

CONSTRUÇÃO DE MODELO EMPÍRICO PARA O MONITORAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO RIO DO SAL/SERGIPE

Roberto Rodrigues de Souza

Prof. Associado da UFS no Departamento de Engenharia Química. Líder do GPBIOMA/UFS.
rrsouza@ufs.br

Jailton de Jesus Costa

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFS, membro Pesquisador do GEOPLAN/UFS/CNPq. Licenciado e Bacharelado em Geografia/UFS - Campus Universitário, S/N, São Cristóvão-SE, Brasil.
jailton@ufs.br

Rosemeri Melo e Souza

Profa. Associada da UFS nos Cursos de Graduação e de Pós-Graduação em Geografia e Coordenadora do Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA). Campus Universitário, S/N, Pólo de Pós-graduação, sala 01 - São Cristóvão-SE.
rome@ufs.br

RESUMO

O monitoramento dos recursos hídricos constitui um instrumento essencial para o acompanhamento das condições destes, logo, a criação de modelos que descrevam suas situações é de fundamental importância. Assim, objetivou-se a construção de um modelo empírico para descrever a situação do Rio do Sal/SE, baseado em parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, para subsidiar o estudo de ações corretivas para os problemas de poluição deste. O modelo empírico proposto mostrou-se capaz de prever a classificação da água, e prever o Índice de Qualidade da Água (IQA), e, portanto, a sua qualidade para uma dada situação, sem nenhum desvio significativo comparado com a metodologia proposta pela CETESB.

PALAVRAS-CHAVE

Monitoramento, Modelo Empírico, Rio do Sal, Modelagem Matemática e Recursos Hídricos.

RESUMEM

El monitoreo de los recursos del agua se constituye en un instrumento esencial para el seguimiento de sus condiciones, por lo que la creación de modelos que describen su situación, tiene una importancia fundamental. Así, la construcción de un modelo empírico con el fin de describir el estado de Rio do Sal / SE tendrá por objetivo, sobre la base de físico-químicos y bacteriológicos, en la búsqueda de apoyar el estudio de medidas correctoras de sus problemas de contaminación. La propuesta de modelo empírico fue capaz de predecir la clasificación de las aguas, así como para predecir el Índice de Calidad del Agua (IQA), y, por lo tanto, su calidad para una situación determinada, sin ninguna desviación significativa en comparación con la metodología propuesta por CETESB.

PALABRAS-CLAVE

Monitoreo, Modelo Empírico, Río de Sal, Modelagem Matemática y Recursos Hídricos.

ABSTRACT

ABSTRACT

The water resources monitoring constitutes itself in an essential tool for the following up of their conditions; so the creation of models that describe their situations has fundamental importance. Thus, the building of an empirical model in order to describe the state of Rio do Sal/SE was aimed, based on physical-chemical and bacteriological parameters to support the study of corrective actions of its pollution problems. The proposed empirical model was able to predict the classification of the water, as well as to predict the Index of Water Quality (IQA); and, therefore, its quality for a given situation, without any significant deviation compared with the methodology proposed by CETESB.

KEY WORDS

Monitoring, Empirical Model, Sal River, Mathematical Modeling and Water Resources.

1 - INTRODUÇÃO

Apesar de todos os esforços para armazenar e diminuir o seu consumo, a água está se tornando, cada vez mais, um bem escasso, e sua qualidade se deteriora com maior rapidez (FREITAS e ALMEIDA, 2001).

A água é um recurso natural essencial, seja como componente bioquímico de seres vivos, como meio de vida de várias espécies vegetais e animais, como elemento representativo de valores sociais e culturais.

No atual estágio de desenvolvimento empreendido pelos seres humanos, tem-se observado uma intensa deterioração da qualidade das águas em grande parte de nosso planeta.

Considerando a limitação dos recursos hídricos, a situação é muito preocupante, pois, embora a água seja um recurso renovável por meio do ciclo hidrológico, constata-se a ocorrência de processos poluidores que comprometem geralmente a fração da água passível de utilização. Segundo Dahi (1992), a proteção de contaminações no fornecimento de água é a primeira linha de defesa, pois a água é essencial à manutenção da vida.

Algumas atividades econômicas vêm liberando o derramamento de dejetos e substâncias tóxicas no meio ambiente, poluindo, principalmente, os recursos hídricos mundiais, a ponto de destruí-los.

A degradação do ambiente hídrico tem tomado grandes proporções diminuindo os recursos desta natureza, tornando-os cada vez mais escassos, mostrando a ocorrência de uma verdadeira crise da água. Isto faz necessário encontrar medidas para diminuir seu consumo, bem como evitar desperdício e ainda propiciar recursos econômicos para a sua manutenção.

Os rios e estuários constituem parte fundamental nos processos de

disposição dos resíduos gerados pela atividade humana. Conseqüentemente, pode ser de grande importância conhecer-se com antecipação que tipos e magnitudes de danos podem ocorrer em determinados locais em função do despejo de cargas poluidoras nestes ambientes aquáticos. Tais despejos podem ocorrer de forma controlada ou descontrolada. Em qualquer um dos dois casos deve-se prever zonas de segurança dentro das quais a água apresente padrões de qualidade compatíveis com determinados usos. De forma complementar, deve-se também prever zonas críticas de poluição, nas quais medidas devem ser tomadas no sentido de melhorar a qualidade da água, ou mesmo coibir o seu uso.

Torna-se importante ressaltar a existência de duas formas distintas, pelas quais as águas poluídas atingem um determinado corpo receptor, a primeira, denominada fonte ou poluição pontual, refere-se, como o próprio nome esclarece, à poluição decorrente de ações modificadoras localizadas. É o caso, por exemplo, da desembocadura de um rio, de efluentes de uma estação de tratamento de esgotos domésticos ou industriais, ou mesmo, a saída de um tronco coletor de esgotos domésticos sem tratamento, ou ainda a saída no mar, de um emissário submarino. A segunda, poluição difusa, se dá pela ação das águas da chuva ao lavarem e transportarem a poluição nas suas diversas formas espalhadas sobre a superfície do terreno (urbano ou não) para os corpos receptores. A poluição difusa alcança os rios, lagoas, baías, etc., distribuída ao longo das margens, não se concentrando em um único local como é o caso da poluição pontual.

O grau de poluição das águas é medido através de características físicas, químicas e biológicas, que, por sua vez, são identificadas por parâmetros de

qualidade das águas. De uma maneira geral, as características físicas são analisadas sob o ponto de vista de sólidos (suspensos, coloidais e dissolvidos na água) e gases. As características químicas, nos aspectos de substâncias orgânicas e inorgânicas e as biológicas sob o ponto de vista da vida animal, vegetal e organismos unicelulares (algas).

A liberação de efluentes de estações de tratamento de esgotos, a determinação da influência de obras hidráulicas na qualidade do meio aquático, vazamentos acidentais de resíduos tóxicos, o aumento da temperatura da água causado pela geração de energia termoelétrica, a previsão de alterações aquáticas causadas pelo uso do solo da bacia hidrográfica contribuinte, e muitos outros exemplos de situações podem ser analisados com modelos matemáticos de simulação de qualidade da água. Tais modelos podem propiciar uma avaliação abrangente dos impactos ambientais gerados por diversas atividades, inclusive as citadas anteriormente.

Um programa de monitoramento contínuo de recursos hídricos, que disponibilize informações rápidas, seguras e de fácil entendimento tanto para a população quanto para o gestor constitui um instrumento essencial para o acompanhamento das condições ambientais dos mesmos. Sendo assim, a criação de modelos matemáticos que possam descrever a situação em que se encontra determinado corpo hídrico é de fundamental importância para o combate à poluição ambiental.

Desta forma, este projeto de pesquisa teve por finalidade a criação de um modelo empírico que monitorasse a qualidade das águas do Rio do Sal/ Sergipe. Para a construção deste modelo fez-se uso da linguagem computacional Turbo Pascal e consideraremos os parâmetros físico-químicos e

bacteriológicos analisados pela Administração Estadual do Meio Ambiente (ADEMA) para a área de estudo (Rio do Sal / Sergipe), fornecendo assim uma ferramenta auxiliar para tomada de decisões para a melhoria da qualidade do corpo hídrico e conseqüentemente a melhoria de vida das comunidades que dependem direta ou indiretamente deste rio.

O Rio do Sal é um afluente pertencente à Bacia do Rio Sergipe e fica situado à sua margem direita, a uma distância de aproximadamente 10.000 metros da foz do Rio Sergipe. De acordo com a Resolução Nº 274 de 2000 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) que define nove classes para enquadrar as águas doces, salobras e salinas, de acordo com o uso preponderantes a que as águas se destinam, a água do Rio do Sal se enquadra na Classe 3.

Com base nesta mesma Resolução, estas águas são destinadas para as seguintes finalidades: ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; e a dessedentação de animais.

Apesar da água do Rio do Sal ser classificada como água doce, as suas características ao longo do seu curso são bruscamente alteradas, isto acontece devido à baixa vazão do rio com relação ao fluxo das marés que deságuam em seu corpo, tornando-se desta forma um rio com alta concentração de cloreto de sódio, ou seja, um rio de água salgada.

Esta característica pode ser facilmente evidenciada pela vegetação litorânea (predominância de manguezais) ao longo de suas margens e pela fauna ribeirinha (crustáceos e mariscos). Atualmente, o uso deste curso d'água restringe-se, principalmente, à pesca e ao deságüe de esgotos doméstico-sanitários e industriais.

Torna-se urgente o monitoramento deste corpo d'água, de modo a subsidiar a tomada de decisões pelos gestores, evitando danos ao meio ambiente e problemas futuros com a saúde da população que reside nas suas margens. Reforçando assim a importância deste trabalho de pesquisa, em contribuir para o desenvolvimento sustentável.

2 — REFERENCIAL TEÓRICO

Desde 1970, a relação entre a qualidade ambiental e a atividade humana tem atraído o interesse tanto dos cientistas quanto dos defensores ambientais (AGUILERA, 2001).

Poluição ambiental, principalmente de recursos hídricos, vem se tornando de interesse público. Não apenas os países desenvolvidos têm sido afetados por problemas ambientais, mas também nações em desenvolvimento sofrem os impactos da poluição, devido à desordem econômica crescente associada com a exploração dos recursos naturais (SILVA e SACOMANI, 2001).

Segundo estes mesmos autores, é possível extrair correlações e similaridades entre variáveis físico-químicas e bacteriológicas através de dados experimentais e a partir daí determinar a classificação das águas de um recurso hídrico em grupos de qualidades similares.

De acordo com Mpimpas et al. (2000), os problemas associados com a qualidade da água em regiões costeiras e estuárias vêm se tornando assunto de interesse crescente, pois, o aumento da poluição destas áreas pode vir a acarretar sérios problemas de impacto ambiental. Segundo este pesquisador, modelos numéricos tem sido extensivamente utilizados para prever a qualidade da água em áreas estuárias e costeiras.

Os padrões de qualidades das águas são as características de ordem física, química e biológica desejáveis nas águas em função dos usos preponderantes estabelecidos pela sociedade. Usos preponderantes são os usos benéficos determinados para um certo corpo d'água, de modo que promovam benefícios econômicos e/ou o bem estar e a boa saúde da população.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através da Resolução Nº 274 de 2000 classificou as águas superficiais brasileiras em nove classes, sendo cinco para as águas doces, duas para as águas salinas e duas para as águas salobras.

De acordo com a classificação recebida pelo recurso hídrico, existem limites e condições estabelecidos que determinam as características desejáveis para as águas em consonância com os usos preponderantes previamente definidos.

Quando se pretende detectar a observância ou violação dos padrões de qualidade da água, a Organização Mundial da Saúde (OMS) sugere três formas básicas de obtenção de dados: o monitoramento, a vigilância e os levantamentos especiais. A função do monitoramento (objeto de estudo) é prever o levantamento sistemático de dados em pontos selecionados, fornecendo um acompanhamento de qualidade ao longo do tempo.

De acordo com Lonin e Tuchkovenko (2001) para validar ações de proteção ambiental de caráter científico se faz necessário a utilização de um monitoramento ambiental. Ainda segundo os mesmos autores as ações de proteção ambiental e as estimativas de sua eficiência precisam de ferramentas de modelagem matemática baseadas em resultados experimentais para simular a qualidade real da água em estudo.

Segundo Gobbi et al. (1999), o monitoramento consiste em um processo de observações sistemáticas, para fins bem definidos de um ou mais fatores, indicadores de um problema específico, para obter informações sobre as características desse problema no tempo e no espaço, utilizando-se para isso métodos comparáveis de amostragem, análise e de sensoriamento ambiental. Todo o programa de monitoramento deve poder identificar as condições existentes, e sua variação num dado período de tempo.

Torna-se necessário o monitoramento das águas visando estabelecer os padrões adequados para cada uso, haja vista os recursos hídricos envolverem multiusuários. A criação de programas de monitoramento de qualidade de água é uma ferramenta adequada para melhorar o conhecimento da hidroquímica e poluição do rio, porém este procedimento exige um grande número de dados experimentais que são bastante difíceis de ser interpretados.

De acordo Betty (1996), regiões estuárias são locais favoráveis para o desenvolvimento industrial e urbano, porém, estes ambientes são fisicamente e quimicamente complexos. Desta forma seria difícil prever através de modelos analíticos as influências que estes e seus despejos trariam para as regiões estuárias, sendo assim bastante útil a parametrização das mesmas com relação às cargas poluentes empiricamente.

Neste sentido, é de fundamental importância a criação de modelos, uma vez que estes são ferramentas matemáticas de cunho científico bastante utilizado para descrever os mais variados fenômenos diários. Segundo Baird e Wilby (1999), o modelo pode ser definido de uma forma simples como uma abstração ou simplificação da realidade.

Um modelo de qualidade de água é composto por um sistema de equações diferenciais estruturadas por correlações entre parâmetros físico-químicos, que simulam a concentração e a dispersão de vários poluentes num dado corpo hídrico (MPIMPAS, 2000).

O monitoramento propicia a criação de banco de dados que subsidia os processos de licenciamento, controle e fiscalização ambiental, além de possibilitar um conhecimento de forma contínua sobre a qualidade e estado da água.

Assim, os modelos terão uma maior ou menor confiabilidade a depender das variáveis consideradas e do seu grau de importância para o sistema. É importante também ressaltar que os dados que serviram de base para a validação do modelo são de fundamental importância para que este tenha representatividade.

Também segundo Baird e Wilby (1999), diversos estudos sobre modelagem diferenciam os modelos em três tipos: modelos conceituais, físicos e matemáticos, porém, os mais utilizados para descrever os fenômenos ecotoxicológicos são os matemáticos, os quais se subdividem em modelos empíricos, mecanísticos, determinísticos e estocásticos, entre outros.

Assim, para a realização de um monitoramento baseado nos principais parâmetros físico-químicos e bacteriológicos (conforme descritos nas Resoluções N° 020 de 1986 e N° 274 de 2000 do CONAMA), é de fundamental importância à elaboração de um modelo que possa descrever o sistema em estudo. Com base na literatura, optou-se pela escolha do modelo empírico, que se baseia na observação quantitativa das variáveis a serem consideradas, além de permitir a determinação dos coeficientes da função composta pelas variáveis e correlacioná-los com os dados experimentais.

No caso de programas de caracterização de qualidade das águas faz-se necessário considerar modelos simples de avaliação, pois muitas vezes, na tentativa de se solucionar um problema, cria-se outros que irão apresentar um maior grau de complexidade e frustrar quaisquer iniciativas relacionadas ao monitoramento dos recursos hídricos. Portanto, o desenvolvimento de um banco de dados de confiança é de extrema importância para o planejamento de ações corretivas ambientais (GOBBI, 1999).

Uma das maiores dificuldades no uso de modelos empíricos para monitoramento de recursos hídricos está na estimativa dos valores de seus parâmetros, os quais deverão ajustar adequadamente aos valores experimentais obtidos. Neste sentido, o processo de validação do modelo foi fundamental, tanto na identificação da validade do modelo para o recurso hídrico em estudo, como na aquisição de informações que subsidie a tomada de decisão.

Índices de qualidade de água são criados para promover uma ferramenta simples e compreensível para gerenciamento e administração da qualidade e possível usos de um dado corpo hídrico. Segundo ainda os mesmos, o índice de qualidade de água (WQI), tenta descrever um mecanismo que através de uma expressão numérica defina um nível de qualidade de água fazendo uso de um banco de dados acumulativos, derivado de parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos específicos (BORDALO et al., 2001).

Foram utilizados os resultados obtidos para cada um dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos pela Administração Estadual do Meio Ambiente (ADEMA) para o Rio do Sal / Sergipe, visando uma avaliação sobre o grau de inter-relação entre estes e a sensibilidade de cada um.

A validação do modelo empírico proposto consistirá numa avaliação entre os valores obtidos pelo modelo proposto e os obtidos experimentalmente. Segundo Galvão e Valença (1999) a otimização de modelos para recursos hídricos, indica a existência de cinco fatores principais que dificultam a obtenção da solução, que são: mínimos locais, "buracos", descontinuidade na superfície da função objetivo, interdependência entre parâmetros do modelo e a não-convexidade da superfície resposta nas proximidades da solução ótima.

Todas as etapas para a obtenção do modelo serão constantemente avaliadas, uma vez que a obtenção do modelo empírico final dependerá de uma boa otimização, que por sua vez depende de certas características relacionadas com a dimensão do problema e com as características da função objetivo. Com isto, estaremos fornecendo subsídios para o monitoramento contínuo de recursos hídricos e conseqüentemente para a sua gestão.

3 - METODOLOGIA

No presente trabalho, a metodologia consistiu inicialmente de uma revisão bibliográfica sobre o monitoramento de recursos hídricos e sobre as linguagens de programação mais adequadas para este tipo de projeto. A realização desta parte foi feita através de consultas a revistas, periódicos, livros, dissertações e teses, bem como a catálogos de fornecedores de softwares.

O levantamento dos dados experimentais para as variáveis turidez, pH, coliformes fecais, vazão e demanda biológica de oxigênio (DBO) foi realizado através de uma busca na base de dados sobre qualidade de águas da Administração Estadual do Meio

Ambiente (ADEMA) especificamente para o Rio do Sal.

A construção do modelo empírico genérico foi realizada utilizando o Teorema Pi de Buckingham, o qual possibilita a determinação de uma variável em função de grupos adimensionais, construídos com base nas variáveis que influenciam o fenômeno em estudo.

3.1 - LEVANTAMENTOS DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM

As áreas de amostragem do Rio do Sal foram selecionadas, em parceria com a ADEMA, após levantamento detalhado dos problemas existentes na referida bacia hidrográfica. Durante este levantamento, percebeu-se que a bacia sofre grande pressão urbana, pois a população da Grande Aracaju (formada pelos Municípios de Aracaju, Barra dos Coqueiros, Nossa Senhora do Socorro e São Cristóvão) vem se estabelecendo de forma significativa junto à região estuarina, e conseqüentemente esta região fica sujeita a maiores impactos ambientais.

Devido à grande extensão da bacia, e encontrando-se às margens do Rio do

Sal uma série de grandes conjuntos residenciais como Fernando Collor de Mello, Marcos Freire, João Alves Filho e Bugio, o que favorece o aparecimento de vários pontos de drenagem de esgotamento sanitário, ao longo do curso deste rio, procurou-se restringir o monitoramento no trecho onde havia maiores reclamações dos usuários do rio, na grande maioria formada por pescadores.

O trecho da bacia a ser estudado, ficou compreendido entre o Porto do Gringo, no bairro Soledade, passando pelo conjunto Bugio até uma distância de cerca de 100 metros à montante da confluência com o riacho Palame, conhecido pela população local como riacho do Sangue (devido à cor vermelha adquirida por sua água devido ao despejo de efluentes de indústrias têxteis e frigoríficos). Ao todo, para o levantamento da qualidade da água do rio foram selecionados 06 (seis) pontos de amostragem. Estes pontos foram devidamente definidos por coordenadas geográficas, com o uso de GPS, conforme descrito na Tabela 01. Ressaltamos que para o ponto de

PONTO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	DISCRIMINAÇÃO
01	10°53'20" 37°06'42"	Ponto situado no rio do Sal, a cerca de 100 metros à montante da confluência com o riacho Palame, tendo de um lado o Povoado Sobrado, e do outro o Povoado Calumbi.
02	10°53'26" 37°06'08"	Ponto situado no riacho Palame (conhecido como riacho do Sangue), aproximadamente 100 metros da confluência do rio Sal.
03	10°53'20" 37°06'17"	Ponto situado no rio do Sal, na confluência com o riacho do Sangue.
04	10°53'08" 37°05'47"	Ponto situado no rio do Sal, enfrente ao conjunto Bugio, ou mais precisamente 400 metros da confluência com o riacho do Sangue.
05	10°52'25" 37°05'34"	Ponto situado no rio do Sal, em frente ao Porto do gringo, nas proximidades do bairro Bonfim (Soledade).
06	10°52'00"S 37°03'39"W	Ponto situado no Rio do Sal, na confluência com o riacho que recebe o efluente da lagoa de estabilização da DESO.

Tabela 01 – Localização dos Pontos de Amostragem
Fonte: Trabalho de campo, 2002.

amostragem 02, foi realizada apenas uma análise, não sendo este incluído nos resultados e discussões.

O corpo d'água que foi estudado (Rio do Sal) drena um dos maiores núcleos residenciais povoados no estado de Sergipe. Um fato agravante no problema ambiental do Rio do Sal é que os conjuntos, loteamentos e invasões que estão localizados às suas margens, na sua grande maioria, não possuem rede de esgoto nem sistema de tratamento de esgoto sanitário, sendo o rio destino final desses efluentes. Além disso, recebe contribuições oriundas do Riacho Palame que antes de desaguar no rio, o mesmo recebe efluentes do Frigorífico de Sergipe - FRISE, da indústria têxtil GUIMATEX e de vários núcleos residenciais, principalmente os esgotos sanitários do conjunto Bugio.

Os dados fornecidos pela Administração Estadual do Meio Ambiente (ADEMA) foram determinados nos seguintes dias: em 24/11/1999 pontos de amostragem 01, 02, 03, 04, 05 e 06; em 15/05/2002 pontos de amostragem 01, 03, 04, 05 e 06; em 13/06/2002 pontos de amostragem 01, 03, 04, 05 e 06; em 11/07/2002 pontos de amostragem 01, 03, 04, 05 e 06.

3.2 - MODELAGEM MATEMÁTICA

Nesta seção, descreveu-se o método utilizado para a determinação de uma correlação empírica que permita a descrição da qualidade da água de um corpo hídrico através de parâmetros químicos, físicos e biológicos previamente estabelecidos.

O método utilizado caracteriza-se pela combinação de variáveis que afetam a qualidade do rio, através da obtenção dos grupos adimensionais que descrevem o problema. Utilizaremos neste trabalho o Teorema Pi de Buckingham, com a finalidade de facilitar a interpretação e aplicação dos dados

experimentais. Este método permite a descrição do nosso objeto de estudo através de grupos adimensionais, denominados de $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4,$ etc.

O Teorema Pi de Buckingham assegura que o comportamento do grupo adimensional de interesse pode ser determinado como uma função dos outros grupos, expresso pela Equação 01.

$$\pi_1 = F(\pi_2, \pi_3, \pi_4, \dots, \pi_n) \quad (01)$$

Assim o grupo adimensional π_1 será expresso em função dos demais, os quais são determinados com base nas variáveis experimentais consideradas. Os dados experimentais servirão de base para a determinação dos coeficientes da equação.

A primeira etapa do Teorema Pi de Buckingham consiste na listagem de todos os parâmetros que influenciam significativamente no fenômeno em estudo, resultando em n parâmetros. A seguir, segunda etapa, na qual torna-se necessário à escolha de um conjunto de dimensões fundamentais adequadas ao problema, que podem ser expressas em termos do sistema de unidades MLT ou FLT (sistema de unidades Massa, Comprimento e Tempo). Na terceira etapa relataram-se as dimensões de

todos os parâmetros em termos destas dimensões fundamentais.

Na Tabela 02, apresentaremos a listagem de todos os parâmetros experimentais utilizados na adimensionalização com seu respectivo símbolo adotado e suas dimensões fundamentais, considerando o sistema de unidade (MLT).

No presente trabalho, o número de variáveis (n) proposto inicialmente foi igual a 19, porém, devido a não disponibilidade de dados experimentais, este número foi reduzido a 8 necessitando-se, por tanto, da determinação do número de variáveis que comporão a base. É importante ressaltar que a alteração do número de variáveis não influenciou na eficácia do modelo proposto, sendo possível a qualquer momento fazer alterações no número de parâmetros iniciais sem que esta venha a intervir no resultado final. Este fato é justificado através dos coeficientes de correlação, seção 3.3, que são calculados de acordo com o número de variáveis de trabalho.

A construção da matriz dimensional é feita com o objetivo de se determinar m , que possibilitará o conhecimento do número de grupos adimensionais a ser determinados. A matriz mostrada na Tabela 03 é formada pelos expoentes

PARÂMETRO	UNIDADE	DIMENSÕES	SÍMBOLO
DBO ₅	mg/L	M.L ⁻³	DBO
OD%	mg/L	M.L ⁻³	O.D
Residual Total	mg/L	M.L ⁻³	C ₉
Turbidez	mg/L	M.L ⁻³	C ₁₁
Distância	m	L	D
Vazão	ml/s	L ³ .T ⁻¹	Q
pH	Adimensional	Adimensional	pH
Coliformes Fecais	NMP/100ml	L ⁻³	C.F

Tabela 02 - Listagem de Parâmetros com seus Símbolos e Dimensões Fundamentais
Fonte: SOUZA, R. R., 2002.

Tabela 03 – Matriz Dimensional
Fonte: SOUZA, R. R., 2002.

	DBO	O.D	C ₇	C ₉	C ₁₁	d	Q	C.F
M	1	1	1	1	1	0	0	0
L	-3	-3	-3	-3	-3	1	3	-3
T	0	0	0	0	0	0	-1	0

Tabela 04 – Variáveis Básicas
Fonte: SOUZA, R. R., 2002.

PARÂMETRO	UNIDADE	DIMENSÕES	SÍMBOLO
DBO ₅	mg/L	M.L ⁻³	DBO
Vazão	ml/s	L ³ .T ⁻¹	Q
Distância	M	L	D

das variáveis com relação a cada dimensão fundamental.

O valor de **m** corresponde ao maior determinante não nulo. Desta forma, o valor de **m** encontrado é igual a 3. Este é, portanto o número de variáveis básicas ou repetidas.

Na quarta etapa será feita a escolha das variáveis básicas, que serão repetidas na formulação dos grupos adimensionais. O número destas variáveis será igual a 3. A escolha das variáveis foi feita utilizando a técnica que consiste na escolha de um conjunto de variáveis que envolvam grandezas de caráter cinemático, outra envolvendo massa ou força e outra de caráter geométrico.

Desta forma as variáveis básicas escolhidas são mostradas na Tabela 04.

Efetuada a combinação das variáveis, obtemos as equações para cada grupo adimensional que são mostradas a seguir:

$$\pi_1 = (DBO)^a (Q)^b (d)^c O.D \quad (02)$$

$$\pi_2 = (DBO)^a (Q)^b (d)^c C_9 \quad (03)$$

$$\pi_3 = (DBO)^a (Q)^b (d)^c C_{11} \quad (04)$$

$$\pi_4 = (DBO)^a (Q)^b (d)^c pH \quad (05)$$

$$\pi_5 = (DBO)^a (Q)^b (d)^c C.F \quad (06)$$

Com a finalidade de obtermos a correlação genérica, inicialmente efetuamos alguns cálculos e simplificações nas Equações 02 a 06. As equações resultantes são mostradas a seguir.

$$\pi_1 = \frac{O.D}{DBO} \quad (07)$$

$$\pi_2 = \frac{C_9}{DBO} \quad (08)$$

$$\pi_3 = \frac{C_{11}}{DBO} \quad (09)$$

$$\pi_4 = pH \quad (10)$$

$$\pi_5 = \frac{d^3}{CF} \quad (11)$$

Com base nas Equações 07 a 11, podemos obter a correlação genérica, como pode ser observada pela Equação 12.

$$IQA = W_1 \left[\left(\frac{OD}{DBO} \right)^{W_2} \left(\frac{C_9}{DBO} \right)^{W_3} \left(\frac{C_{11}}{DBO} \right)^{W_4} (pH)^{W_5} \left(\frac{d^3}{L^3} \right)^{W_6} \right] \quad (12)$$

O IQA é uma adaptação do IWQ (Water Quality Index) proposto pela "National Sanitation Foundation" dos EUA e incorpora 9 parâmetros dos 35 propostos pelo IWQ. O desenvolvimento e adaptação do IQA foram feitos pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), que indicaram os parâmetros a serem avaliados, o peso relativo dos mesmos e a condição com que se apresenta cada parâmetro, segundo uma escala de "rating".

Desta forma, pretendeu-se obter o valor do IQA calculado (via modelo) e compará-lo com o IQA experimental. A vantagem é que com a utilização deste índice temos como facilitar a interpretação das informações de qualidade de água de forma mais abrangente e útil, pois através do resultado obtido temos como dizer de forma segura a situação do corpo hídrico analisado.

3.3 - DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DA CORRELAÇÃO

O cálculo dos coeficientes W₁ a W₆ foram efetuados com o objetivo de ajustar a correlação genérica (Equação 12) a uma forma que descreva a qualidade da água do rio analisado, mediante o conhecimento das condições físicas, químicas e bacteriológicas do local em questão.

Este ajuste foi realizado utilizando o método de otimização dos mínimos quadrados. A função objetiva a ser minimizada, segundo este método, é dada por:

$$\varphi = \sum_{j=1}^m (IQA_{exp} - IQA_{calc})^2 \quad (13)$$

A minimização da Equação (13) é idêntica a minimização da Equação (14), que permitiu uma boa simplificação dos cálculos em relação a anterior, pois este artifício nos possibilita a obtenção e resolução de equações lineares.

A nova função objetivo pode ser escrita da seguinte forma:

$$\varphi = \sum_{j=1}^m [Ln(IQA_{exp}) - Ln(IQA_{calc})]^2 \quad (14)$$

OU

$$\phi = \sum_{j=1}^m \left[Ln(IQA_{exp}) - Ln(w_1) - w_2 Ln\left(\frac{OD}{DBO}\right) - w_3 Ln\left(\frac{C_9}{DBO}\right) - w_4 Ln\left(\frac{C_{11}}{DBO}\right) - w_5 Ln(pH) - w_6 Ln\left(\frac{d^3}{CF}\right) \right]^2 \quad (15)$$

Para determinar o ponto de mínimo de uma função, é necessário que a derivada primeira da função objetivo a ser minimizada em relação a uma dada variável seja nula. Assim, efetuando-se os cálculos com a finalidade de se determinar a derivada da Equação (15) em relação às constantes empíricas W_1 a W_6 , obtemos um conjunto de equações lineares, que é facilmente resolvida.

A resolução deste sistema de equações foi realizada através do Método de Gauss. Assim, o modelo obtido permitirá uma avaliação da qualidade da água do recurso hídrico em estudo.

4 — RESULTADOS

4.1 — TURBIDEZ

A presença de turbidez pode ocorrer naturalmente em função do processo de erosão e artificialmente em função de lançamento de despejos domésticos e industriais.

O Gráfico 01 de Turbidez (NTU) versus data, tendo como parâmetro os pontos de amostragem, apresentou todos os valores acima do nível permitido pela Resolução Nº 274 de 2000 do CONAMA, ao longo do rio e por consequência ocorre redução da fotossíntese da vegetação enraizada submersa e das algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Logo, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas. Além disso, afeta adversamente o uso doméstico, industrial e recreacional do corpo hídrico.

4.2 — OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)

Uma adequada quantidade de oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção de processos de auto-depuração em sistemas aquáticos naturais e estações de tratamento de esgotos. Através da medição do teor de oxigênio dissolvido, os efeitos de resíduos oxidáveis sobre águas receptoras e a eficiência do tratamento dos esgotos, durante a oxidação bioquímica, podem ser avaliados. Os níveis de oxigênio dissolvido também indicam a capacidade de um corpo d'água natural manter a vida aquática.

O Gráfico 02 de oxigênio dissolvido versus data, tendo como parâmetro os pontos de amostragem, juntamente com os de demanda biológica de oxigênio (DBO), que será discutido

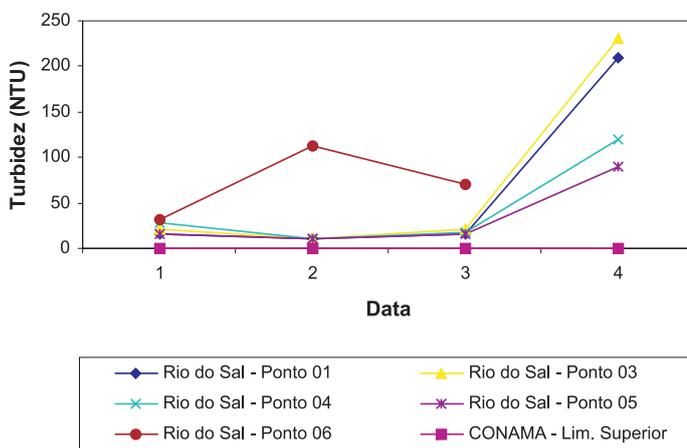


Gráfico 01 – Turbidez versus Data - Rio do Sal/SE
Fonte: SOUZA, R. R., 2002.

posteriormente, representam o estudo mais importante das condições aeróbicas do rio. O teor de oxigênio encontrado no rio é bastante precário, o que indica que as condições aeróbicas do mesmo apresentam-se críticas. Todos os valores se encontram abaixo do limite mínimo estipulado pela Resolução N° 274 de 2000 do CONAMA, apresentando níveis críticos nas três primeiras análises e uma baixa elevação na sua concentração na última realizada. O oxigênio dissolvido é um elemento vital para os seres aquáticos aeróbios, portanto a sua falta pode ser facilmente caracterizada pela falta da ictiofauna neste rio e pelo odor desagradável de suas águas.

As reduções nas concentrações de oxigênio nos corpos d'água são provocadas principalmente por despejos de origem orgânica.

4.3 – PH

O pH é um parâmetro de bastante importância no monitoramento ambiental, pois é através dele que podemos identificar o caráter ácido, básico ou neutro do recurso hídrico analisado. Geralmente alterações bruscas do pH em uma água podem vir a acarretar o desaparecimento dos organismos aquáticos presentes na mesma, já que estes geralmente estão adaptados à condições de neutralidade. Valores fora das faixas recomendadas podem alterar o sabor da água e contribuir para a corrosão do sistema de distribuição de água, e dificultar a descontaminação da mesma.

O Gráfico 03 de pH versus data, tendo como parâmetro os pontos de amostragem, não apresentam problemas, o que nos indica que os efluentes lançados estão levemente carregados por componentes químicos. Todos os valores obtidos se encontram na faixa estipulada pela Resolução N°

Gráfico 02 – Oxigênio Dissolvido versus Data - Rio do Sal/SE
Fonte: SOUZA, R. R., 2002.

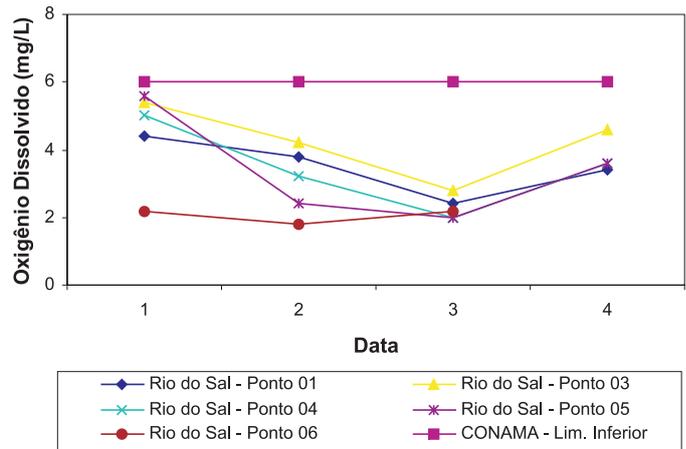
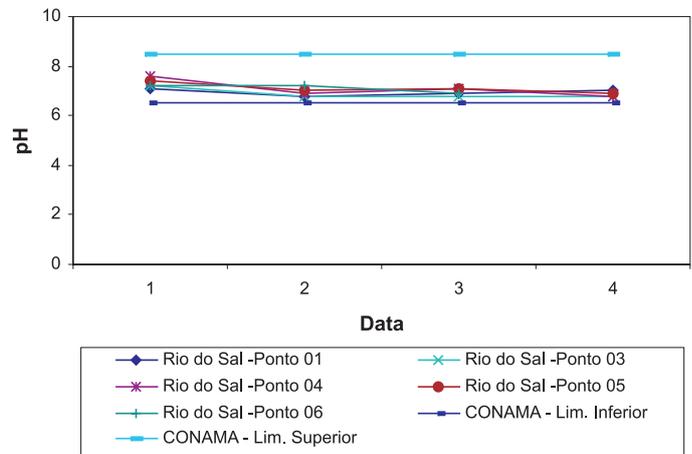


Gráfico 03 – pH versus Data - Rio do Sal/SE
Fonte: SOUZA, R. R., 2002.



274 de 2000 do CONAMA, porém já pode ser observada um decaimento do seu valor ao longo do tempo, devendo-se ficar atento à qualquer mudança ocorrida.

As alterações do ponto de vista deste indicador nos corpos hídricos, são provocadas principalmente por despejos de origem industrial.

4.4 - COLIFORMES FECAIS

Os organismos do grupo coliformes, têm se mostrado como os melhores indicadores da possível presença de seres patogênicos (causadores de doenças ao homem), porém a

presente deste por si só, não representa perigo à saúde, mas pode indicar a possível presença de outros seres causadores de problemas à saúde, além também de determinar a potabilidade das águas e conseqüentemente o destino de seu uso. O uso da bactéria coliforme fecal para indicar poluição sanitária mostrou-se mais significativo que o uso da bactéria coliforme total, porque as bactérias fecais estão restritas ao trato intestinal de animais de sangue quente.

Todos as análises para Coliformes Fecais se apresentam fora da faixa permitida pela Resolução N° 274 de 2000 do CONAMA, para os diversos

usos estipulados para a água deste corpo hídrico (Gráfico 04). Os organismos do grupo coliformes, têm se mostrado como os melhores indicadores da possível presença de seres patogênicos (causadores de doenças ao homem), porém a presença destes por si só, não representa perigo à saúde, mas pode indicar a possível presença de outros seres causadores de problemas à saúde, além também de determinar a potabilidade das águas e conseqüentes o destino de seu uso.

Os altos valores encontrados para este recurso hídrico indicam altos despejos de carga orgânica, provenientes principalmente de esgotos sanitários.

4.5 - RESIDUAL TOTAL

O residual total representa a quantidade de sólidos existente na água após esta ser submetida a uma evaporação.

Os sólidos podem causar danos aos peixes e à vida aquática. Eles podem se sedimentar no leito dos rios destruindo organismos que fornecem alimentos, ou também danificar os leitos de desova de peixes. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo a decomposição anaeróbica. Altos teores de sais minerais particularmente sulfato e cloreto, estão associados à tendência de corrosão em sistemas de distribuição, além de conferir sabor às águas.

Todos os valores das análises realizadas nos diversos pontos de amostragem apresentaram-se fora do limite estipulado pela Resolução Nº 274 de 2000 do CONAMA, conforme pode ser observado no Gráfico 05. Este fato já está afetando na demanda de peixes da região estuarina.

Gráfico 04 – Coliformes Fecais versus Data - Rio do Sal/SE
Fonte: SOUZA, R. R., 2002.

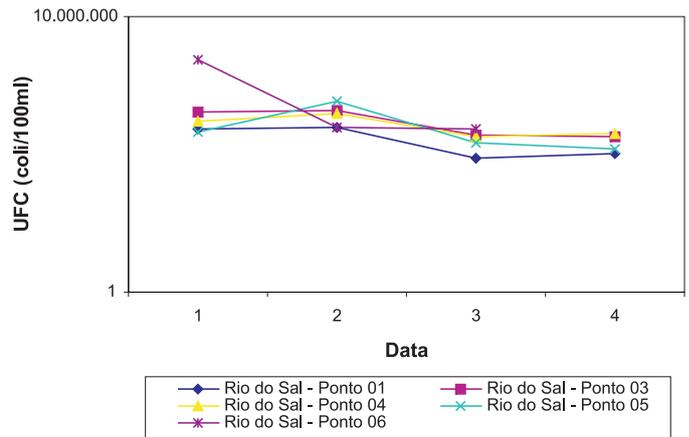
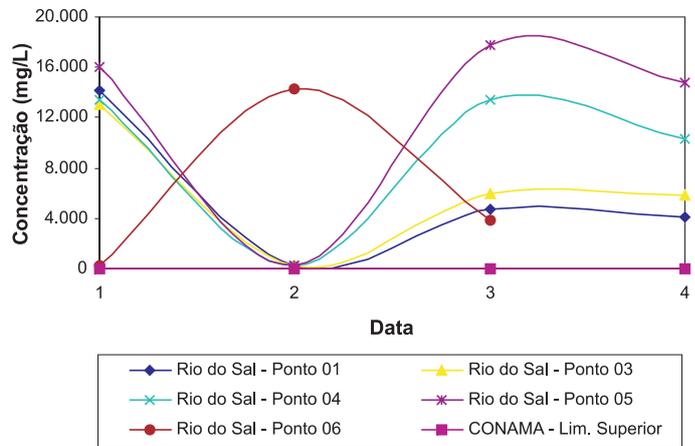


Gráfico 05 – Residual Total versus Data - Rio do Sal/SE
Fonte: SOUZA, R. R., 2002.



4.6 – DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGÊNIO (DBO)

A DBO de uma água é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável.

Os maiores aumentos em termos de DBO, num corpo d'água são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir a completa extinção do oxigênio da água, (o que já pode ser evidenciado nas águas do rio do sal, que apresentam valores muito baixos de OD), provocando o

desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática.

Um elevado valor da DBO pode indicar um incremento da micro-flora presente e interferir no equilíbrio da vida aquática, além de produzir sabores e odores desagradáveis.

Os níveis de DBO no rio apresentam-se equilibrados, isto é, existem pontos críticos e pontos com níveis aceitáveis, desta forma iremos analisar grupos de ponto para facilitar o entendimento. Os pontos de amostragem 1, 3 e 5 apresentam níveis acima do permitido pela Resolução Nº 274 de 2000 do CONAMA nas duas primeiras análises. Na terceira análise estes pontos

apresentaram uma melhora significativa, porém voltam a elevar seus índices na quarta análise realizada.

O ponto de amostragem 4 apresentam-se dentro dos limites estipulados até a terceira análise, elevando seu índice na quarta análise. Já o ponto 6 apresenta-se com níveis elevados em todas as análises efetuadas.

A situação de alguns pontos do rio são críticas, principalmente a do ponto 6, que fica próximo a uma estação de tratamento de esgoto, e devido a estes altos índices pode-se notar que a fauna e flora da região estão desaparecendo, dando um aspecto de degradação ambiental muito grande.

4.7 – MODELAGEM MATEMÁTICA

Neste trabalho realizou-se uma modelagem empírica utilizando-se o Teorema Pi de Buchingham, o qual facilita a interpretação e estende o campo de aplicação dos dados experimentais. A correlação empírica obtida visa determinar o Índice de Qualidade da Água (IQA) contribuindo para o monitoramento e gestão dos recursos hídricos.

O cálculo dos coeficientes foi realizado utilizando o método de otimização dos mínimos quadrados e tendo o conhecimento dos dados experimentais fornecidos pela Administração Estadual do Meio Ambiente (ADEMA). Para a resolução do sistema de equações lineares utilizou-se o Método de Gauss, utilizando um programa desenvolvido em Turbo Pascal. Substituindo estes coeficientes na Equação (15), obtemos a seguinte correlação:

$$IQA = 9,32551 \left[\left(\frac{OD}{DBO} \right)^{1,18} \left(\frac{C_9}{DBO} \right)^{0,99} \left(\frac{C_{11}}{DBO} \right)^{1,02} (pH)^{0,30} \left(\frac{d^3}{L^3} \right)^{1,32} \right] \quad (16)$$

Observando-se os parâmetros desta correlação, nota-se que todos os grupos adimensionais são importantes para o modelo, mostrando que as variáveis são interligadas e não podem ser avaliadas independentemente, conforme descrita na literatura. É importante ressaltar que as variáveis utilizadas nesta correlação são as medidas pela Administração Estadual do Meio Ambiente (ADEMA) e que são utilizadas pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) para a determinação do Índice de Qualidade Ambiental (IQA) dos recursos hídricos.

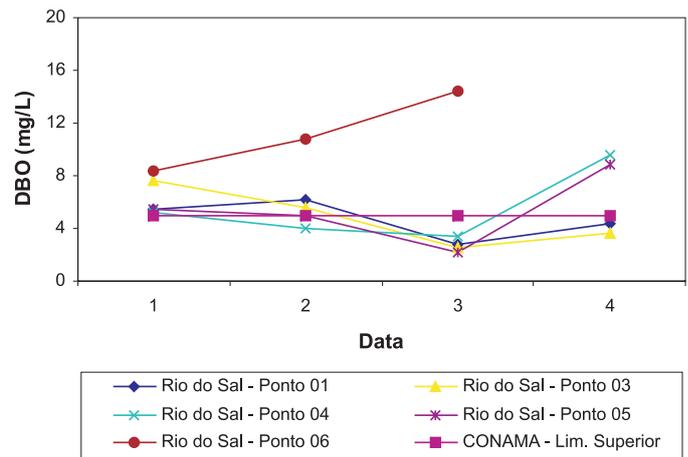
Com o valor do Índice de Qualidade Ambiental (IQA) é possível saber as condições em que se encontra o manancial. Segundo a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) a água bruta pode ser classificada da seguinte forma de acordo

com o valor do IQA obtido: Qualidade Ótima – $79 < IQA \leq 100$; Qualidade Boa – $51 < IQA \leq 79$; Qualidade Regular – $36 < IQA \leq 51$; Qualidade Ruim – $19 < IQA \leq 36$; Qualidade Péssima – $IQA \leq 19$.

A Tabela 05 mostra uma comparação entre os valores do Índice de Qualidade da Água determinados pela correlação proposta e os obtidos via a metodologia descrita pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). Nesta, observamos que a correlação proposta (Equação 16), permite uma avaliação da qualidade da água do recurso hídrico em estudo em função das variáveis comumente analisadas para monitoramento do corpo hídrico.

A partir da correlação proposta pode-se determinar a qualidade da água bruta do rio em estudo. É importante ressaltar que mesmo com uma margem de erro

Gráfico 06 – Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) versus Data - Rio do Sal/SE
Fonte: SOUZA, R. R., 2002.



IQA Calculado pela Equação	IQA Calculado pela CETESB
18,71	10,71
5,41	9,87
10,70	10,30
15,54	10,31
8,69	10,44
9,07	10,27
12,08	10,36
7,98	10,42
13,90	10,25
12,88	10,35
10,50	10,19
8,30	10,17
8,17	10,28
8,04	10,32
6,52	10,37
6,21	10,10
9,89	9,95
6,17	9,95
4,95	10,22
4,93	9,98

Tabela 05 – Comparação entre os Índices de Qualidade da Água
Fonte: SOUZA, R. R., 2002.

apresentada pela correlação, todas as classificações foram iguais as obtidas pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), ou seja, o rio apresenta uma qualidade péssima, necessitando urgentemente de ações mitigadoras.

5 - CONCLUSÃO

No presente trabalho construímos um modelo empírico visando o monitoramento dos recursos hídricos. O estudo foi realizado fazendo-se combinações das variáveis, visando obter grupos adimensionais capazes de descrever a qualidade da água.

Com os dados experimentais fornecidos pela Administração Estadual do Meio Ambiente (ADEMA), foi possível a determinação do Índice de Qualidade da Água (IQA) seguindo a metodologia descrita pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), que serviu de base para a otimização dos coeficientes da correlação.

A correlação empírica obtida neste projeto permite a predição do Índice de Qualidade da Água (IQA) e conseqüentemente sua classificação. O conhecimento deste parâmetro é de fundamental importância para subsidiar os gestores na tomada de decisão, bem como tomar medidas preventivas e/ou corretivas para evitar danos ao meio ambiente.

Os desvios apresentados entre os valores obtidos via a metodologia da CETESB e os calculados pela equação proposta não comprometem a classificação da água, mostrando que esta pode ser utilizada dentro da faixa de validade da mesma. Ressaltamos ainda que à medida que se tem um maior número de pontos a correlação torna-se mais robusta e com uma

capacidade de prever uma maior faixa de operação e com uma maior sensibilidade.

Com base nos dados experimentais, conforme mostrado no tópico de resultados, e os valores obtidos via correlação, podemos observar que o Rio do Sal/SE (recorte espacial da pesquisa) encontra-se com um alto grau de poluição, proveniente de lançamento de despejos domésticos e industriais, bem como de lixo urbano. Assim, torna-se imprescindível uma ação imediata que possa recuperar a vida do rio, evitando problemas ainda mais graves num breve espaço de tempo.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEMA. **Relatório Técnico Nº 08 – Avaliação da qualidade das águas do Rio do Sal/Sergipe.** Administração dos Recursos Hídricos/Sergipe, 1999.
- AGUILERA, P. A.; FRENISH A. G.; TORRES, J. A.; CASTRO, H.; VIDAL, J. L. M.; CANTON, M. Application of the Kohonen Neural Network in coastal water management: Methodological development for the assessment and prediction of water quality. **Water Research**, Vol.35, nº 17, p. 4053-4062, 2001.
- BAIRD, A. J.; WILBY, R. L. **Eco-Hydrology.** London, Routledge, 1999.
- BETTY, N. G.; TURNER, A.; TYLER, O.; FALCONER, R.A.; MILLWARD, G. E. **Modelling Contaminant Geochemistry in estuaries.** Water Research, Vol.30, nº 1, p. 63-74, 1996.

- BORDALO, A. A.; NILSUMRANCHIT, W.; CHALERMWAT, K. Water Quality and Uses of the Bangpakong River (Eastern Thailand). **Water Research**, Vol. 35, nº15, p. 3635-3642, 2001.
- CHERNET, T.; TRAVI, Y.; VALLES, V. Mechanism of degradation of the Quality of Natural Water in Lakes Region of the Ethiopian Rift Valley. **Water Research**, Vol.35- Issue 12, 2001.
- CONAMA. Legislação Federal sobre Classificação das Águas (potabilidade/ Balneabilidade) e Poluição das águas. **Resolução CONAMA nº 20/ 1986**.
- CONAMA. Legislação Federal sobre Classificação das Águas (potabilidade/ Balneabilidade) e Poluição das águas. **Resolução CONAMA nº 274/ 2000**.
- CUNHA, C. **Métodos Numéricos-Para as Engenharias e Ciências Aplicadas**, 1ª ed., 1993.
- DAHI, E. **Water Supply in Developing Countries: Problems and Solutions**. Lyngby: Eds. Technical, University of Denmark, 1992.
- FREITAS, M. B.; BRILHANTE, O. M.; ALMEIDA, L. M. Importância da Análise para a Saúde Pública em duas Regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Caderno de Saúde Pública**, vol.17, nº 3, 2001.
- GALVÃO, C. O.; VALENÇA, M. J. S. (Org.). **Sistemas Inteligentes**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ ABRH, 1999.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**, 3º Ed., 1996.
- GOBBI, D. L.; ZAITSEV, D.; MISTURA, C. M.; VAITSMAN, D. S. Monitoramento Ambiental da Água do Rio Marau na Região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. **Anais...** Congresso Brasileiro de Química, 29. Vol. 48 (1), p.01-06, 1999.
- LONIN, S. A.; TUCHKOVENKO, Y. S. Water quality modelling for the ecosystem of the Cienaga de Tesca coastal lagoon. **Ecological Modelling**, vol 144, p.279-293, 2001.
- MELO, R. S.; CESAR, L. P. M.; MOREIRA, M.; PRATES, A. P. L. Análise da Qualidade Ambiental das Águas Superficiais – Um modelo para integração de Fatores Ambientais na Aplicação da Isso 14001. **OLAM – Ciência e Tecnologia**, vol 1:3, 2001.
- MPIMPAS, H.; ANAGOSTOPOULOS, P.; GANOULIS, J. **Modelling of Water Pollution in the Thermaikos Gulf with fuzzy parameters**. *Ecological Modelling*, nº 142, p. 91-104, 2001.
- RUGGIERO, M. A. G.; LOPES, V. L. R. **Cálculos Numéricos - Aspectos Teóricos e Computacionais**. 1º ed, 1988.
- SAGEHASHI, M.; SAKODA, A.; SUZUKI, M. A Mathematical Model of a Shallow and Eutrophic Lake (the Keszthely Basin, Lake Balaton) and Simulation of Restorative Manipulations. **Water Research**, Vol.35 - Issue7, 2001.
- SHIMIZU, T. **Processamento de Dados - Conceitos Básicos**, 1º Ed., 1982.
- SILVA, A. M. M.; SACOMANI, L. B. Using Chemical and Physical Parameters to Define the Quality of Pardo River Water (Botucatu-SP-Brazil). **Water Research**, Vol.35, Issue 6, 2001.
- VEGA, M.; PARDO, R.; BARRADO, E.; DEBÁN, L. Assessment of Seasonal and Pollution Effects on the Quality of River Water by Exploratory Data Analysis. **Water Research**, Vol.32-Issue12, 1998.