INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA FLUMINENSE
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Ministério da Educação
BRASIL UM PAÍS DE TODOS GOVERNO FEDERAL

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL MODALIDADE PROFISSIONAL

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE IMPACTOS AMBIENTAIS ENTRE PEQUENAS E GRANDES CENTRAIS HIDRELÉTRICAS – ESTUDO DE CASO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITABAPOANA

VICTOR THAUAN RIBEIRO COSTA

MACAÉ/RJ
2014

VICTOR THAUAN RIBEIRO COSTA

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE IMPACTOS AMBIENTAIS ENTRE PEQUENAS E GRANDES CENTRAIS HIDRELÉTRICAS – ESTUDO DE CASO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITABAPOANA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Área de Concentração Gestão de Unidades de Conservação, linha de pesquisa Avaliação e Gestão Ambiental, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. *D.Sc.* Jader Lugon Junior

MACAÉ/RJ

2014

Dissertação intitulada Avaliação comparativa de impactos ambientais entre pequenas e grandes centrais hidrelétricas – estudo de caso na bacia hidrográfica do Rio Itabapoana. Elaborado por Victor Thauan Ribeiro Costa e apresentado publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, na Área de Energia e Recursos Naturais, linha de pesquisa Avaliação e Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense.

Aprovada em _____.

BANCA EXAMINADORA:

_____

Jader Lugon Junior, Doutor em Modelagem Computacional pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro / Programa de Pós Graduação do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Fluminense – Orientador.

_____

Paulo Rogério Nogueira de Souza, Doutor em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Universidade Federal do Rio de Janeiro / Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Fluminense.

_____

Pedro Paulo Gomes Watts Rodrigues, PhD pela School of Marine and Technology, Professor da Universidade Estadual do Rio de Janeiro - UERJ.

Wagner Rambaldi Telles
_____

Wagner Rambaldi Telles, Doutor em Modelagem Computacional pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ.

_____

Luiz Alberto Lima Roque, Mestre em Engenharia de Computação pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

AGRADECIMENTOS

Inicio agradecendo a Deus. Ele esteve sempre ao meu lado durante esta caminhada, muitos obstáculos intransponíveis muitas vezes foram superados por sua graça. Obrigado meu Senhor pelo otimismo e coragem fazerem parte de minha alma.

Agradeço aos meus pais, Alan Souza Costa e Maria Islânia Ribeiro Costa, que mesmo distantes, estiveram sempre comigo, me apoiando e acreditando em meu potencial. Eu amo vocês!

Obrigado a todos os meus familiares e aos meus amigos de Macaé, em particular aos meus tios Gilmar, Edvan Luiza, Vânia Elis e Maria da Glória que me acolheram com todo amor e carinho, sem medir esforços para concretização deste sonho.

Meu muitíssimo obrigado a todos os professores do Instituto Federal Fluminense em especial meu orientador Doutor Jader Lugon Junior. Obrigado por acreditar em mim e aceitar-me como orientando, seu incentivo e apoio foram fundamentais para conclusão desse trabalho. Você sempre será uma referência como pessoa e como profissional. Também agradeço ao professor Bruno Silveira pela troca de ideias durante o intercambio no Canadá.

Agradeço aos colegas, Talita, Rachel, Leonardo, Larissa, Vinicius e Carine, acima de excelentes profissionais se mostraram verdadeiros amigos em momentos de descontração vividos dentro e fora da sala de aula.

Por fim, agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental pelo auxílio durante o primeiro ano do mestrado, este subsídio foi de grande relevância para o desenvolvimento de minha pesquisa e manutenção pessoal.

"Cada sonho que você deixa para trás é um pedaço do seu futuro que deixa de existir"

(Steve Jobs)

RESUMO

Como o desenvolvimento econômico e social do Brasil, o consumo de energia elétrica no país aumenta progressivamente, os grandes centros urbanos consomem cada vez mais e áreas até então isoladas começam a ter acesso e sonhar com uma qualidade de vida melhor, tornando necessárias uma maior produção energética e diminuir o desperdício. Nesse contexto a região sudeste, maior consumidora, possui um potencial hidroelétrico total mediano do qual maior parte já é aproveitado. Com qualidade ambiental prejudicada, esta região necessita absorver energia de outras regiões através de linhas de transmissões e, portanto, gera impactos em áreas mais frágeis e em bom estado de conservação, que possuem a necessidade energética suprida. Nesse sentindo, diante da necessidade de aumentar a eficiência energética com menor impacto ambiental possível, o presente estudo visa contribuir com a discussão entre UHE e PCH, para subsidiar uma proposta de qual a melhor opção de acordo com a região inserida, com base em estudos ambientais mais eficientes e abrangentes. Dessa maneira, a presente pesquisa inicialmente apresenta um panorama sobre os estudos realizados nos diferentes empreendimentos hidrelétricos, apontando os principais impactos positivos e negativos, e a criação de um plano de monitoramento ambiental, com auxílio da modelagem matemática, como uma solução para a mitigação dos impactos negativos.

Palavras-chave: Energia Hidrelétrica, Impacto Ambiental, Eficiência Energética

ABSTRACT

As economic and social development of Brazil, the consumption of electricity in the country progressively increases, the large urban centers consume more and hitherto isolated areas have access and start dreaming about a better quality of life, necessitating a higher production and reduce energy waste. In this context the southeast, the biggest consumer, has a total hydropower potential of the medium which most are already tapped. With impaired environmental quality, this region needs to absorb energy from other regions through transmission lines and therefore generates impacts on fragile areas and in good condition, we have supplied the energy requirement. In that sense, given the need to increase energy efficiency with the lowest possible environmental impact, this study aims to contribute to the discussion between UHE and PCH, a proposal to subsidize what the best option according to the inserted region, based on studies more efficient and comprehensive environmental. In this way, the present study first provides an overview of the studies conducted in different hydropower projects, pointing out the main positive and negative impacts, and the creation of an environmental monitoring plan, with the help of mathematical modeling as a solution to mitigate negative impacts.

***Key words*:** Hydropower, Environmental Impact, Energy Efficiency

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO CIENTÍFICO 1

Figura 1 – Ilustração de uma PCH..... 22
Figura 2 – Esquema de funcionamento de uma hidrelétrica..... 24
Figura 3 – Mapa do SIN destacando os subsistemas e interligações..... 25

ARTIGO CIENTÍFICO 2

Figura 1 – Sonda Multiparamétrica de qualidade de água..... 39
Figura 2 – Esquema ilustrativo dos componentes de um modelo operacional..... 41
Figura 3 – Mapa da bacia do Rio Itapaboana e a localização geográfica da PCH entre Bom Jesus do Itabapoana – RJ e Bom Jesus do Norte – ES..... 42
Figura 4 – Pequena Central Hidrelétrica de Bom Jesus do Itabapoana 43

ARTIGO CIENTÍFICO 3

Figura 1 – Small Hydraulic Power Plant location..... 51
Figura 2 – Representation of the bathymetric data and the points considered for the sensitivity analysis (black)……..... 52
Figura 3 – Different methods used to calculate the K_L aeration coefficient..... 53
Figura 4 – Simulated results for different wind velocities vel = 2 m/s and vel = 4 m/s and different formulation..... 55
Figura 5 – Simulated Dissolved Oxygen results at Stations 1 and 2 for different wind velocities..... 56
Figura 6 – Sensitivity Coefficient calculated for Stations 1 and 2..... 56

LISTA DE QUADROS

ARTIGO CIENTÍFICO 2

Quadro 1 – Classes de usos preponderantes para águas doces definidas pela Resolução CONAMA 357/2005..... 29

LISTA DE TABELAS

ARTIGO CIENTÍFICO 1

Tabela 1 – Empreendimentos Energéticos em Operação no Brasil no ano de 2014..... 19

ARTIGO CIENTÍFICO 2

Tabela 1 – Monitoramento da Qualidade da Água no Rio Macaé..... 33
Tabela 2 – Padrões para Lançamento de Efluentes Líquidos..... 37
Tabela 3 – Concentração máxima para substâncias lançadas em efluentes líquidos..... 37
Tabela 4 – Especificações dos sensores da sonda multiparâmetro..... 39

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

MOHID – Modeling Hidrodymanic System

CFT - Coliformes Fecais Termotolerantes

LP - Licença Ambiental Prévia

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

ANA – Agência Nacional de Aguas

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO– Demanda Química de Oxigênio

pH – Potencial Hidrogeniônico

mg/L – Miligrama por Litro

OD – Oxigênio Dissolvido

AIA - Avaliação de Impacto Ambiental

EIA - Estudo de Impacto Ambiental

PCA - Plano de Controle Ambiental

RAE - Relatório de Acompanhamento de Efluentes

LI - Licença de Instalação

Kw - Quilowatt

TOC - Carbono orgânico total

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

INEA – Instituto Estadual do Ambiente

GPS – Global Position Search

UTM – Universal Transverse Mercator

CECA – Comissão Estadual de Controle Ambiental

PCD - plataformas de coleta de dados

RIMA –Relatório de Impacto Ambiental

IFF – Instituto Federal Fluminense

INEA – Instituto Estadual do Ambiente

NUPEM – Núcleo de Pesquisa em Ecologia e Desenvolvimento Sócio-Ambiental de Macaé

SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente

UFF – Universidade Federal Fluminense

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO..... 16
2 ARTIGO CIENTÍFICO 1..... 17
ESTUDO SOBRE OS IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA IMPLANTAÇÃO DE PEQUENAS E GRANDES CENTRAIS HIDRELÉTRICAS..... 17
RESUMO..... 17
ABSTRACT..... 18
2.1 INTRODUÇÃO..... 18
2.2 Impactos ambientais de aproveitamentos Hidrelétricos..... 20
2.3 Pequena Central Hidrelétrica (PCH)..... 21
2.3.1 Impactos ambientais das PCHs..... 22
2.4 Usina Hidrelétrica (UHE)..... 23
2.4.1 Impactos ambientais das UHEs..... 24
2.5 Redes de transmissão 25
2.6 CONCLUSÃO..... 26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 26
3 ARTIGO CIENTÍFICO 2..... 27
PLANO DE MONITORAMENTO AMBIENTAL DA QUALIDADE DE ÁGUA DE UMA PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA ASSOCIADO À MODELAGEM MATEMÁTICA..... 29
4 ARTIGO CIENTÍFICO 3..... 50
REAERATION COEFFICIENT SENSITIVITY ANALYSIS FOR WATER QUALITY RIVER MODELLING..... 50
RESUMO..... 50
ABSTRACT..... 50
1 INTRODUCTION..... 52
2 DIRECT PROBLEM…..... 53
3 SENSITIVITY STUDY..... 53
4 RESULTS……... 54
5 CONCLUSIONS..... 57
REFERÊNCES..... 57

1 APRESENTAÇÃO

Mesmo diante de todo avanço tecnológico, até o presente momento não se pode conferir a existência de um modelo de produção de energia que seja 100% limpo e seguro. Nesse contexto é importante investir na diversificação da matriz energética, como forma de prevenir a dependência de um único sistema, já que cada forma de geração tem suas vantagens e desvantagens. O Brasil, devido a grande oferta de matéria-prima e a capacidade de produção em larga escala em inúmeros processos de geração de energia elétrica, é considerado exemplo para diversos países.

Dentre os vários métodos de geração de energia elétrica, o Brasil apresenta destaque na conversão de energia cinética em elétrica, utilizando água (hidrelétrica) ou vento (eólica). Ou também na transformação da energia térmica, com os combustíveis fósseis (derivados do petróleo como óleo ou gás natural), biomassa (madeira, bagaço de cana de açúcar e outros) e elementos radioativos (urânio, tório, plutônio) no caso das usinas nucleares de Angra dos Reis.

A geração de energia hidrelétrica pode ser feita em grandes unidades denominadas UHC (Usinas Hidrelétricas) que são caracterizadas por possuir grandes reservatórios de regularização hídrica e portanto alteram significativamente o regime fluvial, ou PCH (Pequena Central Hidrelétrica) que funciona a fio d'agua, ou seja, opera sem reservatório e não alteram o regime hídrico.

Assim sendo, desperta a necessidade de estudar os aspectos relacionados aos impactos ambientais na qualidade da água causados pela implantação desses empreendimentos. Nesse sentido o monitoramento ambiental ganha importância, pois permite desenvolver indicadores de qualidade de água dos corpos hídricos. Além disso, a modelagem matemática se destaca como importante ferramenta possibilitando estudar cenários antes mesmo da implantação, ou elaborar previsões do comportamento de parâmetros de interesse após a instalação da usina com objetivo de apoiar a gestão.

Esta dissertação está estruturada pela união de 3 artigos desenvolvidos durante as atividades acadêmicas no mestrado em Engenharia Ambiental na área de avaliação e gestão ambiental. O artigo 1, que foi apresentado durante o *Workshop on Environmental Management and Sustainability (WEMS 2014)* na Universidade de Winnipeg no Canadá, caracteriza por um estudo na área energética, analisando os custos de produção e os impactos ambientais das grandes e pequenas centrais hidrelétricas. O segundo artigo apresenta uma

revisão sobre monitoramento ambiental de uma pequena central hidrelétrica associada à modelagem matemática como alternativa para avaliar as interferências antrópicas na qualidade da água após a instalação da hidrelétrica. No terceiro e último artigo, apresentado na *4ª International Conference on Engineering Optimization (EngOpt 2014)* no Instituto Técnico Superior em Lisboa – Portugal, foi realizado um modelo matemático para simulação de operação de uma PCH em condições distintas de vazão e oxigênio dissolvido para calibração do modelo.

2 ARTIGO CIENTÍFICO 1

ESTUDO COMPARATIVO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA IMPLANTAÇÃO DE PEQUENAS E GRANDES CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

Victor Thauan Ribeiro Costa*
Jader Lugon Junior**

Resumo

O processo de geração de energia utilizando sistemas hídricos sempre envolve discussões, devido à complexidade do tema e existência de outras formas mais sustentáveis de produção. As grandes centrais hidrelétricas (UHEs) demandam o alagamento de extensas áreas, causando severas alterações nos ecossistemas e na sociedade envolvida. Neste contexto, uma nova prática que exclui os grandes represamentos, está sendo adotada com a construção das pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e vem ganhando destaque devido à redução dos impactos ambientais. Apesar de possuir um custo energético mais elevado, com uma eficiência por m² menor que as UHEs, as PCHs ainda se apresentam como alternativas viáveis para o abastecimento energético de regiões isoladas, evitando os altos custos das redes de transmissões. Este trabalho tem o objetivo de analisar e discutir as diferenças entre os dois modelos de geração de energia e comparar a quantidade de energia produzida e o impacto ambiental causado em cada caso.

Palavras-chave: Hidrelétricas, Impactos ambientais, Geração de energia.

*Engenheiro Agrônomo, Mestrando em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPEA) do Instituto Federal Fluminense.
** D.Sc. em Modelagem Computacional pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Professor do Instituto Federal Fluminense.

ENVIRONMENTAL IMPACT COMPARATIVE STUDY OF BIG AND SMALL HYDROELETRIC POWERPLANTS IMPLANTATION

Abstract

The process of power generation using water systems always involve discussions due to the complexity of the topic and the existence of other more sustainable forms of production. Large hydropower plants (HPPs) require the flooding of large areas, causing severe changes in ecosystems and society involved. In this context, a new practice that excludes large impoundment, is being adopted with the construction of small hydropower (SHP) and is gaining prominence due to the reduction of environmental impacts. Despite having a higher energy cost, with an efficiency per m² lower than the HPPs, the PCH still present themselves as viable energy supplies to isolated regions of alternatives, avoiding the high costs of network transmissions. This work aims to analyze and discuss the difference between the two models of power generation and compare the amount of energy produced and the environmental impact in each case.

Key words: Hydropower, environmental impacts, Power Generation.

2.1 INTRODUÇÃO

Desde fins do século XIX as centrais hidrelétricas vêm desempenhando um papel importante na geração de energia no Brasil. A primeira hidrelétrica implantada no Brasil foi uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH), em 1883, no município de Diamantina, Minas Gerais, com o objetivo de fornecer energia para uma mina de diamantes. A crescente urbanização e também a industrialização ocorrida entre os anos de 1890 e 1900, impulsionaram a instalação de várias outras pequenas centrais, principalmente para atender à demanda da iluminação pública, da mineração, do beneficiamento de produtos agrícolas e do suprimento de indústrias têxteis e de serrarias existentes naquele estado, assim como em outras localidades do país (MAKARON, 2012 *apud* GURTLER et al., 2006).

No Brasil este cenário começou a ser alterado a partir da instalação da empresa canadense Light and Power Company, que construiu sua primeira usina em 1901, com uma potência de 2.000 kW, e posteriormente a criação de outras companhias de eletricidade. Após 1920, dois elementos básicos caracterizavam a indústria de energia elétrica no Brasil: a construção de centrais geradoras de maior envergadura, capazes de atender à constante ampliação do mercado de energia e à intensificação do processo de concentração e centralização das empresas concessionárias (TOLMASQUIM, 2005).

Segundo dados atualizados da ANEEL (2014) apresentados na Tabela 1 abaixo, o Brasil possui no total 3.416 empreendimentos em operação, totalizando 131.665.236 kW de potência instalada. Está prevista para os próximos anos uma adição de 35.633.369 kW na capacidade de geração do País, proveniente dos 165 empreendimentos atualmente em construção e mais 604 em empreendimentos com construção não iniciada. Deste último 135 são PCH’s que irão produzir um total de 1.925.703 KWh.

Tabela 1: Empreendimentos Energéticos em Operação no Brasil no ano de 2014.

Empreendimentos em Operação				
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
CGH	474	291.832	293.233	0,22
EOL	193	4.224.434	4.130.038	3,14
PCH	469	4.713.430	4.677.132	3,55
UFV	209	18.559	14.474	0,01
UHE	199	87.011.765	83.075.078	63,1
UTE	1.870	39.257.313	37.485.281	28,47
UTN	2	1.990.000	1.990.000	1,51
Total	**3.416**	**137.507.333**	**131.665.236**	100

Fonte: Banco de Informações de Geração - BIG da Agencia Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, 2014.

A região sudeste atualmente possui um total de 128 empreendimentos em operação, gerando 40.227 MW de potência, contribuindo com 33,3% do total produzido no pais. Está prevista para os próximos anos uma adição de 1.465.534 kW na capacidade de geração do Estado, proveniente de 1 empreendimento atualmente em construção e mais 14 em construção não iniciada. No entanto, a região possui um consumo na rede de 235.237 GWh.

Espera-se com esta análise comparativa, apontar aspectos positivos e negativos dos dois empreendimentos, contribuindo para tomada de decisão em projetos futuros, com a orientação de qual melhor opção de acordo com a região de implantação e a demanda necessária, com um menor impacto no meio ambiente.

A estrutura deste trabalho inclui uma revisão e uma análise a respeito da implantação de hidrelétricas sob o ponto de vista da geração de energia (custo em reais por MWh) em relação ao impacto ambiental e social gerado, considerando aspectos burocráticos para liberação da obra e distancia dos polos consumidores para transmissão desta energia.

As UHE apesar de possuírem um custo de MWh baixo, exigem estudos complexos para sua implantação. Geralmente estes processos são demorados e enfrentam resistência da comunidade envolvida, além disso estão localizados distantes dos centros consumidores. Já as PCH's, mesmo com a baixa eficiência energética possuem a vantagem de estabelecimento próximo às áreas de consumo e causar um menor impacto ambiental.

2.2 Impactos ambientais de aproveitamentos Hidrelétricos

Segundo ROSA et al. (1995), a hidreletricidade, para a situação brasileira, é considerada a melhor solução técnica e econômica, em face dos riscos ambientais e dos custos, se comparada com a energia nuclear. Sendo também a melhor alternativa de geração

elétrica quando comparada com a termoeletricidade a combustíveis fósseis, pois tem como vantagens o fato de ser renovável e disponível no país a menor custo.

As obras hidrelétricas, de uma forma geral, produzem grandes impactos sobre o meio ambiente, que são verificados ao longo e além do tempo de vida da usina e do projeto, bem como ao longo do espaço físico envolvido. Os impactos mais significativos e complexos ocorrem nas fases de construção e de operação da usina, os quais poderão afetar o andamento das próprias obras (SOUSA, 2000).

Os impactos físicos mais comuns são a diminuição da correnteza do rio alterando a dinâmica do ambiente aquático, com isso o fluxo de sedimentos é alterado favorecendo a deposição deste no ambiente lótico, a temperatura do rio também é modificada, tendendo a dividir o lago da represa em dois ambientes: um onde a temperatura é mais baixa (o fundo do lago) e outro onde a temperatura é mais alta (superfície do lago). Este fato repercute, também, em outros impactos uma vez que com essa disposição há pouca mistura na água do ambiente represado, criando condições anóxicas e favorecendo a eutrofização do mesmo e a ocorrência de reações químicas que geram compostos nocivos ao interesse humano, sendo estes os principais impactos químicos observados (SOUSA, 2000).

De acordo com Sousa (2000), os impactos biológicos relacionam-se à barreira física representada pela barragem para as espécies aquáticas, constituindo um fator de isolamento das populações antes em contato. Além deste fato, a barragem impede ou dificulta a piracema das espécies de peixe. A transformação da dinâmica do rio, bem como as alterações na qualidade da água, afetam tanto a região a montante quanto a jusante da barragem. Tais impactos, geralmente, afetam a biodiversidade do rio.

A instalação de uma usina hidrelétrica, juntamente com o lago formado e todas as alterações mencionadas anteriormente, repercutem nas sociedades organizadas na região do projeto e além dos limites destas também. O aumento na oferta de energia representa uma conseqüência global de qualquer empreendimento de hidreletricidade. Entretanto, todos os eventos desencadeados por essa forma de energia, tais como diminuição na qualidade de água, desagregação social de comunidades locais e aumento na incidência de doenças seriam conseqüências imediatas para os habitantes da região do projeto, representando os impactos sociais do empreendimento. Embora sejam mais subjetivos, estes efeitos devem ser considerados e analisados por ocasião de projetos hidrelétricos (SOUSA, 2000).

2.3 Pequena Central Hidrelétrica (PCH)

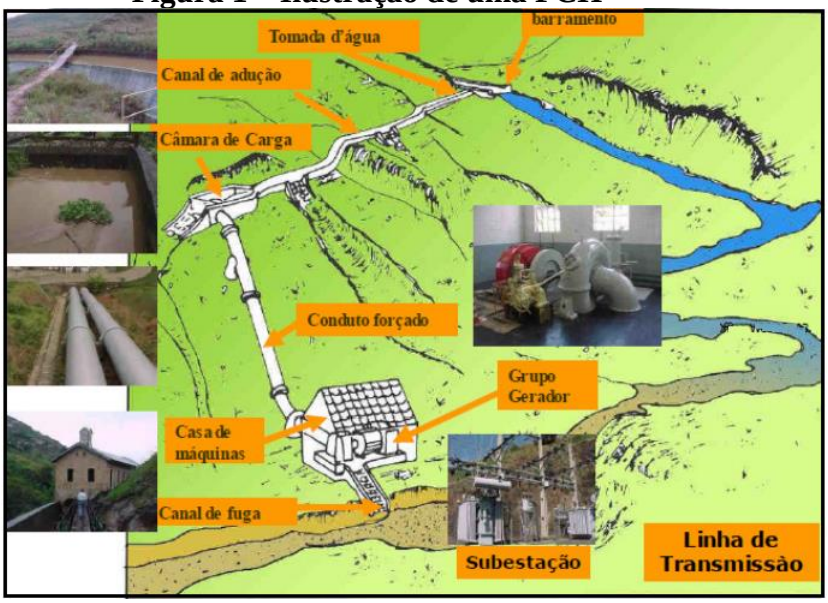
O definição de Pequena Central Hidrelétrica (PCH) pode ser consultada segundo a Resolução nº 652, de 9 Dezembro de 2003 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL:

> Art. 3 Será considerado com características de PCH o aproveitamento hidrelétrico com potência superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW, destinado a produção independente, autoprodução ou produção independente autônoma, com área do reservatório inferior a 3,0 km².

De acordo com as diretrizes para Estudos e Projetos de PCH da Eletrobras (2000) as PCHs são classificadas quanto à capacidade de regularização do reservatório que podem ser a Fio d'Água ou de Acumulação (Regularização Diária ou Mensal do Reservatório).

As PCHs a fio d'água (figura 1), desprezam-se o volume do reservatório criado pela barragem. O sistema de adução é projetado para conduzir a descarga necessária para fornecer a potência que atenda à demanda máxima. O aproveitamento energético local será parcial e o vertedouro funciona na quase totalidade do tempo, extravasando o excesso de água. Esse tipo de PCH é empregado quando as vazões de estiagem do rio são iguais ou maiores que a descarga necessária à potência a ser instalada para atender à demanda máxima prevista.

Figura 1 – Ilustração de uma PCH



Fonte: Tiago Filho (2010).

Segundo Carneiro (2010), um local adequado para a implantação de uma PCH preferencialmente deve ter uma queda natural acentuada, boas condições de fundamentação, jazidas naturais de material de construção próxima do local da obra e baixo impacto do empreendimento sobre a região.

2.3.1 Impactos ambientais das PCHs

Os impactos causados pela construção de PCHs estão relacionados ao tamanho, volume, tempo de retenção do reservatório, localização geográfica e localização no *continuum* do rio. Os principais impactos detectados são: inundação de áreas agricultáveis; perda de vegetação e da fauna terrestres; interferência na migração dos peixes; mudanças hidrológicas a jusante da represa; alterações na fauna do rio; interferências no transporte de sedimentos; aumento da distribuição geográfica de doenças de veiculação hídrica; perdas de heranças históricas e culturais, alterações em atividades econômicas e usos tradicionais da terra; problemas de saúde pública, devido à deterioração ambiental; perda da biodiversidade, terrestre e aquática; efeitos sociais por realocação (NILTON, 2009).

Todas estas alterações podem resultar de efeitos diretos ou indiretos, produzindo efeitos e impactos cumulativos, transformando inteiramente as condições biogeofísicas, econômicas e sociais de toda a área (ANDRADE. 2010).

Nem todos os efeitos da construção de uma PCH são negativos. Devem-se considerar também muitos efeitos positivos como: produção de energia: hidroeletricidade; retenção de água regionalmente; aumento do potencial de água potável e de recursos hídricos reservados; criação de possibilidades de recreação e turismo; aumento do potencial de irrigação; aumento e melhoria da navegação e transporte; aumento da produção de peixes e da possibilidade de aqüicultura; regulação do fluxo e inundações; aumento das possibilidades de trabalho para a população local (NILTON, 2009).

2.4 Usina Hidrelétrica (UHE)

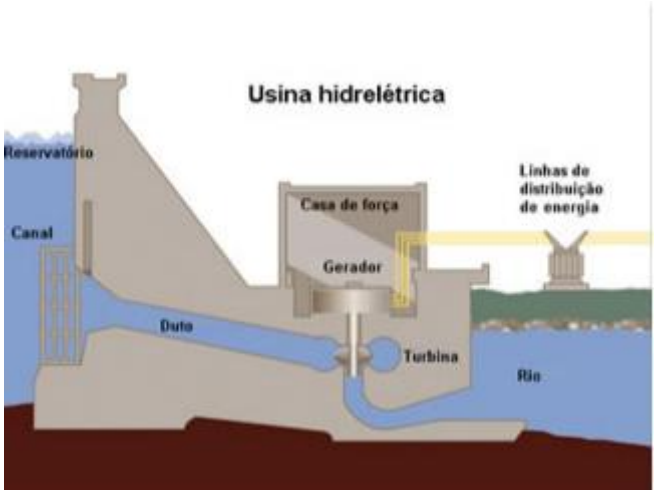
Usina hidrelétrica ou central hidroelétrica é um complexo arquitetônico, um conjunto de obras e de equipamentos, que tem por finalidade produzir energia elétrica através do aproveitamento do potencial hidráulico existente em um rio (UNESP, 2010).

As centrais hidrelétricas geram, como todo empreendimento energético, alguns tipos

de impactos ambientais como o alagamento das áreas vizinhas, aumento no nível dos rios, e em algumas vezes, pode mudar o curso do rio represado, podendo, ou não, prejudicar a fauna e a flora da região. Todavia, é ainda uma forma de se gerar energia elétrica mais barata do que outras plantas industriais como a usina termo nuclear e menos agressiva ambientalmente do que as usinas termoelétricas a petróleo ou a carvão, por exemplo, pois a energia hidráulica é considerada uma fonte limpa. A viabilidade técnica de cada caso deve ser analisada individualmente por especialistas em engenharia ambiental e especialista em engenharia hidráulica, que geralmente para seus estudos e projetos utilizam modelos matemáticos, modelos físicos e modelos geográficos (ENERGY, 2010).

A usina hidrelétrica funciona convertendo a energia hidráulica em energia mecânica através de uma turbina hidráulica. A energia mecânica por sua vez é convertida em energia elétrica por meio de um gerador, passando por transformadores que a preparam para ser transmitida para uma ou mais linhas de transmissão que é interligada à rede de distribuição.

Figura 2 - Esquema de funcionamento de uma hidrelétrica



Fonte: ENERGY, 2010

Um sistema elétrico de energia é constituído por uma rede interligada por linhas de transmissão (transporte). Nessa rede estão ligadas as cargas (pontos de consumo de energia) e os geradores (pontos de produção de energia). Uma central hidrelétrica é uma instalação ligada à rede de transporte que injeta uma porção da energia solicitada pelas cargas (GDT, 2010).

2.4.1 Impactos ambientais das UHEs

No Brasil, grande parte da energia elétrica produzida provém de usinas hidrelétricas, devido a grande quantidade de água existente no território nacional. Nesse tipo de usina, é realizada a transformação da energia potencial da água represada em energia cinética, girando pás de gigantescas turbinas, produzindo energia elétrica a partir do acionamento do eixo de um gerador. O tipo de hidrelétrica é em função, basicamente da vazão do rio e da queda disponível. A grande participação das hidrelétricas na matriz elétrica brasileira a torna muito dependente da continuidade no sistema de chuvas (DIDONET, 2009).

Ainda segundo o autor, para atender a outro mercado, onde a construção de grandes hidrelétricas é inviável, uma alternativa é o emprego de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), que no Brasil, são aquelas cuja potência instalada não ultrapassa 30 MW e o seu lago tem uma área máxima de 3 km² para a cheia centenária.

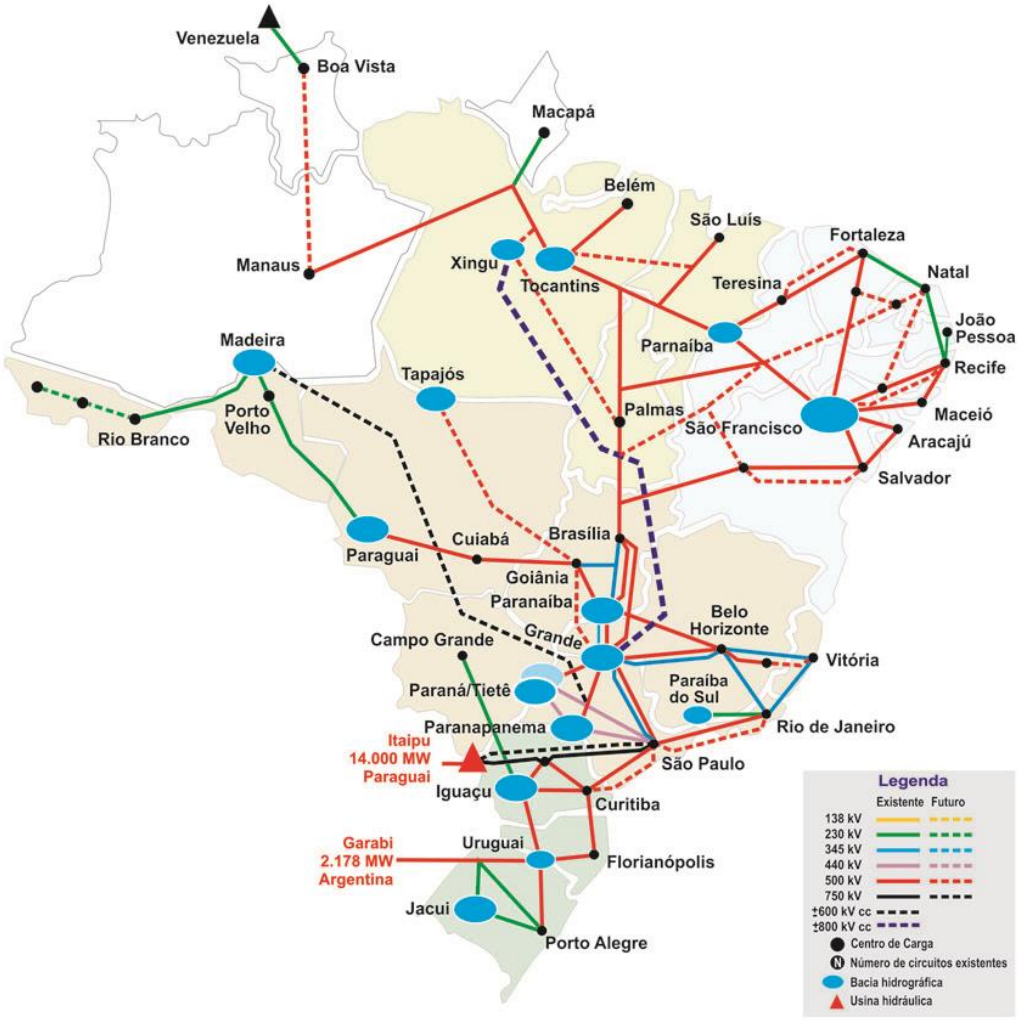
Usinas hidrelétricas de grande porte acarretam impactos ambientais significativos que atingem os meios físicos, bióticos, social e econômico, tanto na região do lago artificial como na continuação do rio depois da represa. Diversos problemas são causados: impacto na flora e fauna, interferência no clima, perda de qualidade da água servida a população, alagamento de áreas agrícolas e comprometimento da riqueza mineral, interferência na navegação do rio, erosão e desmatamento das margens da área inundada e desaparecimento de belezas naturais. Sem falar em agravantes como alagamento de áreas indígenas, de áreas de proteção ambiental e até mesmo de cidades inteiras, o que também leva a população a outras realidades econômica, cultural ou social. Um exemplo bem conhecido de impacto ambiental é o da hidrelétrica de Sobradinho, na Bahia. O represamento das águas do Rio São Francisco formou um lago que gerou mudanças drásticas em todo o seu hábitat (DIDONET, 2009).

2.5 Redes de transmissão

Os investimentos na cadeia de produção de eletricidade abrangem três segmentos principais: geração, transmissão e distribuição. Na transmissão, compreendem a construção de novas interligações entre os subsistemas mas também o reforço de toda a malha da rede básica, em consonância com o aumento da carga e dos fluxos de energia.

Segundo os dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS (2006), o sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é um sistema hidrotérmico de grande porte com tamanho e características que permitem considerá-lo único em âmbito mundial. O Sistema Interligado Nacional (SIN) é formado pelas empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Apenas 1,7% da energia requerida pelo país encontra-se fora do SIN, em pequenos sistemas isolados localizados principalmente na região amazônica. A figura abaixo mostra o mapa do SIN destacando subsistemas, interligações e principais fontes geradoras em operação e em projeto.

Figura 3 – Mapa do SIN destacando os subsistemas e interligações



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)

Atualmente o Brasil possui 106.444 km de linhas de transmissão. Estudos realizados pela ELETROBRAS destacam que o custo de implantação de uma linha de transmissão pode chegar a R$705.879,00/km.

2.6 CONCLUSÃO

Apesar de tipicamente as UHCs possuirem uma relação custo/energia mais elevada do que as PCHs, as ultimas possuem um período de construção menor e processo de licitação menos burocrático.

Com base no levantamento bibliográfico desenvolvido pode-se concluir que as PCHs "a fio d'água" por dispor de reservatórios menores, causam menores impactos na qualidade da água.

Finalmente as PCHs mostram-se como alternativa viável para suprir a demanda proxima da região de implantação, pois a maior proximidade entre geração e consumo implica em menor comprimento das linhas de transmissão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 3º edição, ano 2008, pág. 52. Disponível em http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf, acessado em 18/16/2014.

ANDRADE, Alexandre. O Papel das PCHs na economia Catarinense. Monografia (Bacharelado) - Ciências Econômicas da Universidade Federal de Santa Catarina.

CARNEIRO, D. A. Geração de energia elétrica no Brasil. Editora CanalEnergia, 2010.

DIDONET, M. Natureza da Paisagem: Energia: Recurso da Vida. Rio de Janeiro: CIMA, 2009.

ELETROBRAS S/A. Relatório do Programa para Orçamentos de linhas de transmissão. Divisão de Engenharia de Transmissão, Fevereiro de 2005.

ENERGY, INTERNACIONAL RENEWABLES. Disponível em: http://www.internationalrenewablesenergy.com. Acesso em: 10 de Maio de 2014.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional – 2013. Disponível em https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2013 acesso em julho 2014.

FARIA, I. D. O que são usinas hidrelétricas "a fio d'água" e quais os custos inerentes à sua construção? Disponível em http://www.brasil-economia-governo.org.br/2012/03/05/o-que-sao-usinas-hidreletricas-a-fio-d%E2%80%99agua-e-quais-os-custos-inerentes-a-sua-construcao acesso em junho 2014.

GDT, ENERGIA ELÉTRICIA, As hidrelétricas do amanhã, vol. 39 Ed. Lumière, outubro de 2010

ITAIPU BINACIONAL. Relatório Anual de 2014. Disponível em https://www.itaipu.gov.br/energia/reservatorio, acessado em 18/16/2014.

MAKARON, Paula. Análise de Viabilidade de Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas: Pontos Críticos de Sucesso a Partir de Estudos de Caso no Estado de Santa Catarina. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação Em Energia - EP/FEA/IEE/IF da Universidade de São Paulo.

NILTON, Cássio Luiz. O impacto das pequenas centrais hidrelétricas - Pchs no meio ambiente. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação Latu Sensu Formas Alternativas de Energia - Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, 2009.

ROSA, L.P., SIGAUD, L., LA ROVERE, E.L., MAGRINI, A., POOLE, A., FEARNSIDE, P, (1995). Estado, Energia Elétrica e Meio Ambiente: O Caso das Grandes Barragens. COOPE/UFRJ.

SOUSA, W. L. Impacto Ambiental de Hidrelétricas: Uma Análise Comparativa de Duas Abordagens. Dissertação (Mestrado). Departamento de Planejamento Energético da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.

TOLMASQUIM, M. Geração de energia elétrica no Brasil. Editora CanalEnergia, 2005.

VIEIRA, F.; Vainer, C. Manual do Atingido - Impactos Sociais e Ambientais de Barragens. Disponível em http://www.maternatura.org.br/hidreletricas/guia_IV.asp acesso em junho 2014.

3 ARTIGO CIENTÍFICO 2

PLANO DE MONITORAMENTO AMBIENTAL DA QUALIDADE DE ÁGUA DE UMA PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA ASSOCIADO À MODELAGEM MATEMÁTICA

Resumo

Tendo em vista a necessidade do monitoramento ambiental imposta pela legislação para acompanhar as interferências antrópicas na qualidade da água na implantação de empreendimentos, esse trabalho oferece uma alternativa de inclusão de dados obtidos por sensores continuos e modelagem matemática no plano de controle e monitoramento ambiental de Pequena Central Hidrelétrica (PCH) no rio Itabapoana no estado do Rio de Janeiro.

Palavras-chave: Pequena Central Hidrelétrica, Plano de Controle Ambiental, Monitoramento Ambiental, Rio Itabapoana, Modelagem matemática.

PROPOSED ENVIRONMENTAL WATER QUALITY MONITORING OF SMALL HIDROELECTRIC POWERPLAN ASSOCIATED TO MATHEMATICAL MODELING

Abstract

Given the need for environmental monitoring required by legislation to monitor anthropogenic interference in water quality in the implantation of projects, this paper offers an alternative inclusion of data from sensors and continuous mathematical modeling in the control plan and environmental monitoring Small Hydroelectric Power Plant in Itabapoana river in the state of Rio de Janeiro.

Keywords: Small Hydropower, Control Plan, Environmental Monitoring, Rio Itabapoana, Mathematical modeling.

3.1 Introdução

Atendendo às exigências dos Órgãos Ambientais para licenciamento das obras de implantação da PCH Bom Jesus do Itabapoana, foi elaborado um modelo matemático de qualidade de água que simulou o comportamento de alguns parâmetros em resposta às intervenções previstas no empreendimento. Os parâmetros analisados foram as concentrações de nitrato, amônia, ortofosfato, clorofila, demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido (OD) e coliformes fecais termotolerantes (CFT). A interpretação dos resultados da qualidade da água na condição natural do corpo hídrico e após as obras, compôs um relatório técnico encaminhado junto ao órgão fiscalizador.

O modelo matemático desenvolvido foi construído no simulador MOHID, que é uma plataforma de simulação hidrodinâmica e transporte de constituintes em suspensão e solução, neste trabalho de acordo com as simulações geradas pode-se concluir pelo cenário mais crítico estudado, correspondente ao de mais baixa vazão (aqui adotada de 3.87 m^3/s), a ocorrência de alterações importantes na concentração OD e Amônia. Além do fato de tal cenário ser de rara ocorrência dentro da série de vazões levantadas pelo estudo, os modelos indicaram que a qualidade da água, em virtude da baixa vazão, já teria certo grau de comprometimento, que eventualmente seria agravado pela intervenção prevista. Por outro lado, na operação normal da PCH, o modelo matemático permite prever que a redução da

descarga do rio à vazão sanitária, resultaria em importantes alterações nos parâmetros avaliados, no entanto manteriam a qualidade da água do rio dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 para águas doces de Classe 1, exceção feita à concentração de Oxigênio Dissolvido (LUGON, 2013).

A partir destes resultados, o presente trabalho pretende desenvolver um estudo de sensibilidade do modelo em questão e propor a incorporação da modelagem matemática no monitoramento ambiental de pequenas centrais hidrelétricas visto que, para seguir a legislação ambiental brasileira, atualmente as PCHs realizam análises em pontos isolados, que na visão deste autor não representa fielmente a situação de todo o corpo hídrico.

3.2 Plano de Monitoramento e Controle Ambiental

Os Planos de Controle e Monitoramento Ambiental objetivam apoiar no gerenciamento dos impactos ambientais adversos gerados e/ou previsíveis ao sistema ambiental pelas ações do empreendimento. Desse modo, a implantação de medidas mitigadoras e compensatórias definidas nos estudos ambientais e exigências da Licença Ambiental Prévia - LP estabelecem procedimentos técnicos e de boas práticas a serem adotadas para atendimento à legislação ambiental.

O monitoramento de efluentes e de qualidade da água num corpo hídrico receptor é um importante instrumento de gestão ambiental, estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 375/2005 e DZ-942.R-7 do INEA.

A bacia do rio Itabapoana ainda não recebeu enquadramento quanto ao seu uso, porém, segundo relatório do Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos da ANA, apesar das agressões ambientais, presume-se que as águas do rio Itabapoana estariam inseridas na classe 2 da Resolução CONAMA 357 de 2005 (WERNECK, 2012).

A Resolução CONAMA 357/2005 adota treze classes para águas doces, salobras e salinas do território nacional (Quadro 1). Para cada classe são estabelecidos limites e/ou condições de qualidade a serem respeitados, de modo a assegurar seus usos preponderantes, sendo mais restritivos quanto mais nobre for o uso pretendido (FERREIRA, 2012 *apud* BRASIL, 2005).

Quadro 1 - Classes de usos preponderantes para águas doces definidas pela Resolução CONAMA 357/2005.

Classes	Usos
Especial	a) Abastecimento para consumo humano com desinfecção; b) Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; c) Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
1	a) Abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado; b) Proteção das comunidades aquáticas; c) Recreação de contato primário (natação); d) Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e) Proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas.
2	a) Abastecimento para consumo humano após tratamento convencional; b) Proteção das comunidades aquáticas; c) Recreação de contato primário; d) Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, onde o público possa vir a ter contato direto a água; e) Aqüicultura e atividade de pesca.
3	a) Abastecimento para consumo humano após tratamento Convencional ou avançado; b) Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) Pesca amadora; d) Recreação de contato secundário; e) Dessedentação de animais.
4	a) Navegação; b) Harmonia paisagística.

Fonte: FERREIRA, 2012; BRASIL, 2005.

A seguir, na tabela 1 é apresentado o plano de monitoramento ambiental da Usina Termoelétrica Mário Lago, localizada na cidade de Macaé, que foi objeto de estudo de Matos (2008), onde pode se observar a periodicidade das análises de acordo com os limites estabelecidos pela resolução do CONAMA Nº 375/05 para a qualidade da água a montante e jusante da usina de acordo com os paramentros de interesse.

Tabela 1 - Monitoramento da Qualidade da Água no Rio Macaé.

QUALIDADE DO RIO MACAÉ		
PARÂMETROS-CHAVE - MONTANTE E JUSANTE DA USINA (*)	LIMITES da Res. CONAMA 357/05 - Classe 2 (**)	PERIODICIDADE
Turbidez (NTU)	≤100	CONTÍNUA (3 vezes ao dia)
Ph	6-9	CONTÍNUA (3 vezes ao dia)
Temperatura da água (°C)	NR	CONTÍNUA (3 vezes ao dia)
Temperatura do ar (°C)	NR	CONTÍNUA (3 vezes ao dia)
Sólidos Totais em Suspensão (RNFT)	NR	DIÁRIA
Sólidos Dissolvidos Totais (RFT)	≤500	MENSAL
Óleos & Graxas	Virtualmente Ausentes	DIÁRIA
Oxigênio (dissolvido)	≥5	CONTÍNUA (3 vezes ao dia)
Cor Verdadeira (Pt/l)	≤75	MENSAL
DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxigênio)	≤5	
Alumínio (dissolvido)	≤0,1	
Ferro total	NR	
Ferro (dissolvido)	≤0,3	
Bicarbonatos	NR	
Carbonatos	NR	
Cloro Residual Total	≤0,01	DIÁRIA
Cloreto (total)	≤250	MENSAL
Sulfato (total)	≤250	
Nitrato	≤10	
Sílica (SiO_2)	NR	
Nitrogênio Amoniacal Total	3,7 (se pH< 7,5) 2,0 (se 7,5< pH<8,0) 0,5 (se pH> 8,5)	
Cálcio	NR	
Magnésio	NR	
Sódio	NR	
Potássio	NR	
Zinco (total)	≤0,18	
Fósforo (total)	0,1 (ambiente lótico)	
Coliformes Termotolerantes	≤1000/100 ml	BIMESTRAL
Biológico **(fitoplancton, zooplâncton, bentos e perifiton)**	NR	- bentos – seis meses; - fitoplacton, zooplancton e-perifiton – três meses

(*) Todas as unidades são expressas em mg/l, exceto quando indicado em contrário.
(**) O Banco Mundial não define limites para qualidade de água;
NR – Não Regulado.

Fonte: MATOS, 2008

De acordo com a DZ-942.R-7 de 1991, monitoramento é a atividade que compreende a medição de vazão, coleta de amostra, análise de campo e laboratorial e interpretação dos dados. Enquanto a toxicidade é a capacidade de um efluente liquido provocar um efeito observável em um organismo aquático vivo. Estão sujeitas ao PROCON ÁGUA todas as atividades efetivas ou potencialmente poluidoras de água. A FEEMA especificará os parâmetros que deverão ser determinados e reportados através do RAE, onde as freqüências para monitoramento dos diversos parâmetros dos efluentes líquidos de acordo com a vazão (m^3/dia) específica do corpo hídrico, são estabelecidos com valores até 100, de 100 a 1000, de 1000 a 10000 e acima de 10000 m^3/dia. O Rio Itabapoana por possui uma vazão média de 13,97 m^3/s, se encontra na classe de análises para vazões acima de 10000 m^3/dia que determina verificações diárias para pH, Temperatura, Condutividade, Oxigênio dissolvido, DQO, Resíduos e Coliformes fecais, considerando um número mínimo de 12 amostras no efluente contínuo. Novos Parâmetros poderão ser incluídos quando constatada a necessidade.

3.3 Legislação Ambiental Brasileira

A legislação ambiental brasileira desde as primeiras décadas do Século XX, com o Código de Águas de 10 de Julho de 1934, estabelece direitos e deveres, para o uso e conservação da qualidade dos recursos hídricos. O Livro III do Decreto Nº 24.643 estabelece a regulamentação da Indústria Hidrelétrica através de mecanismos que controla a energia hidráulica e seu aproveitamento, a propriedade das quedas d'agua, concessões e autorizações, fiscalização e penalidades.

Em 1977, o Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras foi regulamentado pela primeira vez, no Rio de Janeiro, pela Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEEMA). Com esse Sistema, os Estudos de Impacto Ambiental passaram a se constituir em um importante meio de aplicação de uma política preventiva (CORDEIRO, 2003).

Durante quase uma década, outras normas, decretos e leis buscaram estabelecer formas de uso mais racional do meio ambiente, pois uma das principais preocupações do legislador era o controle da poluição, fonte de conflitos de interesse entre diferentes setores da sociedade brasileira. A Lei 6.803/80, que dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição, é um exemplo desse momento. (THEODORO et al, 2004).

Todavia, a Lei nº 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente,

seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências é um marco histórico em termos de norma de proteção ambiental no Brasil, pois estabelece as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implantação da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) como um instrumento de grande importância para a gestão institucional de planos, programas e projetos, em nível federal, estadual e municipal.

> Art. 2º A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendidos os seguintes princípios:
> ...
> III - planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais;
> ...
> VII - acompanhamento do estado da qualidade ambiental;
> ...
> IX - proteção de áreas ameaçadas de degradação;
> ...

Para alcançar esse objetivo, a Lei 6.938/81 prevê a Avaliação de Impacto Ambiental - AIA e uma série de outros instrumentos complementares e inter-relacionados, como por exemplo:

• o licenciamento e a revisão de atividades efetivas ou potencialmente poluidoras, que exige a elaboração de EIA/RIMA e/ou de outros documentos técnicos, os quais constituem instrumentos básicos de implantação da AIA;

• o zoneamento ambiental, o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental e a criação de unidades de conservação, que condicionam e orientam a elaboração de estudos de impacto ambiental e de outros documentos técnicos necessários ao licenciamento ambiental;

• os Cadastros Técnicos, os Relatórios de Qualidade Ambiental, as penalidades disciplinares ou compensatórias, os incentivos à produção, a instalação de equipamentos e a criação ou absorção de tecnologia, voltados para a melhoria da qualidade ambiental, que facilitam ou condicionam a condução do processo de AIA em suas diferentes fases.

3.3.1 Instrumentos legais de implantação da AIA: EIA/RIMA e/ou PCA e RCA

O Estudo de Impacto Ambiental foi introduzido no sistema normativo brasileiro, via Lei 6.803/80, no seu artigo 10, § 3º, que tornou obrigatória a apresentação de “estudos especiais de alternativas e de avaliações de impacto” para a localização de pólos petroquímicos, cloroquímicos, carboquímicos e instalações nucleares.

Posteriormente, a Resolução CONAMA 001/86 estabeleceu a exigência de elaboração

de Estudo de Impacto Ambiental-EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental-RIMA para o licenciamento de diversas atividades modificadoras do meio ambiente, bem como as diretrizes e atividades técnicas para sua execução. De acordo com essa Resolução, o EIA/RIMA deve ser realizado por equipe multidisciplinar habilitada, não dependente direta ou indiretamente do proponente do projeto e que será responsável tecnicamente pelos resultados apresentados (art. 7º).

Finalmente, em 1988 a Constituição Federal através de seu artigo 225, inciso IV, fixou a obrigatoriedade do Poder Público exigir o Estudo Prévio de Impacto Ambiental para a instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, despontando como a primeira Carta Magna do planeta a inscrever a obrigatoriedade do estudo de impacto no âmbito constitucional.

Concluído o EIA e apresentação publica, se faz necessário o monitoramento de acordo com o Plano de Controle Ambiental (PCA) que é exigido pela Resolução CONAMA 009/90 para concessão de Licença de Instalação-LI de atividade de extração mineral de todas as classes previstas no Decreto-Lei 227/67. O PCA é uma exigência adicional ao EIA/RIMA apresentado na fase anterior (Licença Prévia-LP). O PCA tem sido exigido por alguns órgãos estaduais de meio ambiente também para o licenciamento de outros tipos de atividade.

Já o Relatório de Controle Ambiental é exigido pela Resolução CONAMA 010/90, na hipótese de dispensa do EIA/RIMA, para a obtenção de Licença Prévia-LP de atividade de extração mineral da Classe II, prevista no Decreto-Lei 227/67. Deve ser elaborado de acordo com as diretrizes estabelecidas pelo órgão ambiental competente.

Em esfera estadual, a FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, denominada INEA – Instituto Estadual do Ambiente a partir de 2009), tendo sido unificada à SERLA (Secretaria Estadual de Rios e Lagoas) e ao IEF (Instituto Estadual de Florestas), estabelece, por meio da DZ942R7, as diretrizes do PROCON ÁGUA (Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos), na qual os responsáveis por atividades poluidoras informam regularmente a este órgão ambiental, por meio do RAE (Relatório de Acompanhamento de Efluentes), as características qualitativas e quantitativas de seus efluentes líquidos, como parte integrante do SLAP (Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras), que segue os critérios e padrões estabelecidos pela NT-202R-10 para lançamento de efluentes líquidos no estado do Rio de Janeiro.

A seguir as tabelas 3 e 4 do item 4 da NT–202R-10 apresenta os padrões estabelecidos para lançamentos em efluentes líquidos:

Tabela 2 - Padrões para Lançamento de Efluentes Líquidos

PARÂMETRO	ÍNDICE PERMITIDO
pH	Entre 5,0 e 9,0
Temperatura	Inferior a 40 ºC
Materiais sedimentáveis	Até 1,0 ml/l, em teste de 1 hora em "Cone Imnhoff"
Materiais flutuantes	Virtualmente ausentes
Cor	Virtualmente ausente
Óleos minerais	Até 20 mg/l
Óleos vegetais e gorduras animais	Até 30 mg/l.

Fonte: Adaptado NT-202R-10

Tabela 3 - Concentração máxima para substâncias lançadas em efluentes líquidos

SUBSTÂNCIA	CONCENTRAÇÃO MÁXIMA
Alumínio total	3,0 mg/l Al
Arsênio total	0,1 mg/l As
Bário total	5,0 mg/l Ba
Boro total	5,0 mg/l B
Cádmio total	0,1 mg/l Cd
Chumbo total	0,5 mg/l Pb
Cobalto total	1,0 mg/l Co
Cobre total	0,5 mg/l Cu
Cromo total	0,5 mg/l Cr
Estanho total	4,0 mg/l Sn
Ferro solúvel	15,0 mg/l Fe
Manganês solúvel	1,0 mg/l Mn
Mercúrio total	0,01 mg/l Hg
Níquel total	1,0 mg.1 Ni
Prata total	0,1 mg/l Ag
Selênio total	0,05 mg/l Se
Vanádio total	4,0 mg/l V
Zinco total	1,0 mg/l Zn
Amônia	5,0 mg/l N
Cloro ativo	5,0 mg/l Cl
Cianetos	0,2 mg/l CN
Índice de fenóis	0,2 mg/l C6H5OH
Fluoretos	10,0 mg/l F
Sulfetos	1,0 mg/l S
Sulfitos	1,0 mg/l SO3
Pesticidas organofosforados e carbamatos	0,1 mg/l (por composto)
Pesticidas organofosforados e carbamatos totais (somatório dos pesticidas analisados individualmente)	1,0 mg/l
Hidrocarbonetos alifáticos halogenados voláteis, tais como: 1,1,1-tricloroetano; diclorometano; tricloroetileno e tetracloroetileno.	0,1 mg/l (por composto)

Fonte: NT-202R-10, 1986.

3.4 Monitoramento Automático por Sensores

O processo de aquisição de informações hidro-ambientais baseia-se em equipamentos capazes de monitorar diversos parâmetros e armazenar os resultados das medidas em memória eletrônica. Tais equipamentos são conhecidos como "data-loggers". Peça fundamental das estações automáticas de monitoramento, os "data-loggers" são capazes de armazenar dados coletados durante algumas semanas ou alguns poucos meses, dependendo do intervalo de tempo entre medições subseqüentes. Sensores específicos para cada parâmetro a ser monitorado são conectados aos diversos canais de registro dos "data-loggers". Cada um dos sensores fornece uma determinada resposta eletrônica ao estímulo recebido quando do contato com a água. As respostas são registradas periodicamente para, posteriormente, serem traduzidas em valores numéricos quando se faz a coleta dos dados armazenados, com auxílio de um computador portátil (BRAGA, 2003).

Segundo Magina et al. (2007) o monitoramento de qualidade da água por meio de plataformas de coleta de dados (PCDs) oferece hoje uma enorme gama de opções de parâmetros que podem ser investigados. Dentre eles podemos citar os metais pesados; os nitritos, fosfatos, cianetos, cloretos e fluoretos; os hidrocarbonetos e a amônia; o carbono orgânico total (TOC); os parâmetros químicos e físicos, tais como: temperatura, condutividade, turbidez oxigênio dissolvido e pH.

De acordo com o mesmo autor, um grupo de sensores configurados conjuntamente é chamado de sonda multiparâmetro de qualidade da água a qual geralmente está conectada a um sistema de aquisição, gravação e transmissão de dados (PCD). Junto com a sonda multiparâmetro de qualidade da água (Figura 1) utiliza-se também um dispositivo “handheld” dotado de display e teclado e com software residente capaz de realizar leituras e calibrações dos sensores no campo e no laboratório. A Tabela 4 apresenta um resumo das especificações dos sensores da sonda de qualidade da água utilizada no monitoramento automático.

Figura 1 – Sonda Multiparâmetro de qualidade da água

Fonte: Autor, 2014.

Tabela 4 – Especificações dos sensores da sonda multiparâmetro

Sensor	Tipo	Faixa de medição	Resolução	Exatidão
Temperatura	Termistor	-5 ºC a +45 ºC	0,01 ºC	±0,15 ºC
Oxigênio Dissolvido	Rapid Pulse, tipo Clark, polarográfico	0 a 50 mg/L	0,01 mg/L	0 a 20 mg/L: ± 2 mg/L 20 a 50 mg/L: ± 0,6 mg/L
pH	Eletrodo com combinação de vidro	0 a 14 unidades	0,01 unidades	± 0,2 unidades
Turbidez	Óptico, 90º de dispersão, com limpeza mecânica	0 a 1.000 NTU		± 5% da leitura ou 2 NTU, o que for maior
Condutividade	Célula com 4 eletrodos com faixa automáticas	0 a 100 mS/cm		± 0,5% da leitura + 0,001 mS/cm
Profundidade	"Strain gauge" em aço inoxidável, não ventilado	0 a 61 m	0,001 m	± 0,12 m

Fonte: Magina et al., 2007

3.5 Modelagem Matemática ou Computacional

A modelagem computacional tem sido utilizada em diversas vertentes como ferramenta no estudo e gerenciamento de recursos hídricos. Esta técnica é uma representação simplificada de um sistema, mantendo suas características essenciais. Os modelos são classificados em analógicos, matemáticos e icônicos. Com o auxilio destas ferramentas é possível construir múltiplas representações de uma mesma situação e com isso gerar prognósticos de um fato real.

Dentre as várias definições de modelagem matemática, podemos citar o conceito clássico de Iritani (1998):

> A modelagem matemática consiste na representação matemática do que acontece na natureza a partir de um modelo conceitual, idealizado com base no levantamento e interpretação de dados e observações do sistema real, tendo como objetivo uma melhor compreensão do sistema atual, possibilitando prever situações futuras, algumas vezes passadas, porém sempre buscando direcionar ações de decisão (IRITANI, 1998 *apud* BONGANHA *et al*., 2007).

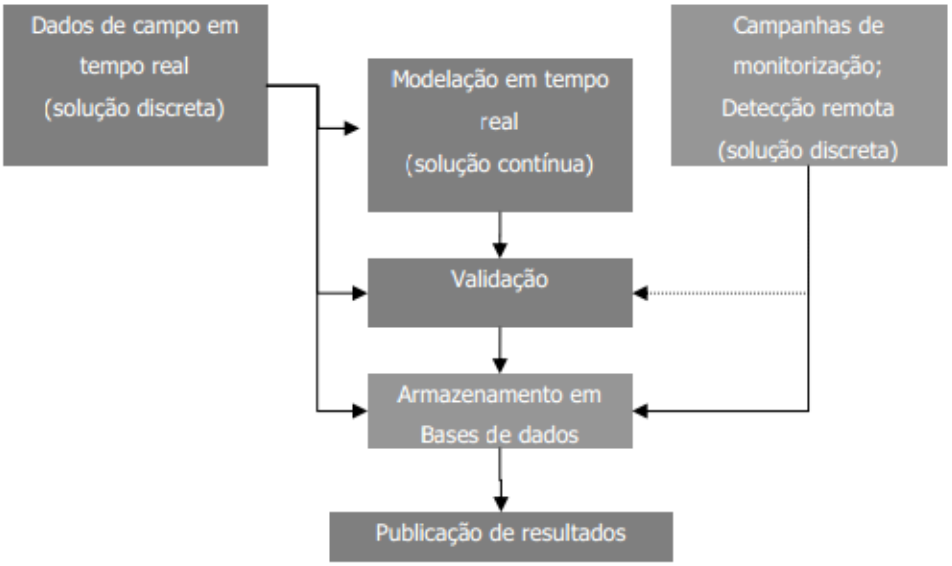
O uso da modelagem possibilita a previsão, através de análises, do comportamento futuro do sistema em estudo. Através do fornecimento de dados de entrada e verificação dos dados de saída no modelo, é possível analisar as propriedades e comportamento do sistema de uma maneira prática (BRATLEY *et al*., 1987 *apud* LIMA *et al*., 2010). Este processo de execução de um modelo matemático computacional na representação de um sistema é conhecido como simulação (MARIA,1997).

3.6 Modelo Operacional

A modelação operacional vem sendo implantada em todo o mundo atraves de sistemas integrados que disponibilizam dados de registros históricos e em tempo real, além de previsões diárias de condições do meio atmosférico e aquático através de uma interface na internet (FERNANDES, 2005).

Segundo o mesmo autor, estes sistemas operacionais vão muito além de modelos numéricos que fazem previsões todos os dias. Ele pode ser visto como uma infra-estrutura que pode incluir um ou mais modelos numéricos, uma rede de monitorização automática, dados obtidos em campanhas de monitorização e detecção remota, bases de dados para armazenamento de medições e previsões, mecanismos de validação da informação e ferramentas que disponibilizem os resultados num formato útil aos clientes finais (Figura 2).

Figura 2 - Esquema ilustrativo dos componentes de um modelo operacional



Fonte: FERNANDES, 2005

Estes modelos podem ser empregados em escala global, como é o caso da previsão oceânica de larga escala, representada pelos importantes sistemas HYCOM e o MERCATOR. Da mesma forma que podem ser desenvolvidos em todo o mundo vários modelos para áreas específicas como é o caso de GoMOOS, PORTS e Mediterranean Forecasting System (SFM).

Fernandes (2005) apresenta possíveis produtos e serviços específicos que podem ser fornecidos por um sistema de modelagem operacional:

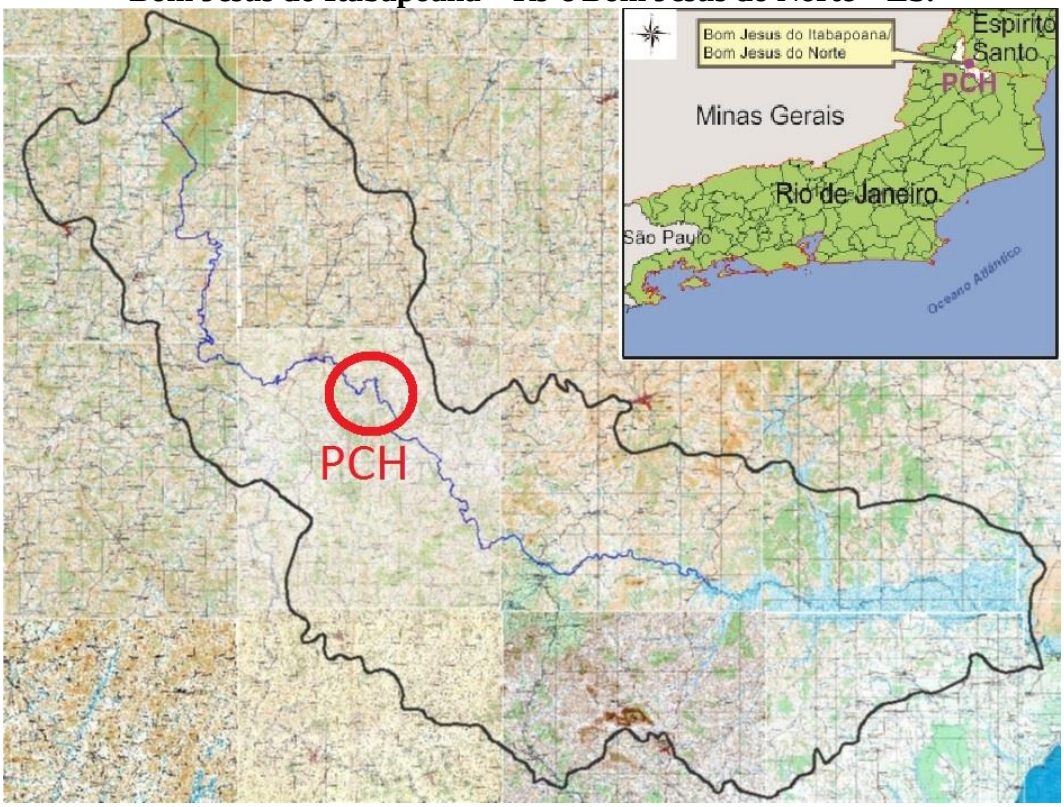
> - Previsão de até 10 dias: de busca e salvamento, a evolução poluição, proliferação de algas tóxicas, transporte e dispersão de partículas e massas de água (por exemplo, larvas de peixes, contaminantes, matéria em suspensão, de água doce), o clima do litoral (por exemplo, os padrões atuais, turbulência, temperatura, salinidade, ondas, nível da água, do vento);
> ...
> - Vários anos reconstituição e observação, dos cenários simulados com produção e atualização de séries temporais longas de clima, sistemas aquáticos e variabilidade dos ecossistemas.
> ...

Deste modo os modelos operacionais possibilitam testar hipóteses e tirar conclusões a partir dos dados existentes, além de permiter validar de forma sistemática os resultados dos modelos numéricos. Apresentando como uma importante ferramenta para aumentar o grau de confiabilidade de um estudo em diferentes cenários.

3.7 Bacia Hidrográfica do Rio Itabapoana

A bacia do Rio Itabapoana (figura 3) possui uma área de drenagem de aproximadamente 4720 km², sendo 2.234 km² até o local do empreendimento, e inclui 18 municípios dos estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo. O estado do Rio de Janeiro abrange uma área de 1.520 km², correspondendo a 40% do total, englobando integralmente Bom Jesus do Itabapoana e parte dos municípios de Porciúncula, Varree-Sai, Campos e São João da Barra. A bacia é delimitada pela bacia do Rio Muriaé, no Estado do Rio de Janeiro, ao sul, e pela bacia do Rio Itapemirim, no Estado do Espírito Santo, ao norte. A bacia do Itabapoana possui uma forma alongada, com largura média de 30 a 35 km.

Figura 3 – Mapa da bacia do Rio Itapaboana e a localização geográfica da PCH entre Bom Jesus do Itabapoana – RJ e Bom Jesus do Norte – ES.



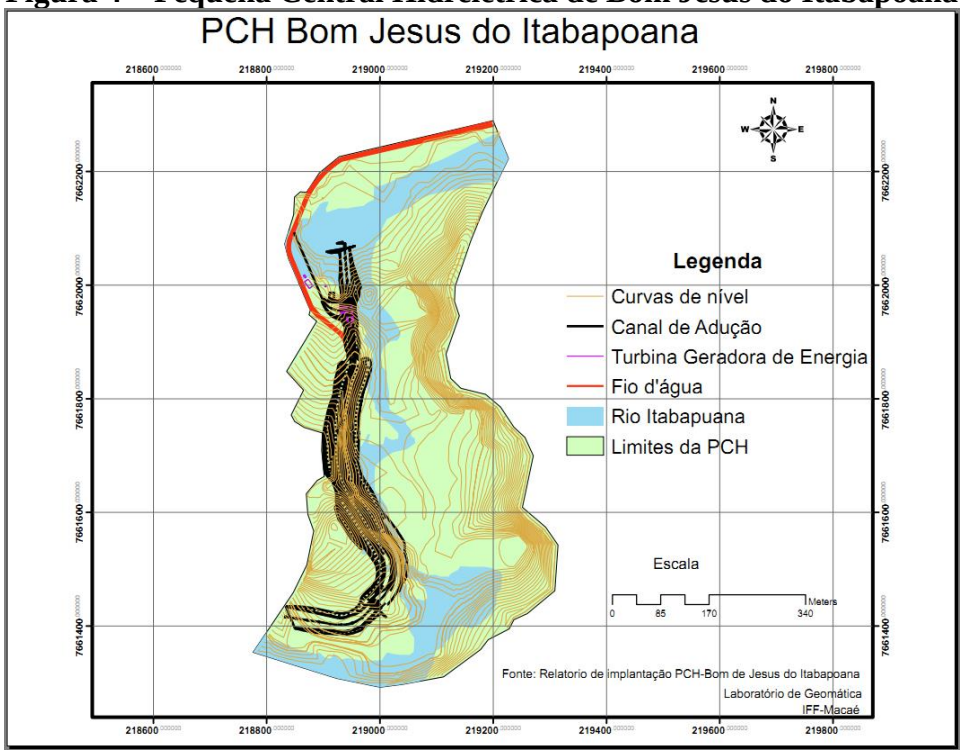
Fonte: Autor, 2014.

O rio Itabapoana nasce na Serra do Caparaó (MG), em Alto Caparaó, onde começa com o nome de Rio Preto, denominação que muda para Itabapoana depois da confluência com o Rio Verde. Seus principais formadores são os rios Veado, Calçado, Boa Vista, Muqui do Sul e Preto, pela margem esquerda e ribeirões da Onça, Varre-e-Sai, Pirapetinga e córregos Liberdade e Santo Eduardo, pela margem direita. A partir da foz do Ribeirão das Onças, o

Itabapoana separa os Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, desaguando no oceano Atlântico. Da nascente até à foz, o rio Itabapoana percorre cerca de 267 km e, até o local do empreendimento, cerca de 140 km.

O local da implantação da PCH Bom Jesus (figura 4) está situado à margem esquerda do rio Itabapoana, nas coordenadas aproximadas latitude 21007'S e longitude 40042'W, cerca de 5 km a montante da ponte que liga as cidades de Bom Jesus do Itabapoana (RJ) e Bom Jesus do Norte (ES). A média anual de precipitação na região é de 1410 mm com índices totais mensais de até 782 mm nos meses chuvosos (verão) à nulos nos meses secos (inverno) e que o valor das máximas mensais estão entre 39 e 130 mm. A vazão média do rio Itabapoana no trecho da PCH Bom Jesus é 13,97 m³/s.

Figura 4 – Pequena Central Hidrelétrica de Bom Jesus do Itabapoana



Fonte: Autor, 2014.

3.8 Plano de Monitoramento Ambiental de uma PCH

Para o acompanhamento da qualidade da água de uma PCH o estabelecimento de malha amostral, composta por pontos de coleta aleatórios na área inundada e a jusante do empreendimento, é o método mais utilizado nos planos de monitoramento ambiental. A malha de amostragem definida, a priori, para ser adotada no reservatório poderá ser modificada no sentido de melhor adequar-se às realidades ambientais verificadas pela equipe executora do

programa.

O monitoramento contempla o acompanhamento de variáveis limnológicas que se mostram diretamente relacionadas com a biota aquática, com a qualidade da água e com a conservação dos equipamentos da usina (Cor, Ferro, pH, Sólido em Suspensão, Temperatura da Água, Transparência, Turbidez, Alcalinidade Total, Amônia, Cádmio, Chumbo, Cobre, Condutividade, DBO e DQO).

Estes parâmetros foram selecionados no sentido de permitir uma representação relativamente ampla das condições limnológicas do sistema, sendo aplicáveis tanto no acompanhamento das alterações na qualidade da água quanto para o entendimento de questões relativas à evolução das comunidades aquáticas e dos usos potenciais do reservatório.

Quanto à profundidade nas quais serão reunidas amostras, recomenda-se que as coletas sejam superficiais. Na fase reservatório, estas se mantém superficiais para as estações representativas do rio Itabapoana (estações de jusante e montante). No reservatório serão realizadas em diferentes estratos contemplando, a priori, as profundidades de 0m, 6m, e fundo.

Para que a informação acerca de um estado ou fenômeno tenha confiabilidade e aplicação, é necessário que ela seja tomada numa freqüência e por um tempo compatíveis com a variação do sistema. Desta forma, serão efetuadas amostragens trimestrais em todas as fases do empreendimento. As campanhas de monitoramento serão efetuadas em embarcação apropriada e cada amostragem deverá ser registrada em uma ficha de campo.

Material coletado deverá ser acondicionado de forma apropriada de acordo com os parâmetros a serem analisados e conduzidos, preferencialmente em um intervalo de 24 horas, para o laboratório da instituição responsável pelo monitoramento para a análise. Alguns parâmetros poderão ser analisados em campo.

Por fim, os dados gerados deverão ser disponibilizados semestralmente ao órgão ambiental e integrados em relatório anual de consolidação, que se ocupará em descrever e analisar a dinâmica evolutiva do sistema.

3.9 Considerações Finais

A estação de monitoramento através de coletas é muito importante porque permite resultados laboratoriais de uma ampla gama de características mesmo que limitado em termos espaciais e temporais. O monitoramento através de sensores, apesar de não cobrir tantas possibilidades de caracterização quanto às análises laboratoriais agregam a vantagem de registrar as variações em um determinado ponto de uma forma contínua.

Os modelos matemáticos apresentam-se como ferramentas de grande utilidade e importância no monitoramento e controle ambiental, podendo diminuir os custos e os riscos na avaliação de impactos em um tempo reduzido de análise.

A incorporação de uma plataforma de coleta de dados automática ao monitoramento ambiental da PCH de Bom Jesus do Itabapoana irá proporcionar uma identificação mais realista dos parâmetros exigidos por lei. A modelagem matemática possibilita extrapolar, de maneira confiável, os resultados obtidos pelos sensores para o corpo hídrico em sua totalidade com acesso simultâneo de todo o processo em estudo.

Assim com auxilio destas tecnologias é possível elaborar planos de monitoramento mais eficientes na identificação das interferências ambientas, atendendo à legislação vigente de maneira mais efetiva, permitindo que o gestor ou analista ambiental tenha uma visão espacial mais abrangente dos impactos causados pelo empreendimento.

.

Referências

AGRA FILHO, S. Avaliação ambiental estratégica – Uma alternativa para a incorporação da questão ambiental no processo de desenvolvimento. Tese de Doutorado. Unicamp, 2002.

ANEEL. Resolução nº652, de 9 de dezembro de 2003. Estabelece os critérios para o enquadramento de aproveitamento hidrelétrico na condição de Pequena Central Hidrelétrica (PCH). São Paulo, SP, 9 Ago. 2003.

BRAGA, S. M. (2003) – Avaliação, desempenho e viabilidade técnica do uso de sensores automáticos para avaliação da qualidade da água do Rio Barigui. Projeto de Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 375 , de 29 de agosto de 2006. Estabelece as definições, as res Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Diário Oficial da União, 29 de ago. 2006.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº357, de 17 de março de 2005. Classificação dos corpos de águas e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União, 18 de mar. 2005; ret 09.05.2005.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº010, de 06 de dezembro de 1990. Dispõe sobre normas específicas para o licenciamento ambiental de extração mineral, classe II. Diário Oficial da União, 06 de dez. 1990.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº009, , de 6 de dezembro de 1990. D dispõe sobre normas específicas para o licenciamento ambiental de extração mineral, classes I, III a IX. Diário Oficial da União, 06 de dez. 1990.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº001, de 23 de janeiro de 1986. Estabelece as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, 23 de jan. 1986.

BRASIL. Lei 6938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, DF, 31 Ago. 1981.

BRASIL. Lei nº 6.803, de 2 de Julho se 1980. Dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição, e dá outras providências. Brasília, DF, 02 Jul. 1980.

BRASIL. Decreto-lei nº 227, de 28 de Fevereiro de 1967. Dá nova redação ao Decreto-lei nº 1.985, de 29 de janeiro de 1940. (Código de Minas). Brasília, DF, 28 Fev. 1967.

BRATLEY, P.; FOX, L. B.; SCHRAGE, E. L. A guide to Simulation. 2ª Ed. Springer-Verlag. New York: 1987. Cap. 1. *apud* LIMA, Tiago França Melo de. TerraME GIMS – Uma interface gráfica para a descrição de modelos ambientais para a plataforma TerraME. 2010. 98 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

BONGANHA, Carlos André; Guiguer Jr, Nilson; Pereira, Sueli Yoshinaga; Oliveira, Luciana Camargo de; Ribeiro, Maria Lúcia. Conceitos e fundamentos da modelagem matemática para gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos. Analytica, 30, 2007.

CORDEIRO, P. M. de F. O passivo ambiental gerado pela atividade industrial e os reflexos socioambientais de sua desinstalação. Dissertação de Mestrado. CDS/UnB. Brasília. 2003.

CARNEIRO, D. A. Pequenas centrais hidrelétricas. Editora Canalenergia, 2010.

DZ-942.R-7 - Diretriz do Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos - PROCON ÁGUA. Aprovada pela Deliberação CECA nº 1.995, de 10 de outubro de 1990. Publicada no DOERJ de 14 de janeiro de1991.

ELETROBRAS. Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas. Ministério das Minas e Energia. 458 p., 2000.

FERNANDES, R., 2005, Modelação Operacional no Estuário do Tejo, Master Thesis, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

FERREIRA, M. I. P.; PINHEIRO, M. R. C.; VERÍSSIMO, F. A. R. Gestão das águas e índices de qualidade: uma proposta metodológica para classificação e enquadramento do Rio Macaé. Uso de modelos matemáticos na gestão de recursos hídricos/ Organizado por Pedro Paulo Gomes Watts Rodrigues e Jader Lugon Junior - Campos dos Goytacazes (RJ): Essentia Editora, 2012.

IRITANI, M.A. Modelação matemática tridimensional para a proteção das captações de água subterrânea. 1998. 200 f. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998. *apud* BONGANHA, 2007.

LIMA, Tiago França Melo de. TerraME GIMS – Uma interface gráfica para a descrição de modelos ambientais para a plataforma TerraME. 2010. 98 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

LUGON, J. Jr. Estudo Ambiental do Trecho de Vazão Reduzida da PCH Bom Jesus do Itabapoana Utilizando Modelagem Matemática. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, 2013.

WERNECK, L. G.; FULGENCIO, A. G.; SALES, C. W. Conjuntura dos Recursos Hídricos do Município de São Francisco de Itabapoana, RJ. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Campos dos Goytacazes: Essentia Editora, v. 6, n. 1, p. 69-83, 2012.

MARIA, ANU. Introduction to modeling and simulation. 1997.

MARETEC, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. (2012). Descrição do MOHID. Editora Essentia. Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil, p.130. ISBN 978-85-99968-20-8.

NT-202.R-10 - Critérios e Padrões para Lançamento de Efluentes Líquidos. Aprovada pela Deliberação CECA nº 1007, de 04 de dezembro de 1986. Publicada no DOERJ de 12 de dezembro de 1986.

MAGINA, F. C., REIS, B. J., ALVES, M. L., SANTOS, R.J.T.P. Rede de plataformas de coleta de dados para monitoramento automático da qualidade da água do rio Paraíba do Sul. Anais I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, p. 253-261, nov. 2007.

MATOS, A. S. T., Gerenciamento Hídrico Ambiental em Usinas Termoelétricas – Estudo de

Caso dos Efluentes da UTE Mário Lago Associado à Qualidade da Água no Rio Macaé. Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, 2008.

MELLO, F. M. Relatório Final do Projeto Básico. Vol. 1 – Texto ES-1EN0202-B-GL-EGG00-RL-01 -Solosconsult Engenharia Ltda – Outubro de 2009.

SCHRECK, Franziska. Multi-criteria decision aid as a tool in the management of produced water in the offshore oil industry. Dissertação (Mestrado). Estocolmo: Royal Institute of Technology, 2002. Disponível em: <http://www.lwr.kth.se/Publikationer/PDF_Files/LWR_EX_2002_14.PDF>. Acesso em: 13 dez. 2005.

SIEBER, Angela; UHLENBROOK, Stefan. Sensitivity analyses of a distributed catchment model to verify the model structure. Journal of Hydrology, n. 310, p. 216-235, 2005.

TIAGO FILHO, Geraldo Lúcio. Hidroenergia e o Desenvolvimento Sustentável. XIII Seminário Nacional de Gestão e Uso da Água. Rul Grande do Sul. 2010.

VILAS BOAS, C. L. de. Modelo Multicritérios de Apoio à Decisão Aplicado ao Uso Múltiplo de Reservatórios: Estudo Da Barragem Do Ribeirão João Leite. Dissertação (Mestrado). Departamento de Economia da Universidade de Brasília, 2006.

4 ARTIGO CIENTÍFICO 3

REAERATION COEFFICIENT SENSITIVITY ANALYSIS FOR WATER QUALITY RIVER MODELLING

Victor Thauan Ribeiro Costa[1, a], Jader Lugon Junior[1, b], Pedro Paulo Watts Rodrigues[2]

[1]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, IFFluminense
Macaé, Brazil, 27973-030
e-mail: victorthauan@yahoo.com.br; [b]jljunior@iff.edu.br.

[2]Departamento de Engenharia Mecânica e Energia
Instituto Politécnico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, Brazil, 28630-050
e-mail: pwatts@iprj.uerj.br

ABSTRACT

A sensitivity study was performed considering the wind influence and different reaeration empiric equations on the oxygen flux at the air water interface. The mathematical model based on MOHID Water platform was developed to simulate water quality deplection (BOD-DO) for the Itabapoana river, a tropical water body located in Brazil.

KEY WORDS: Sensitivity Study, MOHID, Inverse Problem, water quality, Imtabapoana river.

1. INTRODUCTION

Dynamic models are important tools to assess water quality changes and alternative means to prevent rivers and lagoons anthropic impacts. They can be used to estimate the residence/flushing time of contaminants, to predict their reactions and effects on dissolved oxygen concentration, to study contaminants sinks, sources and behavior of contaminant plumes, or to define mixing zones of discharges. These models are based on well formulated equations from fluid dynamics, their solution yielding the spatial and temporal water properties distribution [1, 2].

The equations are grouped into three sub-models. First of all, the hydrodynamic model uses continuity and momentum equations to describe the water levels and velocities. Then, mass transport is expressed by the advection-dispersion equation, incorporating velocities calculated by the hydrodynamic model. Finally, for non-conservative contaminants, further equations are applied, which describe the reactions involving the contaminant and all

the interactions between the contaminant and other modelled constituents [3, 4].

In this work a coupled hydrodynamic-transport model was applied to an environmental study possible water quality depletion caused by a Small Hydraulic Power Plant installation in Itabapoana river - southeast of Brazilian coast (Fig. 1). The models were built in the MOHID simulator [6]. Then, a sensitivity analysis [5] was performed in order to assess the influence of wind velocities and also the use of different empiric formulation in the control of dissolved oxygen exchange between water column and the atmosphere. The sensitivity analysis is important in such studies not only to give measures of the influence of given parameters in the modelled variable, but also to keep any estimative of these parameters within reasonable confidence bounds.

Fig. 1 : Small Hydraulic Power Plant location.

2. DIRECT PROBLEM

Here the Direct Problem was stated as the simulation of water quality parameters (special focus to Dissolved Oxygen) in the Itabapoana river in the location of the Small Hydraulic Power Plant yet to be built. Fig. 2 presents the bathymetric data used to solve the Direct Problem and adopted points in the sensitivity analysis.

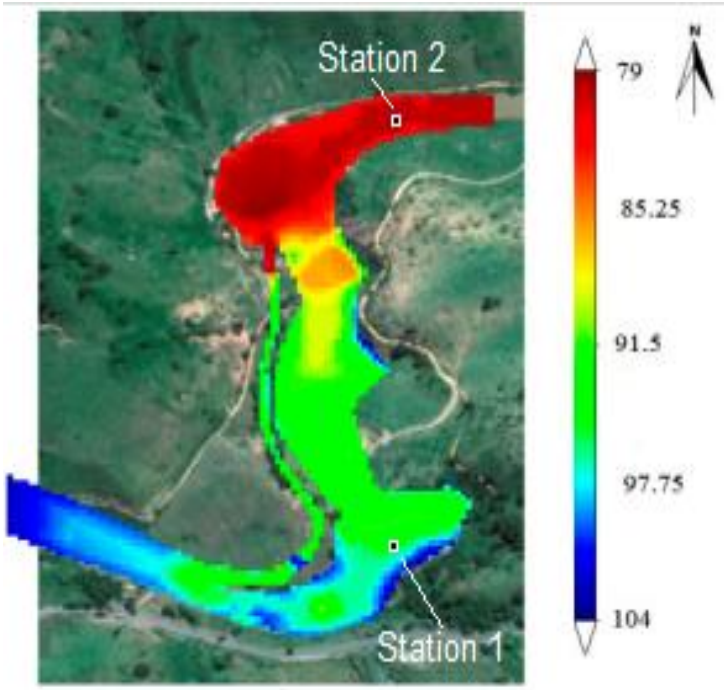


Fig. 2: Representation of the bathymetric data and the points considered for the sensitivity analysis (black).

The flux of oxygen throughout the water-atmosphere interface was modelled as [8]

$$J = K_L(C_s - C) \tag{1}$$

where J is the oxygen flux [g.m-2.d-1]; K_L is the liquid film transfer coefficient for oxygen [m/day]; C_s is the saturation concentration of dissolved oxygen [g/m3]; and C is the oxygen concentration in the water [g/m3].

The MOHID system [7] offers 13 different methods to compute the oxygen flux parameter KL [m/day], all based on wind velocity. The method is chosen using the keyword "AERATION_METHOD" in the file named "ATMOSPHERE". This work considered the one proposed by Gelda et al, 1996 [8] (MOHID default option) and the one proposed by Smith, 1978 [8].

Smith (1978) proposed K_L given by

$$K_L = 0.64 + 0.128.vel^2 \tag{2}$$

The K_L according to Gelda et al. (1996) can be calculated using

$$K_L = \alpha . vel^{\beta} \tag{3}$$

where vel stands for the wind velocity.

If $vel \leq 3.5$ then $\alpha = 0.2$ and $\beta = 1.0$, otherwise $\alpha = 0.057$ and $\beta = 2.0$.

In Fig. 3 are presented the aeration coefficients K_L calculated with different methods offered by MOHID system [7] for velocities from 2 m/s to 5 m/s. One observes that the results are quite different depending on the adopted formulation [9,10,11,12].

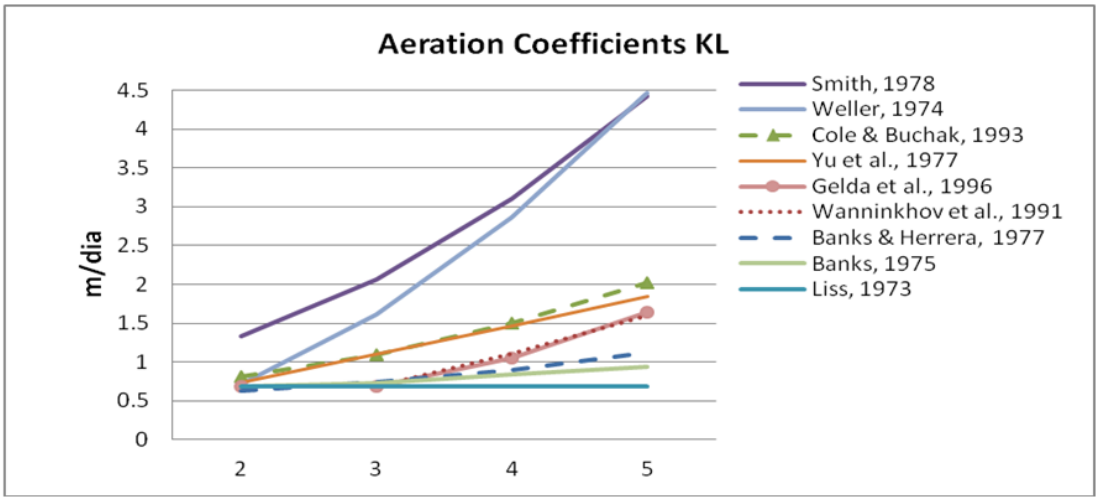


Fig. 3: Different methods used to calculate the K_L aeration coefficient.

3. SENSITIVITY STUDY

The sensitivity analysis plays a major role in several aspects related to the formulation and solution of an inverse problem [5]. Such analysis may be performed with the study of the sensitivity coefficients. Here we use the modified, or scaled, sensitivity coefficients,

$$X_{P_j V_i}(t_i) = P_j \frac{\partial V(x, y, t_i)}{\partial P_j}, \quad j = 1, 2, \cdots, N_p \quad i = 1, 2, \cdots, M \tag{3}$$

where V_i, with $i = 1,2,...,M$, is the observable variable, that is, a particular measurement of tracer concentration, M is the total number of measurements, P_j, with $j = 1,2,...,N_p$, is a

particular unknown of the problem and N_p is the total number of unknowns.

As a general guideline, the sensitivity of the state variable with respect to the parameter we want to estimate must be high enough in order to allow the estimation of the unknown parameter within reasonable confidence bounds. Moreover, when two or more parameters are simultaneously estimated, their effects on the state variable must be independent (uncorrelated), otherwise these different parameters may affect the state variable in the same way, being difficult to distinguish their influences separately, which yields to poor estimations. Therefore, when graphically represented the sensitivity coefficients for two distinct parameters should not have similar behavior [5, 6].

4. RESULTS

As a first approach to understand the effects of wind velocity on the DO concentrations, the model was run considering values between 2 and 4 m/s for this velocity using both Gelda et al. (1996) and Smith (1978) empiric formulations.

From the results presented in Fig. 4 (after the model reached a steady state condition), it is observed that the simulated DO concentrations over the computational domain are almost the same for different wind velocities when Gelda (1996) empiric formulation was used (cases “b” and “d”), but are considerably different when Smith empiric formulation was adopted (cases “a” and “c”).

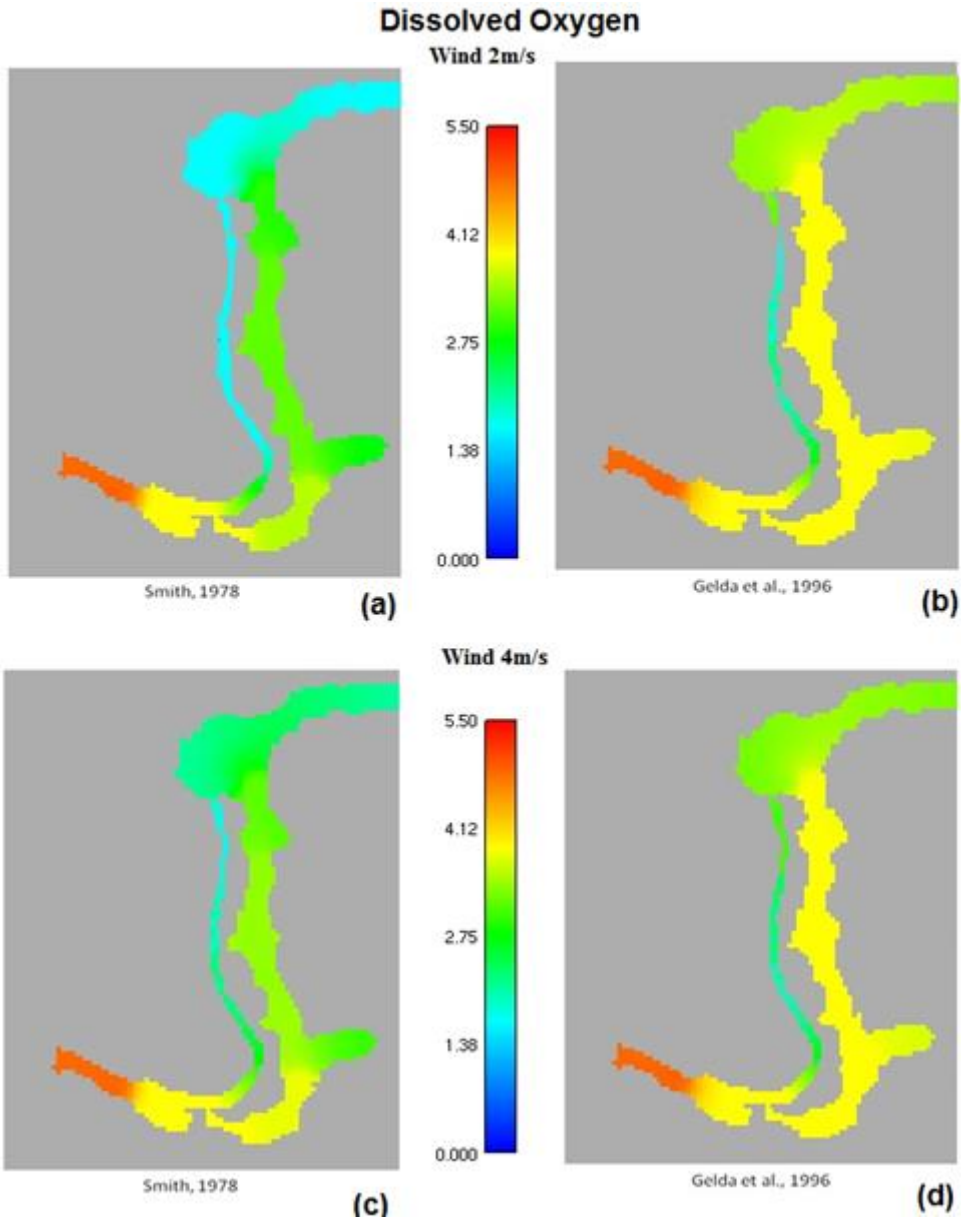


Fig. 4: Simulated results for different wind velocities vel = 2 m/s and vel = 4 m/s and different formulation.

In Fig. 5 are presented the simulations results for Dissolved Oxygen considering different velocities (vel = 1 m/s and vel = 5 m/s) considering Smith (1978) formulation at Stations 1 and 2. One can observe that they are apparently not affected for low wind velocities (vel = 1 m/s and vel = 3 m/s), but are considerably different for higher ones (vel = 4 m/s and vel = 5 m/s).

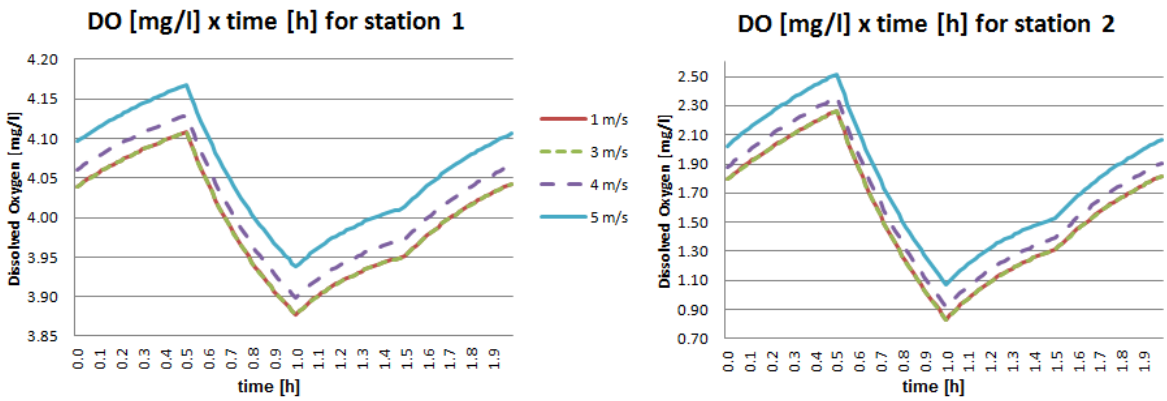


Fig. 5: Simulated Dissolved Oxygen results at Stations 1 and 2 for different wind velocities

Finally, in Fig. 6 are presented the sensitivity coefficients for both stations 1 and 2 considered in this work (see Fig. 2), considering the wind velocity of 3 m/s and using a Central Finite Difference approximation to calculate the derivative. It can be observed that the model is more sensitive to measurements taken on Station 2.

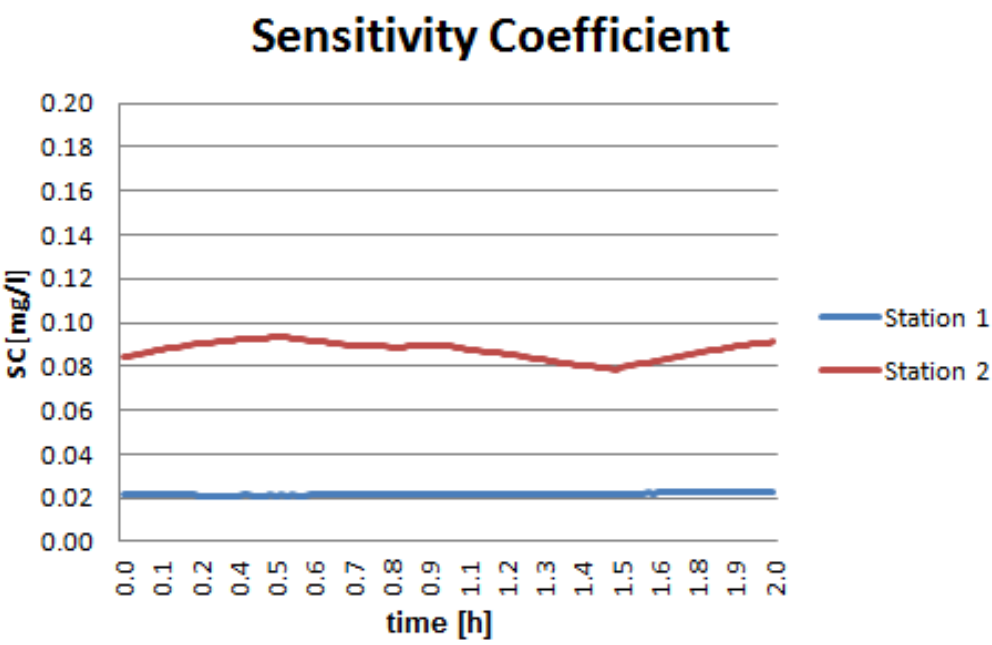


Fig. 6: Sensitivity Coefficient calculated for stations 1 and 2.

5. CONCLUSIONS

The MOHID Water was able to simulate the DO distribution for the Itabapoana river with reasonable results for air-water interface oxygen flux using different wind velocities and different empiric formulation to calculate K_L. It resulted in very similar results when Gelda et al. (1996) formulation was used, even with very different wind velocities, the same did not happened when Smith empiric formulation was used.

The sensitivity of DO concentration on a given point, identified in this work as Station 2, indicated that there could be generated a data set, to be used, for example, to estimate the relevant parameters present in the oxygen flux models, something that could be achieved by means of an Inverse Problem approach.

HONORS

The authors want to thank FAPERJ – Fundação Carlos Chagas de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico and CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior for financial support.

REFERENCES

1. ROSMAN, P.C., 1989, Circulation Models in Shallow Water Bodies, In R.C. Vieira da Silva (Ed.), Numerical Methods in Water Resources, ABRH, Rio de Janeiro, 381 pp. (In Portuguese).

2. RODRIGUES, P.P.G.W, 2003, Modelling Nitrous Oxide Production in Two Contrasting British Estuaries: the Forth and The Tyne. PhD Thesis, University of Newcastle upon Tyne, pp. 155.

3. MALISKA, C.R., 2004, Computational Heat Transfer, LTC, 2nd Edition (in

Portuguese).

4. MARETEC, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2012, Descrição do MOHID, Editora Essentia, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil, p.130. ISBN 978-85-99968-20-8.

5. DOWDING, K. J., BLACKWELL, B. F., COCHRAN, R. J., 1999, Applications of Sensitivity Coefficients for Heat Conduction Problems, Numerical Heat Transfer, Part B, v. 36, pp. 33-55.

6. RODRIGUES, P. P. G. W., LIMA, E. B., SILVA NETO, A. J., LUGON JUNIOR, J., 2009, Modelling and Sensitivity Analysis for Estuarine Hydrodynamics, IX Simposio Internacional de Automatizacion, Havana, Cuba.

7. MOHID DESCRIPTION. Lisboa: Downloads Manuals Mohid. Disponível em: <http://www.project- easy.info/Biblioteca/Uploads/Tools/Models/Mohid_Description.pdf>. Acesso em: 18/07/2011.

8. GELDA, R. K., AUER, M. T., EFFLER, S. W., CHAPRA, S. C. and STOREY, M. L., 1996, Determination of Reaeration Coefficients: Whole-Lake Approach, Journal of Environmental Engineering, April 1996, pp. 269 – 275.

9. COX, B. A., 2003, A review of dissolved oxygen modelling techniques for lowland Rivers, The Science of Total Environment, pp. 303-334, doi:10.1016/S0048-9697(03)00062-7.

10. MISRA, A. K. CHANDRA, P., SHUKLA, J. B., 2006, Mathematical modeling and analysis of the depletion of dissolved oxygen in water bodies, Nonlinear Analysis, v 7, pp. 980-996, doi: 10.1016/j.nonrwa.2005.09.002.

11. HULL, V., PARRELLA, L., FALCUCCI, M., 2008, Modelling Dissolved Oxygen Dynamics in Coastal Lagoons, Ecological Modelling 2II, pp. 468–480, doi: 10.1016/ecolmodel.2007.09.023.

12. CORREA-GONZÁLEZ, J. C., CHÁVEZ-PARGA, M. C., CORTÉS, J. A., PÉREZ-MUNGUÍA, R. M., 2014, Photosynthesis, respiration and reaeration in a stream with complex dissolved oxygen pattern and temperature dependence, Ecological Modeling, v 273, pp. 220-227, doi: 10.1016 /j.ecolmodel.2013.11.018.