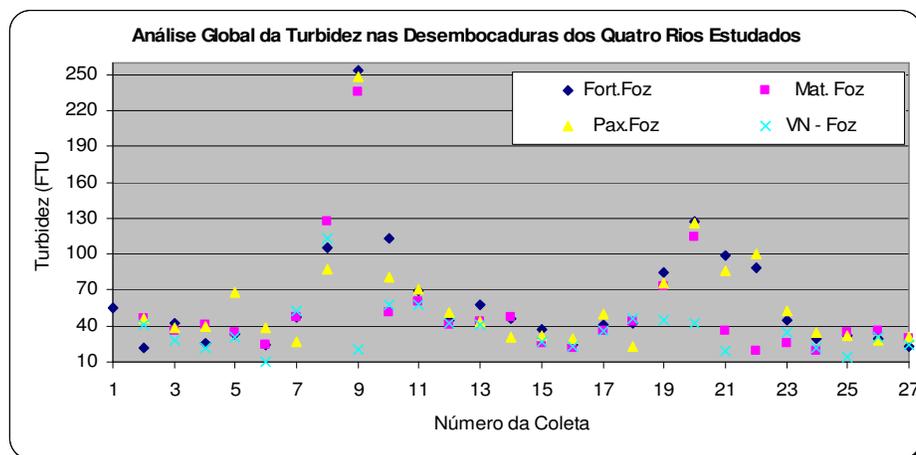


Figura-17b: Detalhe da Variação espaço-temporal da turbidez apenas nas desembocaduras dos rios, onde ela se comporta de modo mais homogêneo. Esta é uma das principais influências do Rio Amazonas sobre os seus afluentes. Percebe-se também a sazonalidade deste parâmetro com valores maiores no inverno ou período de chuvas.

DEMONSTRATIVO CONJUNTO DOS PARÂMETROS DA QUALIDADE DA ÁGUA ENTRE O RIO MATAPI E O IGARPÉ DA FORTALEZA

Neste item são expostos alguns dos resultados complementares, com o intuito de visualizar comparativamente a variabilidade espacial dos diversos parâmetros ao longo da distância x(km), desde o ponto mais distante até as desembocaduras dos dois rios: Matapi e Fortaleza.

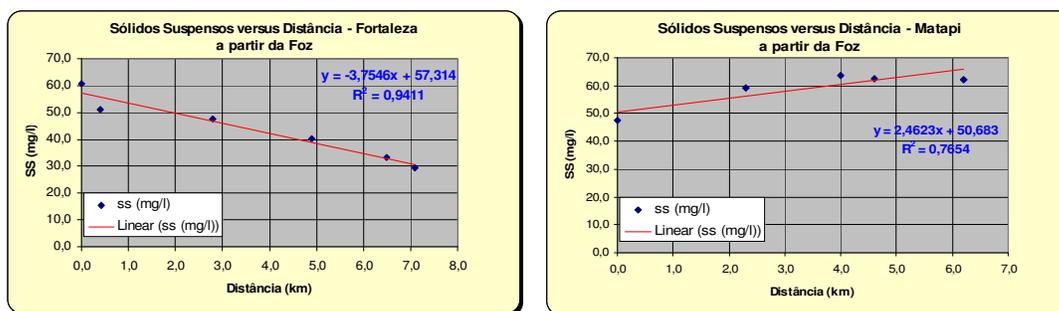


Figura-18a: Comparação entre a variação longitudinal de SS em função da distância a partir da foz.

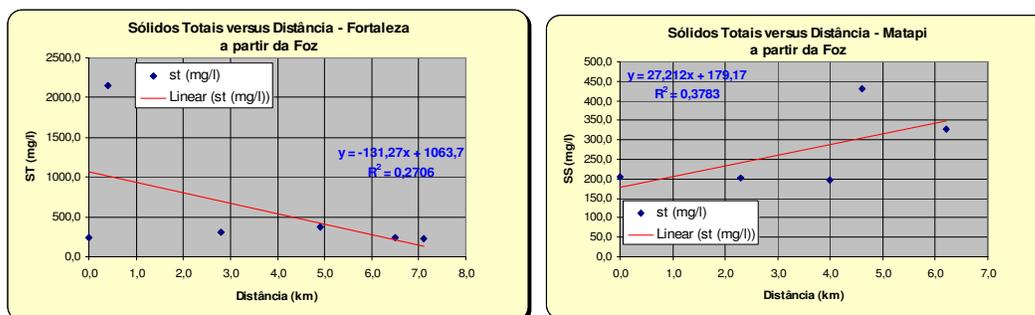


Figura-18b: Comparação entre a variação longitudinal de ST em função da distância a partir da foz.

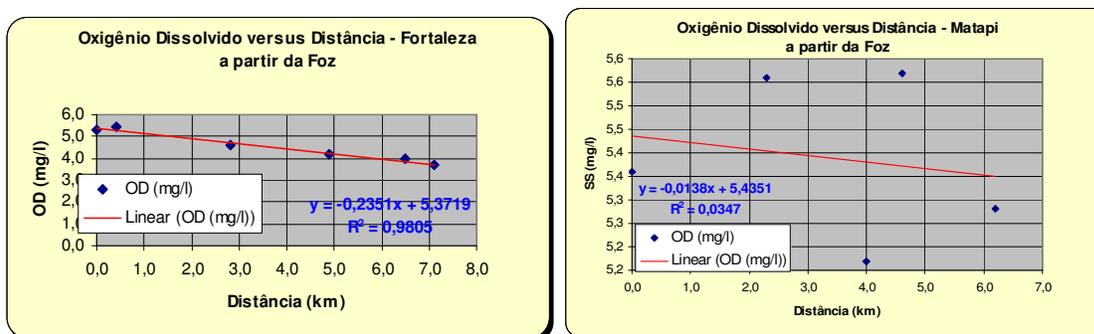


Figura-18c Comparação entre a variação longitudinal de ST em função da distância a partir da foz.

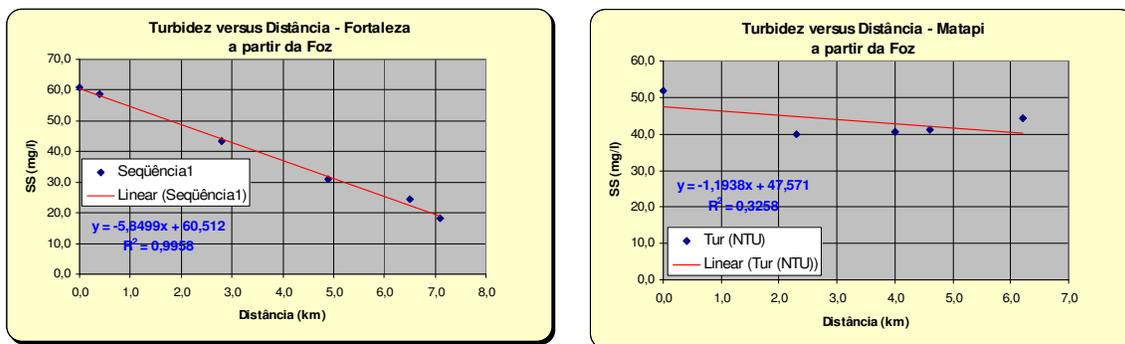


Figura-18d Comparação entre a variação longitudinal de Turbidez em função da distância a partir da foz.

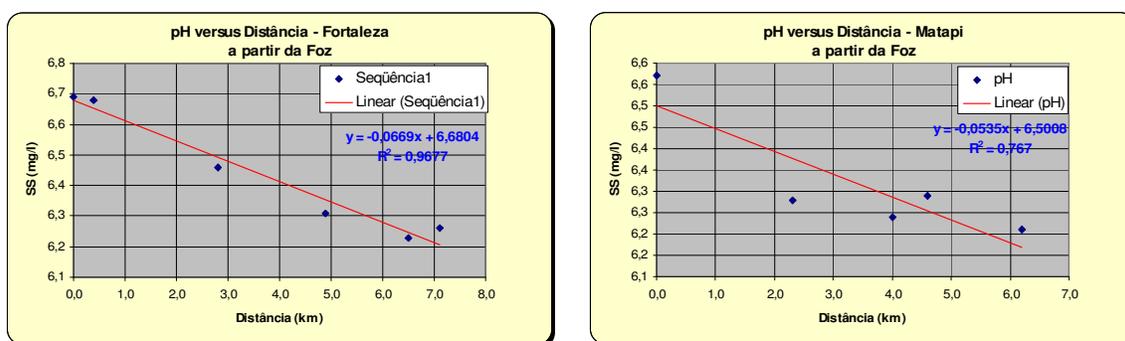


Figura-18e Comparação entre a variação longitudinal de pH em função da distância a partir da foz.

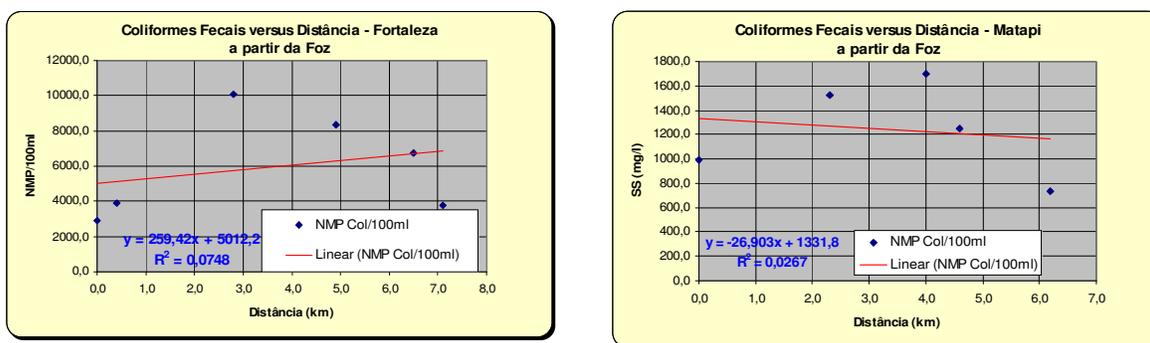


Figura-18f Comparação entre a variação longitudinal de CF em função da distância a partir da foz.

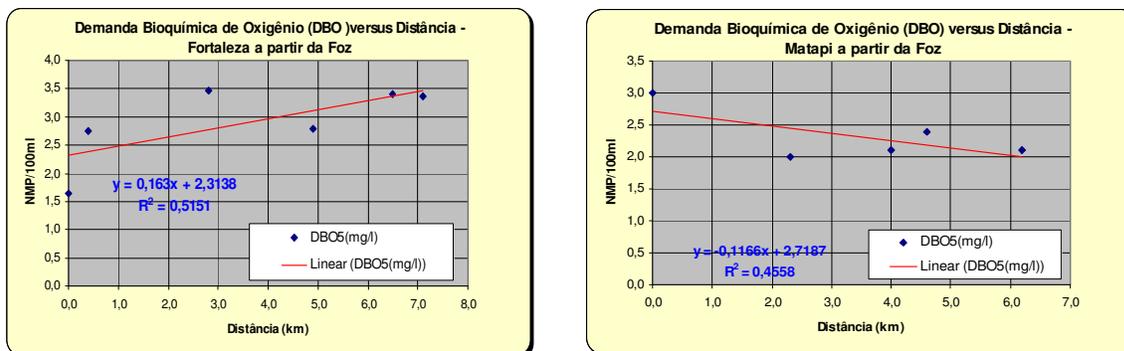


Figura-18g Comparação entre a variação longitudinal de DBO em função da distância a partir da foz.

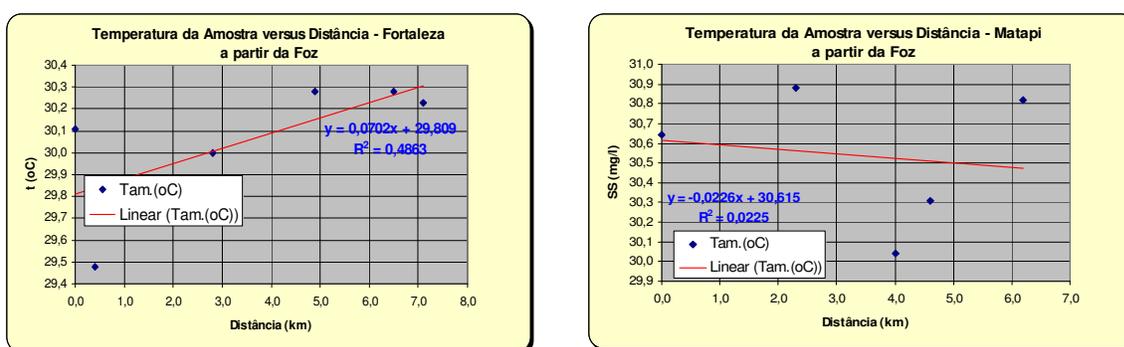


Figura-18h Comparação entre a variação longitudinal de T água em função da distância a partir da foz.

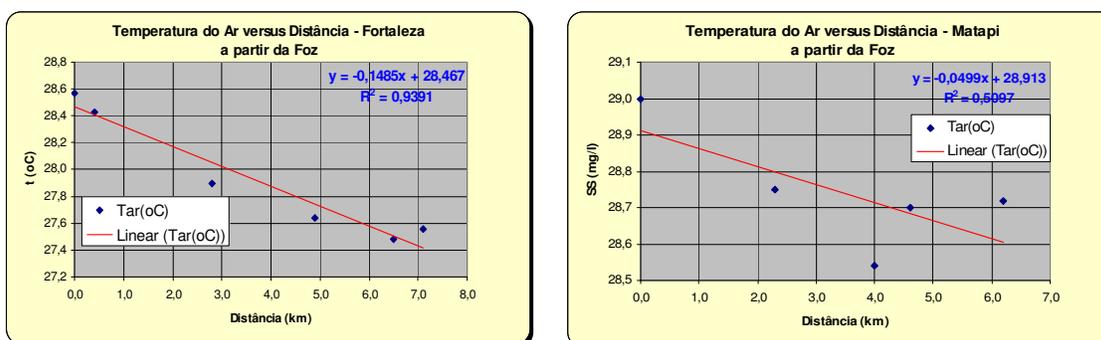


Figura-18h Comparação entre a variação longitudinal de T água em função da distância a partir da foz.

A seguir serão mostradas as tabelas com os valores médios dos parâmetros da qualidade da água em função da distância a partir da foz. Na Tabela-12 estão resumidos os valores correspondentes a cada distância.

Tabela-12: Dados médios para análise de variação espacial nos rios Matapi e Fortaleza.

Fortaleza													
Nome	x(km)	ss (mg/l)	st (mg/l)	OD (mg/l)	pH	Tur (NTU)	uS/cm	TDS (mg/l)	Tam.(oC)	Tar(oC)	NMP Col/100ml	DBO5(mg/l)	
Foz Fort.	0,0	60,9	234,8	5,3	6,7	60,8	53,2	33,6	30,1	28,6	2884,7	1,7	
Ponte	0,4	51,0	2150,0	5,4	6,7	58,6	55,5	44,2	29,5	28,4	3910,6	2,7	
Provedor	2,8	47,7	310,0	4,6	6,5	43,2	50,7	33,0	30,0	27,9	10083,2	3,5	
Davi	4,9	40,4	375,2	4,2	6,3	31,0	47,6	32,8	30,3	27,6	8323,8	2,8	
Jussara	6,5	33,3	235,6	4,0	6,2	24,5	47,6	32,9	30,3	27,5	6715,5	3,4	
Volta	7,1	29,2	228,0	3,7	6,3	18,1	53,1	35,1	30,2	27,6	3784,8	3,4	
Matapi													
Nome	x(km)	ss (mg/l)	st (mg/l)	OD (mg/l)	pH	Tur (NTU)	uS/cm	TDS (mg/l)	Tam.(oC)	Tar(oC)	NMP Col/100ml	DBO5(mg/l)	
Mat. Foz	0,0	47,6	204,0	5,4	6,6	51,8	44,6	34,1	30,6	29,0	993,1	3,0	
Correa	2,3	59,2	202,0	5,6	6,3	39,8	31,7	20,6	30,9	28,8	1523,5	2,0	
Balsa	4,0	63,8	196,0	5,2	6,2	40,4	32,3	22,2	30,0	28,5	1696,7	2,1	
Serraria	4,6	62,7	431,6	5,6	6,3	41,2	32,5	26,7	30,3	28,7	1253,3	2,4	
Porto Céu	6,2	62,3	327,6	5,3	6,2	44,3	31,2	30,3	30,8	28,7	732,6	2,1	

Abaixo, na Tabela-13, estão indicadas as correlações para cada parâmetro entre si. Os números indicados por cor azul são aqueles cujos coeficientes de Pearson R2 são maiores que 0,85%. Percebe-se que o espectro de números azuis indicados em ambas as tabelas diferem para cada corpo hídrico. Por exemplo, pH e turbidez estão bem correlacionados tanto no Rio Matapi quanto no Igarapé da Fortaleza. Onde ocorreram as coincidências pode-se dizer que os comportamentos espaço-temporais referidos são semelhantes. Os sinais negativos surgem quando a variação de um é oposto a um outro.

Tabela-13: Dados médios para análise de variação espacial nos rios Matapi e Fortaleza.

Rio Matapi: Análise de Correlação entre os Parâmetros Distribuídos Espacialmente												
	ss (mg/l)	st (mg/l)	OD (mg/l)	pH	Tur (NTU)	uS/cm	TDS (mg/l)	Tam.(oC)	Tar(oC)	MP Col/100	DBO5(mg/l)	
ss (mg/l)	1,0000											
st (mg/l)	0,4199	1,0000										
OD (mg/l)	-0,0826	0,4018	1,0000									
pH	-0,9652	-0,3143	0,0986	1,0000								
Tur (NTU)	-0,8810	-0,1947	-0,2004	0,8591	1,0000							
uS/cm	-0,9534	-0,3495	-0,0719	0,9843	0,9138	1,0000						
TDS (mg/l)	-0,6343	0,1996	-0,1722	0,6327	0,9057	0,6990	1,0000					
Tam.(oC)	-0,3574	-0,0921	0,3713	0,1336	0,2668	0,0862	0,2442	1,0000				
Tar(oC)	-0,9372	-0,1540	0,2838	0,8781	0,8601	0,8448	0,7239	0,5642	1,0000			
MP Col/100	0,3284	-0,3911	0,0488	-0,2407	-0,6373	-0,2949	-0,8559	-0,5439	-0,5543	1,0000		
DBO5(mg/l)	-0,8539	-0,0385	0,0426	0,9409	0,8834	0,9465	0,7815	-0,0186	0,8083	-0,3868	1,0000	
Igarapé da Fortaleza: Análise de Correlação entre os Parâmetros Distribuídos Espacialmente												
	ss (mg/l)	st (mg/l)	OD (mg/l)	pH	Tur (NTU)	uS/cm	TDS (mg/l)	Tam.(oC)	Tar(oC)	MP Col/100	DBO5(mg/l)	
ss (mg/l)	1,0000											
st (mg/l)	0,3066	1,0000										
OD (mg/l)	0,9377	0,6085	1,0000									
pH	0,9323	0,5642	0,9810	1,0000								
Tur (NTU)	0,9672	0,5273	0,9946	0,9817	1,0000							
uS/cm	0,4517	0,6024	0,6064	0,7201	0,5799	1,0000						
TDS (mg/l)	0,2422	0,9692	0,5534	0,5514	0,4717	0,7409	1,0000					
Tam.(oC)	-0,5052	-0,9311	-0,7537	-0,7372	-0,6980	-0,7306	-0,9122	1,0000				
Tar(oC)	0,9314	0,5135	0,9660	0,9931	0,9692	0,7196	0,5146	-0,6765	1,0000			
MP Col/100	-0,2100	-0,2938	-0,3201	-0,4202	-0,2892	-0,6976	-0,4674	0,2504	-0,4973	1,0000		
DBO5(mg/l)	-0,7900	-0,1089	-0,6975	-0,7232	-0,7206	-0,3643	-0,1085	0,1558	-0,7882	0,5629	1,0000	

Como conclusão desta análise, podemos afirmar que a complexidade das variações podem ser simplificadas, tanto no contexto analítico quanto no estatístico. Os números mostram que as correlações entre parâmetros não são desprezíveis, mostrando que as campanhas de campo foram bem sucedidas.

5.3. ANÁLISE DOS PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS E A QUALIDADE DA ÁGUA

De acordo com BRAGA et al. (2002), a ação *hidrodinâmica* se caracteriza como um dos efeitos físicos sobre a qualidade da água. O despejo de qualquer substância no meio aquático normalmente faz com que a concentração original dessa substância sofra redução. Esse mecanismo é denominado de *diluição*, e é resultante do processo de mistura do despejo com a água presente no corpo d'água.

Os corpos de água não são estáticos. Apresentam movimentos próprios que transportam um poluente de um ponto para outro e, portanto, sua concentração varia no espaço e no tempo, como já foi frisado anteriormente nas análises dos principais parâmetros da qualidade da água.

O transporte é feito pelo campo de velocidades, sendo este fenômeno denominado de *advecção*. Quanto mais intenso for o campo de velocidades mais rapidamente o poluente se afastará do seu ponto de despejo. A concentração de substâncias dissolvidas ou em suspensão em meios fluidos é também função dos processos *difusivos*. Por estas razões os parâmetros hidrodinâmicos da qualidade da água (correntometria) são essenciais para a correta avaliação da qualidade da água. De acordo com Cunha et al. (2001a,b) estes podem ser mais importantes que os parâmetros já analisados anteriormente da qualidade da água, como OD, TDS ou pH. Esta está relacionada com a capacidade de diluição e capacidade dispersiva do corpo de água, que está intrinsecamente relacionada com a hidrologia ou hidrodinâmica local.

Estes parâmetros hidrodinâmicos refletem-se a partir das características hidráulicas naturais dos canais e estes, por sua vez, são úteis para fazer previsão das características de dispersão, diluição ou autodepuração de um corpo de água. A seguir, será demonstrado como estas informações são úteis neste tipo de análise, entendendo como uma pluma de poluente ou carga poluidora lançada no corpo de água é transportada, diluída ou mesmo dispersa neste ambiente.

Para ser mais objetivo analisaremos uma fonte de um efluente de esgoto lançado num ponto qualquer de um trecho do Igarapé da Fortaleza, por exemplo, no Igarapé da Volta, na maré vazante. O lançamento dura cerca de 2 horas, conforme mostra a figura-19.

5.3.1. ANÁLISE DE RUNKEL – MODELO MATEMÁTICO LINEAR PARA UMA FONTE FINITA DE CONTAMINAÇÃO

Conforme discutido no capítulo de revisão bibliográfica, foi realizada uma análise da equação de Runkel (1997) para o estudo de casos de fontes de lançamento de traçadores ou poluentes finitas. Relembrando, Runkel (1997) apresentou uma solução analítica interessante para os casos onde a fonte de lançamento do traçador ou poluente (conservativo ou não) era contínua, porém de duração finita, ao contrário do que a literatura apresenta, isto é, lançamento com tempo infinito. A solução da equação de difusão-advecção é dada pela equação abaixo:

$$C(x,t) = \frac{C_0}{2} \left[\exp\left\{\frac{Ux}{2D}(1-\Gamma)\right\} \left\{ \operatorname{erfc}\left(\frac{x-Ut\Gamma}{2\sqrt{Dt}}\right) - \operatorname{erfc}\left(\frac{x-U(t-\tau)\Gamma}{2\sqrt{D(t-\tau)}}\right) \right\} + \dots \right. \\ \left. \dots + \exp\left\{\frac{Ux}{2D}(1+\Gamma)\right\} \left\{ \operatorname{erfc}\left(\frac{x+Ut\Gamma}{2\sqrt{Dt}}\right) - \operatorname{erfc}\left(\frac{x+U(t-\tau)\Gamma}{2\sqrt{D(t-\tau)}}\right) \right\} \right] \quad (2)$$

onde

$$\Gamma = \sqrt{1+2H} \quad (2a)$$

$$H = \frac{2\lambda D}{U^2} \quad (2b)$$

e C = concentração [ML⁻³], t = tempo [t], τ = duração do lançamento [t], U = velocidade do escoamento [Lt⁻¹], x = distância [L], D = coeficiente de dispersão [L²t⁻¹], λ = coeficiente de taxa de reação de primeira ordem [t⁻¹].

A Equação-2 foi avaliada e testada utilizando-se alguns dos parâmetros hidráulicos já obtidos no presente estudo. Podemos executar uma avaliação do estudo do modelo utilizando já alguns dados hidrodinâmicos obtidos no Igarapé da Fortaleza. Houve um momento em que a *Largura média* era de 40 m, *profundidade média* de 6m e a *velocidade média* de 0,28 m/s. (considera-se que a vazão, a altura, e a velocidade, apesar da maré, variaram de forma insignificante).

Dados de Campo – Vazão Média Estimada para um Ciclo de Maré de 13 horas.

Enchendo: Q entre - 0 m³/s e - 79 m³/s:

Vazando: Q entre + 0 m³/s e + 65 m³/s:

Dados de Campo – Velocidade Média Estimada

Enchendo: U entre - 0 m/s e - 0,40 m/s:

Vazando: U entre + 0 m/s e + 0,39 m/s:

Tabela-14. Valores de Parâmetros e Variáveis utilizadas dentro da faixa compreendida nas medições em campo. Data da medição ADCP realizado em 08 de setembro de 2001.

Equação Analítica Geral - Duração Finita (Runkel) - 11			D/U.x =	0,5000
H =	2.Lam.D/U ²		H =	0,0000
Gama =	Sqrt(1+2H)		Gama =	1,0000
Co =	100,00000	mg/l	Co =	100,00
U =	0,1	m/s	U =	0,1000
Lam =	0,00001	s-1	Lam =	0,0001
D =	5,0	m ² /s	D =	5,0000

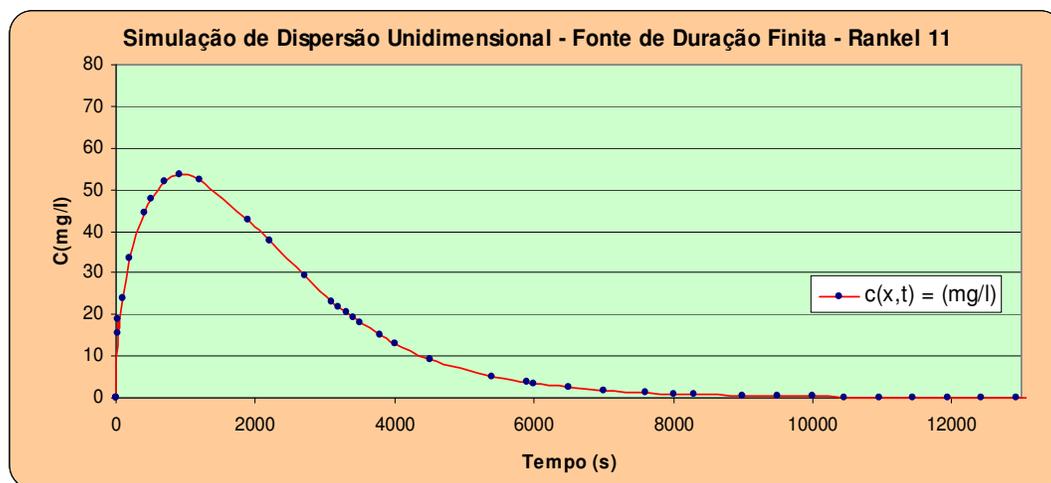


Figura-19 solução para a equação de advecção-difusão: carga orgânica contínua de duração finita, fundamentada em Runkel (1997). As simulações estão sendo aperfeiçoadas para o Igarapé da Fortaleza.

A partir das futuras análises serão implementados os resultados dos estudos hidrodinâmicos, envolvendo a reaeração atmosférica, dispersão lateral e longitudinal, diluição, suas associações com a qualidade da água. A limitação maior é que somente foi possível realizar uma medição de descarga, por limitações ou inexistência de equipamentos dessa natureza no IEPA.

Até o presente momento as análises realizadas demonstram a amplitude do estudo na presente pesquisa. As implementações finais necessitam das medições hidrodinâmicas simultaneamente com as medições de parâmetros da qualidade da água, onde deverá eliminar as flutuações das marés, trabalhando com médias efetivas para simplificação das análises. Somente desta forma poder-se-á tirar conclusões confiáveis e melhor entender os ecossistemas aquáticos da região. No final dos estudos, espera-se elaborar um algoritmo computacional que reflita e simule as condições e resultados aqui demonstrados, em termos da qualidade da água. A idéia é usar o método racional, apoiado nas simulações de modelos elaborados ou existentes na literatura, não esquecendo dos fatores sócio-econômicos, culturais e de hábitos de lançamento de efluentes nos corpos de água naturais.

5.3.2. ESTUDOS NUMÉRICOS – CASOS UNIDIMENSIONAIS DO MODELO DIFUSIVO E ADVECTIVO APLICADOS ÀS CONDIÇÕES HIDRODINÂMICAS SEMELHANTES ÀS DO RIO MATAPI

Para exemplificar o fenômeno da difusão elaborou-se um algoritmo computacional que simula o lançamento pontual e instantâneo de um constituinte num canal infinito, de acordo com as formulações aplicadas por HELOU (1994). O canal foi subdividido em dez seções de estudo, onde se apresenta graficamente o comportamento do decaimento da concentração ao longo do tempo.

O programa possibilitou duas alternativas para o tratamento numérico da equação da difusão (ou equivalente, da equação de transporte de calor), quais sejam:

a) Primeira – Difusão Pura:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = K \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = K \frac{C_{m+1}^n - 2C_m^n + C_{m-1}^n}{\Delta x^2} \quad (3)$$

$$C_m^{n+1} = \left(1 - \frac{2K\Delta t}{\Delta x^2}\right) C_m^n + \frac{K}{\Delta x^2} (C_{m+1}^n + C_{m-1}^n) \quad (3a)$$

cuja condição de convergência é:

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x^2}{2K} \quad (3b)$$

Os resultados das simulações podem ser observados na Figura-20.

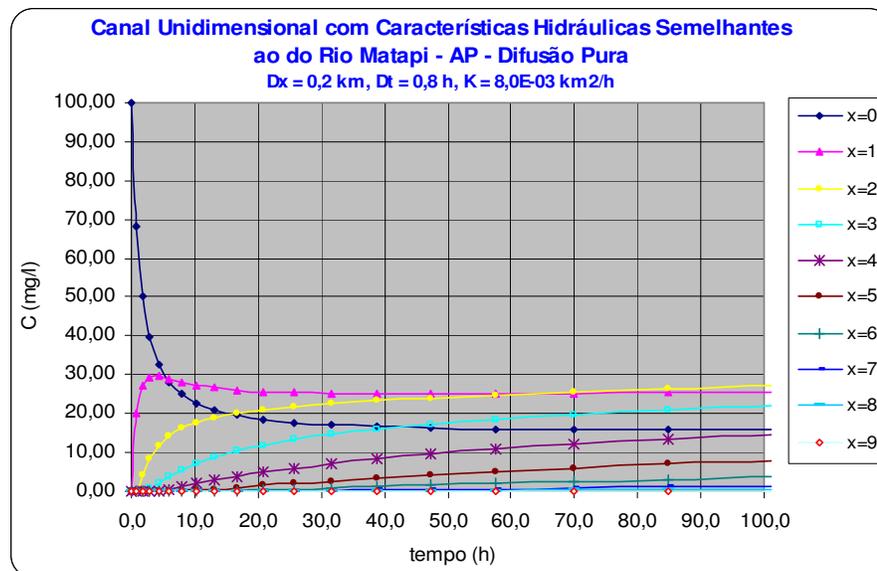


Figura-20: Simulação numérica para a difusão pura em um canal unidimensional com as mesmas características hidráulicas do Rio Matapi.

Os dados foram obtidos a partir dos estudos hidrodinâmicos realizados no Fortaleza, Matapi e Vila Nova. Cada Δx na figura representa 200 m e cada Δt representa um intervalo de tempo de 0,8h. O coeficiente de difusão turbulento foi obtido a partir de aproximações da literatura de estimativas fundamentadas nos parâmetros hidráulicos já mensurados.

b) Segunda – Advecção Pura:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = U \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = 0 \quad \rightarrow \quad C_m^{n+1} = C_m^n \left(1 - \frac{U \Delta t}{\Delta x} \right) + \frac{U \Delta t}{\Delta x} C_m^{n-1} \quad (4)$$

$$C_m^{n+1} = \left(1 - \frac{U \Delta t}{2 \Delta x} \right) C_m^n + \frac{U \Delta t}{2 \Delta x} C_{m-2}^{n-1} \quad (4a)$$

cujas condições de convergência é:

$$0 \leq U \frac{\Delta t}{\Delta x} \leq 1 \quad (4b)$$

Os resultados das simulações podem ser observados na Figura-21. Observa-se que a advecção é um fenômeno muito mais intenso que a difusão, pois o decaimento da concentração se dá num processo lento.

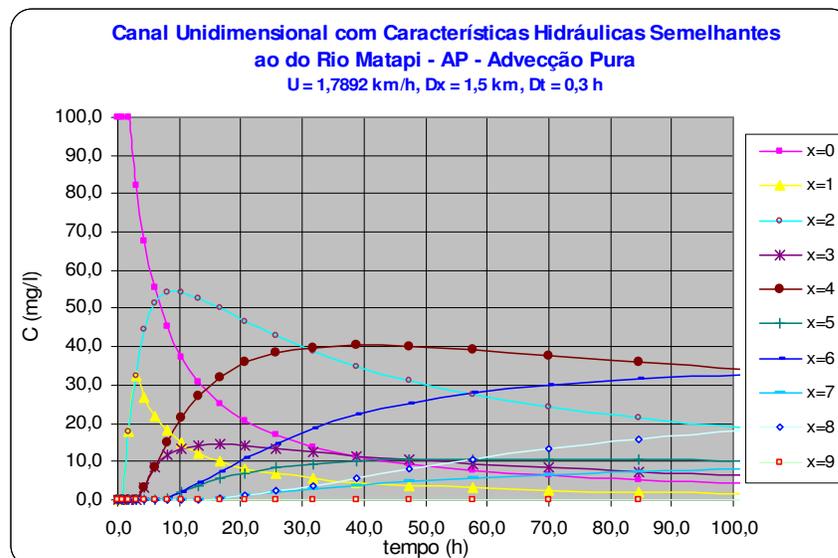


Figura-21: Simulação numérica para a advecção pura em um canal unidimensional com as mesmas características hidráulicas do Rio Matapi. Por exemplo, os dados de velocidade utilizados foram os aqueles medidos pelo ADCP.

5.3. ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DOS PARÂMETROS DA QUALIDADE DA ÁGUA COM OS HIDROMETEOROLÓGICOS

No presente trabalho houve a possibilidade de se comparar alguns dos parâmetros meteorológicos (normais climatológicas de Macapá) com os da qualidade da água, os quais resultaram em informações interessantes do ponto de vista ambiental.

Os parâmetros hidrometeorológicos são umas das funções de força que influenciam os parâmetros da qualidade da água. Desta forma, a presente análise é bastante simplificada, mas ajuda a entender o conceito da interrelação do ciclo hidrológico, e o equilíbrio entre a água, a terra, e a cobertura vegetal, a fisiografia, etc.

A precipitação, temperatura, velocidade do vento, pressão de vapor e radiação solar, são altamente variáveis no tempo e no espaço, e induzem variações no escoamento das correntes dos rios e na capacidade de assimilação de resíduos. Neste aspecto, é importante considerar a distribuição da bacia hidrográfica, as variações anuais e sazonais.

Na Tabela-15 estão indicadas as normais climatológicas da capital do Estado, Macapá. A partir dos dados da Tabela-15 foram feitas várias análises para correlacionar os parâmetros meteorológicos com os da qualidade da água.

Tabela-15. Parâmetros climatológicos do Estado do Amapá (normais de 1968-1990) .

<i>Parâmetros Climatológicos do Estado do Amapá (1968-1990)</i>													
	<i>JAN</i>	<i>FEV</i>	<i>MAR</i>	<i>ABR</i>	<i>MAI</i>	<i>JUN</i>	<i>JUL</i>	<i>AGO</i>	<i>SET</i>	<i>OUT</i>	<i>NOV</i>	<i>DEZ</i>	<i>ANO</i>
P (hPa)	1008,6	1008,8	1008,8	1008,8	1008,9	1010,1	1010,5	1009,9	1009,2	1008,2	1007,8	1007,7	1008,9
T-Média	26,0	25,7	25,7	25,9	26,1	26,2	26,1	26,8	27,5	27,9	27,7	27,0	26,6
T-Max	29,7	29,2	29,3	29,5	30,0	30,3	30,6	31,5	32,1	32,6	32,3	31,4	30,7
T-Min	23,0	23,1	23,2	23,5	23,5	23,2	22,9	23,3	23,4	23,5	23,5	23,4	23,3
Prec. Tot. (mm)	299,6	347,0	407,2	384,3	351,5	220,1	184,8	98,0	42,6	35,5	58,4	142,5	2571,5
Evap. Total (mm)	70,7	54,1	53,5	48,4	51,7	58,9	70,5	94,0	134,2	165,8	149,7	117,9	1069,4
Umidade Rel. (%)	86,0	87,0	88,0	89,0	88,0	86,0	85,0	81,0	76,0	75,0	76,0	80,0	83,1
Insolação (hora/dec)	147,3	110,1	109,2	114,8	152,0	190,1	227,1	271,4	272,5	282,4	252,9	205,4	2335,2
Nebulosidade (0-10)	8,8	8,8	9,0	9,0	8,6	8,1	7,3	6,7	6,6	6,8	7,4	8,4	8,0

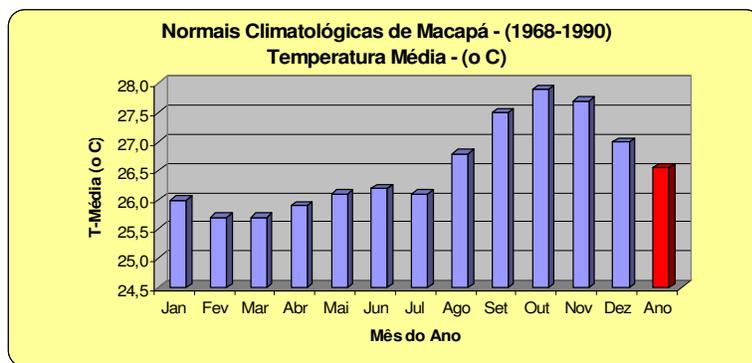


Figura-22a: Perfil da temperatura média em Macapá a partir de série de 22 anos de registro. Fonte INEMET (1990).

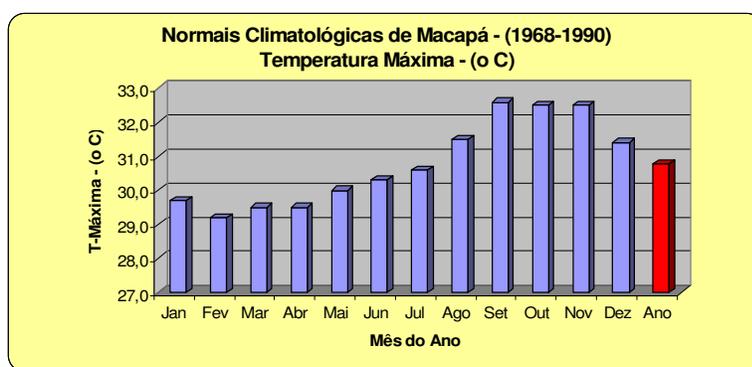


Figura-22b: Perfil da temperatura máxima em Macapá a partir de série de 22 anos de registro. Fonte INEMET (1990).

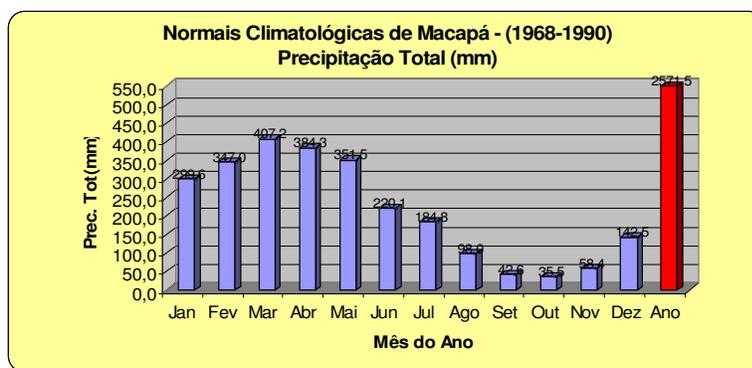


Figura-22c: Perfil da precipitação total média em Macapá a partir de série de 22 anos de registro. Fonte INEMET (1990).

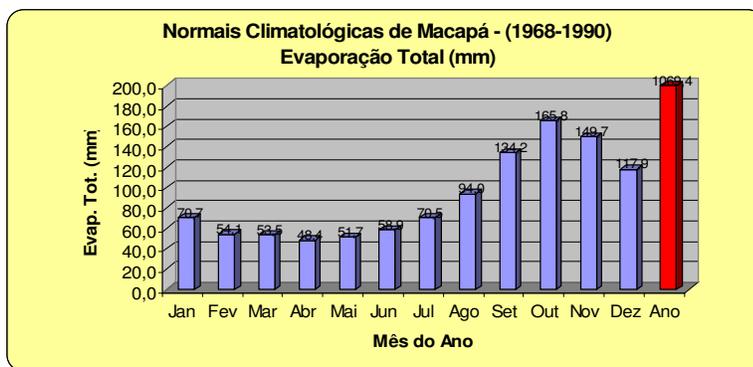


Figura-22d: Perfil da evaporação média em Macapá a partir de série de 22 anos de registro. Fonte INEMET (1990).

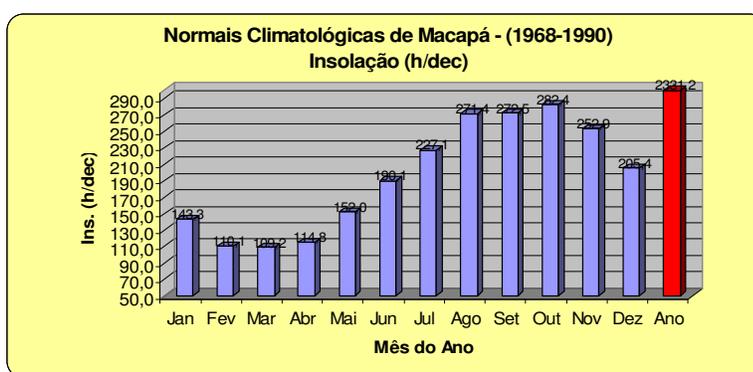


Figura-22e: Perfil da insolação média em Macapá a partir de série de 22 anos de registro. Fonte INEMET (1990).

Tabela-16: Dados médios para análise de correlação de parâmetros meteorológicos – Macapá-AP.

	<i>P(hPa)</i>	<i>T-Média</i>	<i>T-Max (oC)</i>	<i>T-Min (o C)</i>	<i>Prec. Tot (mm)</i>	<i>Evap. Tot (mm)</i>	<i>UR(%)</i>	<i>Insolação (h/dec)</i>	<i>Nebulosidade (0-10)</i>
P(hPa)	1,0000								
T-Média	-0,3368	1,0000							
T-Max (oC)	-0,1649	0,9759	1,0000						
T-Min (o C)	-0,5865	0,5697	0,4751	1,0000					
Prec. Tot (mm)	0,0107	-0,9200	-0,9605	-0,2776	1,0000				
Evap. Tot (mm)	-0,4009	0,9786	0,9437	0,4676	-0,8981	1,0000			
UR(%)	0,2785	-0,9776	-0,9719	-0,4211	0,9461	-0,9844	1,0000		
Insolação (h/dec)	0,1348	0,8729	0,9389	0,2690	-0,9720	0,8279	-0,8839	1,0000	
Nebulosidade (0-10)	-0,2956	-0,7744	-0,8638	-0,1715	0,9067	-0,7281	0,8074	-0,9620	1,0000

Observa-se o elevado índice de correlação entre os parâmetros meteorológicos destacados em vermelho, acima de 90%.

A seguir são indicados nas Figuras-23 a,b,..., etc, que resultaram da comparação entre a variabilidade temporal global de vários parâmetros com precipitação total (obtida das séries históricas de 1968 a 1990 – INEMET). Observa-se as variações sazonais dos parâmetros da qualidade da água, muito fortes e correlacionadas com a variação do índice pluviométrico.

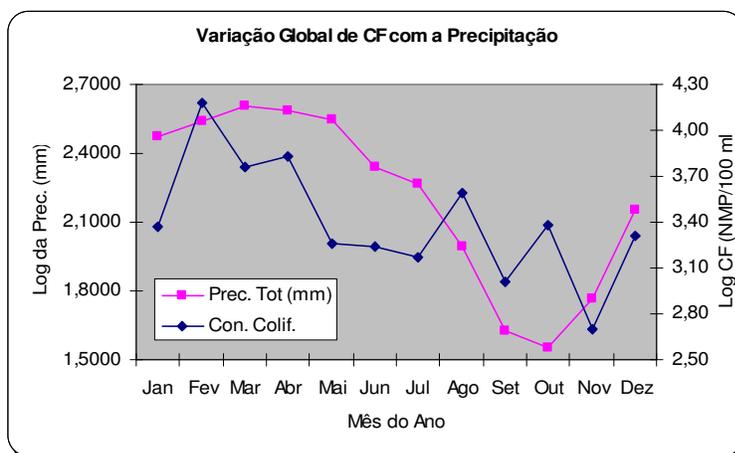


Figura-23a: Comportamento cíclico do clima e da variação do índice pluviométrico.

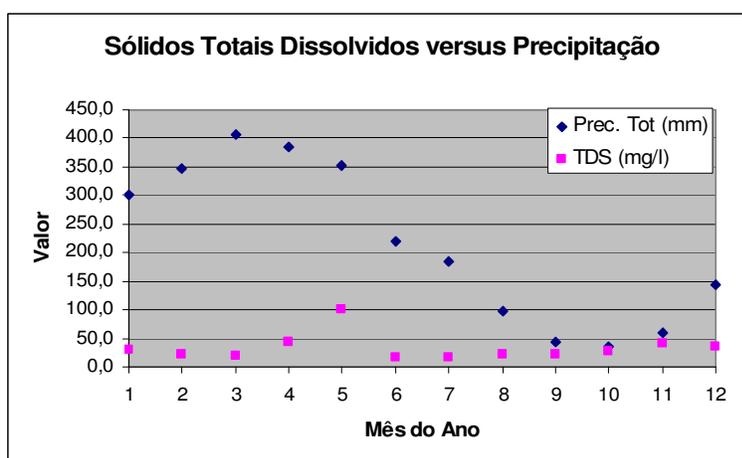


Figura-23b: Comportamento cíclico do clima e da variação temporal de STD.

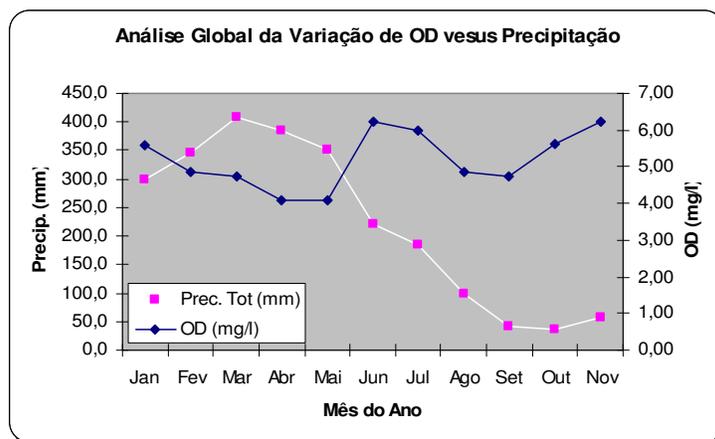


Figura-23c: Comportamento cíclico do clima e da variação temporal de OD.

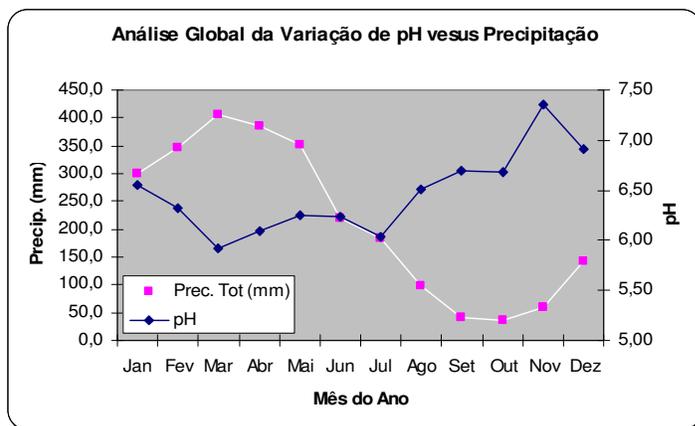


Figura-23d: Comportamento cíclico do clima e da variação temporal de pH.

Pode-se concluir que de fato há uma razoável correlação entre alguns dos parâmetros da qualidade da água aqui estudados. E não poderia ser diferente, uma vez que os índices pluviométricos atingem em média 2.500 mm/ano, distribuídas principalmente nos seis primeiros meses do ano, refletindo sobre os parâmetros da qualidade da água.

A mesma relação se poderia fazer com os outros parâmetros meteorológicos, como a temperaturas médias e máximas, insolação, evaporação, etc, bastando observar nas análises de correlação dos parâmetros meteorológicos quais são os que apresentaram maior proximidade comportamental entre si.

VI – CONCLUSÕES

O presente trabalho de pesquisa tem uma relevância eminente para o conhecimento dos ecossistemas aquáticos do Estado do Amapá, ainda mais quando ameaçados pelos potenciais impactos ambientais sobre seus recursos hídricos em áreas estuarinas tão frágeis, devido principalmente a formação geológica do período quaternário (sedimentar).

Neste sentido, a pesquisa pretende ser uma fonte de consulta para pesquisadores, técnicos e estudantes interessados nos problemas que afligem o meio ambiente aquático, pois conhecer o funcionamento desses ecossistemas é o primeiro passo para gerenciá-los de forma racional e inteligente. É importante, contudo, que as informações aqui apresentadas sejam de fato utilizadas pela sociedade, de forma que o retorno de todo o investimento na pesquisa seja alcançado e melhore a qualidade de vida da população na área do saneamento básico principalmente.

Desta forma, podemos concluir as análises aqui apresentadas, a partir de quatro linhas de abordagem:

- 1) Sócio-econômica e ambiental;
- 2) Monitoramento dos parâmetros da qualidade da água;
- 3) Hidrodinâmica e hidráulica: simulação de dispersão de substâncias na água;
- 4) Meteorologia e sazonalidade climática que influenciam nas componentes da qualidade da água.

6.1. Considerações Finais sobre os Aspectos Sócio-econômicos e ambientais das populações ribeirinhas na Zona Estuarina de Macapá e Santana

A principal contribuição do trabalho diz respeito ao modo como as populações percebem as alterações da qualidade da água, se ressentem desses problemas, e acabam sendo os principais prejudicados pelas restrições de uso da água, tanto economicamente quanto ambientalmente. Neste aspecto, as populações que retiram seus alimentos, fazem sua higiene, realizam atividades de lazer a partir da água do rio, não têm opção senão conviver de forma degradante com a poluição eminente e de elevado riscos para a saúde.

Tem-se observado, através de consulta ao Posto de Saúde do Igarapé da Fortaleza, uma acentuado grau de morbidade da população, principalmente devido a doenças como malária, problemas de pele, diarreia, infecção intestinais, entre outras, que custam caro ao governo na internação de pacientes que são acometidos por doenças de veiculação hídrica.

Um segundo aspecto diz respeito a própria infra-estrutura estadual de controle da poluição, drenagem, captação de água, entre outras, que normalmente apresentam muitas dificuldades para atender populações que vivem em áreas de ressacas, como as comunidades do Igarapé do Correa (Matapi) e Igarapé da Fortaleza (principalmente do Igarapé do Provedor) e Paxicu, cujos índices de contaminação por CF são elevadíssimos, apresentando também um elevado risco de surtos de doenças causadas por veiculação hídrica.

Um terceiro aspecto é quanto a mobilização política da população. Uma evolução de conhecimento sobre estes problemas foi dada pelas lideranças do Igarapé da Fortaleza, e cuja comunidade reuniu-se para elaborar o DRP – Diagnóstico Rápido Participativo (IEPA/SETEC e outros órgãos públicos municipais, estaduais e federais) com uma ampla participação dos comunitários. Apesar de se ter um material didático e informativo sobre as principais necessidades e demandas das populações (ambientais e sócio-econômicas no âmbito de bacia hidrográfica), nada ou pouco tem sido feito para mudar a situação de penúria da comunidade ribeirinha quanto ao crescente e ameaçador problema da contaminação das águas dos rios.

Há um imenso desafio neste setor para os governos municipal, estadual e federal, principalmente com relação a uso seguro da água para fins básico de saúde e alimentação. A degradação ambiental é um outro problema, pois facilmente se percebe o empobrecimento e esgotamento dos recursos naturais, em especial nas margens dos rios, por onde ocorre o avanço urbano e das áreas industriais próximos ao DI, Macapá e Santana.

6.2. Considerações Finais sobre os Aspectos do Monitoramento e da Qualidade da Água na Zona Estuarina de Macapá e Santana

Pode ser concluído que a presente pesquisa elaborou um primeiro banco de informações para subsidiar a elaboração de estratégias para o monitoramento da qualidade da água nestes corpos de água. Os benefícios esperados deste atenderam aos principais objetivos da pesquisa, isto é:

- e) iniciar e definir um programa de monitoramento para os quatro rios estudados, principalmente o trecho do DI de Santana. De fato a SEMA instituiu o monitoramento contínuo de pelo menos seis pontos de coleta (2 no Matapi, 3 no Fortaleza e 1 no Vila Nova;
- f) fornecer informações para um melhor planejamento de gestão da área costeiro-estuarina. O avanço na qualidade e quantidade de dados informativos e científicos mudaram a forma como as populações percebem os problemas ambientais locais;
- g) auxiliar em diagnósticos e estudos de impacto ambiental. Isto já ocorreu nos levantamentos sócio-ambientais do Matapi (Correa e DI) e DRP do Igarapé da Fortaleza;

- h) identificar estratégias e localizar onde há necessidade de minimizar lançamentos de resíduos domésticos e industriais dentro dos rios da micro-bacia. Saneamento básico e ambiental, qualidade da água, classificação, disposição de resíduos e monitoramento da qualidade e quantidade das águas são componentes de relevância no trabalho. As informações sobre os problemas inerentes da água e gestão dos recursos hídricos, decorrentes do crescimento populacional e crescentes demandas por água estão aumentando drasticamente, com implicações negativas e pressões de toda ordem sobre os recursos hídricos, devem relacionar as causas e os efeitos desta interação entre uso e impactos na bacia hidrográfica. Neste aspecto, houve um grande avanço vez que todos estes dados estarão disponíveis no SIAG/SEMA para utilização da sociedade civil de forma gratuita. Além disso, a presente pesquisa serviu de referência para a aprovação de um Projeto de Pesquisa aprovado pelo CNPq para uso e outorga da água – CT-Hidro/CNPq, edital 2, em que se fará a inclusão dos aspectos da modelagem e de monitoramento climático através das plataformas automáticas de coleta de dados inicializados pelo Programa Nacional de Monitoramento do Tempo, Clima e Recursos Hídricos (PNMTCRH), do qual sou coordenador.

Como resultados destes benefícios da nova logística de coleta de água nos cursos de água. Por exemplo, a partir de 2003 até a atualidade, já foram identificados os principais pontos ou fontes de contaminação, as quais continuam sendo monitorados, com a diferença que houve diminuição do número de pontos, com o aumento do número de parâmetros analisados.

6.2.1. Considerações Finais sobre Parâmetros que Regulam a Qualidade da Água na Zona Estuarina de Macapá e Santana

Nas bacias hidrográficas estudadas, o mau uso da água tem causado problemas diretos sobre a saúde pública das populações ribeirinhas. Somente com o monitoramento constante, proteção, conservação e tratamento de água de abastecimento e águas residuárias muitos destes problemas poderão ser solucionados e controlados. A iniciativa da criação de sistemas de monitoramento da qualidade e quantidade de recursos hídricos são fundamentais para a efetiva proteção, fiscalização e controle de poluição das bacias estudadas, principalmente do Matapi e Fortaleza. Sem as redes de monitoramento as decisões a serem tomadas pelo poder público tornam-se frágeis, com repercussões negativas na elaboração de projetos, acarretando um baixo retorno social do recurso aplicado para este fim.

Nos capítulos de resultados procurou-se informar o leitor sobre as formas mais comuns de abordagem sobre a qualidade da água e o seu monitoramento, bem como os principais parâmetros físicos (grandezas hidráulicas), químicos (pH, OD, DBO, etc) e biológicos (bacteriológicos – coliformes fecais e outros) normalmente quantificados após coleta e análise de água.

Foram descritas resumidamente as variáveis básicas relevantes para o monitoramento estratégico da qualidade estudadas, tais como: pH, condutividade elétrica, oxigênio

dissolvido, turbidez (temperatura). Todos esses parâmetros foram medidos *in situ*, ou no laboratório quando fosse o caso, tendo em vista sua estreita relação com a temperatura.

O pH é uma medida do balanço ácido de uma solução, sendo definido como o logaritmo na base 10 da concentração dos íons hidrogênio livres na água. Como foi dito, este parâmetro é um importante critério de qualidade de água porque afeta diretamente a viabilidade da vida aquática e inúmeras aplicações da água.

A condutividade elétrica (ou condutância específica) é a expressão da capacidade de uma solução aquosa em conduzir corrente elétrica. Esta capacidade depende da presença de íons, de sua concentração total, mobilidade, valência e de suas concentrações relativas, bem como da temperatura em que é efetuada a medição.

A concentração de oxigênio dissolvido (OD) na água é um importante fator na avaliação da qualidade da água e no controle de processos para tratamento de resíduos. A quantidade de OD influencia todos os processos químicos e biológicos que ocorrem na água. A medida de OD pode ser usada para indicar o grau de poluição por matéria orgânica, a destruição de substâncias orgânicas e o nível de auto-purificação da água.

A turbidez é uma medida ótica de sólidos em suspensão tais como argila, aluvião, matéria orgânica, plâncton e organismos microscópicos em amostras de água. Esse parâmetro é uma função da quantidade de material presente e do tamanho das partículas.

A temperatura deve ser medida, não somente como uma importante propriedade física da água, mas também porque é uma variável que afeta os processos físicos, químicos e biológicos na água e, portanto, a concentração de uma série de parâmetros relevantes à sua caracterização.

O monitoramento da concentração dos nutrientes que compõem as águas, particularmente dos compostos nitrogenados, também é um fator relevante pois influencia diretamente no balanço ecológico da vida aquática.

Além dos parâmetros já mencionados acima, o conhecimento da descarga líquida dos rios é um dado essencial relacionado à análise da qualidade das águas. As medidas de vazão foram extremamente importantes para se conhecer os perfis de descarga líquida, característicos de cada bacia hidrográfica.

Os sedimentos em suspensão na água têm importante papel no funcionamento do ambiente aquático para diversos fins. Altas concentrações desse material estão geralmente relacionadas a grandes fontes produtoras ligadas a fatores erosivos, além de serem os sedimentos o grande veículo de transporte de matéria contaminante nos rios, seja em suspensão ou através do material de fundo, por arraste.

O conhecimento do transporte de sedimentos é básico para estudos de aproveitamento hidráulico (barragens, transporte hidroviário, etc), com vistas a avaliar o comprometimento do investimento em termos de assoreamento de reservatórios e/ou do próprio rio. Através dos sedimentos são transportados diversos elementos (traços,

metais pesados, etc.), também de importância para o correto manejo dos reservatórios e em diversos estudos do meio ambiente aquático. Desta forma, baseando-se no conhecimento dos parâmetros mencionados acima, torna-se possível traçar perfis característicos de cada localidade monitorada.

6.2.1.1 POLUIÇÃO MICROBIOLÓGICA

Corpos de água doce poluídos por descargas de material fecal, a partir de atividades humanas, animais domésticos e de rebanhos de modo geral, podem transportar uma variedade de germes patogênicos tais como as bactérias, vírus e protozoários. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), as doenças veiculadas por meio hídrico levam à morte por ano cerca de 5 milhões de pessoas.

A detecção de todas as fontes patogênicas causadas por veiculação hídrica é difícil; portanto, a maioria das investigações da qualidade de corpos d'água usa vários indicadores de contaminação fecal, tais como coliformes totais e coliformes fecais. A contagem de bactérias, expressa em número mais provável por 100ml, como foi visto, pode variar mais que muitas ordens de magnitude em uma estação específica.

Em rios que estão relativamente livres de descargas fecais, ou estações localizadas a jusante de descargas de esgotos ou resíduos orgânicos, a contagem de coliformes são menores do que 100 /100 ml. A maioria das estações da da Global Environmental Monitoring System (GEMS), por exemplo, na Europa reflete uma contaminação marcante com contagens entre 1000 e 10.000/100 ml com picos ocasionais excedendo 100.000/100 ml. Em rios que recebem esgotos não tratados a contagem de coliformes pode muito bem exceder o valor 100.000/100 ml. As análises deste projeto foram conduzidas pontualmente e globalmente. Isto é, foram realizadas análises de cada ponto de coleta, com sua respectiva variabilidade temporal, bem como as análises da distribuição espacial de cada parâmetro, por corpo d'água.

6.2.2. Considerações Finais sobre a Hidrodinâmica e Processos Difusivos e Dispersivos de Poluentes na Água

As limitações sobre o conhecimento da hidrodinâmica e hidrologia locais foram evidentes. Contudo, foi possível, dentro dos limites da pesquisa, observar o comportamento hidrodinâmico em um ciclo completo de maré, em pelo menos três dos quatro rios estudados: Matapi, Vila Nova e Fortaleza.

A partir de uma única medida de vazão com o ADCP alguns parâmetros hidráulicos ou hidrodinâmicos foram determinados in loco ou utilizados para estimar outras grandezas necessárias para executar a modelagem, como coeficientes de dispersão longitudinal e coeficiente de difusão turbulenta nos modelos numéricos unidimensionais para a difusão e advecção puros, que podem ser utilizados nas equações empíricas de reoxigenação natural em estuários (Equação –1).

$$K_a = \frac{D_L U_o}{H^{\frac{3}{2}}} \quad (1)$$

Contudo, neste caso, pode-se concluir que a complexidade dinâmica dos rios estuarinos estudados leva a muitas abordagens e interpretações sobre a avaliação de dispersão, diluição e autopurificação dos corpos de água. Uma grande quantidade de variáveis independentes é normalmente envolvida, mas, por outro lado, somente pouco das variáveis necessárias são realmente medidas e, no final, um número considerável de hipóteses devem ser elaboradas na aplicação dos modelos de interesse para um estuário específico. Assim, é urgente e necessária a atenção para principalmente coleta de dados e informação básica, especialmente hidrológica e climatológica, de forma que se possam computar as relações de causas-efeito que representem a dinâmica da dispersão e autodepuração desses corpos de água.

VI – BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Benedito, J. E., Guimarães, V. S. e Guerra, H. N (2002) – Curso Internacional de Medição de Descarga Líquida em Grandes Rios. Apostila ANA/ANEEL. Manaus - AM.
- Braga (2002) – Introdução à Engenharia Ambiental. Prentice Hall. USP/DHS, São Paulo-SP. 305 p. USP.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente. 1986. Resolução do CONAMA nº 20/1986. Classificação dos Corpos de Água. Brasília-D.F.
- Cunha, A. C, Cunha, H. F. A., 2001b. Approaches to Evaluation of Self-purification in Estuarine Revers of Southeast of Amapá State - Brazil. Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário – ABEQUA. In: VIII ABEQUA, Mariluz, Imbé. Rio Grande do Sul. Proceedings, Brasil, Outubro, 14-20.
- Cunha, A. C, Cunha, H. F. A. and Siqueira, E. Q., 2001a. 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.
- Cunha, A. C, Cunha, H. F. A. and Siqueira, E. Q., 2000. Water Pollution Survey in Rivers of the State of Amapá–Brazil. In: V Workshop Ecolab, November, 19-25. Macapá-AP/Brazil. p 315-323.
- Cunha, A. C, 2000. Monitoramento, Parâmetros e Modelos de Qualidade da Água. Macapá/AP: Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA). 83 p.
- Cunha , A. C. 1999. *Modelação Numérica da Interface Ar-água em processos de absorção e dessorção de gases em tanques cilíndricos*. São Carlos. 194 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - USP.
- Cunha, A. C.; Barbosa, A. R. Jr.; Schulz, H. E. 1994. Absorção e dessorção de gases em corpos de água com aplicação à hidráulica ambiental. In: Congresso Latinoamericano de Hidráulica, XVI, Santiago, Chile, v.6, p. 313-324.
- Cunha, H. F. A . 2002. Levantamento de Aspectos Sócio-Ambientais na Bacia Hidrográfica do Rio Matapi-AP para o Desenvolvimento do Distrito Industrial. Relatório Técnico: CPAQ/IEPA 43 p.
- Helou, L. C. 1994. Acoplamento das equações da hidrodinâmica às da dispersão de poluentes. São Paulo. 170p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP.
- Lung, Seng-Wu, 1993. *Water quality modeling*. Vol III: Application to Estuaries. CRC Press, Inc. USA. 194 p.
- McCutcheon, S. C.; Frech, R. H., 1989. *Water quality modeling: transport and surface exchange in rivers*. v. 1. Series Editora. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. EUA. 334 p.
- Momesso, A. M.; Cunha, A. C.; Schulz, S. A.; Schulz, H. E., 1996. Absorção de oxigênio e dessorção de gases orgânicos pela água. In: 6^o BRAZILIAN CONGRESS OF

- ENGINEERING AND THERMAL SCIENCES - 6^o LATIN AMERICAN CONGRESS OF HEAT AND MASS TRANSFER. Florianópolis, SC-Brazil, v.II, p. 267-277, november.
- Runkel, R. L., 1997. *"Solution to the Advection-dispersion Equation: Continuous Load of Finite Duration."* Report of United Geological Survey, Water Resource Division. 10p.
- Rutherford, J. C., 1994. *"River Mixing"*. John Wiley & Sons. Chichester. NIWA Ecosystem National Institute of Water and Atmospheric Research Hamilton. New Zeland. 346p.
- Silva, A. Q. et al., 2001. *"Relatório de Monitoramento da Qualidade Ambiental de Recursos Hídricos"*. Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SEMA. Macapá – AP. 48 p.
- Siqueira, E. Q., 1996. *"Aplicação do modelo de qualidade de água (QUAL2E) na modelação de oxigênio dissolvido no Rio Meia Ponte (GO)"*. São Carlos. 90 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - USP.
- Siqueira, E. Q. & Cunha, A. C., 2001. *"Re-Oxygenation Coefficient in QUAL2E: A Prediction Methodology"*. In: *Models and Application to Urban Water Systems. Monograph 9 in the series*, Cap-10, Proceedings of the Conference on Stormwater and Urban Water Systems Modeling, Toronto, Ontario-Canada. February 24-25, 2000, 153-160.
- Streeter, H. W.; Phelps, E. B., 1925. Study of the pollution and purification of the Ohio river. *Public Health Bulletin 146*, United States, Public Health Service, Washington.
- Velz, C. J., 1984. Applied Stream Sanitation. A Wiley-Interscience Publication. Second Edition. 799 p.
- Wrobel, L. C., 1989. Métodos Numéricos e Recursos Hídricos. Rio de Janeiro. ABRH. p. 1- 81. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). 380p

Bibliografia

- BYAPPANAHALI, M. N. & FUJIOKA, R. S. Evidence that soil environment can support the growth of *Escherichia coli*. In: *Water Science & Technology*, V. 38, N. 12, p. 171-174. 1998.
- CHAPRA, S. C. *Surface Water-Quality Modeling*. McGraw-Hill. Texas, EUA. 844 p. 1997.
- CUNHA, A. C. e COUTO, R. (Orgs.) (2003) Diagnóstico Rápido Participativo na Bacia do Igarapé da Fortaleza – AP. 53 p. Governo do Estado do Amapá-GEA/SETEC. (prelo).
- CUNHA, A. C. da; NAZARÉ, A. S.; PANTOJA, S. & CUNHA, H. F. A. Monitoramento de Águas Superficiais em Rios Estuarinos do Estado do Amapá sob Poluição Microbiológica. Boletim Científico do Museu Paraense Emílio Goeldi. Volume Especial. 2002.
- CUNHA, A. C. Monitoramento, Parâmetros e Modelos de Qualidade da Água. Macapá/AP: Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA). 83 p. 2000.
- CUNHA, A. C. da. Levantamento de Parâmetros Físico-Químicos e Hidráulicos para Avaliação da Qualidade da Água em Escoamentos Naturais – O Desenvolvimento do

- Distrito Industrial-AP na Bacia do Rio Matapi. Relatório de Atividades. GERCO/IEPA – CNPq. 2001.
- CUNHA, A. C; CUNHA, H. F. A. and 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. 2001a.
- CUNHA, A. C; CUNHA, H. F. A.,. Approaches to Evaluation of Self-purification in Estuarine Revers of Southeast of Amapá State - Brazil. Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário – ABEQUA. In: VIII ABEQUA, Mariluz, Imbé. Rio Grande do Sul. Proceedings, Brasil, Outubro, 14-20. 2001b (prelo)
- CUNHA, A. C da; CUNHA, H. F. A. and SIQUEIRA, E. Q. Water Pollution Survey in Rivers of the State of Amapá–Brazil. In: V Workshop Ecolab, November, 19-25. Macapá-AP/Brazil. p 315-323. 2000a.
- CUNHA, A. C. da; CUNHA, H. F. A.; NAZARÉ, A. S.; PANTOJA, S. C. M. & AZEVEDO, J. da C. Diagnóstico Preliminar Sócio-Econômico e Ambiental da Comunidade do Igarapé Correa – Distrito Industrial de Santana/AP” Macapá-AP. 2000b.
- CUNHA, H. F. A. Avaliação da eficácia de medida mitigadora de impactos sócio ambientais causados por construção de hidrelétricas: o reassentamento populacional da UHE de Taquaruçu – SP. Tese (Doutorado) EESC-USP. 148p. 1999.
- FRANCO, Lúcia. Saneamento Ambiental: oportunidade no caos. Revista Ambientec – Ecolatina. Ano II. nº 04 – ago/set/out. 2001
- GEA - SEICOM. Relatório Trimestral – Distrito Industrial. Departamento de Desenvolvimento Industrial DADI. Macapá-AP, 2000.
- GÓES, K. D. Guia Informativo: Área de Livre Comércio de Macapá e Santana. Ministério do Planejamento e Orçamento. Secretaria Especial de Políticas Regionais. SUFRAMA. 44p. 1997.
- HOGAN, D. J. Migração, ambiente e saúde nas cidades brasileiras in Dilemas Sócioambientais e desenvolvimento sustentável - Hogan, D. J. & VIEIRA, P. V (org.). Editora da UNICAMP/SP. 149-167 p. 1995.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Censo Demográfico 2000.
- IEPA - Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá. Carta de Subsídio à Gestão Ambiental Integrada da Bacia do Rio Matapi, em Escala de 1:100.000. Texto mimeo. 1999.
- LAWS, E. An Introductory Text of Aquatic Pollution: Pathogens in Natural Waters. John Wiley & Sons Ed. EUA. Cap. VII, p. 157-178. 1993
- LEI nº. 6803/80 - Zoneamento Industrial de áreas críticas de poluição. 1980.
- LUNG, Seng-Wu. Water quality modeling: Application to Estuaries. Vol. III. CRC Press, Inc. USA. 194 p. 1993
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Ciência, tecnologia e inovação: desafio para a sociedade brasileira – Livro Verde/ Coordenado por Cylon Gonçalves da Silva e Lúcia Carvalho Pinto de Melo – Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia/ Academia Brasileira de Ciências. 2001

SEICOM Secretaria de Estado da Indústria, Comércio e Mineração Governo do Estado do Amapá/ – Relatório Trimestral – Distrito Industrial. Departamento de Desenvolvimento Industrial DADI. Março a junho. Macapá-AP. 2000.

SEICOM Secretaria de Estado da Indústria, Comércio e Mineração Governo do Estado do Amapá. Home Page - www.amapa.gov.br. 2000

SILVEIRA, S. S. B.; SANT'ANNA, F. S. P. Poluição Hídrica. In Meio Ambiente aspectos técnicos e econômicos – Sérgio Margulis (editor) Rio de Janeiro, IPEA. Brasília, IPEA/PNUD. 1990.

TORRES, H. da G. Indústrias sujas e intensivas em recursos naturais: importância crescente no cenário industrial brasileiro. In População, Meio Ambiente e Desenvolvimento – verdades e contradições (George Martine org.). Editora da UNICAMP/SP. 43-67 p. 1993.

VELZ, C. J. Applied Stream Sanitation. A Wiley-Interscience Publication. Second Edition. 799 p. 1984

VENTER, S. N.; KÜHN, A. L.; HARRIS, J. *A method for the prioritization of areas experiencing microbial pollution of surface water.* In: Water Science & Technology, V. 38, N. 12, p. 23-28. 1998.