

Sistema de Monitoramento em Tempo Real da Qualidade da Água para Reservatórios de Usinas Hidrelétricas

Andouglas G. S. Júnior, Davi H. dos Santos, Álvaro Negreiros, Justo Jacobo, João M. Silva, Luiz Gonçalves

Departamento de Engenharia da Computação e Automação

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN.

andouglasjr@gmail.com, davihenriqueds@gmail.com, alvarodenegreiros@hotmail.com,

justo.alvarez@gmail.com, joao.vilasboas@ifrn.edu.br, lmarcos@natalnet.br

Rafael V. Aroca

Departamento de Engenharia Mecânica

Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP

Email: rafael.aroca@gmail.com

Resumo—Propomos um sistema mecatrônico para monitoramento da qualidade da água com o propósito de ser aplicado em reservatórios de usinas hidrelétricas. O sistema proposto é capaz de realizar, de forma automática, a coleta, processamento e apresentação dos dados via web, em tempo real, com o intuito de facilitar a sua análise de forma rápida e precisa pelos atores interessados. As arquiteturas de hardware e software do sistema de monitoramento foram desenvolvidas de forma que o mesmo possa ser genérico, dando suporte a diferentes aplicações. Não obstante, a título de validação do sistema proposto, construímos um protótipo embarcado em um veleiro robótico autônomo, plataforma responsável por coletar os dados em vários pontos pré-definidos a partir de uma estação de terra, com um sistema de planejamento de navegação. O sistema também pode ser usado em boias fixas, em pontos estratégicos.

I. INTRODUÇÃO

A água é uma substância inorgânica de fundamental importância para a existência dos seres vivos, atingindo percentual médio de 75% de toda a matéria viva [1]. Ela atua como solvente de dispersão universal de compostos orgânicos e inorgânicos, sendo essencial nas reações biológicas e químicas, funcionando como veículo de transporte que realiza a troca de substâncias intra e extracelular e é importante como reagente no processo de transformações moleculares. Não obstante, no processo de análise de licitação para construção e operação de usinas hidrelétricas, visando a manutenção do meio ambiente, é necessário seguir algumas normas estabelecidas pelos órgãos de fiscalização. No Brasil, o órgão responsável por regulamentar leis relacionadas a mudanças consideráveis no meio ambiente é o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) [2]. É possível executar a gestão ambiental de forma sólida observando essas normas desde as fases iniciais de projeto, passando pela etapa de construção e continuando ao longo da vida útil da usina, ou seja, em seu processo de operação. O plano de diretrizes para construção de barragens [3] apresenta algumas normas, estabelecidas pelo CONAMA, para que o processo de construção e operação de usinas pos-

sam ser liberadas licitamente. No que diz respeito à qualidade da água, o plano afirma que esta deverá ser acompanhada através de um programa de monitoramento do reservatório, o qual deverá ser concebido em função das atuais condições do corpo hídrico e das previsões de alterações da qualidade da água com a formação do lago.

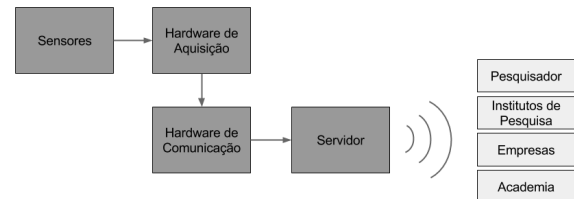


Figura 1. Fluxo de funcionamento do sistema proposto.

Analisando, então, a importância da água para os seres vivos, a necessidade de operação e construção de barragens para usinas hidrelétricas e a necessidade de monitoramento exigido pelos órgãos responsáveis pela fiscalização dessas obras, propomos um sistema mecatrônico de monitoramento da qualidade da água que fornece dados de parâmetros físico-químicos em tempo real, disponibilizando os dados através da internet para os órgãos gestores, empresas, institutos de pesquisas ou usuários interessados a fiscalizar e mitigar situações de problemas ambientais causado por essas construções. O funcionamento básico do sistema pode ser visto no diagrama de blocos apresentado na Figura 1. Basicamente, o sistema adquire dados de sensores adquiridos especificamente para medir variáveis da qualidade da água por meio de um hardware de aquisição comandado por um computador central de controle. Esse computador recebe os dados, processa-os e envia-os para um servidor Web. O servidor disponibiliza esses dados em uma página dinâmica, atualizando gráficos em tempo real, podendo ser acessado por qualquer usuário interessado em

utilizar os dados coletados. Adotamos o kit de sensores básico da Atlas Scientific, que monitora alguns parâmetros físico-químicos da qualidade da água, como: pH, temperatura, POR, condutividade e quantidade de oxigênio.

No presente trabalho, o sistema foi embarcado no veleiro robótico autônomo N-Boat, desenvolvido pelo laboratório NatalNet da Universidade Federal do Rio Grande de Norte, de forma a utilizar as vantagens de movimentação e autonomia para uma melhor análise dos parâmetros de qualidade da água. Além disso, notamos que o sistema pode também ser aplicado através de boias estrategicamente localizadas para monitorar com uma maior abrangência e de forma paralela todos os pontos necessários para o estudo da qualidade da água do corpo d'água.

II. ESTADO DA ARTE

Os sistemas de monitoramento remoto em tempo real (RTRM) apresentam-se como soluções interessantes para a aquisição remota de dados relativos à qualidade da água. O desenvolvimento do setor tecnológico permitiu avanços nas áreas de comunicação de redes e foi fundamental para o projeto e construção desses sistemas de monitoramento [4]. Alguns programas de pesquisa que estudam e aplicam conhecimentos na área de RTRM voltadas para análise da qualidade da água serviram como base para a construção do sistema proposto neste trabalho, entre eles destacamos os sistemas com estações fixas e móveis.

Entre os sistemas com sensores fixos, o NEMRP - *Neuse Estuary Monitoring and Research Program* [5] - mantém uma rede de 18 estações e de 4 a 10 plataformas autônomas de monitoramento remoto em tempo real e fornece os dados obtidos para pesquisadores e aplicações educacionais. Essas estações fixas são montadas de forma estratégica no rio Neuse (North Caroline, EUA). Um sistema web armazena dados dos sensores. O projeto DNREC - Delaware Department of Natural Resources and Environmental Control [6] foi desenvolvido em parceria com a Universidade de Delaware (*College of Engineering, Newark*). O DNREC tem uma plataforma RTRM completa para análise da água. Similar ao NEMRP, o sistema adquire, analisa e disponibiliza dados relativos a qualidade da água em tempo real. A BTM - Bermuda Tested Mooring [7] - fornece dados oceanográficos desde 1994. Ao sul de Bermuda, essa plataforma coleta dados meteorológicos e da qualidade da água oceânica. Entre os dados, pode-se destacar o sensoramento de temperatura, corrente, condutividade, características relativas a propriedades óticas e quantidade de nitrato. Esse projeto pode ser comparado a boias meteorológicas bastante utilizadas por institutos de pesquisas.

Na classe de sensores móveis, o projeto MARVIN - *MERHAB Autonomous Research Vessel* [8] - consiste em um barco autônomo utilizado para monitorar a qualidade da água. Com sensores de pH, condutividade, temperatura e turbidez, o MARVIN é capaz de fornecer dados de parâmetros biológicos, físicos, químicos e meteorológicos de vários pontos do reservatório e enviá-los, via satélite, através de uma antena à bordo do barco. O Mote Marine Laboratory [9] é um laboratório

composto por cientistas e exploradores localizado na Flórida, cujo foco é o monitoramento da água para manutenção da vida marinha. Entre os vários projetos desenvolvidos por eles, destaca-se um veículo autônomo subaquático (AUV) desenvolvido para análise de vários parâmetros relativos à qualidade da água. O AUV foi utilizado, por exemplo, em pesquisas relacionadas às várias classes de fitoplânctons e no mapeamento das marés vermelhas no Golfo do México. A grande vantagem desse sistema é que todo o veículo está submerso, podendo distribuir melhor os sensores e atingir áreas profundas. Outro fator interessante é que ele é capaz de analisar dados sem a necessidade de aparato laboratorial, permitindo uma análise mais precisa dos indicadores de qualidade da água in-loco. No entanto, a análise dos dados é feita pelos cientistas e pesquisadores do laboratório que são os únicos que têm acesso ao resultado, não sendo disponibilizados, automaticamente, para a comunidade de usuários.

III. VARIÁVEIS DE ANÁLISE DA ÁGUA

Na análise da qualidade da água de reservatórios, rios ou lagoas, ou do mar, algumas variáveis, também conhecidas como parâmetros físico-químicos, são fundamentais para estudos precisos e para a busca de soluções para problemas da fauna e flora marítima. Os parâmetros utilizados neste projeto são cinco: oxigênio dissolvido, pH, condutividade, POR e temperatura. Piveli [10] ressalta que, tanto para processos de respiração aeróbica, como é o caso do oxigênio dissolvido, como para a manutenção de um ambiente que possibilite a realização de reações químicas importantes para a vida, como é o caso do pH, a análise desses dois parâmetros é de fundamental importância para se ter a vida. Sabe-se que o oxigênio é um gás pouco solúvel em água, variando a solubilidade entre 15mgL^{-1} a 0°C até 8mgL^{-1} a 25°C , dependendo da pressão (ou altitude) e sais dissolvidos [11]. O oxigênio dissolvido é o principal parâmetro para a caracterização dos efeitos de poluição por despejos orgânicos. Os valores para o oxigênio dissolvido em qualquer amostra não pode ser inferior a 6mgL^{-1} [2]. No caso do pH, seu valor indica acidez ou alcalinidade da solução e tem variação em uma escala de 0 a 14. Valores próximos a 7 correspondem à neutralidade da solução, maiores que 7 representam alcalinidade e menores que 7 acidez. As maiores variações neste índice se dão pelo despejo de origem doméstica ou industrial. Segundo Libanio [12], alguns organismos aquáticos, como o fitoplâncton e o zooplâncton, estão, geralmente, adaptados às condições em que o pH é neutro, e as alterações bruscas no pH da água podem ser prejudiciais para tais organismos.

A água em seu estado puro possui a capacidade de solubilização de substâncias, principalmente sais, fazendo com que as águas naturais apresentem um grande valor de condutividade elétrica. Essa condutividade depende da estequiometria do mineral dissolvido (ânions e cátions presentes) e da sua concentração [13]. A condutividade aumenta também com a temperatura [12]. A condutividade é expressa em *microSiemens* por centímetro (μScm^{-1}) e apresenta características similares aos sólidos totais dissolvidos. Em águas naturais,

pode apresentar valores inferiores a $100\mu Scm^{-1}$, podendo atingir até $1.000\mu Scm^{-1}$ quando as águas recebem cargas de efluentes domésticos e industriais [11], [12]. A temperatura pode influenciar nos processos biológicos, reações químicas e bioquímicas e na solubilidade de gases dissolvidos. Esse parâmetro é importante para a atividade biológica, sendo o principal fator limitante na distribuição geográfica de muitas espécies de plantas e animais [14]. As águas são classificadas como frias quando a média da temperatura anual é de $19^{\circ}C$ ou menores. A legislação brasileira não estabelece temperatura máxima para a água, os padrões canadenses e americanos estipulam como valor máximo $15^{\circ}C$ [12]. O potencial redox (POR) mede a capacidade do ambiente de fornecer elétrons a um agente oxidante, ou em retirar elétrons de um agente redutor, caracterizando o estado oxidação-redução na água. O potencial redox é expresso normalmente em mV [11]. Além disso, a partir dos valores de POR, é possível analisar a existência de metais como ferro e manganês [15].

Há vários outros parâmetros que também podem ser utilizados para a indicação da qualidade da água, como, por exemplo, o nitrito e o nitrato, importantes no processo de identificação da possibilidade de vida aquática. Porém, os parâmetros apresentados anteriormente são os mais encontrados, desde aplicações com alto grau de complexidade, até aplicações simples. Deste modo, com o intuito de disponibilizar dados de interesse no processo de análise da qualidade da água e para validar o sistema proposto, as variáveis adotadas neste projeto são: pH, condutividade, temperatura, concentração de O_2 dissolvido e POR.

IV. SENSORES

Para cada variável apresentada na Seção anterior, um sensor é utilizado para capturar a informação de interesse. Para tal, um estudo de sensores voltados para este fim foi realizado e, pela simplicidade de utilização em sistemas embarcados e o seu baixo custo, o kit da Atlas Scientific [16], mostrado na Figura 2, foi escolhido para ser utilizado neste projeto. Este kit apresenta sensores de pH, condutividade, temperatura, concentração de O_2 e POR. O custo do kit, juntamente com produtos químicos para calibração, é de \$713,95.



Figura 2. Kit de sensores adquiridos para o projeto.

Além do baixo custo, esse kit apresenta uma interface para sistemas embarcados que facilita sua utilização. Na aquisição deste Kit, além dos sensores, são adquiridos também os conectores e pequenas placas de circuito chamadas de EZO™. Essas placas recebem os sinais dos sensores e através de circuitos integrados convertem o sinal para a unidade

correspondente de cada sensor, facilitando assim a aquisição dos dados. Além disso, os EZOs permitem fazer calibrações nos sensores, armazenam informações de compensação, já que apresenta memória EEPROM¹ interna e comunica-se com microcontroladores ou microprocessadores através dos protocolos *UART* e *I²C*.

A. Arquitetura de Hardware do Sistema

A arquitetura de hardware proposta é dividida em 5 módulos: sensoriamento, comunicação, persistência, atuação e telemetria. Além disso, apresenta um computador central e um servidor para a disponibilidade dos dados. A figura 3 mostra a arquitetura de hardware de alto nível.

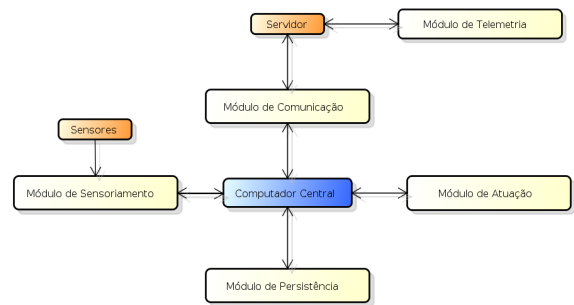


Figura 3. Arquitetura de Hardware de Alto Nível.

O **computador central** dessa arquitetura consiste em um Raspberry Pi (RPi) modelo B. Esse modelo tem 256 MB de memória RAM e um processador 700Mhz e sua arquitetura possibilita o desenvolvimento de diversos projetos de sistemas embarcados através dos pinos GPIO (26 pinos nesta versão), que facilitam a interação com outros hardwares.

O **módulo de sensoriamento** é utilizado para adquirir os dados dos sensores e enviá-los para a unidade de processamento (computador central). Ele oferece suporte a 8 sensores analógicos e aos sensores do kit da Atlas Scientific que são utilizados para o monitoramento da qualidade da água. Os componentes desse módulo são os sensores, o ADC MCP3008, que se comunica com o Raspberry via protocolo SPI e os EZO™s do kit de sensoriamento da qualidade da água, que se comunicam via *I²C*.

Pensando na necessidade de se adquirir dados para diferentes profundidades foi adicionado um módulo que permite que os sensores sejam inseridos e retirados da água a partir de tempos determinados, o **módulo de acionamento**. Desse modo, em pontos especificados o computador central envia sinais, que fazem com os sensores sejam colocados na água a uma determinada profundidade. Após a coleta dos dados, a partir de um tempo definido, os sensores podem mudar de profundidade ou, finalizando a operação do sistema, serem retirados da água. Esse módulo é composto por um microcontrolador AtMega que se comunica com o computador central sobre o protocolo *I²C*.

¹Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory

O **módulo de comunicação** é responsável por disponibilizar os dados adquiridos dos sensores para o servidor. O sistema utiliza tecnologia WiFi e 3G. Com o intuito de criar uma rede interna para acesso remoto, está sendo utilizado um roteador Wifi, para transmitir e receber dados do servidor. Já o **módulo de persistência** consiste em uma camada existente no próprio computador central e em um servidor externo que utilizará o MySQL para armazenamento de dados. Esse módulo é de fundamental importância, visto que, caso ocorra algum problema no sistema de comunicação, os dados não serão perdidos, permanecendo arquivado por um determinado período de tempo. Além disso, possibilita ao usuário visualizar dados que não estão sendo mostrados nos gráficos de tempo real no momento da requisição.

Por fim, o **módulo de telemetria** consiste na comunicação do sistema com os consumidores dos dados monitorados. Corresponde ao servidor Web, que também faz parte do módulo de comunicação, e a própria interface web. O servidor Web é um *servlet* Java rodando no próprio Raspberry e no servidor remoto. Esse servidor permite a comunicação com o Raspberry a partir de comunicação socket. Dessa forma, é possível receber os dados dos sensores adquiridos no módulo de sensoriamento e enviá-los, a partir de requisições AJAX, através da página dinâmica usando JSP. A página JSP apresenta os dados dos sensores em tempo real a partir de gráficos que se atualizam automaticamente a medida que novos dados são recebidos. Além disso, o sistema possibilita, a partir de normas definidas por órgãos gestores, verificar a qualidade do parâmetro em tempo real. Por exemplo, segundo o [2], o valor do pH da água potável precisa estar numa faixa entre 6 e 9. A partir dessa informação, o sistema verifica os dados e apresenta na tela se está ou não dentro desses valores desejados.

A figura 4 mostra o diagrama do sistema completo com os correspondentes protocolos de comunicação.

B. Arquitetura de Software

Assim, como para um bom funcionamento de um sistema mecatrônico é necessária uma arquitetura de hardware bem definida, como apresentado na seção anterior, também é necessário definir uma arquitetura de software que faça com que os componentes de hardware interajam entre si, fazendo com que o sistema funcione como o esperado.

Nesse sistema, são necessários dois programas principais: um embarcado no Raspberry e tem a função de ler os dados dos sensores, processá-los caso necessário e enviá-los para o servidor remoto; já o outro é justamente o processo no servidor, que irá receber os dados enviados do outro processo e gerenciar as solicitações da interface do cliente.

1) *Processo embarcado no Sistema*: O processo embarcado no sistema precisa ser capaz de receber, processar e enviar os dados dos sensores sem interferir no processamento em tempo real do sistema. Para isso, foi projetada uma arquitetura que possibilitasse ao sistema funcionar, adaptando-se a algumas características dos sensores, como a necessidade de espera de 1 segundo para o tempo de resposta dos EZOs. Além disso, este também deve ser capaz de acionar o sistema mecânico,

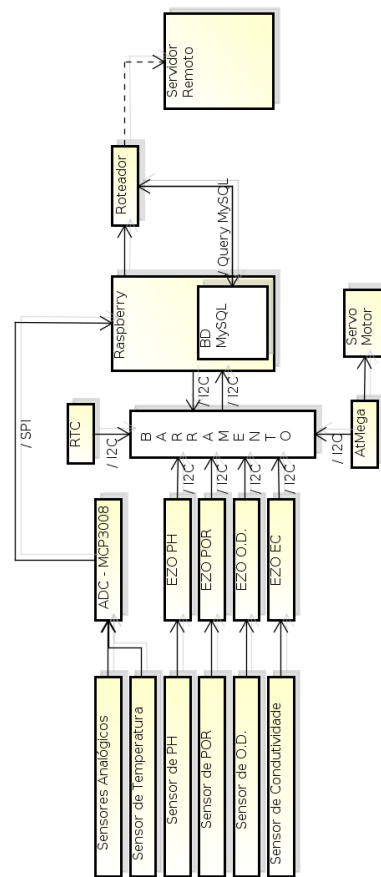


Figura 4. Arquitetura Completa.

inserindo e retirando os sensores da água. A figura 5 mostra a arquitetura projetada.

Ao iniciar o processo, um servidor *socket* é aberto para aguardar a conexão do cliente e o comando de inicialização do sistema. Ao receber o comando, o sistema mecânico é acionado, fazendo com que o sensor seja colocado na água. Quando o sistema mecânico finaliza a execução é inicializada a *thread* de aquisição de dados dos sensores. O programa principal fica aguardando a finalização da *thread* ou algum comando de finalização do sistema. Depois de adquiridos, os dados são armazenados no banco de dados e enviados via socket para o servidor. O socket é fechado e o processo recomeça até sua parada ser forçada.

2) *Processo do Servidor*: O processo do servidor precisa receber os dados enviados do processo embarcado no sistema, identificar de qual sensor corresponde aquele dado e armazená-los em uma variável para posteriormente serem enviados para a interface web. Ao mesmo tempo, esse processo precisa gerenciar as solicitações do cliente, enviando os dados requeridos e apresentando-os na tela. A figura 6 mostra esse funcionamento com diagrama de blocos.

Através dessas arquiteturas foi possível desenvolver um sistema robusto e completo, capaz de realizar tarefas de monitoramento das variáveis físico-químicas da água e de comunicação com o servidor para a disponibilidade dos dados

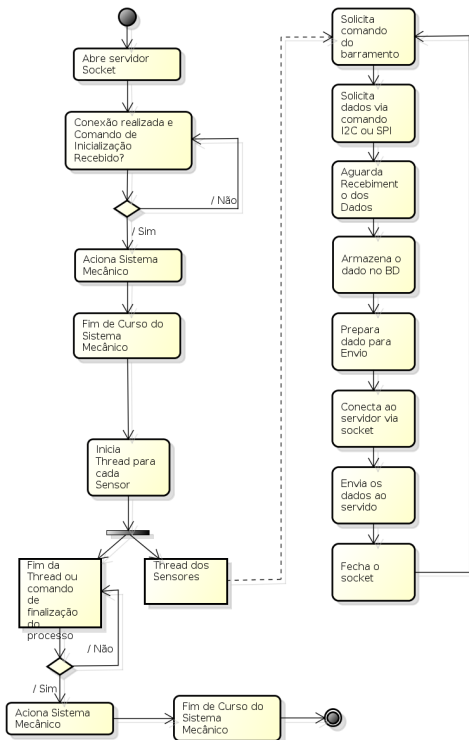


Figura 5. Algoritmo do processo do Sistema.

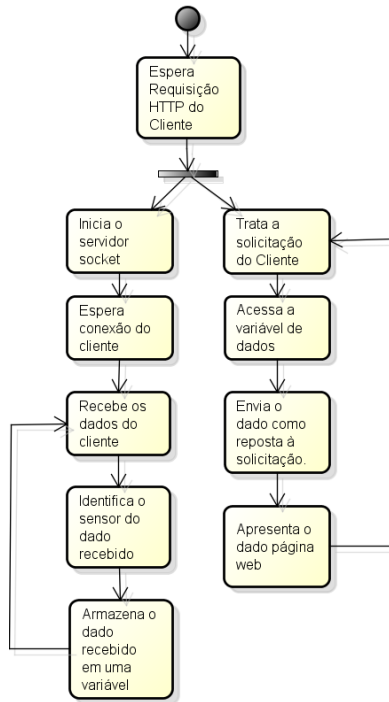


Figura 6. Algoritmo do processo do Servidor.

coletados. O sistema completo é apresentado na figura 8. O protótipo eletrônico do sistema pode ser visto na figura 7 com os módulos apresentados da seguinte forma: 1) Computador Central; 2) Módulo de Sensoriamento - Circuito MCP3008; 3)

Computador Centrao - Circuito RTC; 4) Módulo de Sensoriamento - Circuito EZOs; 5) Módulo de Acionamento - Circuito AtMega.

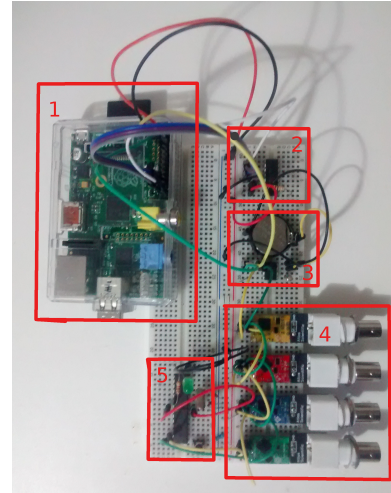


Figura 7. Protótipo do Circuito Eletrônico Completo.



Figura 8. Sistema Completo.

V. EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Com o sistema em funcionamento, foram realizados experimentos para comprovar o seu conceito e sua aplicação para monitoramento da qualidade da água. Para tal, colhemos amostras de água em 5 lugares diferentes: Rio Pium, Lagoa de Alcaçuz “Riozinho” (nascente próximo à lagoa de Alcaçuz, em 2 locais) e Lago Azul. A figura 9 mostra a localização de cada um dos lugares de coleta, sendo dois deles em lagoas dunares de Natal. No mapa, o ponto “A” indica o posicionamento de Natal, capital do Rio Grande do Norte. Todas as 5 amostras foram coletadas no dia 25 de setembro de 2015.

Vale reforçar que no local que chamamos de “Riozinho” foram coletados duas amostras. A primeira foi adquirida diretamente da nascente. A segunda, um pouco mais distante da primeira, sofre constante interferência da ação humana devido a passagem de veículos off-road (quadriciclos, buggies e jipes), modificando, a verificar, os seus parâmetros físico-químicos.

A figura 10 mostra os gráficos obtidos para o Lago Azul. É importante perceber algumas situações que podem ser vistas a partir da análise dos gráficos. Por exemplo, tanto o



Figura 9. Mapa com os lugares de coleta de dados.

sensor de pH como o de POR mostram uma variação brusca próximo da amostra 100. Isso aconteceu porque os sensores foram inseridos na água depois que o sistema já havia sido ligado. Tanto o gráfico de oxigênio dissolvido, quanto o de temperatura não variam consideravelmente.

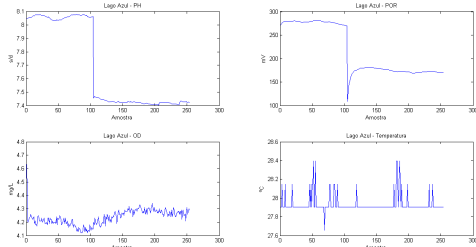


Figura 10. Gráficos do Lago Azul.

A figura 11 apresenta os valores obtidos para a lagoa de Alcaçuz. Como era de se esperar, não houve variações bruscas se comparado ao lago azul. A maior variação aconteceu com relação ao POR que não chegou a se estabilizar completamente e alcançou níveis próximos a 250mV.

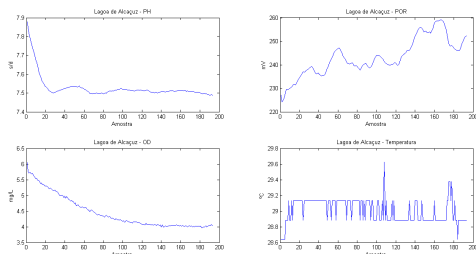


Figura 11. Gráficos da Lagoa de Alcaçuz.

Os gráficos dos dados obtidos para o Rio Pium são mostrados na figura 12. Uma análise interessante é uma pequena variação para o oxigênio dissolvido entre as amostras 100 e

160. Isso mostra como a análise pontual e única, como é o caso do processo manual, pode adquirir valores errôneos.

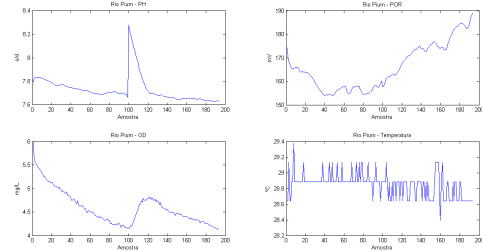


Figura 12. Gráficos do Rio Pium.

Como apresentado anteriormente, para o “Riozinho” foram coletadas duas amostras. Uma na nascente (Figura 13) e uma segunda, que sofre interferência humana devido a passagem de veículos pela água (Figura 14). O da nascente se encontra com valores de pH neutros, oxigênio dissolvido próximo de 4 mg/L, POR próximo de 350 mV e temperatura estável e próximo aos 29 °C.

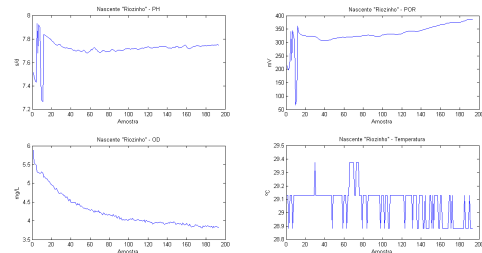


Figura 13. Gráficos do “Riozinho”.

Já a segunda amostra apresenta variações nesses valores. Por exemplo, o pH modificou para valores menores que 6, saindo da faixa considerada como boa. Também houve queda no valor do oxigênio dissolvido.

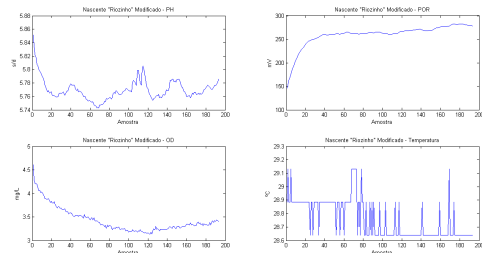


Figura 14. Gráficos do “Riozinho” com Modificações.

A. Ambiente Web

Assim como mostrado em algumas imagens dos resultados apresentados, a página de interface web apresenta os gráficos no lado esquerdo e o valor da última medição e da qualidade da água no lado direito (Figura 15).



Figura 15. Interface Web.

A qualidade apresentada é baseada em alguns parâmetros do CONAMA ou normas internacionais, como por exemplo o pH, que precisa estar entre 6 e 9 para a água ser considerada potável.

VI. CONCLUSÃO

Diante das normas estabelecidas pelos órgãos de normatização e fiscalização relativos à construção e operação de barragens para usinas hidrelétricas e percebendo a necessidade de ter um sistema de monitoramento, em tempo real, para avaliar as mudanças do meio ambiente, mais precisamente dos parâmetros físico-químicos da água, propomos um sistema mecatrônico de monitoramento da qualidade da água, que pode ser utilizado tanto em boias como em veleiros robóticos autônomos, disponibilizando os dados na internet por meio de uma interface web.

Analisando os experimentos e resultados percebe-se a eficácia do sistema e a sua precisão no monitoramento da qualidade da água. Mudanças no comportamento ou no padrão do reservatório podem ser facilmente detectadas através do sistema, permitindo uma atuação mais rápida e precisa na mitigação da operação das usinas hidrelétricas para o meio ambiente.

As próprias empresas de energia, ou os órgãos de fiscalização, as organizações do meio ambiente, ou mesmo os moradores podem ter acesso a esses dados, facilitando assim a solução de possíveis problemas relativos à gestão, pelas empresas responsáveis pela manutenção do meio ambiente devido às mudanças provocadas pela construção das usinas.

REFERÊNCIAS

- [1] J. L. Soares, *Biologia: volume único*. Scipione, 1993.
- [2] CONAMA, *Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 20, de 17 março de 1986*, 1986.
- [3] S. de Infra-Estrutura Hídrica, *Diretrizes Ambientais para Projeto e Construção de Barragens e Operação de Reservatórios*, 2005.
- [4] H. B. Glasgow, J. M. Burkholder, R. E. Reed, A. J. Lewitus, and J. E. Kleinman, "Real-time remote monitoring of water quality: a review of current applications, and advancements in sensor, telemetry, and computing technologies," *Experimental Marine Biology and Ecology*, 2009, 300 Special Issue.
- [5] NEMRP, *Neuse Estuary Monitoring and Research Program*, 2015, on-line. Disponível em: <http://www.ncsu.edu/wq/RTRM/> Acesso em: 30/08/2015.
- [6] DNREC, *Delaware Department of Natural Resources and Environmental Control*, 2015, on-line. Disponível em: <http://www.dnrec.delaware.gov/> Acesso em: 30/08/2015.

- [7] T. Dickey, D. Frye, H. Jannasch, E. Boyle, D. Manov, D. Sigurdson, J. McNeil, M. Stramska, A. Michaels, and N. Nelson, "Initial results from the bermuda testbed mooring program," *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 45, no. 4, pp. 771–794, 1998.
- [8] M. D. Bendis B. J., Steidinger K. A., "Marvin: Merhab autonomous research vessel for in-situ sampling," *Association for the Science of Limnology and Oceanographic*, 2002.
- [9] MML, *Mote Marine Laboratory*, 2015, on-line. Disponível em: <https://mote.org/> Acesso em: 30/08/2015.
- [10] R. Piveli and M. T. Kato, "Qualidade da Água e poluição: aspectos físico-químicos." 2006, são Paulo: ABES; 285 p.
- [11] M. Gastaldini, A. Mendonça, J. Paiva, and E. Paiva, "Conceitos para a avaliação da qualidade da água," *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre: ABRH*, pp. 428–451, 2001.
- [12] M. Libânio, *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. Átomo, 2008.
- [13] M. Rand, A. E. Greenberg, M. J. Taras *et al.*, *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Prepared and published jointly by American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Pollution Control Federation., 1976.
- [14] M. Von Sperling, *Introdução à Qualidade das Águas e ao tratamento de esgotos*. Editora UFMG, 1996, vol. 1, belo Horizonte.
- [15] C. R. Fuchs, "Classificação da qualidade da Água do córrego lanoso, uberaba - mg." Ph.D. dissertation, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, 2012, tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal.
- [16] *Atlas Scientific*, 2015, on-line. Disponível em: https://www.atlas-scientific.com/product_pages/kits/env-sds-kit.html. Acesso em: 25/05/2015.