

Sistema automático de alerta da qualidade da água do rio Paraíba do Sul – uma aplicação do SISMADEN

Eymar Silva Sampaio Lopes¹
Flávio de Carvalho Magina¹
Mario Luiz Alves²

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Centro de Ciência do Sistema Terrestre - CCST
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
eymar@dpi.inpe.br
flavio.magina@inpe.br

²Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB
Avenida Itambé, 38 - Taubaté - SP, Brasil
mariola@cetesbnet.sp.gov.br

Abstract. The importance in monitoring and alert decision-makers as to the quality of water is a necessity of environmental agencies, both to inhibit the clandestine effluent dump to provide the community as a quality product. This work describes the applicability of SISMADEN as early warning system for water quality in a stretch of the River Paraíba do Sul, where three PCDs were used to demonstrate the efficiency and speed in analyzing the parameters of pH, turbidity and electric conductivity. Only a small part of the potential of the system was used in this first phase, being considered the parameters alone and own PCD as alert. PH thresholds used were those that were more sensitive to identify clandestine waste dump that were made during the dawn by a company.

Palavras-chave: monitoramento, qualidade da água, sistema de alerta, PCD.

1. Introdução

O monitoramento de dados relacionados à qualidade de água em tempo real é importante para a tomada de decisões no que se refere aos diferentes usos que fazemos das águas fluviais, uma vez que os sensores e estações automáticas oferecem hoje uma enorme gama de opções de parâmetros que podem ser investigados, tais como 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 e pH (Reis, 2005).

Desde o ano de 2005, o INPE e a CETESB, através de um convênio de cooperação técnico-científico, operam em conjunto no rio Paraíba do Sul, no trecho paulista, um sistema automático de coleta de dados de qualidade da água composto por sondas automáticas multipâmetro de qualidade da água e por Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) com transmissão de dados via satélites SCD do INPE (Magina et al., 2009).

Neste sistema de PCDs, face à complexidade de obtenção e análise de todos os parâmetros físicos e químicos da água de forma automática, optou-se pelo monitoramento em tempo real de um conjunto de parâmetros básicos, cujas variações temporal e espacial indiquem a ocorrência de poluição de natureza química ou orgânica, sendo: oxigênio dissolvido (OD), condutividade, pH, temperatura da água e turbidez, além da medição do nível da água (cota) e da precipitação pluviométrica no local de instalação da PCD. Os parâmetros selecionados permitem a detecção de variações bruscas na qualidade da água, embora não forneçam informações precisas da natureza desta poluição, sendo possível serem

desencadeados de imediato, os trabalhos de coleta de amostras para análise posterior em laboratório, para verificação da natureza dessas variações.

Grande parte da dificuldade de operação desta rede de PCDs de qualidade da água advém da necessidade de implementação de um subsistema ou módulo que permita desencadear alertas automáticos à equipe de operação da rede de PCDs na ocorrência de uma leitura fora da faixa de operação de algum sensor ou sensores desta rede. Estas leituras errôneas de sensores podem sugerir: a) anomalias no próprio sensor (descalibração ou falha do sensor); b) erros na transmissão/recepção via satélite dos dados e c) variação anormal na qualidade da água indicando despejo clandestino de efluentes ou a ocorrência de algum acidente ambiental. Na ocorrência de um alarme automático indicando uma leitura fora da faixa de operação do sensor, todas as possibilidades de anomalias que podem desencadear o alarme (a, b, ou c acima) deverão ser investigadas e confirmadas pela equipe de operação da rede de PCDs e de controle ambiental da CETESB.

O objetivo desse trabalho é demonstrar a aplicabilidade de um sistema de alerta relacionado à qualidade da água em um trecho da bacia do rio Paraíba do Sul utilizando os parâmetros de condutividade elétrica, turbidez e pH. Para tal objetivo foi utilizado o SISMADEN - Sistema de Monitoramento e Alerta a Desastres Naturais (INPE, 2010) - numa primeira fase de testes a partir de dados coletados pelo SCD (Satélite de Coleta de Dados) de três das quatro PCDs em operação na área de estudo (Figura 1).

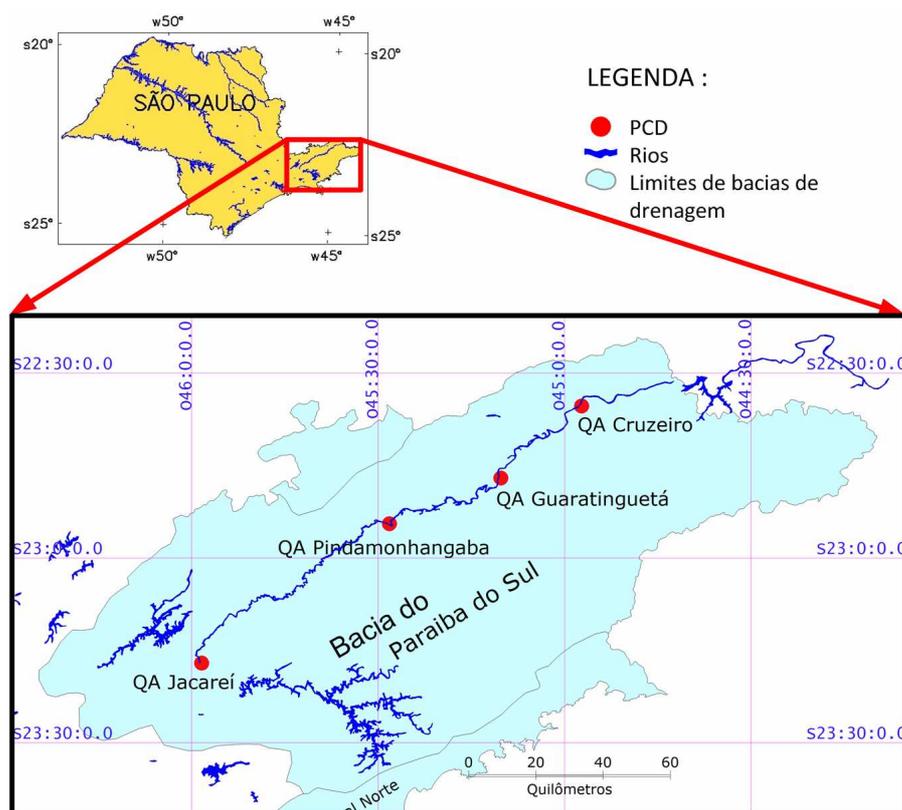


Figura 1. Localização das PCDs na bacia do rio Paraíba do Sul

1.1 Sistema de Alerta

Como parte do planejamento estratégico do INPE – (Plano Diretor 207 – 2011 – Ação estratégica 2.7 - “Promover, consolidar e ampliar o desenvolvimento de softwares abertos, nas áreas espacial e do ambiente terrestre, de interesse da sociedade brasileira”), iniciou o desenvolvimento de um software que permite integrar (cruzar) em tempo real informações de

extremos hidrometeorológicos e climático com mapas de risco ambientais e dar alerta para diversos tipos de desastres naturais. Este software é o SISMADEN – Sistema de Monitoramento e Alerta a Desastres Naturais (www.dpi.inpe.br/sismaden).

O SISMADEN (Figura 2) é um produto de software, um sistema computacional, baseado em uma arquitetura de serviços, aberta, que provê a infra-estrutura tecnológica necessária ao desenvolvimento de sistemas operacionais para monitoramento de alertas de riscos ambientais. O sistema necessita fundamentalmente da entrada de dados representada pelo módulo climático e do mapeamento das áreas de risco. O módulo de informações sobre tempo, clima e hidrologia fornece os parâmetros de tempo, clima e outros extremos ambientais com qualidade de água, através da análise de dados observacionais e/ou previsões numéricas, normalmente disponíveis em centros de meteorologia como o CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) e ambientais como a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). O módulo que guarda informação sobre risco e vulnerabilidade a desastres naturais normalmente é derivado de mapeamentos de diversos institutos de pesquisas como IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), IG (Instituto Geológico), ANA (Agência Nacional de Águas), IF (Instituto Florestal), entre outros.

O núcleo do sistema é um módulo que automaticamente sobrepõe informação ambiental relacionada aos extremos climáticos e hidrometeorológicos aos mapeamentos de áreas potencialmente de risco. A intersecção de toda a informação permite que situações de risco potencial sejam identificadas e venham a alimentar o módulo de análise. O próximo passo é transformar as análises automáticas em alarmes para usuários múltiplos (Defesa Civil entre outros). Esta fase requer a intervenção de analistas humanos altamente treinados para que seja possível identificar alarmes falsos. Finalmente, os alarmes que passarem por testes rigorosos de probabilidade serão enviados às agências responsáveis pelas ações de prevenção e mitigação. Acoplado a este sistema, uma base de dados geográficos adicionais devem permitir o cruzamento e visualização de qualquer mapa ou imagem para auxiliar na tomada de decisão, por exemplo; se uma área de risco a deslizamento está em alerta é importante saber de alguma infra-estrutura (vias de acesso, dutos, etc.) que podem ser afetadas.

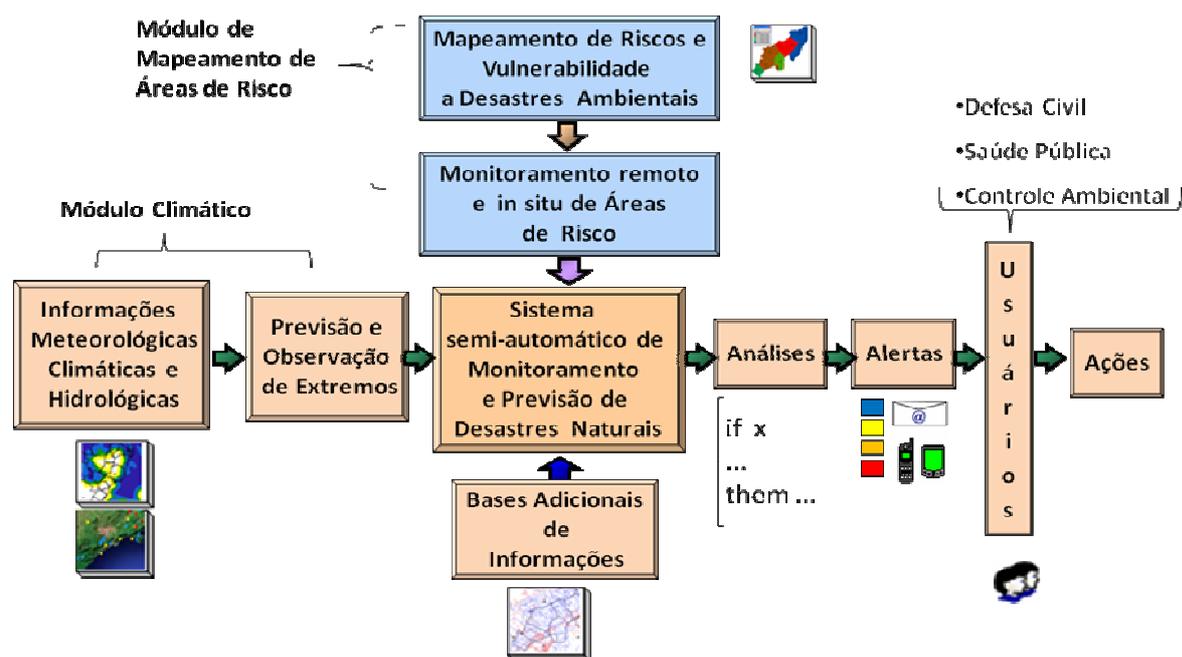


Figura 2. Diagrama básico do SISMADEN

A implementação operacional do sistema pode ocorrer em Salas de Situação de agências operacionais de defesa civil, meteorologia e proteção ambiental. Antes que alertas confiáveis sejam utilizados por usuários-finais, baseados nos quais serão tomadas decisões, técnicos altamente capacitados de agências de usuários-finais farão verificações, inclusive in loco, das áreas identificadas como expostas a riscos, a fim de que possam corrigir e remover possíveis erros.

2. Metodologia de trabalho

Os materiais utilizados neste trabalho estão divididos em bases cartográficas (cartas plani-altimétricas) e dados coletados por três das quatro PCDs da rede, no ano de 2006. O Quadro 1 mostra as PCDs utilizadas no trabalho e na Figura 3 detalhes fotográficos da PCD 32539 instalada e em operação em Cruzeiro-SP.

Código ID da PCD	Município	Localização	Início da operação
32535	Jacareí	Captação de água da indústria Heineken (antiga Kaiser)	Março/2006
32538	Guaratinguetá	Captação de água da indústria BASF	Abril/2005
32539	Cruzeiro	Captação de água da indústria Maxion	Março/2005

QUADRO 1 – PCDs de qualidade da água no rio Paraíba do Sul utilizadas neste trabalho

Para definir os limiares de alerta em cada PCD foram utilizados os parâmetros estatísticos da Tabela 1, obtidos de séries históricas de amostras analíticas coletadas em pontos tradicionais de amostragem da CETESB, localizados no mesmo trecho do rio em que está instalada a PCD de qualidade da água da rede INPE-CETESB.



Figura 3. PCD de qualidade da água instalada em Cruzeiro-SP (Foto: Flávio Magina)

Tabela 1. Estatística resultante do ponto de amostragem com limiares para níveis de atenção e alerta.

PARB 2200 da CETESB aplicável à PCD 32535 (Jacareí)					
	Condutividade	O.D	Temp.Agua	Turbidez	pH
Media	84.5	6.0	23.1	12.0	6.9
DesvPad	36.0	0.9	2.4	32.6	0.2
Média+2*DesvPad	156.6	7.7	27.8	77.1	7.3
Média-2*DesvPad	12.4	4.2	18.3	N/A	6.5
Média+3*DesvPad	192.6	8.6	30.2	109.7	7.6
Média-3*DesvPad	N/A	3.3	15.9	N/A	6.2
Máximo	175.0	7.6	28.0	187.0	7.2
Mínimo	28.0	4.1	18.0	5.3	6.3
PARB 2600 da CETESB aplicável à PCD 32538 (Guaratinguetá)					
	Condutividade	O.D	Temp.Agua	Turbidez	pH
Media	74.5	4.7	23.0	30.0	6.6
DesvPad	29.0	1.2	3.0	35.7	0.2
Média+2*DesvPad	132.4	7.2	29.0	101.3	7.1
Média-2*DesvPad	16.6	2.2	17.0	N/A	6.1
Média+3*DesvPad	161.4	8.4	32.0	137.0	7.3
Média-3*DesvPad	N/A	1.0	14.0	N/A	5.9
Máximo	153.0	7.6	29.0	202.0	7.1
Mínimo	27.0	0.6	17.0	11.0	5.8
PARB 2700 da CETESB aplicável à PCD 32539 (Cruzeiro)					
	Condutividade	O.D	Temp.Agua	Turbidez	pH
Media	74.5	4.9	23.0	26.5	6.7
DesvPad	27.9	1.0	3.0	54.0	0.3
Média+2*DesvPad	130.3	6.9	29.0	134.5	7.2
Média-2*DesvPad	18.7	2.9	17.0	N/A	6.2
Média+3*DesvPad	158.1	7.9	31.9	188.4	7.5
Média-3*DesvPad	N/A	1.9	14.1	N/A	5.9
Máximo	156.0	7.0	30.0	312.0	7.2
Mínimo	30.0	3.0	17.0	11.0	5.7
Legenda de cores (N/A = Não se aplica)					
	Níveis para o estado de ATENÇÃO				
	Níveis para o estado de ALERTA				

Os dados das PCDs foram inseridos num banco de dados de estudo, pois nesta opção o SISMA DEN oferece uma assistente para executar os modelos de análise passo a passo. A linguagem utilizada para descrever as regras de análise é LUA (Lerusalimschy et al., 2006). A Figura 4 mostra o programa utilizado para análise do pH. Programas semelhantes foram aplicados para as leituras de turbidez e condutividade da água, porém com os limiares segunda a Tabela 1.

```

local var1 = maximo('pcd', 'ph', codpcd)
print (codpcd, nomepcd, var1)
if var1 ==nil or (var1 > ph_n_min and var1 < ph_n_max) then
  return 0 -- Normal
elseif (var1 > ph_at_min and var1 <= ph_n_min) or (var1 > ph_n_max and var1 <= ph_at_max) then
  return 2 -- Atencao
elseif (var1 > ph_al_min and var1 <= ph_at_min) or (var1 > ph_at_max and var1 <= ph_al_max) then
  return 3 -- Alerta
else
  return 4 -- Alerta maximo
end

```

Figura 4 – Programa em LUA utilizado para análise do pH.

3. Resultados e Discussões

Os resultados das análises do PH, turbidez e condutividade são apresentados na forma de figuras em formato JPEG, no caso a própria PCD é destacada na tela com a cor correspondente ao alerta (amarelo = atenção, laranja = alerta, vermelho = alerta máximo para valores anômalos). Para estado normal a PCD não acende.

Os resultados de pH mostram recorrência no estado de alerta da PCD de Jacareí sempre às 4 horas da manhã. Note na Figura 5 mostra essa recorrência do alerta. Posteriormente foi identificado que se tratava de liberação clandestina de efluentes por parte de uma empresa.

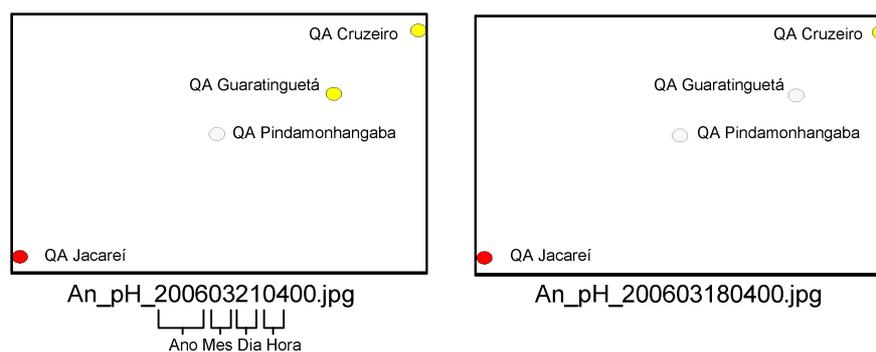


Figura 5. Resultados das análises de pH em dois horários de coleta.

Os resultados condutividade apresentaram suaves variações na PCD de Jacareí, que também estão associadas aos efluentes despejados no rio.

Para a turbidez, os resultados apresentaram algumas variações no período analisado, mas não estão diretamente associados ao despejo clandestino e as leituras com valores altos deste sensor podem estar associadas com a ocorrência de chuvas à montante da PCD.

Os mesmos resultados acima puderam ser verificados no aplicativo WEB do SISMADEN e na notificação enviada automaticamente por uma mensagem eletrônica no endereço de um usuário, simulando a utilização do sistema de alerta no caso de um banco em operação 24horas, com coleta em tempo real. A Figura 6 mostra a janela principal do aplicativo WEB. Note que quando há algum alerta, resultante de qualquer análise, este aparece no canto inferior esquerdo da janela. Este aplicativo só é disponível para um usuário quando este é cadastrado e a análise é habilitada para este.

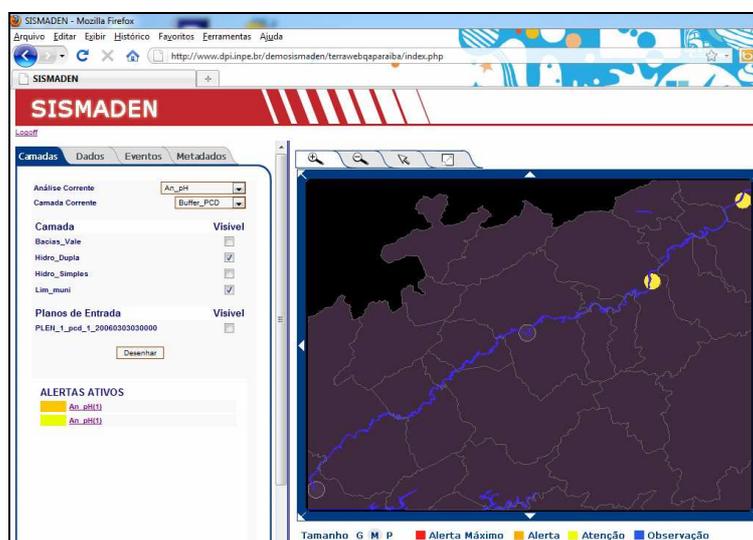


Figura 6. Tela de apresentação WEB de alerta do SISMADEN das PCD no rio Paraíba do Sul.

4. Conclusões

A utilização integrada do SISMADEEN com a rede de PCDs de qualidade da água INPE-CETESB demonstrou um potencial enorme na geração de alertas automáticos da qualidade da água no rio Paraíba do Sul. Estes alertas automáticos são extremamente úteis à equipe de operação para a detecção de anomalias dos próprios instrumentos e sensores do sistema de PCDs, além disso, se confirmada a operação normal dos sensores, podem desencadear ações de fiscalização e controle da poluição das águas deste rio. De forma antecipada, os alertas também podem auxiliar na tomada de decisão quanto à captação para abastecimento humano e industrial, o uso na agricultura e da pesca.

Agradecimentos

Ao Comitê de Bacias Hidrográficas do rio Paraíba do Sul (CBH-PS) pelo apoio e suporte financeiro através do Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) para instalação da rede de PCDs de qualidade da água; aos parceiros industriais: Heineken de Jacareí, Basf de Guaratinguetá, Maxion de Cruzeiro e SABESP de Pindamonhangaba pelo apoio logístico e também financeiro para instalação das PCDs de qualidade da água em suas dependências.

Referências

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. **Sistema de Monitoramento e Alerta a Desastres Naturais – SISMADEEN**. 2010. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/sismaden/>>. Acesso em: 1.nov.2010.

Barbosa, C.C.F. **Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento**. 1997. 152p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos.

Lerusalimschy, R.L.H.; Figueiredo, L.H.; Celes Filho, W. **Lua - an extensible extension language software: Practice & Experience** 26:6, 635-62, 1996.

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 do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, Natal - RN, 25-30 de abril de 2009, Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.16.00.40/doc/4755-4763.pdf> . Acesso em: 14. nov. 2010.

Reis, B.J. O rio Paraíba do Sul é monitorado por satélite. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia (BSBMET)**, v. 29, n. 2, jul. 2005, p. 76-81, ISSN-1676-014-X.