

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

# **Desenvolvimento de um Sistema Web Para Persistência e Visualização de Dados Coletados de Redes de Sensores Aquáticas**

**Lucas Saar Cerqueira**

JUIZ DE FORA  
JULHO, 2015

# Desenvolvimento de um Sistema Web Para Persistência e Visualização de Dados Coletados de Redes de Sensores Aquáticas

LUCAS SAAR CERQUEIRA

Universidade Federal de Juiz de Fora  
Instituto de Ciências Exatas  
Departamento de Ciência da Computação  
Bacharelado em Sistemas de Informação

Orientador: Alex Borges Vieira

JUIZ DE FORA

JULHO, 2015

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA WEB PARA  
PERSISTÊNCIA E VISUALIZAÇÃO DE DADOS COLETADOS  
DE REDES DE SENSORES AQUÁTICAS

Lucas Saar Cerqueira

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS  
EXATAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, COMO PARTE INTE-  
GRANTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
BACHAREL EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO.

Aprovada por:

Alex Borges Vieira  
D. Sc.

Victor Ströele de Andrade Menezes  
D. Sc.

Francisco Henrique Cerdeira Ferreira  
M. Sc.

JUIZ DE FORA  
03 DE JULHO, 2015

*À minha família.*

## Resumo

Nos últimos anos, é crescente o interesse em pesquisa na área de redes de sensores aquáticas no Brasil. O monitoramento de ambientes aquáticos é de fundamental importância na preservação ambiental e na prevenção de desastres, além de contribuir com atividades econômicas como pesca e extração de petróleo. Monitorar sistemas de sensores, remotamente, através da internet é cada vez mais comum. A utilização da *Sensor Web* permite que redes de sensores e os dados de redes de sensores possam ser descobertos e acessados via *World Wide Web*. Neste trabalho é desenvolvido um sistema *Web* para persistência e visualização de dados coletados de redes de sensores aquáticas. O sistema é construído com tecnologia de código aberto, seguindo padrões internacionais da *Open Geospatial Consortium*, chamados de *Sensor Web Enablement*.

**Palavras-chave:** *Sensor Web*, *Sensor Web Enablement*, Redes de Sensores Aquáticas.

## Abstract

In recent years, there is growing interest in research in the area of underwater sensor networks in Brazil. The monitoring of aquatic environments is of fundamental importance in environmental protection and disaster prevention, and contribute to economic activities such as fishing and oil extraction. Monitoring sensor systems remotely over the Internet is becoming more common. The use of Sensor Web allows sensor networks and sensor network data to be discovered and accessed via World Wide Web. This work developed a Web system for persistence and visualization of data collected from underwater sensor networks. The system is built with open source technology, following international standards of the Open Geospatial Consortium, called Sensor Web Enablement.

**Keywords:** Sensor Web, Sensor Web Enablement, Underwater Sensor Networks.

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus. Agradeço aos meus pais por todas as oportunidades e carinho. Ao meu amor por estar sempre ao meu lado. Aos meus professores pela paciência e dedicação. Aos meus amigos nos bons e maus momentos.

*“Educação não transforma o mundo. Educação muda pessoas. Pessoas transformam o mundo”.*

*Paulo Freire*

# Sumário

<b>Lista de Figuras</b>	<b>7</b>
<b>Lista de Abreviações</b>	<b>8</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>9</b>
1.1 Conceitos . . . . .	10
1.2 Contribuições . . . . .	11
1.3 Trabalhos relacionados . . . . .	11
1.4 Organização . . . . .	13
<b>2 Sensor Web e Sensor Web Enablement</b>	<b>14</b>
2.1 Sensor Observation Service . . . . .	15
<b>3 Modelagem</b>	<b>17</b>
3.1 Sensores . . . . .	17
3.2 Dados de sensores . . . . .	19
<b>4 Arquitetura</b>	<b>22</b>
4.1 Interface e comunicação . . . . .	22
<b>5 Tecnologias</b>	<b>27</b>
<b>6 Conclusão</b>	<b>30</b>
<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>31</b>

## Lista de Figuras

3.1	Diagrama do sensor e da estação . . . . .	17
3.2	Diagrama do sensor, da estação e da oferta . . . . .	19
4.1	Arquitetura do sistema HydroNode . . . . .	23
4.2	Tela registro de sensor . . . . .	24
4.3	Tela mapa das estações . . . . .	24
4.4	Tela detalhes da estação . . . . .	25
4.5	Tela com a área de cobertura da estação . . . . .	25
4.6	Tela detalhes do sensor . . . . .	26
4.7	Tela séries temporais . . . . .	26

## Lista de Abreviações

ANA	Agência Nacional de Águas
O&M	<i>Observations and Measurements</i>
OGC	<i>Open Geospatial Consortium</i>
RSA	Rede de Sensores Aquáticos
SOS	<i>Sensor Observation Service</i>
SWE	<i>Sensor Web Enablement</i>

# 1 Introdução

A água é essencial à vida e também pode ser considerada um recurso econômico e ambiental. A agricultura, por exemplo, depende diretamente da água para irrigação. O Brasil é o país com a maior quantidade de recursos hídricos renováveis do mundo (CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY, 2013). Esses recursos estão distribuídos entre rios, lagos, açudes, e águas subterrâneas.

Devido a importância da água e de sua abundância no território brasileiro, é fundamental o monitoramento dos recursos hídricos (CARVALHO, 2004). Para isso é necessário o desenvolvimento e aprimoramento da tecnologia envolvida no processo de monitoramento, que envolve a coleta, tratamento e disponibilização de dados hidrológicos. No Brasil, essa tecnologia é escassa e muitas vezes deve ser importada, gerando uma dependência tecnológica (VIEIRA *et al.*, 2012; PINTO *et al.*, 2012).

Sensores são dispositivos capazes de detectar propriedades do ambiente. Nas últimas décadas, com o avanço tecnológico, os sensores tornaram-se cada vez mais acessíveis. Novos sensores estão sendo desenvolvidos cada vez menores, mais baratos, mais inteligentes e com menor consumo de energia (LOUREIRO *et al.*, 2003; CHONG AND KUMAR, 2003; SU *et al.*, 2012). Esse cenário incentivou a pesquisa e a implantação de redes de sensores aquáticas (HEIDEMANN *et al.*, 2006; VIEIRA *et al.*, 2010).

Redes de sensores aquáticas (RSA) são formadas por nós sensores que possuem capacidade de monitoramento e comunicação (VASILESCU *et al.*, 2005). Cada nó sensor possui um ou mais sensores acoplados. Os nós sensores são geralmente suportados por boias ou presos ao fundo do ambiente aquático. Sensores comumente utilizados em redes de sensores aquáticas são de temperatura, salinidade, pressão e geolocalização.

Redes de sensores que podem ser descobertas e acessadas via *web* utilizando protocolos padronizados são chamadas de *Sensor Web* (BOTTS *et al.*, 2008). A definição de padrões para a integração de sensores à *web* é importante, pois permite a interoperabilidade entre sistemas de monitoramento e redes de sensores compostas por sensores heterogêneos. Além disso, ter um conjunto de padrões bem definidos facilita o desenvol-

vimento de sistemas para a *Sensor Web* (BRÖRING *et al.*, 2009).

Entre 2006 e 2007, o *Open Geospatial Consortium* (OGC) aprovou as especificações do *framework Sensor Web Enablement* (SWE) com o objetivo de facilitar a integração de dados de sensores e aplicações (BOTTS *et al.*, 2008). O SWE é composto por um conjunto de padrões que definem o formato dos dados e metadados dos sensores. Define também interfaces de serviços *web* para tornar sensores descobríveis, acessíveis e usáveis via *World Wide Web* (WWW). Assim, *Sensor Web* também pode ser definida como uma camada intermediária entre os sensores e outras aplicações (BRÖRING *et al.*, 2011).

Neste trabalho é desenvolvido um sistema *web* de código aberto para o armazenamento e visualização de dados de sensores aquáticos nos padrões da SWE, chamado de Sistema HydroNode. O Sistema HydroNode possui uma aplicação cliente, chamada de Aplicação HydroNode, que apresenta dados coletados de sensores aquáticos a fim de apoiar processos de tomada de decisão. Os dados são apresentados na forma de mapas, gráficos de séries temporais e tabelas. A utilização de mapas permite a associação de dados de sensores com a informação de geolocalização.

## 1.1 Conceitos

Alguns conceitos usados nos padrões SWE são explicados nesta seção para melhor entendimento do trabalho. Os termos são livremente traduzidos do inglês.

- **Característica** (do inglês *feature*): abstração de um fenômeno do mundo real.
- **Observação** (do inglês *observation*): ato de observar uma propriedade. O objetivo de uma observação é medir, estimar ou determinar o valor de uma propriedade.
- **Procedimento** (do inglês *procedure*): método, algoritmo ou instrumento, ou sistema composto por estes que pode ser usado para realizar observações. No contexto da *Sensor Web*, um procedimento é, geralmente, composto por um ou mais sensores que transformam um fenômeno do mundo real em informação digital.
- **Propriedade Observada** (do inglês *observed property*): propriedade referenciada

por um nome que é observada por um procedimento.

- **Oferta** (do inglês *offering*): uma oferta agrupa uma coleção de observações de um procedimento, incluindo metadados das observações.

## 1.2 Contribuições

A principal contribuição direta deste trabalho é a Aplicação HydroNode. A Aplicação HydroNode possui uma interface *web* que facilita a apresentação dos dados de sensores. Por utilizar os protocolos padrões da SWE, é possível integrar qualquer tipo de sensor ao sistema. Pelo mesmo motivo, é possível utilizar os dados de sensores em outras aplicações que necessitem de dados hidrológicos.

Este trabalho tem como principais objetivos:

- elaborar e desenvolver um sistema *web* de código livre para o armazenamento e visualização de dados de redes de sensores aquáticas;
- contribuir com o monitoramento de ambientes aquáticos brasileiros;
- contribuir com o aprimoramento da tecnologia de monitoramento de ambientes aquáticos.

## 1.3 Trabalhos relacionados

- **Sistemas da Agência Nacional de Águas**

A Agência Nacional de Águas (ANA) é responsável pela Rede Hidrometeorológica Básica, que realiza o monitoramento hidrometeorológico no Brasil (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2007). As estações de monitoramento medem o volume de chuvas, a evaporação da água, o nível e a vazão dos rios, a quantidade de sedimentos e a qualidade das águas. Os dados coletados são armazenados em um banco de dados chamado HIDRO que é utilizado em três sistemas da ANA. O primeiro sistema é o portal HidroWeb, que disponibiliza os dados do HIDRO para serem baixados em

formato de arquivo comprimido (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2005). O segundo é o portal Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos, no qual a ANA disponibiliza uma aplicação *web* para a criação de mapas e apresentações de slides baseada nos dados do HIDRO (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2015). O terceiro sistema é chamado de Dados Hidrológicos em Tempo Real e disponibiliza em tempo quase-real dados de precipitação, nível e vazão da água nas bacias brasileiras (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2014).

- **Hydrologic Information System**

O Hydrologic Information System (HIS) é um sistema para compartilhar dados hidrológicos através da internet, desenvolvido pela CUAHSI (TARBOTON *et al.*, 2009). A CUAHSI disponibiliza um conjunto de *softwares* de código aberto que permitem interação com a central de dados do sistema HIS. As duas principais aplicações são o HydroDesktop e o HydroServer. O HydroDesktop é usado para descobrir e analisar, e o HydroServer é usado para armazenar e publicar dados hidrológicos (AMES *et al.*, 2012). Outros *softwares* incluem uma ferramenta para manipular dados hidrológicos através de planilhas eletrônicas, um serviço *web* para auxiliar na transferência de dados hidrológicos, e um site para auxiliar no mapeamento de ontologias do sistema HIS.

- **Integrated Ocean Observing System**

O Integrated Ocean Observing System é um sistema criado com a autorização do governo norte-americano que conta com o apoio de organizações públicas e privadas para o monitoramento oceanográfico (BERMUDEZ *et al.*, 2006; NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, 2014). O sistema utiliza os padrões da SWE para integrar dados e serviços de sensores de vários sistemas. O objetivo do projeto que desenvolveu o sistema é prover ferramentas e informações para contribuir com a segurança, com o desenvolvimento econômico e para a proteção ambiental. Em 2010, o sistema auxiliou na resposta ao acidente da torre de perfuração petrolífera *Deepwater Horizon* (NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, 2011).

- **Sensor Web Client**

O Sensor Web Client é uma aplicação *web* para ser usada em conjunto com um serviço *Sensor Observation Service* (52°North, 2012). Permite a descoberta de sensores via metadados de uma estação e a posterior visualização da localização em um mapa. Os dados registrados em uma estação podem ser visualizados em diagramas e em um módulo de séries temporais. O Sensor Web Client pode ser conectado a um serviço de notificação para enviar notificações ao usuário sobre leituras registradas em tempo real.

## 1.4 Organização

O restante deste trabalho está dividido em mais seis capítulos. O capítulo 2 descreve brevemente as características da *Sensor Web* e do *framework* SWE. Os modelos e codificações dos sensores e serviços são detalhados no capítulo 3. A arquitetura do sistema é apresentada no capítulo 4. O capítulo 5 apresenta as tecnologias utilizadas para a construção do sistema. Para concluir, as considerações finais são apresentadas no capítulo 6.

## 2 Sensor Web e Sensor Web Enablement

O termo *Sensor Web* foi empregado pela primeira vez por DELIN AND JACKSON AND SOME (1999). Porém, seu significado original evoluiu, e hoje a *Sensor Web* pode ser compreendida como uma camada adicional integrando redes de sensores com a WWW e outras aplicações (BRÖRING *et al.*, 2011). Para definir padrões que possam ser utilizados para a construção de sistemas *Sensor Web*, o *Open Geospatial Consortium* (OGC) definiu um *framework* chamado *Sensor Web Enablement* (SWE).

O OGC é uma organização internacional que conta com a participação de mais de 500 companhias, agências governamentais e universidades. Em 2003 a OGC deu início ao projeto *Sensor Web Enablement*, que criou um conjunto de padrões e documentos de boas práticas para nortear o desenvolvimento da *Sensor Web*. O objetivo do SWE é definir padrões para integrar sistemas de sensores com foco na interoperabilidade. As principais funcionalidades definidas no padrão SWE são a descrição dos dados dos sensores, a descrição dos metadados dos sensores e o acesso a observações e metadados de sensores através de serviços *web*.

O SWE pode ser dividido em duas partes: o modelo de serviços e o modelo de dados. O modelo de serviços define a interface de serviços *web*. O modelo de dados define as especificações do formato dos dados. Atualmente, o modelo de serviços é composto por:

- *Sensor Observation Service 2.0* (SOS): para manipulação de dados e metadados de sensores através de serviços *web*.
- *Sensor Event Service*: para agendamento de alertas baseado em condições dos dados dos sensores.
- *Sensor Planning Service 2.0*: para controlar sensores dinamicamente.
- *Web Notification Service*: permite o envio de notificações para clientes, geradas por outros componentes do modelo.

- *SWE Services Common 2.0*: para definir a codificação de requisições e respostas em serviços SWE.

O modelo de dados é composto por:

- *Observations and Measurements 2.0 (O&M)*: para a codificação dos dados dos sensores.
- *Sensor Model Language 2.0 (SensorML)*: para representar metadados de sensores.
- *SWE Common Data Model 2.0*: para definir a representação, natureza, estrutura, e codificação de dados relacionados a sensores.

O Sistema HydroNode possui em sua camada intermediária, chamada de *Sensor Web*, uma implementação da especificação SOS. Na seção seguinte a especificação SOS é detalhada bem como sua implementação no sistema.

## 2.1 Sensor Observation Service

A OGC SOS é a principal especificação do modelo de serviços, pois define uma interface de serviço *web* para registrar e recuperar dados e metadados de sensores. Sua atual versão, a 2.0, foi aprovada como um padrão oficial em 2011. Nessa versão, a especificação possui um conjunto de operações que estão divididas em extensões: *Core Extension*, *Transactional Extension*, *Enhanced Operations Extension* e *Result Handling Extension* que são detalhadas a seguir.

- **Core Extension** A *Core Extension* define três operações: *GetCapabilities*, *GetObservation* e *DescribeSensor*. A operação *GetCapabilities* é a principal operação para descoberta de sensores. Ela define uma auto-descrição do sistema que contém metadados do serviço e todas as operações e ofertas de sensores disponíveis. A operação *GetObservation* permite buscar observações filtrando por identificador da observação, procedimento, propriedade observada, característica, filtro temporal ou filtro espacial. A resposta é um conjunto de observações codificadas em O&M. A operação *DescribeSensor* permite buscar informações detalhadas sobre sensores presentes no serviço. A resposta é a descrição do sensor codificada em SensorML.

- **Transactional Extension**

A *Transactional Extension* define três operações: *InsertSensor*, *DeleteSensor* e *InsertObservation*. A operação *InsertSensor* permite inserir um sensor no serviço, passando a descrição do sensor em SensorML e dois parâmetro obrigatórios: o tipo da característica e o tipo de observação gerada pelo sensor. A operação *DeleteSensor* permite excluir um sensor no serviço passando como parâmetro o identificador do sensor. A operação *InsertObservation* permite inserir uma observação codificada em O&M no serviço.

- **Enhanced Operations Extension**

A *Enhanced Operations Extension* define duas operações: *GetObservationById* e *GetFeatureOfInterest*. A operação *GetObservationById* permite buscar uma observação passando como parâmetro apenas o identificador da observação. A resposta é uma observação codificada em O&M. A operação *GetFeatureOfInterest* permite buscar as características cadastradas no serviço, filtrando por identificador da característica, procedimento, propriedade observada ou filtro espacial.

- **Result Handling Extension**

A *Result Handling Extension* define quatro operações: *InsertResultTemplate*, *InsertResult*, *GetResultTemplate* e *GetResult*. A operação *InsertResultTemplate* permite inserir no serviço um modelo de observação contendo os metadados e a estrutura do resultado da observação. Essa operação permite que, posteriormente, seja usada a operação *InsertResult* ou *GetResult* para transmitir apenas os resultados de uma observação sem ter que retransmitir todos os metadados da observação. A operação *GetResultTemplate* permite buscar os modelos previamente inseridos através da operação *InsertResultTemplate*.

Neste trabalho o serviço SOS utilizado é uma implementação chamada 52°North SOS, versão 4.2, criada pela organização 52°North Initiative (52°North, 2015). A 52°North Initiative é uma das organizações que contribui com o desenvolvimento dos padrões SWE. Este serviço implementa todas as operações das quatro extensões do modelo SOS descritas anteriormente.

## 3 Modelagem

A Sensor Web Enablement (SWE) tem como objetivo definir padrões para integrar sistema de sensores com foco na interoperabilidade. O sistema HydroNode, visando permitir que todos os sensores e dados de sensores registrados possam ser descobertos, acessados e recuperados, possui um modelo segundo os padrões SWE. A modelagem dos sensores e dados de sensores foi criada segundo os padrões SensorML para representar metadados de sensores e O&M para a codificação dos dados dos sensores, e é apresentada neste capítulo.

### 3.1 Sensores

Uma rede de sensores aquáticas é formada por diversos sensores espalhados pelo ambiente aquático. Neste trabalho, as RSA são modeladas como sistemas de sensores. Segundo o modelo O&M, um sistema de sensores é um procedimento. Assim, neste trabalho um sistema de sensores, ou procedimento, é chamado de estação.

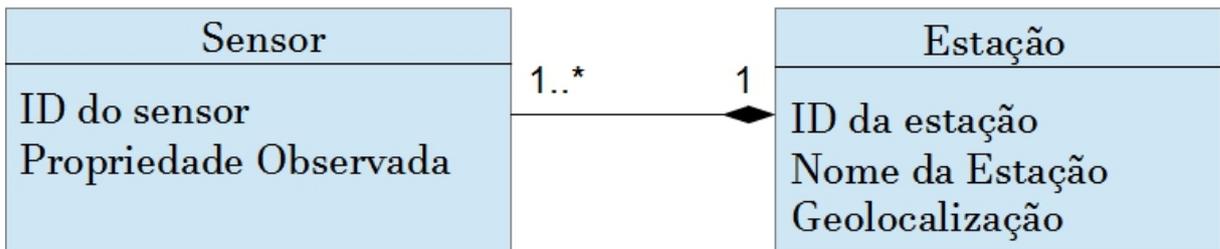


Figura 3.1: Diagrama do sensor e da estação

Para definir um sensor é necessário informar um identificador (ID) para o sensor e a qual estação o sensor pertence. A estação, por sua vez, possui um identificador, um nome e uma geolocalização. Cada sensor está relacionado a uma, e somente uma, estação, enquanto que cada estação é composta por um ou mais sensores. A figura 3.1 exibe o diagrama relacionando o sensor e a estação.

O exemplo abaixo mostra um sensor definido usando SensorML. A linha 8 define

o identificador da estação a qual o sensor pertence e a linha 13 o nome dessa estação. A linha 22 define o identificador do sensor. As linhas 34 e 40 definem a geolocalização da estação como um par de pontos. A linha 46 define a altitude da estação em relação ao nível do mar.

```

1 <sml:SensorML xmlns:sml="http://www.opengis.net/sensorML/1.0.1"
  xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml" xmlns:sos="http://www.
  opengis.net/sos/2.0" xmlns:swe="http://www.opengis.net/swe
  /1.0.1" xmlns:swes="http://www.opengis.net/swes/2.0"
  xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink" xmlns:xsi="http://
  www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" version="1.0.1">
2 <sml:member>
3   <sml:System>
4     <sml:identification>
5       <sml:IdentifierList>
6         <sml:identifier name="uniqueID">
7           <sml:Term definition="
              urn:ogc:def:identifier:OGC:1.0:uniqueID">
8             <sml:value>rsa_estacao_1</sml:value>
9           </sml:Term>
10          </sml:identifier>
11          <sml:identifier name="longName">
12            <sml:Term definition="
              urn:ogc:def:identifier:OGC:1.0:longName">
13              <sml:value>Estacao Represa de Sao Pedro
              margem norte</sml:value>
14            </sml:Term>
15          </sml:identifier>
16        </sml:IdentifierList>
17      </sml:identification>
18      <sml:capabilities name="offerings">
19        <swe:SimpleDataRecord>
20          <swe:field name="offeringName">
21            <swe:Text definition="
              urn:ogc:def:identifier:OGC:offeringID">
22              <swe:value>rsa_1_sensor_temp_1</swe:value>
23            </swe:Text>
24          </swe:field>
25        </swe:SimpleDataRecord>
26      </sml:capabilities>
27      <sml:position name="sensorPosition">
28        <swe:Position referenceFrame="
              urn:ogc:def:crs:EPSG::4326">
29          <swe:location>
30            <swe:Vector gml:id="STATION_LOCATION">
31              <swe:coordinate name="easting">
32                <swe:Quantity axisID="x">
33                  <swe:uom code="degree" />
34                  <swe:value>-21.776097</swe:value>
35                </swe:Quantity>

```

```

36         </swe:coordinate>
37         <swe:coordinate name="northing">
38             <swe:Quantity axisID="y">
39                 <swe:uom code="degree" />
40                 <swe:value>-43.371722</swe:value>
41             </swe:Quantity>
42         </swe:coordinate>
43         <swe:coordinate name="altitude">
44             <swe:Quantity axisID="z">
45                 <swe:uom code="m" />
46                 <swe:value>890</swe:value>
47             </swe:Quantity>
48         </swe:coordinate>
49     </swe:Vector>
50 </swe:location>
51 </swe:Position>
52 </sml:position>
53 </sml:System>
54 </sml:member>
55 </sml:SensorML>

```

## 3.2 Dados de sensores

Os sensores de uma RSA realizam observações periódicas de propriedades do ambiente. A um conjunto de observações de um sensor é dado o nome de oferta. Assim, para cada sensor que uma estação possuir, deve ser registrado ao menos uma oferta para este sensor. Cada oferta tem uma data de validade inicial obrigatória e uma data de validade final opcional, que definem o período de tempo em que as observações dessa oferta são válidas. A figura 3.2 mostra o diagrama com o relacionamento entre o sensor, a estação e a oferta.

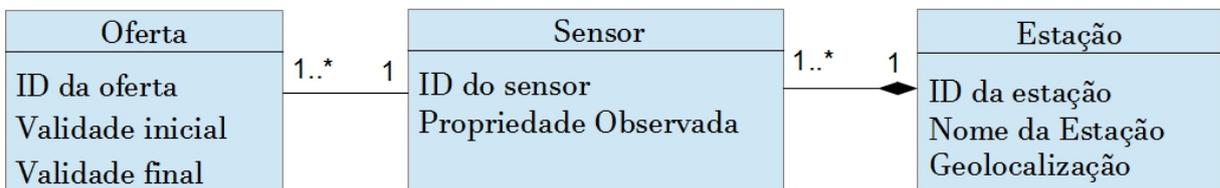


Figura 3.2: Diagrama do sensor, da estação e da oferta

Para definir uma observação é necessário informar um identificador da observação, a oferta do sensor, a estação, o tipo de observação, a propriedade observada, a característica de interesse, a geolocalização da leitura, o valor medido e a unidade de medida.

A característica de interesse é uma representação de um objeto real que possui a propriedade observada, como por exemplo, o rio Paraíba. Um exemplo de uma requisição *InsertObservation* no padrão O&M em JSON pode ser vista abaixo.

```
1 {
2   "request": "InsertObservation",
3   "service": "SOS",
4   "version": "2.0.0",
5   "offering": "rsa_1_sensor_temp_1",
6   "observation": {
7     "identifier": {
8       "value": "rsa_1_obs_temp_1",
9       "codespace": "http://www.opengis.net/def/nil/OGC
10        /0/unknown"
11     },
12     "type": "http://www.opengis.net/def/observationType/OGC
13      -OM/2.0/OM_Measurement",
14     "procedure": "rsa_estacao_1",
15     "observedProperty": "http://sensorml.com/ont/swe/
16      property/WaterTemperature",
17     "featureOfInterest": {
18       "identifier": {
19         "value": "represa_de_sao_pedro_norte",
20         "codespace": "http://www.opengis.net/def/nil/
21          OGC/0/unknown"
22       },
23       "name": {
24         "value": "Represa de São Pedro margem norte",
25         "codespace": "http://www.opengis.net/def/nil/
26          OGC/0/unknown"
27       },
28       "geometry": {
29         "type": "Point",
30         "coordinates": [-21.7776373,
31          -43.4115264]
32       }
33     },
34     "phenomenonTime": "2015-03-15T17:45:15+00:00",
35     "resultTime": "2015-03-15T17:45:15+00:00",
36     "result": {
37       "value": 23,
38       "uom": "C"
39     }
40   }
41 }
```

Neste exemplo está sendo inserido uma observação para a oferta *rsa\_1\_sensor\_temp\_1*, como pode ser visto na linha 5. As linhas 6 à 35 definem as características da observação. A linha 8 define o identificador da observação. A linha 11 define o tipo de codificação da

observação. A linha 12 define a estação a qual a observação pertence. A linha 13 define a propriedade observada que é uma ontologia que descreve a temperatura da água. As linhas 14 à 27 definem a característica de interesse, que possui seu identificador na linha 16, seu nome na linha 20, o tipo de localização geográfica na linha 24 e a localização geográfica nas linhas 25 e 26. A linha 29 define o instante de tempo em que a propriedade foi observada e a linha 30 o instante de tempo em que o resultado da observação foi calculado. O resultado da observação é definido na linha 32 e a unidade de medida na linha 33.

Em síntese, essa observação informa que no 3 de março de 2015 às 17 horas, 45 minutos e 15 segundos a temperatura da água na represa São Pedro no ponto com as coordenadas -21.7776373 e -43.4115264 era de 23 graus celsius.

## 4 Arquitetura

O sistema construído neste trabalho é chamado de Sistema HydroNode e sua composição é baseada em três camadas: a camada de aplicação, a camada intermediária e a camada de sensores. A camada de aplicação é chamada Aplicação HydroNode e contém informações a partir dos dados coletados dos sensores com a finalidade de apoiar processos de tomada de decisão. A camada intermediária, chamada *Sensor Web*, é responsável por armazenar e disponibilizar os dados dos sensores para outras aplicações utilizando o formato padrão da SWE. A camada de sensores é composta por sensores e redes de sensores aquáticas que realizam leituras para medir uma propriedade física em um dado instante de tempo. Esse processo de medição é chamado de observação. A camada de sensores é responsável por realizar e enviar observações ao sistema.

A figura 4.1 detalha os componentes do sistema e como eles se comunicam internamente e com componentes externos. A camada de sensores é composta por redes de sensores aquáticas, indicada pelo número 1. A camada *Sensor Web* é composta pelo serviço SOS e pelo banco de dados, indicados pelos números 2.1 e 2.2, respectivamente. A camada de aplicação é composta pela Aplicação HydroNode, indicada pelo número 3.

Como mostra a figura 4.1, os componentes 2.1, 2.2 e 3 do sistema HydroNode estão agregados. Isso porque foram instalados todos em uma única máquina. Porém, os componentes podem ser instalados em máquinas dedicadas, caso seja necessário.

Na seção seguinte é detalhado a comunicação entre os componentes do sistema para realizar as principais operações e suas respectivas interfaces gráficas na Aplicação HydroNode.

### 4.1 Interface e comunicação

Para que seja possível inserir observações é necessário que os sensores tenham sido previamente registrados no sistema. A tela de registro de sensores, ilustrada na figura 4.2, permite realizar essa operação. Ao preencher os campos do formulário o sistema monta

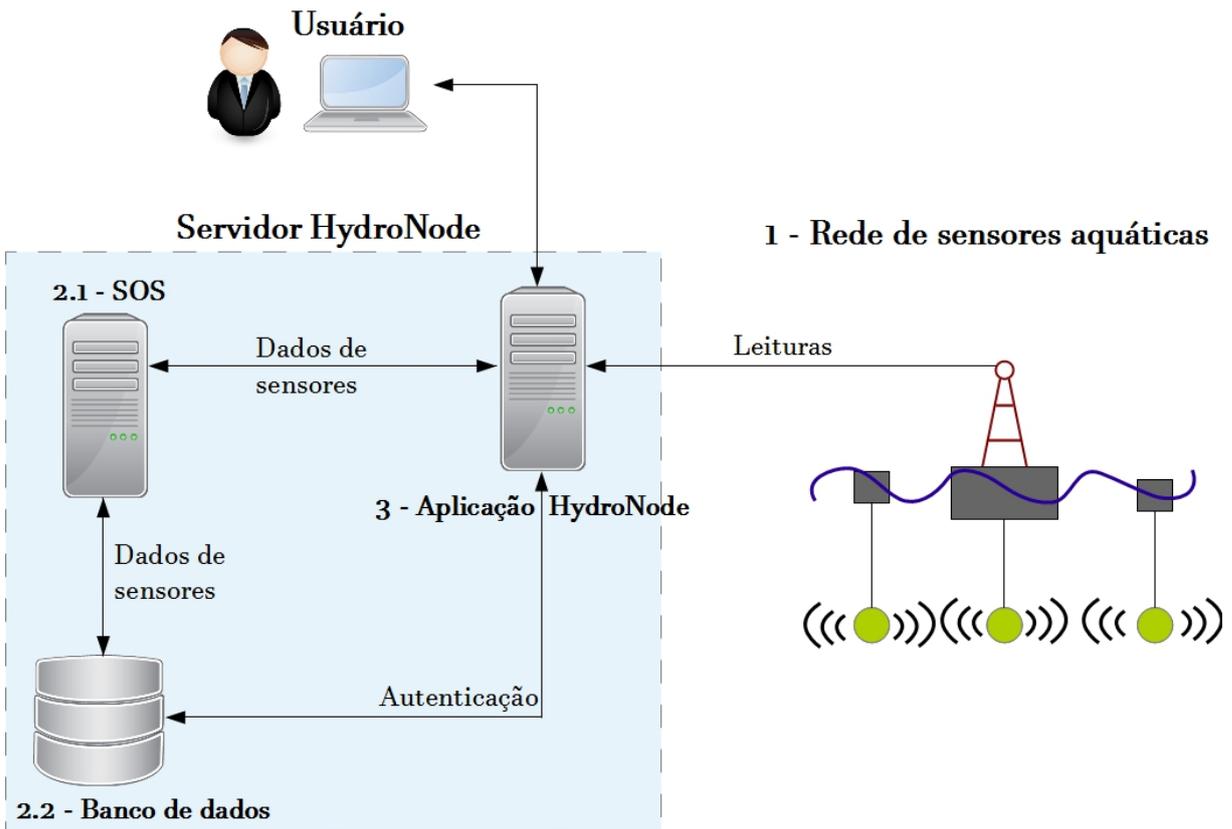


Figura 4.1: Arquitetura do sistema HydroNode

uma requisição JSON do tipo *InsertSensor* com a descrição do sensor codificada em SensorML. Em seguida o sistema envia a requisição para o serviço SOS que registra o sensor no banco de dados. O sistema agora está pronto para receber observações do sensor registrado.

A Aplicação HydroNode é o ponto de entrada das leituras das RSA no sistema. O sistema recebe periodicamente as leituras de acordo com a configuração de cada rede de sensor. Uma RSA pode enviar, por exemplo, leituras a cada hora, a cada 12 horas ou diariamente. Um vez recebidas, as leituras são codificadas em observações no padrão O&M. Em seguida a aplicação monta uma requisição JSON do tipo *InsertObservation* e envia para o serviço SOS. O serviço SOS registra a observação no banco de dados, que fica disponível imediatamente para consulta.

Uma vez que o sistema possua ao menos uma observação cadastrada, o usuário pode acessar a tela do mapa das estações. A figura 4.3 mostra a tela do mapa das estações com três estações registradas. Quando o usuário acessa essa tela, a aplicação HydroNode



The screenshot shows the 'Registrar Sensor' form in the Sistema HydroNode interface. The form is titled 'Registrar Sensor' and is located in the center of the page. It contains several input fields for recording sensor data:

- ID da Estação :
- Nome da Estação :
- ID do Sensor :
- Propriedade Observada :
- Coordenadas(x,y) :  ,
- Altitude :

Below the form is an 'Enviar' button.

Figura 4.2: Tela registro de sensor

faz uma requisição *GetCapabilities* ao serviço SOS, e marca no mapa a localização de todas as estações registradas no sistema.

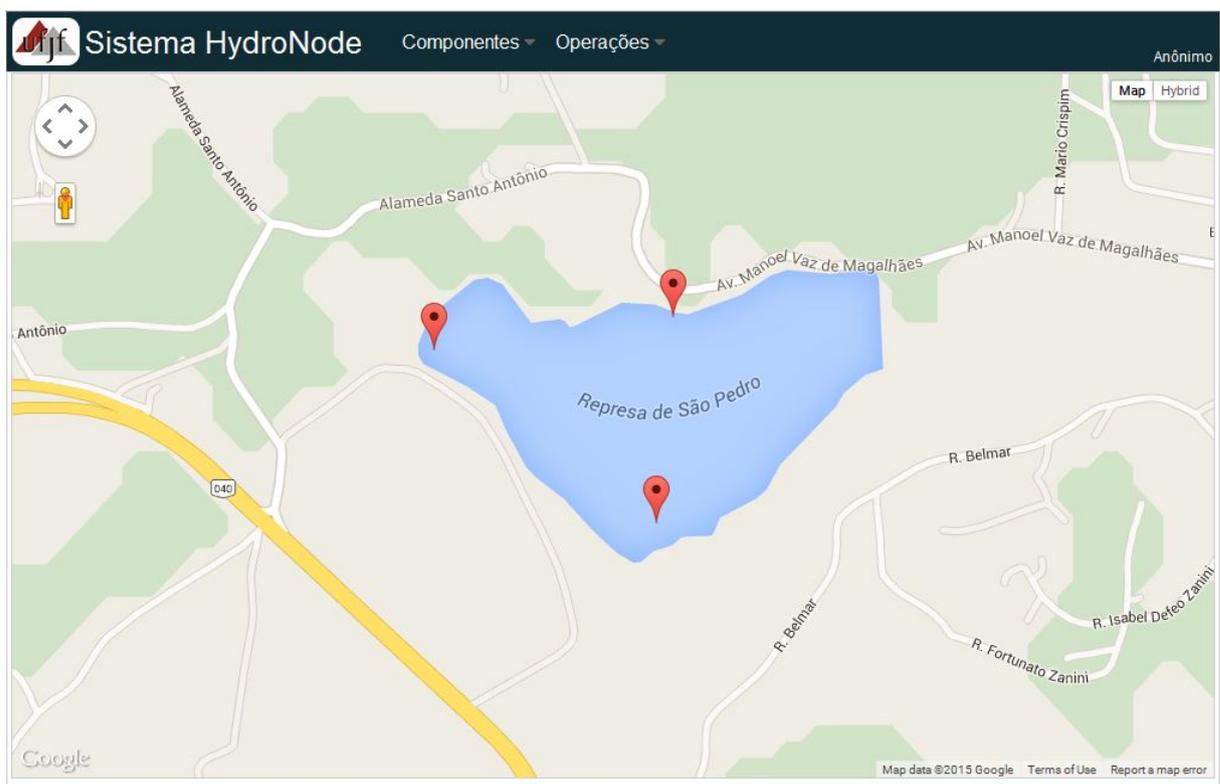


Figura 4.3: Tela mapa das estações

Ao selecionar uma estação é possível ver seus detalhes como exemplificado na figura 4.4. Para construir esta tela o sistema envia uma requisição *GetCapabilities* ao serviço SOS e filtra os resultados pelo identificador da estação escolhida. Nesta tela o usuário pode selecionar a aba sensores para obter uma lista de todos os sensores relaci-

onados a essa estação. O usuário também pode selecionar a aba de geolocalização para exibir um mapa com a localização da área de cobertura da estação. A área de cobertura corresponde a área que engloba a localização de todos os sensores e observações daquela estação. A figura 4.5 mostra um exemplo desta tela.

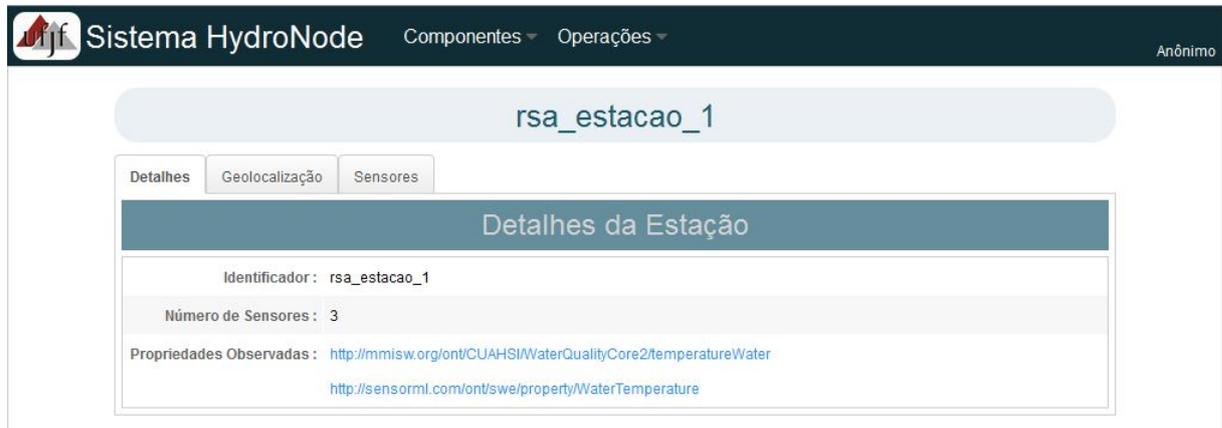


Figura 4.4: Tela detalhes da estação



Figura 4.5: Tela com a área de cobertura da estação

O sistema permite também a visualização dos detalhes de um sensor. A construção desta tela é feita enviando uma requisição *GetCapabilities* ao serviço SOS e filtrando pelo sensor escolhido, seguido por uma requisição *GetObservation* passando como

parâmetro o sensor escolhido. Um exemplo da tela de detalhes do sensor pode ser vista na figura 4.6. O usuário pode selecionar a aba geolocalização para visualizar um mapa com a localização das leituras realizadas por este sensor. Pode também selecionar a aba observações para obter uma tabela de todas as observações registradas pelo sensor.



Figura 4.6: Tela detalhes do sensor

A utilização de recursos como a análise gráfica pode auxiliar processos de tomada de decisão. No Sistema HydroNode o usuário pode selecionar uma ou mais características para serem analisadas na forma de gráficos de séries temporais. A figura 4.7 mostra um exemplo de um gráfico de séries temporais construído com os dados de sensores de temperatura da água. Os dados são de observações realizadas mensalmente ao longo dos anos 2013 e 2014.

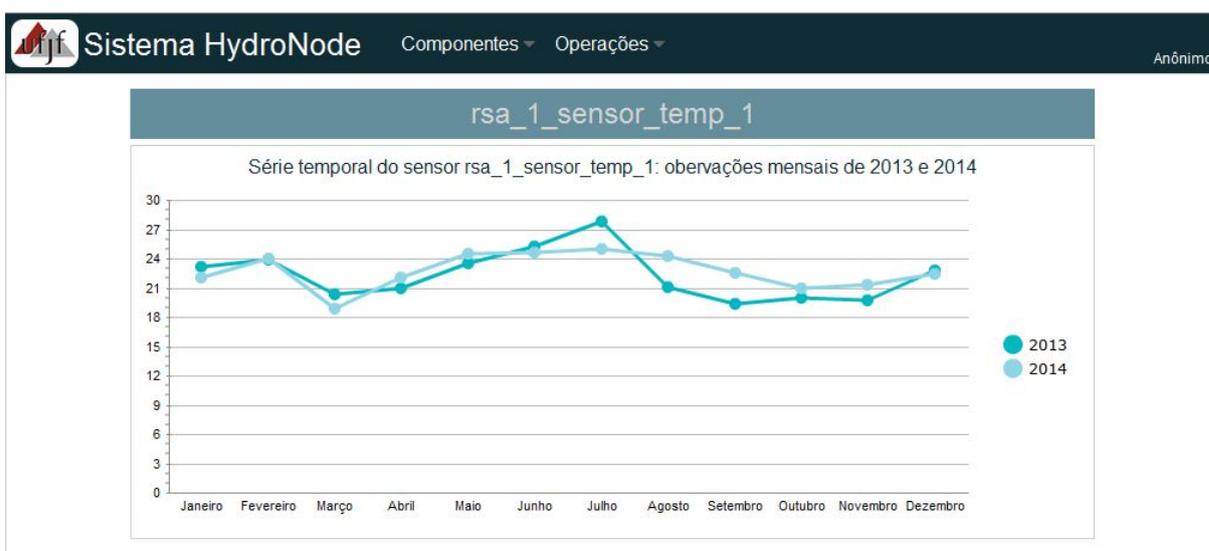


Figura 4.7: Tela séries temporais

## 5 Tecnologias

Diversas tecnologias foram empregadas neste trabalho. Tecnologias essenciais como banco de dados e compilação, e tecnologias auxiliares como gerência de dependências e ambiente de desenvolvimento integrado. Nesta seção é descrito as principais tecnologias e como foram empregadas no sistema.

- **Sensores HydroNode**

Os dados de sensores utilizados neste trabalho foram obtidos de sensores HydroNode (PINTO *et al.*, 2012). O Hydronode foi escolhido pois é um nó sensor que está disponível para pesquisa. Além disso, o HydroNode é de baixo custo e fácil aquisição, podendo ser utilizado para monitorar grandes ambientes aquáticos (VIEIRA *et al.*, 2012).

- **52°North SOS**

O 52°North SOS versão 4.2 é uma implementação da especificação Sensor Observation Service 2.0 da OGC. Essa implementação foi escolhido por ser um *software* livre licenciado sob a GPL-2.0 (Free Software Foundation, 1991) e por implementar todas as quatro extensões da especificação da OGC. Neste trabalho o 52°North SOS é responsável receber e responder requisições de dados de sensores.

- **Banco de dados PostgreSQL e extensão PostGIS**

O PostgreSQL versão 9.4 foi escolhido por ser um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) grátis e de código fonte aberto. Sua licença é própria porém "liberal e de código fonte aberto". Além disso foi escolhido por ser mais facilmente integrado com o 52°North SOS. Adicionalmente ao PostgreSQL foi utilizado a extensão espacial PostGIS (RAMSEY, 2005). O PostGIS adiciona ao PostgreSQL o suporte a objetos geográficos no padrão *Simple Feature Access* da OGC. O PostGIS está licenciado sob a GPL-2.0 (Free Software Foundation, 1991).

O SGBD é utilizado para armazenar os dados de sensores e os dados da aplicação

cliente. Os dados de sensores são enviados ou requisitados pelo usuário através da aplicação cliente. O *middleware* SOS então é responsável por se conectar ao banco de dados e inserir ou recuperar os dados solicitados. Já a aplicação cliente usa o SGBD diretamente para armazenar informações de usuários do sistema.

- **ZK Framework**

O ZK Framework CE 7 é um *framework* para o desenvolvimento de aplicações *web* java. O ZK foi escolhido por facilitar o desenvolvimento da interface *web* e por ser um projeto de código aberto sob a licença GPL-2.1 (Free Software Foundation, 1999). O ZK facilita a estruturação da aplicação segundo o padrão *Model-View-Controller* e possui uma biblioteca com centenas de componentes reutilizáveis.

- **Ontologias**

Ontologias foram usadas para descrever as propriedades observadas pelos sensores e suas respectivas unidades de medida. A principal ontologia utilizada é a *Ontology of general sensor terms*, hospedada no repositório *Marine Metadata Interoperability* (BOTTS, 2013).

## Outras tecnologias

Outras tecnologias importantes que foram utilizadas para a construção do sistema são listadas abaixo:

- Apache Maven 3: usado para gerenciar dependências e para a construção (do inglês *build*) de projetos.
- JSON (notação de objetos *javascript*): é o tipo de ligação (do inglês *binding*) utilizada pela aplicação cliente HydroNode para se comunicar com o serviço 52°North SOS.
- Gson (Google JSON) 2: biblioteca java para manipulação de objetos JSON.
- Google Maps API v3: interface de programação de aplicação (API) do serviço de mapas do Google.
- Eclipse Kepler: usado como ambiente de desenvolvimento integrado.

- 
- Git: usado para controle de versão do código fonte do sistema.
  - GitHub: usado como serviço de hospedagem de código fonte utilizando Git.
  - Tomcat 7: usado para a execução do cliente HydroNode e do serviço 52°North SOS.
  - Java SDK 7: usado para compilar o 52°North SOS e o cliente HydroNode e para executar o Tomcat.
  - Ubuntu 12.04: sistema operacional do servidor do sistema.

## 6 Conclusão

Neste trabalho foram vistos os conceitos de redes de sensores e de *Sensor Web* e como redes de sensores podem ser integradas a *web*. Baseado nos padrões do *Sensor Web Enablement* foi criado um sistema capaz de receber, armazenar e disponibilizar dados de redes de sensores aquáticas. O sistema foi desenvolvido com o foco na interoperabilidade, permitindo que todos os sensores e dados de sensores registrados possam ser descobertos, acessados e recuperados utilizando protocolos padrões.

Redes de sensores podem gerar um grande volume de dados. Quando é necessária a análise destes dados, um sistema de informação adequado é uma ferramenta fundamental. O sistema deve tratar e armazenar os dados para posteriormente usá-los de maneira correta. O armazenamento, a sumarização de dados, a análise gráfica e a própria abstração dos dados que o sistema provê são características do Sistema HydroNode.

Com o objetivo de contribuir com o monitoramento de ambientes aquáticos brasileiros um cuidado especial foi dado em traduzir e adaptar conceitos originalmente descritos em inglês. A interface da Aplicação HydroNode e os comentários documentando o código fonte estão totalmente em português. Assim espera-se facilitar a evolução do Sistema HydroNode para que possa ser usado para monitorar ambientes aquáticos brasileiros.

Como sugestão para trabalhos futuros é proposto a extensão das capacidades do sistema HydroNode quanto a visualização dos dados nele registrados. Outros tipos de gráficos, por exemplo, podem prover uma nova visão dos dados. Sugere-se também a importação dos dados do sistema HidroWeb para o Sistema HydroNode. A Agência Nacional de Águas disponibiliza através do HidroWeb os dados coletados de estações em mais de 2100 rios brasileiros. Estes dados podem ser processados e importados para o Sistema HydroNode.

O código fonte da Aplicação HydroNode bem como as instruções de instalação do Sistema HydroNode estão disponíveis em CERQUEIRA (2015). A Aplicação HydroNode é licenciada sob a GPL-3 (Free Software Foundation, 2007), portanto é *software* livre.

## Referências Bibliográficas

- 52°North. **Sensor web client.** Disponível em: <http://52north.org/communities/sensorweb/clients/SensorWebClient/index.html>, 2012. Acessado em: 20-06-2015.
- 52°North. **52°north initiative for geospatial open source software gmbh.** Disponível em: <http://52north.org/>, 2015. Acessado em: 25-06-2015.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Hidroweb sistema de informações hidrológicas.** Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>, 2005. Acessado em: 08-06-2015.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Evolução da rede hidrometeorológica nacional.** Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/infhidrologicas/EvolucaoodaRedeHidrometeorologicaNacional.pdf>, 2007. Acessado em: 08-06-2015.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Dados hidrológicos em tempo real.** Disponível em: <http://mapas-hidro.ana.gov.br/Usuario/mapa.aspx>, 2014. Acessado em: 08-06-2015.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Sistema nacional de informações sobre recursos hídricos.** Disponível em: <http://www2.snirh.gov.br/home/>, 2015. Acessado em: 08-06-2015.
- AMES, D. P.; HORSBURGH, J. S.; CAO, Y.; KADLEC, J.; WHITEAKER, T. ; VALENTINE, D. Hydrodesktop: Web services-based software for hydrologic data discovery, download, visualization, and analysis. **Environmental Modelling & Software**, v.37, p. 146–156, 2012.
- BERMUDEZ, L.; BOGDEN, P.; BRIDGER, E.; CREAGER, G.; FORREST, D. ; GRAY-BEAL, J. **Toward an ocean observing system of systems.** In: OCEANS 2006, p. 1–4. IEEE, 2006.
- BOTTS, M.; PERCIVALL, G.; REED, C. ; DAVIDSON, J. **Ogc® sensor web enablement: Overview and high level architecture.** In: GeoSensor networks, p. 175–190. Springer, 2008.
- BOTTS, M. **Ontology of general sensor terms.** Disponível em: <http://sensorml.com/ont/swe/property>, 2013. Acessado em: 21-06-2015.
- BRÖRING, A.; JÜRRENS, E. H.; JIRKA, S. ; STASCH, C. **Development of sensor web applications with open source software.** In: First Open Source GIS UK Conference (OSGIS 2009), volume 22, 2009.
- BRÖRING, A.; ECHTERHOFF, J.; JIRKA, S.; SIMONIS, I.; EVERDING, T.; STASCH, C.; LIANG, S. ; LEMMENS, R. New generation sensor web enablement. **Sensors**, v.11, n.3, p. 2652–2699, 2011.

- CARVALHO, F. P. O município e a gestão dos recursos hídricos. **Anais do VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, 2004.
- CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY. **The world factbook**. Disponível em: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html>, 2013. Acessado em: 11-06-2015.
- CERQUEIRA, L. S. **Repositório da aplicação hydronode**. Disponível em: <https://github.com/SacuL/zkessentials>, 2015. Acessado em: 25-06-2015.
- CHONG, C.-Y.; KUMAR, S. Sensor networks: evolution, opportunities, and challenges. **Proceedings of the IEEE**, v.91, n.8, p. 1247–1256, August 2003.
- DELIN, K.; JACKSON, S. ; SOME, R. Sensor webs. **NASA tech Briefs**, v.23, n.10, 1999.
- Free Software Foundation. **Gnu general public license, version 2**. Disponível em: <http://opensource.org/licenses/gpl-2.0.php>, 1991. Acessado em: 22-06-2015.
- Free Software Foundation. **Gnu lesser general public license, version 2.1**. Disponível em: <https://www.gnu.org/licenses/old-licenses/lgpl-2.1.en.html>, 1999. Acessado em: 22-06-2015.
- Free Software Foundation. **Gnu general public license, version 3**. Disponível em: <https://gnu.org/licenses/gpl.html>, 2007. Acessado em: 25-06-2015.
- HEIDEMANN, J.; YE, W.; WILLS, J.; SYED, A. ; LI, Y. **Research challenges and applications for underwater sensor networking**. In: Wireless Communications and Networking Conference, 2006. WCNC 2006. IEEE, volume 1, p. 228–235, April 2006.
- LOUREIRO, A. A.; NOGUEIRA, J. M. S.; RUIZ, L. B.; DE FREITAS MINI, R. A.; NAKAMURA, E. F. ; FIGUEIREDO, C. M. S. **Redes de sensores sem fio**. In: Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC), p. 179–226, 2003.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **U.s. integrated ocean observing system 2011 report to congress**. Disponível em: [http://www.ioos.noaa.gov/about/governance/ioos\\_report\\_congress2011.pdf](http://www.ioos.noaa.gov/about/governance/ioos_report_congress2011.pdf), 2011. Acessado em: 13-06-2015.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Integrated ocean observing system**. Disponível em: <http://www.ioos.noaa.gov/>, 2014. Acessado em: 13-06-2015.
- PINTO, D.; VIANA, S. S.; NACIF, J. A. M.; VIEIRA, L. F.; VIEIRA, M. A.; VIEIRA, A. B. ; FERNANDES, A. O. Hydronode: A low cost, energy efficient, multi purpose node for underwater sensor networks. **Management**, v.2, p. 16, 2012.
- RAMSEY, P. Postgis manual. **Refractions Research Inc**, 2005.
- SU, S.; WU, W.; GAO, J.; LU, J. ; FAN, C. Nanomaterials-based sensors for applications in environmental monitoring. **Journal of Materials Chemistry**, v.22, n.35, p. 18101–18110, 2012.

- TARBOTON, D.; HORSBURGH, J.; MAIDMENT, D.; WHITEAKER, T.; ZASLAVSKY, I.; PIASECKI, M.; GOODALL, J.; VALENTINE, D. ; WHITENACK, T. **Development of a community hydrologic information system**. In: 18th World IMACS Congress and MODSIM09 International Congress on Modelling and Simulation, Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand and International Association for Mathematics and Computers in Simulation, p. 988–994, 2009.
- VASILESCU, I.; KOTAY, K.; RUS, D.; DUNBABIN, M. ; CORKE, P. **Data collection, storage, and retrieval with an underwater sensor network**. In: Proceedings of the 3rd international conference on Embedded networked sensor systems, p. 154–165. ACM, 2005.
- VIEIRA, L.; LOUREIRO, A.; FERNANDES, A. ; CAMPOS, M. Redes de sensores aquáticas. **XXVIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, Gramado, RS, Brasil**, v.24, 2010.
- VIEIRA, L. F.; VIEIRA, M. A.; PINTO, D.; NACIF, J. A. M.; VIANA, S. S. ; VIEIRA, A. B. **Hydronode: an underwater sensor node prototype for monitoring hydroelectric reservoirs**. In: Proceedings of the Seventh ACM International Conference on Underwater Networks and Systems, p. 43. ACM, 2012.