

VI-189 - MODELAGEM DA QUALIDADE BACTERIOLÓGICA DAS ÁGUAS COSTEIRAS DE FORTALEZA - CE

Silvano Porto Pereira ⁽¹⁾

Biólogo, mestre e doutor em Engenharia Civil, área de Concentração Saneamento Ambiental, pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Biólogo da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE).

Paulo Cesar Colonna Rosman ⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), mestre pela COPPE/UFRJ e Ph.D. pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT). Professor adjunto da COPPE/UFRJ.

Endereço ⁽¹⁾: Rua Tomás Lopes, 85 – Praia de Iracema - Fortaleza - CE - CEP: 60060-260 - Tel: (85) 3219-1835 e-mail: silvanopereira@terra.com.br

RESUMO

A modelagem ambiental é uma importante ferramenta para projetos e estudos envolvendo a gestão ambiental, devido à complexidade dos sistemas ambientais. Com ela é possível integrar um grande número de variáveis e processos de forma a obter uma visão dinâmica de tais sistemas e avaliar as suas condições presentes e futuras. Neste trabalho são apresentados os resultados de modelagens da qualidade bacteriológica da água da área costeira de Fortaleza (CE-Brasil) frente a diversas entradas de cargas contaminantes. Coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*, usados como indicadores de qualidade de águas de banho pelas normas brasileiras, foram numericamente modelados usando o SisBaHiA (Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental), considerando-se cargas contaminantes provenientes de três diferentes tipos de fontes: rios, galerias pluviais e emissário submarino, de modo a permitir uma análise integrada da qualidade das águas de banho na zona costeira de Fortaleza. Os modelos foram implementados de forma a representar as variações de decaimento frente à radiação solar e outros fatores ambientais. Os resultados obtidos pelos modelos foram relativamente próximos àqueles monitorados em campo em diferentes cenários. O estudo mostrou que as galerias pluviais e o riacho Maceió são as fontes de contaminação mais importantes, respondendo por episódios de não cumprimento dos padrões de qualidade de água de banho, especialmente, durante os períodos chuvosos. Além disto, os resultados indicam não haver riscos da pluma do emissário submarino de Fortaleza alcançar as áreas de banho das praias desta cidade.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem ambiental, Águas costeiras, Balneabilidade, Galerias pluviais, Emissário submarino, Decaimento bacteriano, T90.

INTRODUÇÃO

No passado colonial e primeiras décadas do Império, as praias do Brasil tiveram fundamentalmente usos econômico, militar, de circulação e sanitário. Neste último caso, as praias serviam como escoadouro de águas servidas e depósitos de sujeiras de todas as espécies, principalmente aquelas situadas próximas às vilas e cidades (ARAÚJO, 2007). Com o movimento de valorização do litoral pelas elites, iniciado na França e Bélgica e posteriormente na América do Sul - Chile (Viña del Mar), Uruguai (Punta del Este) e Rio de Janeiro (Leme, Copacabana e Ipanema), estas áreas deixam de ser um lugar de simples contemplação para adquirirem importância com os banhos de mar nos anos 1930, como um tipo de lazer complementar a tratamentos terapêuticos aconselhados por médicos (DA SILVA *et al.*, 2006). Já com o advento de uma sociedade de lazer, o processo de ocupação das zonas de praia se amplia. Em Fortaleza isso se inicia na Praia de Iracema e se amplia gradativamente com a incorporação da Praia do Meireles a partir da década de 1940 (DANTAS, 2005).

Após uma política de expansão ocorrida na década de 1970, a população de Fortaleza tem observado elevado crescimento, aproximando-se atualmente dos dois milhões e meio de habitantes, colocando-a como a quinta cidade mais populosa do Brasil, além de ser um importante centro turístico e recreativo do nordeste brasileiro. Apesar da atual boa cobertura de abastecimento de água e coleta de lixo, o percentual de residências com sistema público de coleta de esgoto não ultrapassa 60% (Tabela 1).

Tabela 1 – População residente e domicílios servidos por água, coleta de esgoto e lixo em Fortaleza.

Descrição	Valor	Percentual
População residente - Total	2.452.185	
Domicílios permanentes	710.066	100%
Domicílios com rede geral de distribuição	662.541	93%
Domicílios com poço ou nascente na propriedade	38.638	5%
Domicílios com outra forma de abastecimento de água	8.884	1%
Domicílios com rede geral de esgoto ou pluvial	422.933	60%
Domicílios com fossa séptica	107.251	15%
Domicílios com outro tipo de coleta	177.164	25%
Domicílios que não tinham banheiro ou sanitário	2.711	0%
Domicílios com coleta de lixo por serviço de limpeza	663.681	93%
Destino do lixo - Coletado em caçamba de serviço de limpeza	37.479	5%
Destino do lixo - Outro destino	8.903	1%

Fonte: resultados preliminares do Censo Demográfico de 2010 (http://www.ibge.com.br/home/estatística/populacao/censo2010/resultados_preliminares amostra/default_resultados_preliminares amostra.shtm).

A cidade de Fortaleza é recortada por dois rios que fluem por sua região metropolitana e desaguam no mar, próximos a praias bastante usadas para banho: o rio Ceará, ao oeste, e o rio Cocó, ao leste. Ao longo de seus 25 km de costa, a cidade possui diversas galerias pluviais que transportam águas pluviais e esgotos não tratados. Na década de 1970, um emissário submarino¹ - com capacidade para até 4,8 m³/s - foi construído em Fortaleza para evitar que descargas de esgoto não tratado contaminassem as praias da cidade. Todavia, nos dias atuais apenas metade dessa vazão é encaminhada ao emissário; o restante continua sendo lançado no solo, em galerias pluviais e em riachos ou rios, tendo a zona litorânea das praias como corpo receptor final.

A contaminação de águas costeiras por esgotos sanitários é um dos fatores responsáveis pela disseminação de doenças causadas por bactérias, vírus e protozoários. Bactérias patogênicas e vírus lançados no mar constituem um possível risco à saúde humana, especialmente em áreas densamente usadas pela população. Como medida à segurança de banhistas, a resolução Nº 274/2000 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) criou instrumentos para avaliar a evolução da qualidade das águas, em relação aos níveis estabelecidos para a balneabilidade, de forma a assegurar as condições necessárias à recreação de contato primário. Instrumentos estes que utilizam bactérias do grupo coliforme (coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*) e enterococos (*Enterococcus* sp.) como indicadores da presença de agentes patogênicos no corpo d'água, estabelecendo níveis máximos admissíveis para classificação da área como própria ou imprópria ao banho.

Um dos aspectos fundamentais na gestão adequada do meio marinho consiste em conhecer as vias pelas quais os organismos patogênicos alcançam o meio receptor e como neste se comportam. Diversos autores têm demonstrado a existência de numerosas fontes de contaminação, nas quais concentrações elevadas de bactérias estão presentes. Fontes de contaminantes fecais, em águas marinhas de recreação, incluem aquelas tradicionalmente bem conhecidas, como descargas pontuais de esgotos brutos ou tratados que desaguam na costa de forma direta - via extravasores em sistemas combinados ou separativos e via emissários submarinos mal projetados ou operados (EPA, 2004)- ou de forma indireta via rios, canais e galerias pluviais (HAACK *et al.*, 2003; SOLO-GABRIELE *et al.*, 2000), cujas cargas contaminantes podem ter origem em ligações clandestinas de esgoto sanitário no sistema de drenagem (CARVALHO; POLISEL, 2005; FONSECA; PINTO, 1997; FONSECA; PINTO, 1997; SOARES, 1999), bem como aquelas difusas relacionadas às atividades humanas na própria água de banho e na areia (ELMIR *et al.*, 2007); GERBA, 2000), fezes animais e recrescimento bacteriano na areia das praias e no solo da bacia drenante (EVANSON; AMBROSE, 2006; HAACK *et al.*, 2003; KAY *et al.*, 1999; SOLO-GABRIELE *et al.*, 2000), além daquelas relacionadas com o escoamento superficial (ARAÚJO *et al.*, 2011; CROWTHER *et al.*, 2001; FERGUSON *et al.*, 2003; HE ; HE, 2008; SOARES, 1999; WALTERS *et al.*, 2011).

¹ Tubulação provida de sistemas difusores destinada ao lançamento de efluentes no mar, na faixa compreendida entre a linha de base e o limite do mar territorial brasileiro (CONAMA 430/2011). Emissários submarinos são usados para lançar os esgotos gerados por cidades litorâneas a distâncias suficientemente longas da costa, considerando os fenômenos físicos, químicos e biológicos ocorrentes, os quais determinam a diluição e degradação do material contaminante.

Os ambientes naturais apresentam uma diversidade de elementos, encadeamentos, interações, fluxos e retroalimentação, compondo uma entidade organizada como todos os sistemas complexos. (CHRISTOFOLETTI, 1999). Face à complexidade dos ambientes em corpos de água naturais, a necessidade de aplicação de modelos para estudos, projetos e auxílio à gestão de recursos hídricos é inquestionável, pois são ferramentas integradoras, sem as quais dificilmente se consegue uma visão dinâmica de processos nestes complexos sistemas ambientais. Com o uso da modelagem é possível realizar análises de diagnósticos e prognósticos, interpolação e extrapolação de dados e estudo da dinâmica de determinados processos, permitindo a integração de informações espacialmente e temporalmente dispersas (ROSMAN, 2011).

Em suma, a utilização de modelagem computacional para simulação de processos de dispersão de fontes de contaminação pontuais e difusas, reproduzindo o comportamento destes contaminantes no corpo d'água, constitui hoje uma ferramenta imprescindível no processo de decisão, tanto para os órgãos ambientais quanto para os responsáveis por tais fontes.

Nesta perspectiva, este trabalho buscou analisar, de forma integrada, a qualidade das águas de banho na zona costeira de Fortaleza, considerando os aportes de fontes pontuais ao longo da costa, lançamentos por emissário submarino e processos de decaimento bacteriano, utilizando para tanto um modelo computacional dinâmico e determinação de taxas críticas de decaimento bacteriano em ensaios de laboratório para as condições próprias de Fortaleza, Nordeste do Brasil.

MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 1 mostra de forma esquemática os principais passos metodológicos adotados no desenvolvimento do trabalho, os quais serão melhor esclarecidos no decorrer do texto.

A resolução das equações que governam a hidrodinâmica e o transporte de substâncias exige que as condições iniciais e de fronteira sejam fornecidas. Para aplicar o modelo de forma conveniente, além de tais condições, é necessário também definir valores realistas de batimetria e geometria da área de interesse (domínio). As condições iniciais, fornecidas aos modelos hidrodinâmicos, foram velocidades nulas e elevação da superfície livre correspondente à elevação do nível d'água no instante inicial de cada respectivo modelo, obtida a partir da previsão da maré para aquele instante. Esta situação é chamada de “partida a frio”, por não se ter conhecimento de nenhum resultado prévio adequado para ser usado como condição inicial. Já as condições de fronteira (ou de contorno) podem ser horizontais e verticais. As condições de contorno para o módulo vertical são a prescrição de velocidade nula no fundo e da tensão do vento na superfície livre. Quanto às condições de contorno horizontais elas são de terra ou abertas. A fronteira de terra corresponde às margens do corpo de água objeto da modelagem, tendo informadas as condições de afluência de seus rios e riachos. A fronteira aberta representa o limite hídrico do domínio modelado, não sendo, ao contrário da fronteira de terra, um limite físico. Nela são prescritas as condições de elevação da superfície livre, diferenças de fase e ângulos em condições de afluxo ou efluxo. Em função de não haver estratificação termo-halina na área de interesse, foram empregados apenas modelos bidimensionais nas simulações.

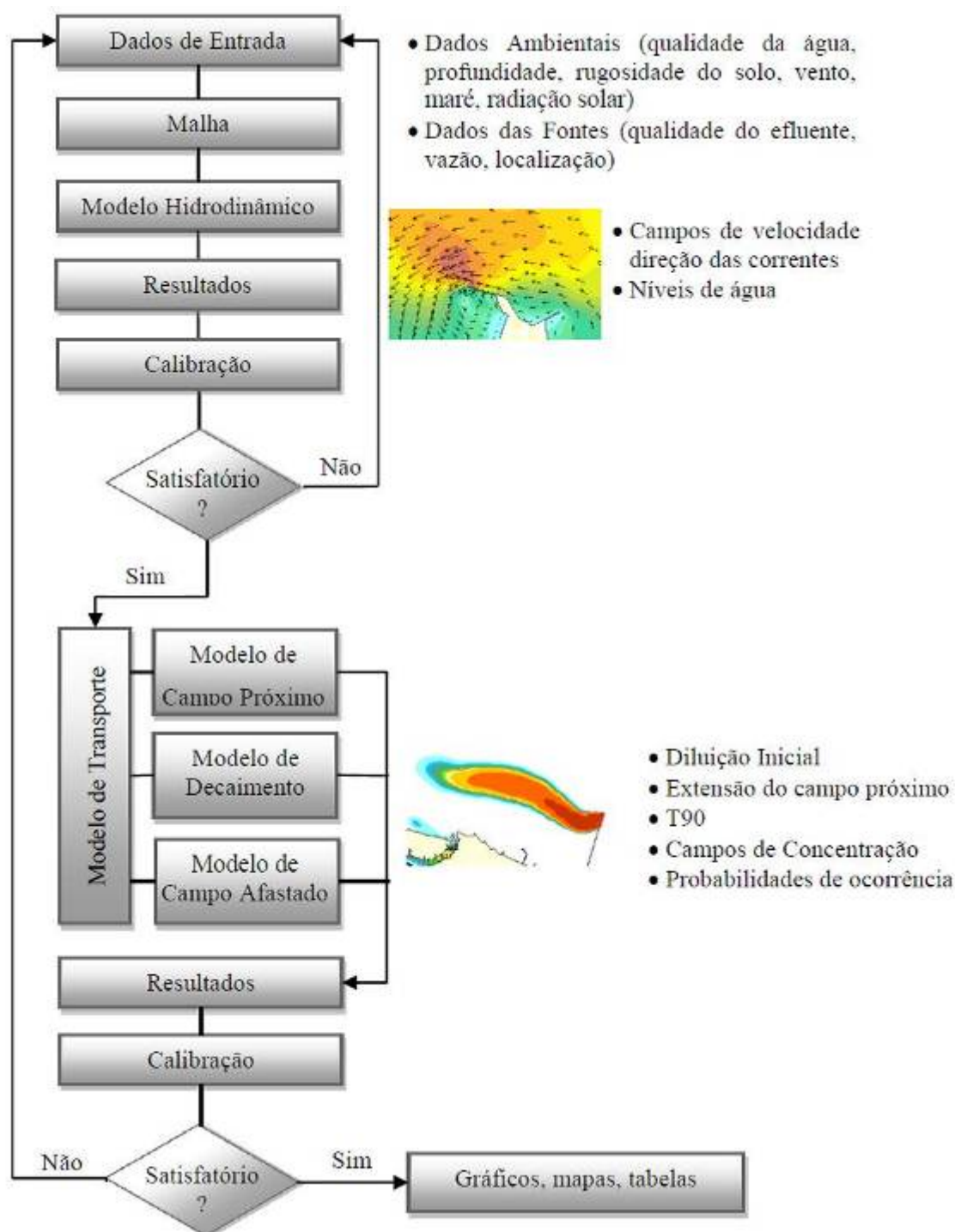


Figura 1 – Fluxograma de modelagem utilizado

Ferramenta Computacional Utilizada

Após realizar testes iniciais com as seguintes ferramentas computacionais CORMIX, Visual Plumes, SisBaHiA, MOHID e AQUALAB, escolheu-se o SisBaHiA como ferramenta definitiva para modelagem hidrodinâmica, transporte e decaimento dos contaminantes na região. O SisBaHiA foi selecionado por ser o único daqueles a possuir, simultaneamente, uma integração entre os modelos hidrodinâmicos e de transporte, acoplamento entre estes e os modelos de qualidade, de campo próximo e de campo distante, além de sofisticada modelagem de decaimento bacteriano, tendo sido inclusive aplicado em diversos projetos de emissários submarinos. Detalhes sobre a ferramenta estão disponíveis em: www.sisbahia.coppe.ufrj.br.

Região Modelada

A Figura 2 mostra o domínio modelado, incluindo a malha e batimetria usadas nos modelos. Após ajustes e redesenhos de nove versões anteriores, chegou-se a esta versão final da malha com 1.783 elementos quadráticos e 7.564 nós, abrangendo uma área marinha de 283 km² e margeando 43 km de linha costeira das quais cerca de 29 km são praias usadas para banho, sendo 19 em Fortaleza e 10 no município vizinho (Caucaia). Procurou-se desenhar a malha de forma a permitir um maior detalhamento das áreas de maior interesse (difusores, foz dos rios e galerias) e daquelas de circulação complexa (espigões e porto). Com isto as áreas dos elementos da parte oceânica foram se reduzindo em direção à costa. Os elementos localizados próximos à fronteira aberta tiveram dimensões de até 600m de lado, enquanto aqueles próximos à costa (fronteira de terra) tiveram dimensões de no mínimo 20m, dependendo do grau de interesse sobre os trechos de praia ou complexidade do contorno.

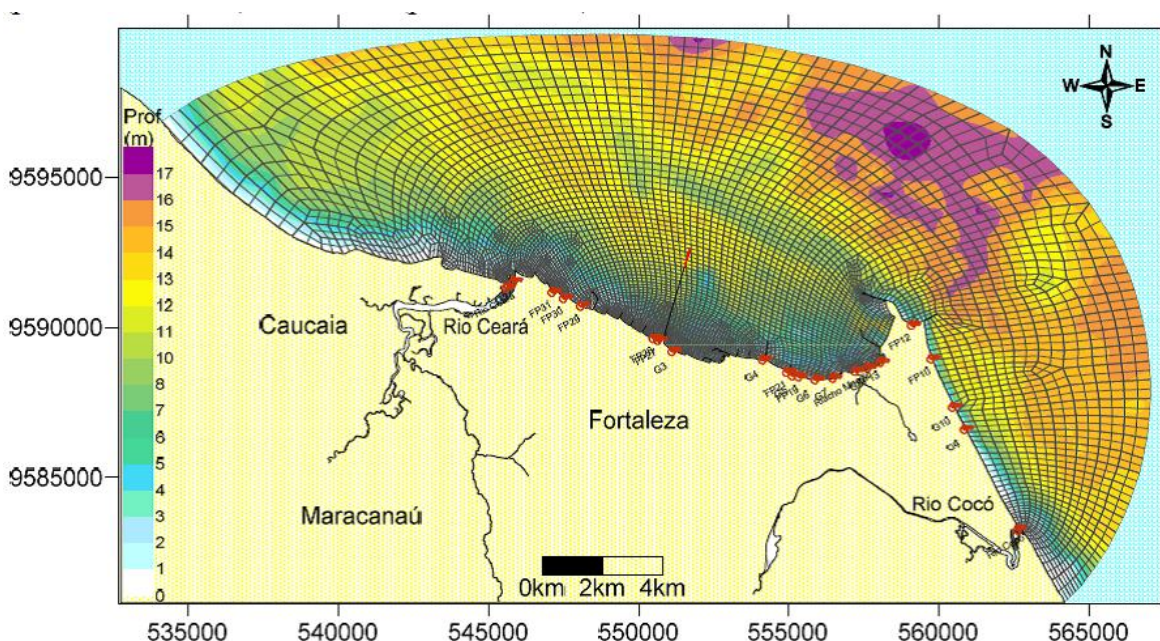


Figura 2 – Domínio de modelagem, incluindo malha e batimetria (em relação ao nível de redução-NR), além da localização do emissário (dentro do pontilhado), rios e galerias usados nos modelos.

A batimetria e rugosidade do leito marinho foram obtidas das cartas náuticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN) números 701 (escala 1:13.000) e 710 (escala 1:50.000) atualizadas até 2011. Para geração do mapa batimétrico mostrado na figura acima foram digitalizadas manualmente 2.395 pontos de profundidade das cartas náuticas mencionadas, sendo então produzida uma grade de 30x30m para interpolação pelo método de Kriging (ANDRIOTTI, 2004) e posterior importação, pelo SisBaHiA, das profundidades de cada nó da malha. Já para geração do mapa de rugosidade foram digitalizadas manualmente 143 pontos de tipo de solo das cartas náuticas citadas e convertidos em amplitude de ruga (rugosidade).

Seleção dos Cenários de Modelagem

A cidade de Fortaleza possui dois períodos estacionais, sendo um chuvoso entre fevereiro e maio e outro seco (Figura 3). Como se observa nesta figura, há uma variação sazonal dos ventos oposta ao período chuvoso, com maiores intensidades nos meses secos. Com relação à radiação solar, esta é maior no período seco devido a menor cobertura de nuvens. Para representar estes cenários foram selecionados os meses de março e outubro como representativos de distintas condições.

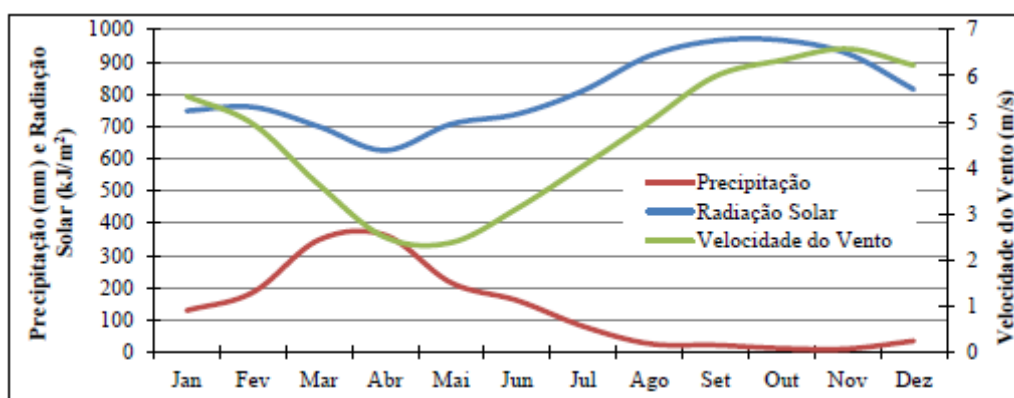


Figura 3 – Média mensal da precipitação (1974 a 2008), intensidade de vento (2008 a 2009) e radiação solar (2008 a 2009) da área de estudo.

Cargas poluentes

Para o emissário submarino existente foram utilizados os valores de vazão variáveis ao longo do dia, correspondentes às médias horárias obtidas dos registros da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) para o ano de 2009, as quais variaram de 1,01m³/s (05:00h) a 3,08m³/s (12:00h). Para todos os horários foi considerado o valor médio da concentração de *Escherichia coli* presente no efluente de 4×10^7 NMP/100mL, obtido a partir de análises mensais realizadas pela própria companhia durante o ano de 2007. Já para as demais fontes foram usadas cargas obtidas de um programa de monitoramento executado pela Universidade Estadual do Ceará durante os meses de março a outubro de 2009 (LGCO, 2009). Ao todo foram consideradas no modelo as cargas de 19 galerias pluviais, além do riacho Maceió, rio Cocó e rio Ceará.

Decaimento bacteriano

Dentre os agentes responsáveis pelo decaimento bacteriano, a foto-oxidação induzida pela radiação solar se mostra como o mais importante. A morte celular pela radiação UV é causada, principalmente, por sua ação sobre o DNA, sendo a faixa de 260nm a mais efetiva. Neste trabalho o decaimento bacteriano foi considerado variável ao longo do dia, empregando-se a metodologia usada por Feitosa e Rosman (2007), que utiliza o modelo proposto por Mancini (1978), levando em consideração a radiação solar obtida de estação meteorológica instalada na região. Para estimar a extinção da luminosidade ao longo da coluna d'água foram usados valores de profundidade de Secchi monitorados pelo Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) na área modelada.

Dados de maré e de vento

Para as simulações do modelo hidrodinâmico foram consideradas ao longo das fronteiras de mar elevações de maré geradas a partir das constantes harmônicas, prescritas ao longo da fronteira aberta, e por campos de vento uniformes sobre todo o domínio, porém, variáveis ao longo do tempo. As constantes harmônicas foram calculadas por meio de registros contínuos de nível de água a cada 5 minutos, de um período de seis meses (01/06/2008 a 30/11/2008), colhidos de uma estação maregráfica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), instalada no Porto do Mucuripe em Fortaleza. Dados de vento, a 10 m de altura do solo, foram obtidos da estação meteorológica da Davis Instruments, modelo Weather Wizard III, de propriedade do LABOMAR, instalada nas coordenadas -3,718 e -38,536, a 10 metros do solo, 5 metros do mar e a 600 metros do emissário.

Correntes

A CAGECE e LABOMAR estabeleceram um convênio, com parte dos recursos oriundos de um projeto de pesquisa submetido à Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura (FUNCAP), com o objetivo de estudar durante um ano o regime de correntes marinhas nas proximidades do emissário. Para tanto foi fundeado nas proximidades dos difusores e a cerca de 15m de profundidade um correntômetro do tipo perfilador acústico por

efeito Doppler, *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP), para medição do perfil vertical de velocidades. Além das correntes, foram registrados dados de pressão, temperatura, condutividade e da variação da altura da coluna de água. Parte dos dados gerados por este projeto foi usado para permitir a calibração do modelo hidrodinâmico, mais precisamente as medições de corrente obtidas no mês de outubro de 2011.

Qualidade das águas de banho

Para comparar os resultados produzidos pelos modelos, usou-se informações sobre o monitoramento de balneabilidade de praias disponibilizadas pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), a qual semanalmente coleta amostras em 30 pontos ao longo da costa de Fortaleza.

RESULTADOS OBTIDOS

A concordância entre observações e os resultados de modelagem para o nível da água foi muito satisfatória tanto em termos de amplitude como de fase, havendo uma excelente capacidade do modelo em reproduzir os valores medidos de nível.

Quanto às correntes, os dados obtidos por meio de medições e modelados no presente trabalho mostram que o regime de correntes da costa de Fortaleza é primariamente comandado pelos ventos, com um papel secundário para as marés. A Figura 4 mostra as intensidades médias da coluna de água medidas e modeladas no ponto de controle. É evidente uma melhor reprodução dos registros medidos pelo modelo que utilizou como forçante meteorológica os ventos com velocidades de rajada.

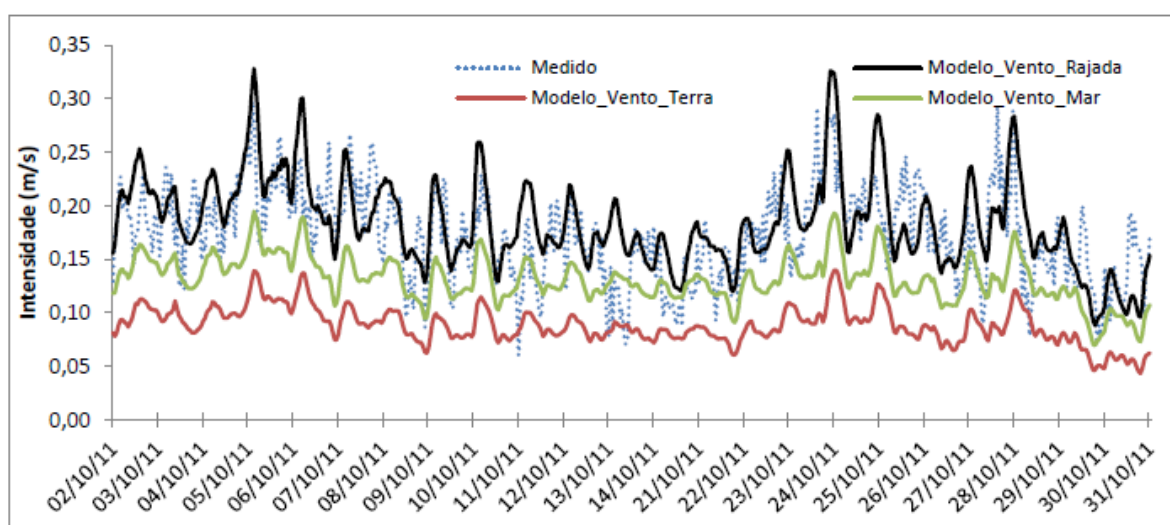


Figura 4 – Intensidades de correntes, promediadas na vertical, medidas e modeladas na estação de controle em outubro de 2011.

As Figuras 5 a 7 mostram sequências de mapas de correntes promediadas na vertical durante os instantes indicados. A direção predominante é para oeste, havendo, no entanto, um padrão mais complexo próximo à costa e à área portuária, em especial nas praias do setor centro em função da influência da Ponta do Mucuripe. Observa-se a formação de um vórtice anti-horário na área portuária e nas proximidades dos maiores espigões das praias do setor centro e leste, com significativa redução das velocidades e consequente tendência a uma menor renovação da água.

Observando-se os gráficos de distribuição de frequência de ocorrência das correntes costeiras das Figuras 6 e 7, pode-se afirmar que as mesmas tendem a assumir a orientação geral da costa, com direção para Norte-noroeste nos setores leste e oeste, enquanto no setor centro (riacho Maceió – praia 14C) há uma inversão de predominância entre Leste-nordeste e Oeste-sudeste, em especial no mês de março (Figura 6). Já nas proximidades do emissário as correntes predominam para Oeste-noroeste, com média de 278°.

Nas proximidades dos difusores do emissário a intensidade média das correntes foi de 0,15 m/s, com um máximo de 0,24 m/s em outubro, enquanto em março este valores foram de 0,07 e 0,15 m/s (média e máxima) em março. Já nas proximidades do riacho Maceió a media foi de 0,05 m/s, com máximo de 0,12 m/s em outubro, enquanto em março esses valores foram de 0,04 e 0,10 m/s, (média e máxima). Este comportamento sazonal é explicado pelas mudanças típicas dos ventos da região (Figura 3).

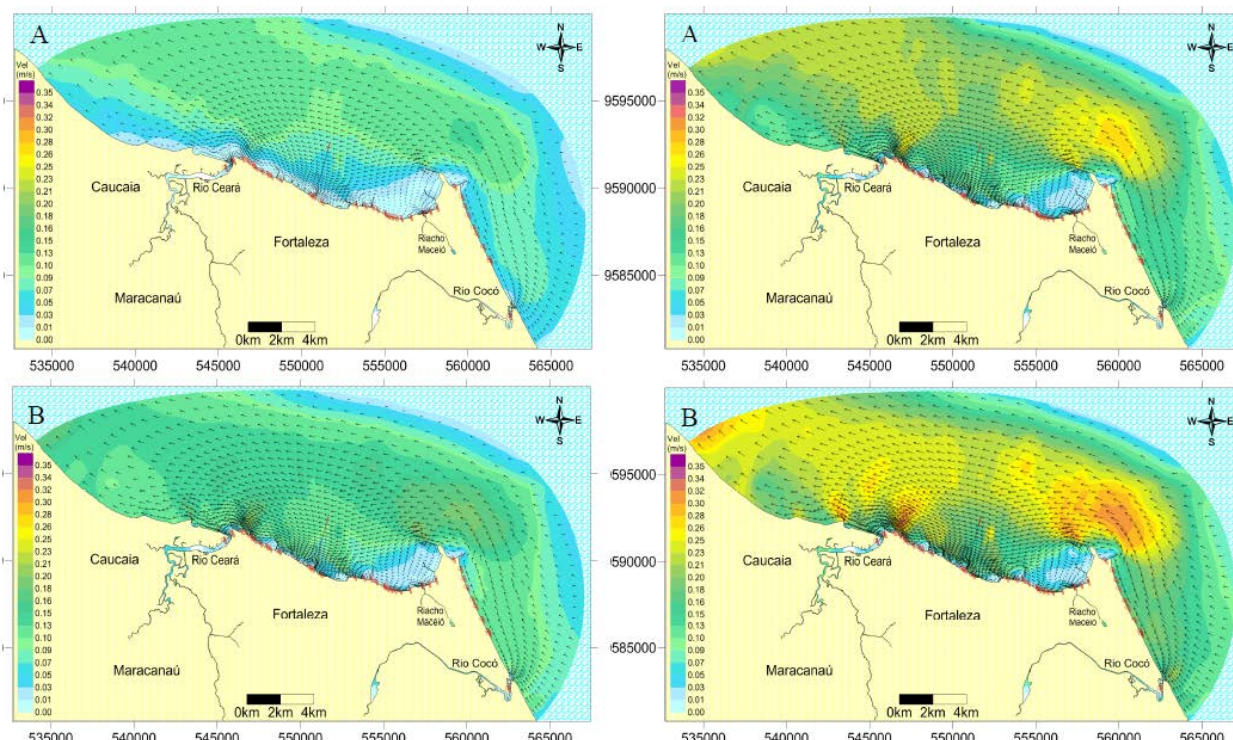


Figura 5 – Comportamento típico das correntes marinhas da região em uma baixamar (A) e preamar (B) de maré de quadratura nos meses de março (esquerda) e outubro (direita) de 2009.

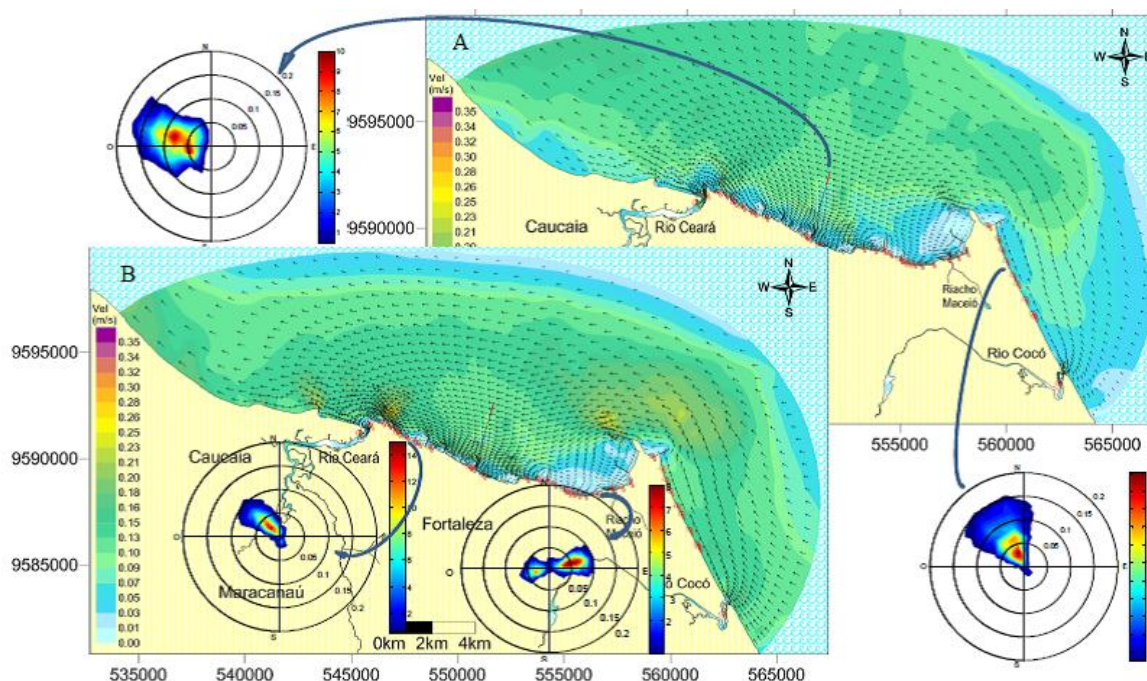


Figura 6 – Comportamento típico das correntes marinhas da região em uma baixamar (A) e preamar (B) de maré de sizígia no mês de março de 2009. Os gráficos inseridos mostram as distribuições de frequência polar das correntes próximas aos locais indicados, durante todo o mês.

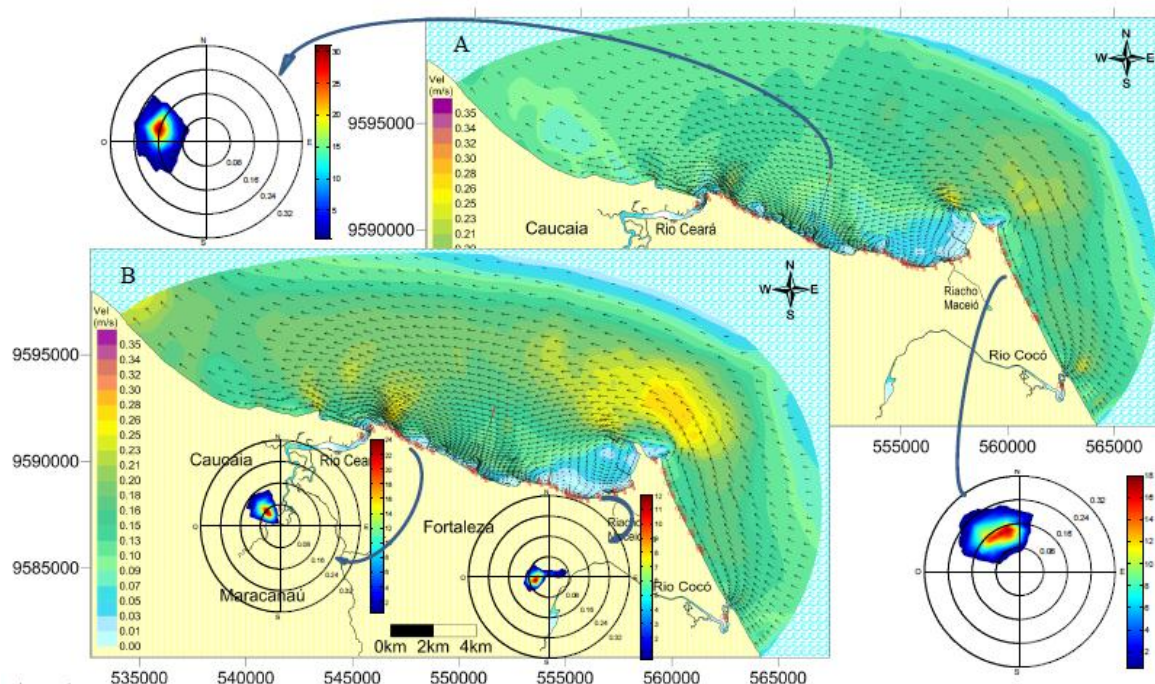


Figura 7 – Comportamento típico das correntes marinhas da região em uma baixamar (A) e preamar (B) de maré de sizígia no mês de outubro de 2009. Os gráficos inseridos mostram as distribuições de frequência polar das correntes próximas aos locais indicados, durante todo o mês.

Observou-se ainda uma influência de borda nas correntes modeladas no extremo leste do domínio durante alguns instantes do mês de março (Figuras 5-A e 6-A), quando da ocorrência simultânea de dois fatores: baixamar ou marés vazantes e redução das velocidades de vento. Tentou-se corrigir este problema forçando os ângulos normais à fronteira na condição de afluxo de água, de modo a que toda a massa de água que entrasse no domínio seguisse uma orientação pré-definida. No entanto este artifício não surtiu resultado, apontando para uma necessidade de ampliação da malha nesta região. Apesar deste problema, a distribuição de frequência das correntes na Praia do Futuro (setor leste – Figuras 6 e 7) mostra que as mesmas não aparentam ter sofrido tal influência.

A Figura 6 mostra os impactos mais relevantes nas águas costeiras de Fortaleza, em decorrência das cargas de *E. coli* lançadas, nos dois distintos cenários de modelagem. Como se observa, a extensão da pluma e concentração de *E. coli* em seu interior é fortemente influenciada pela radiação solar e pelas correntes marinhas. Durante o dia a radiação UV da forte radiação solar incidente elimina parte das bactérias presentes na água. Todavia, durante o período noturno e primeiras horas da manhã, a redução ou ausência da radiação ocasiona uma persistência daqueles microrganismos. Nesses momentos, a salinidade, temperatura e predação respondem pelo decaimento ainda existente, atuando estes fatores de forma mais branda.

Com relação à influência das correntes sobre as plumas, em março, devido às menores intensidades de correntes, a extensão da pluma é menor que em outubro, havendo, no entanto, uma maior dispersão lateral e maiores concentrações no interior da pluma (Figura 6). Esta tendência também se confirma quando se verifica o mapa de probabilidade de excedência do limite de concentração, Figuras 7 e 8, as quais ilustram os percentuais de tempo com concentração acima do limite de balneabilidade (800 NMP/100mL), durante todos os meses indicados.

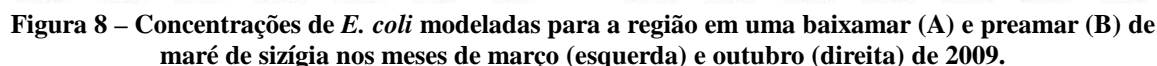


Figura 9 – Probabilidade de ultrapassagem do limite de concentração de coliformes termotolerantes (1000/100mL), gerada pelos modelos (cores) e resultante do monitoramento de balneabilidade (círculos numerados), durante março de 2009. Linha pontilhada em negro demarca o limite aceitável para banho pela Resolução CONAMA 274 (20%).

Quando se avalia o impacto causado pelas demais fontes, a situação não é favorável. Há três fontes pontuais que exercem o impacto mais significativo na qualidade da água de banho das parias localizadas na parte central

da cidade, sendo elas o riacho Maceió e quatro galerias (G4, G6, G7 e FP14), em ambos os cenários secos e chuvosos. A hidrodinâmica nas proximidades destas fontes, devido as correntes forçadas pelo vento e maré, conduz os contaminantes às principais áreas de banho desta região (Figura 5). Contaminantes estes que persistem nos horários de menor radiação ou são reduzidos nos demais horários, reduzindo a extensão de praias impróprias.

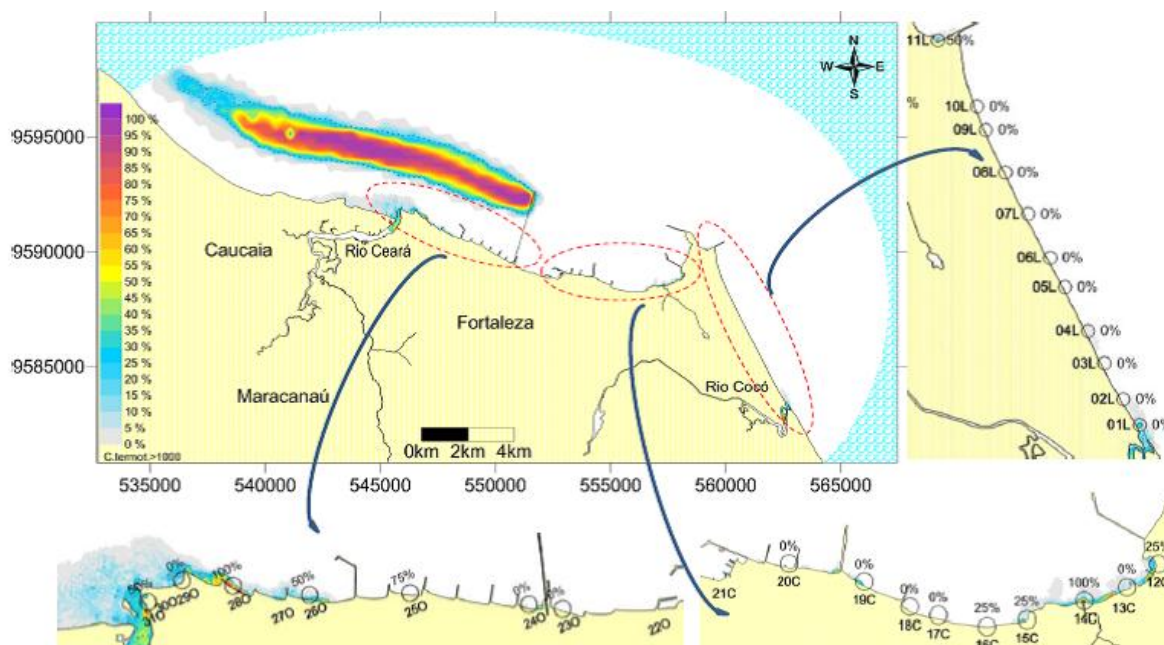


Figura 10 – Probabilidade de ultrapassagem do limite de concentração de coliformes termotolerantes (1000/100mL), gerada pelos modelos (cores) e resultante do monitoramento de balneabilidade (círculos numerados), durante outubro de 2009. Linha pontilhada em negro demarca o limite aceitável para banho pela Resolução CONAMA 274 (20%).

Esta observação condiz com o reportado por Cardonha *et al.* (2004), que afirmam serem as galerias pluviais das áreas urbanas uma das principais fontes de contaminação microbiana das águas de superfície e responsável por uma parcela significativa da poluição que ocorre em águas costeiras.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Devido à radiação solar e às condições hidrodinâmicas e ambientais, as praias de Fortaleza não sofrem contaminação fecal pelo emissário submarino. De acordo com os resultados produzidos pelos modelos a área que permanece imprópria ao banho, em virtude da pluma do emissário, está a 2 km das praias, o que representa uma situação bastante favorável a não contaminação das áreas de uso por banhistas.

Em função da existência de ligações clandestinas de esgoto no sistema de drenagem e nos rios, tais fontes descarregam esgoto não tratado diretamente nas áreas de praia, especialmente no período chuvoso. Embora essas descargas sejam localizadas, elas são transportadas para oeste pelas correntes costeiras, contaminando a faixa de água das praias à esquerda de cada galeria ou rio. Exceção a essa condição se dá apenas nas praias protegidas pela ponta do Mucuripe, onde as correntes formadas em um vórtice anti-horário invertem esse comportamento. É possível afirmar que o rio cocó no setor Leste, galerias G4, G6, G7 e FP14 e riacho Maceió no setor centro e todas as galerias do setor oeste respondem pelos principais eventos de redução da qualidade das águas banho nas águas costeiras de Fortaleza.

Com base neste estudo é possível afirmar que intervenções feitas nestas fontes trariam grandes ganhos à melhoria da balneabilidade das praias de Fortaleza. Recomenda-se a negociação entre os órgãos competentes sobre possível coleta, durante os meses secos (agosto a dezembro), das águas vertidas pelas galerias de menores vazões e a instalação de unidades de desinfecção nas fontes de maior vazão e menor turbidez (Riacho Maceió). Durante o período chuvoso, poderia se adotar a desinfecção ou até mesmo a coleta durante os dias de

maior fluxo de banhistas (fins-de-semana e feriados), em especial naqueles meses em que se observa um histórico de baixas precipitações (janeiro, junho e julho).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRIOTTI, J. L. S. Fundamentos de estatística e geoestatística. Editora UNISINOS, 2004.
2. ARAÚJO, A. L. C. de; MELO, L. E. L. de; DINIZ, R. F. A influência da estação chuvosa na balneabilidade. 26o. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais... , 2011. Porto Alegre: ABES, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.
3. ARAÚJO, R. de C. B. de. Águas doces e salgadas. As praias e os dias: história social das praias do Recife e de Olinda. p.71–128, 2007. Recife.
4. CARDONHA, A. M. S.; VIEIRA, R. H. S. dos F.; RODRIGUES, D. P. *et al.* Fecal pollution in water from storm sewers and adjacent seashores in Natal, Rio Grande do Norte, Brazil. *International microbiology: the official journal of the Spanish Society for Microbiology*, v. 7, n. 3, p. 213–8, 2004. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15492936>>.
5. CARVALHO, J. F. de; POLISEL, K. C. Padronização de serviços – plano de contingência para extravasamento de esgoto. 23. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais... , 2005. Campo Grande: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES).
6. CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de sistemas ambientais. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.
7. CROWTHER, J.; KAY, D.; WYER, M. D. Relationships between microbial water quality and environmental conditions in coastal recreational waters: the Fylde coast, UK. *Water research*, v. 35, n. 17, p. 4029–38, 2001. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11791832>>.
8. DANTAS, E. W. C. O pescador na terra. In: SILVA, JOSÉ BORZACCHIELO da; CAVALCANTE, T. C.; DANTAS, E. W. C. (Eds.); Ceará: um novo olhar geográfico. p.261–279, 2005. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha.
9. ELMIR, S. M.; WRIGHT, M. E.; ABDELZAHER, A. *et al.* Quantitative evaluation of bacteria released by bathers in a marine water. *Water research*, v. 41, n. 1, p. 3–10, 2007. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2633726&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>>. Acesso em: 2/11/2011.
10. EPA. Impacts and Control of CSOs and SSOs. Washington, 2004.
11. EVANSON, M.; AMBROSE, R. F. Sources and growth dynamics of fecal indicator bacteria in a coastal wetland system and potential impacts to adjacent waters. *Water research*, v. 40, n. 3, p. 475–86, 2006. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16386284>>. Acesso em: 2/10/2011.
12. FEITOSA, R. C.; ROSMAN, P. C. C. Emissários submarinos de esgoto: Aspectos de qualidade de água e modelagem computacional. *Métodos Numéricos em Recursos Hídricos*, v. 8, p.209, 2007. Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
13. FERGUSON, C.; RODA HUSMAN, A. M. DE; ALTAVILLA, N.; DEERE, D.; ASHBOLT, N. J. Fate and transport of surface water pathogens in watersheds. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 33, n. 3, p. 299–361, 2003. CRC Press LLC. Disponível em: <<http://www.informaworld.com/10.1080/10643380390814497>>.
14. FONSECA, E.; PINTO, V. G. Situação de balneabilidade das praias do litoral paraibano. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais... , 1997. Foz de Iguaçu: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES). Disponível em: <www.bvsde.paho.org>.
15. GERBA, C. P. Assessment of Enteric Pathogen Shedding by Bathers during Recreational Activity and its Impact on Water Quality. *Quantitative Microbiology*, v. 2, n. 1, p. 55–68, 2000. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/v1m142u368n01555/>>.
16. HAACK, S. K.; FOGARTY, L. R.; WRIGHT, C. *Escherichia coli* and enterococci at beaches in the Grand Traverse Bay, Lake Michigan: sources, characteristics, and environmental pathways. *Environmental science & technology*, v. 37, n. 15, p. 3275–82, 2003. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12966970>>.
17. HE, L.-M. L.; HE, Z.-L. Water quality prediction of marine recreational beaches receiving watershed baseflow and stormwater runoff in southern California, USA. *Water research*, v. 42, n. 10-11, p. 2563–73, 2008. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18242661>>. Acesso em: 2/10/2011.
18. KAY, D.; WYER, M. D.; CROWTHER, J.; FEWTRILL, L. Faecal indicator impacts on recreational waters: budget studies and diffuse source modelling. *Journal of applied microbiology*, v. 85, n. 1, p. 70S–82S, 1999. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21182695>>.

19. LGCO. Monitoramento dos indicadores de desempenho ambiental do programa SANEAR II nos rios Maranguapinho/Siqueira, Cocó e praias da zona oeste e leste de Fortaleza- CE, Relatório 1. Fortaleza, 2009.
20. MANCINI, J. L. Numerical estimates of coliforms mortality rates under various conditions. *Journal Water Pollution Control Fed.*, v. 50, n. 11, p. 2477–2484, 1978.
21. ROSMAN, P. C. C. Referência Técnica do SisBaHiA. ,2011. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br>>.
22. SILVA, JOSÉ BORZACCHIELO da; DANTAS, E. W. C.; ZANELA, M. E.; MEIRELES, A. J. DE A. Litoral e Sertão, natureza e sociedade no nordeste brasileiro. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006.
23. SOARES, J. B. Água: Microbiologia e tratamento. Fortaleza: Edições UFC, 1999.
24. SOLO-GABRIELE, HELENA M.; WOLFERT, M. A.; DESMARAIS, T. R.; PALMER, C. J. Sources of *Escherichia coli* in a coastal subtropical environment. *Applied and environmental microbiology*, v. 66, n. 1, p. 230–237, 2000. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=91811&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>>.
25. UNEP. Guidelines for submarine outfall structures for mediterranean small and medium-sized coastal communities. Antenas: United Nations Environment Programme, 1996.
26. UNEP. Guidelines on sewage treatment and disposal for the Mediterranean region. Athens: UNEP/MAP, 2004.
27. WALTERS, S. P.; THEBO, A. L.; BOEHM, A. B. Impact of urbanization and agriculture on the occurrence of bacterial pathogens and stx genes in coastal waterbodies of central California. *Water research*, v. 45, n. 4, p. 1752–62, 2011. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21168181>>. Acesso em: 20/7/2011.