

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS ARARANGUÁ**

Gustavo Vargas da Silva

**MONITORAMENTO REMOTO DO RIO ARARANGUÁ  
PARA A IRRIGAÇÃO NO PLANTIO DE ARROZ  
ATRAVÉS DE UMA REDE DE SENSORES SEM FIO  
(RSSF)**

Araranguá

2018



Gustavo Vargas da Silva

**MONITORAMENTO REMOTO DO RIO ARARANGUÁ  
PARA A IRRIGAÇÃO NO PLANTIO DE ARROZ  
ATRAVÉS DE UMA REDE DE SENSORES SEM FIO  
(RSSF)**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção de grau em Engenharia de Computação.

Orientadora: Prof. Dra. Analucia Schiaffino Morales

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Berjuck

Araranguá

2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silva, Gustavo

Monitoramento remoto do Rio Araranguá para a irrigação no plantio de arroz através de uma rede de sensores sem fio (RSSF) / Gustavo Silva ; orientadora, Analucia Schiaffino Morales, coorientadora, Marcelo Berejuck, 2018.

85 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Graduação em Engenharia de Computação, Araranguá, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia de Computação. 2. Monitoramento Ambiental. 3. Salinidade. 4. Condutividade. 5. Sensoriamento. I. Schiaffino Morales, Analucia. II. Berejuck, Marcelo. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Computação. IV. Título.

Gustavo Vargas da Silva

**MONITORAMENTO REMOTO DO RIO ARARANGUÁ  
PARA A IRRIGAÇÃO NO PLANTIO DE ARROZ  
ATRAVÉS DE UMA REDE DE SENSORES SEM FIO  
(RSSF)**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado aprovado para a obtenção do Título de “Engenharia de Computação”, e aprovado em sua forma final pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Araranguá, 30 de novembro 2018.



---

Prof. Dra. Eliane Pozzebon  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**



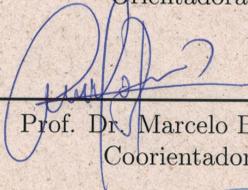
---

Prof. Dra. Carla D'aquino



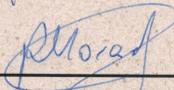
---

Prof. Dra. Analucia Schiaffino Morales  
Orientadora



---

Prof. Dr. Marcelo Berejuck  
Coorientador



---

Prof. Dr. Ricardo Alexandre Reinaldo de Moraes



## RESUMO

O arroz é um dos alimentos mais importantes para a nutrição humana, sendo a base alimentar de mais de três bilhões de pessoas. No Estado de Santa Catarina é produzido em cerca de 83 municípios. O cultivo do arroz ocupa áreas sujeitas a inundação. O Rio Araranguá sofre com a atividade da rizicultura em torno do estuário, que utiliza a água do próprio rio para a irrigação. O uso desse recurso hídrico pode ser prejudicado, uma vez que a água salgada do oceano penetra rio adentro, podendo comprometer seu uso para irrigar o cultivo. O presente trabalho descreve o desenvolvimento de um sistema sensoramento de dados de um ponto do Rio Araranguá, apresentando testes e aplicação, para monitorar principalmente a salinidade no estuário do rio, auxiliando os produtores de arroz. A rede é composta por dois nodos: o sensor e o coordenador. O primeiro possui um sensor de pH e um sensor de temperatura, e o segundo um condutivímetro (construído no projeto) e um *shield* GSM. Os nodos se comunicam através de uma rede 2.4Ghz do tipo ZigBee e utilizam a rede GSM para se conectar a um serviço web e gerenciar os dados por uma página web. Foi construída uma infraestrutura para encapsular dispositivos e módulos que compõem os nodos. Foram feitas análises de autonomia, testes de distância e aferição de dados de um ponto do rio no dia 11 de novembro de 2018.

**Palavras-chave:** Rede de Sensores Sem Fio, sensoramento remoto, nodos, salinidade



## ABSTRACT

Rice is one of the most important foods for human nutrition, being the food base of more than three billion people. In Santa Catarina State it is produced in 83 municipalities. Rice cultivation occupies areas subject to flooding. The Araranguá River suffers from the activity of the rizicultura around the estuary, that uses the water of the own river for the irrigation. The use of this water resource can be impaired, since the salt water of the ocean penetrates inland, being able to compromise its use to irrigate the crop. The present work describes the development of a data sensing system from one point of the Araranguá River, presenting tests and application, to monitor mainly the salinity in the estuary of the river, assisting rice producers. The network consists of two nodes: the sensor and the coordinator. The first has a pH sensor and a temperature sensor, and the second a conductivity meter (built in this project) and a GSM shield. The nodes communicate over a 2.4Ghz network of the ZigBee type and use the GSM network to connect to a web service and manage the data through a web page. An infrastructure was built to encapsulate devices and modules that make up the nodes. Were made autonomy analyzes, distance tests and data measurement of a river point were performed on November 11, 2018.

**Keywords:** Wireless Sensors Networks, remote sensing, nodes, salinity



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localidade da bacia do rio Araranguá. ....	21
Figura 2	Paisagem característica da Bacia do Rio Araranguá no subsistema de arroz irrigado. ....	22
Figura 3	Junção dos rios Itoupava e Mãe Luzia formando o Rio Araranguá a jusante da extração de carvão. ....	23
Figura 4	Rio Araranguá circundado por campos e dunas. ....	24
Figura 5	Foto real do Rio Araranguá, ponte da barranca. ....	25
Figura 6	Lavoura de cultivo de arroz mecanizada. ....	26
Figura 7	Visual da cancha de cultivo de arro após alisamento com lâmina de água de 5 a 7 cm. ....	28
Figura 8	Cultivo de arroz irrigado na fase de inundação e a mudança na paisagem. ....	29
Figura 9	Estuário do Rio Araranguá. ....	31
Figura 10	Demonstração de uma RSSF. ....	34
Figura 11	Diagrama de blocos de um nodo coordenador. ....	35
Figura 12	Transmissão Multihop. ....	36
Figura 13	Diagrama de blocos do experimento. ....	42
Figura 14	Fluxo de informações do experimento. ....	42
Figura 15	Diagrama de blocos do nodo sensor da rede. ....	43
Figura 16	Diagrama de blocos do nodo coordenador da rede. ....	43
Figura 17	Criação da tabela do banco de dados. ....	44
Figura 18	Visualização dos dados dentro do banco de dados. ....	45
Figura 19	Módulo conversor e amplificador HX711. ....	46
Figura 20	Circuito integrado do módulo conversor e amplificador HX711. ....	47
Figura 21	Chapa utilizada no condutivímetro. ....	48
Figura 22	Circuito do sensor condutivímetro. ....	49
Figura 23	Amostras enumeradas de 1 a 5. ....	50
Figura 24	Medindo condutividade das amostras (exemplo). ....	50
Figura 25	Curva de salinidade. ....	52
Figura 26	Vista frontal do ponto de captação das medidas do Rio Araranguá. ....	53
Figura 27	Vista aérea do ponto de captação das medidas do Rio	

Araranguá.....	53
Figura 28 Bóia nodo coordenador.....	55
Figura 29 Bóia nodo sensor.....	55
Figura 30 Fotos do experimento.....	56
Figura 31 Controle dos dados medidos no Rio Araranguá.....	60
Figura 32 Visualização detalhada da disposição dos dados na página web.....	61
Figura 33 Atuação do TCC.....	62
Figura 34 Chapa oxidada no experimento.....	63
Figura 35 Condutividade água do Rio Araranguá.....	63
Figura 36 Microcontrolador Arduino UNO.....	77
Figura 37 Dispositivo Xbee.....	78
Figura 38 Pacote de comunicação do nodo sensor e o nodo coordenador.....	79
Figura 39 Sensor de temperatura da água DS18B20.....	80
Figura 40 Bateria de LiPo Turnigy nano-tech 1000mAh.....	81
Figura 41 Shield GSM SIM900.....	82
Figura 42 Phmetro SEN0161.....	83

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Estatísticas das amostras. ....	50
Tabela 2	Condutividade e salinidade das amostras. ....	51
Tabela 3	Classificação condutivímetro do projeto em relação ao condutivímetro manual. ....	51
Tabela 4	Intervalos de condutividade e salinidade. ....	51
Tabela 5	Variação das medidas no decorrer do teste. ....	57
Tabela 6	Estatísticas da variação das medidas no decorrer do teste. ....	57
Tabela 7	Gasto de corrente dos dispositivos alimentados pela bateria no nodo coordenador. ....	58
Tabela 8	Gasto de corrente dos dispositivos alimentados pela bateria no nodo sensor. ....	58
Tabela 9	Gasto de corrente dos nodos durante o experimento. ....	58
Tabela 10	Distância X Perda de pacotes na comunicação Xbee - Teste na universidade. ....	59
Tabela 11	Distância X Perda de pacotes na comunicação Xbee - Experimento. ....	60



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA .....	15
1.2 PROBLEMÁTICA .....	17
1.3 OBJETIVO .....	18
1.3.1 Objetivo Geral .....	18
1.3.2 Objetivos Específicos .....	18
1.4 METODOLOGIA .....	19
<b>2 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARARANGUÁ</b> .	21
2.0.1 O Rio Araranguá .....	22
2.1 BREVE HISTÓRICO .....	25
2.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A QUESTÃO AMBIENTAL E A PRODUÇÃO DE ARROZ .....	27
2.2.1 Relação dos problemas ambientais da bacia com a rizicultura irrigada .....	28
2.2.2 Cunha Salina .....	30
<b>3 REDES DE SENSORES SEM FIO</b> .....	33
3.1 CARACTERÍSTICAS DAS RSSF .....	36
3.2 REDE ZIGBEE .....	37
3.2.1 O padrão .....	38
3.2.2 Modelo de rede .....	39
<b>4 MODELAGEM DO PROTÓTIPO</b> .....	41
4.1 EXPERIMENTO .....	41
4.2 HARDWARE E SOFTWARE UTILIZADOS .....	42
4.2.1 Hardware utilizado .....	42
4.2.2 Servidor web e banco de dados .....	44
4.2.2.1 Configuração do Banco de Dados .....	44
4.2.2.2 Criação do servidor Web .....	44
4.3 DESENVOLVIMENTO DO CONDUTIVÍMETRO .....	45
4.3.1 Módulo HX711 .....	46
4.3.2 Materiais utilizados no sensor .....	47
4.3.3 Circuito elétrico de medição do condutivímetro ...	48
4.3.4 Calibração do condutivímetro .....	49
4.4 CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO EXPERIMENTAL ...	52
4.4.1 Localização do ambiente experimental .....	52
4.4.2 Infraestrutura utilizada no experimento .....	54
4.5 RESULTADOS OBTIDOS .....	56
4.5.1 Medida de condutividade, pH e temperatura da água	56

<b>4.5.2 Autonomia dos nodos</b> .....	57
4.5.2.1 Autonomia máxima .....	57
4.5.2.2 Gasto de corrente no experimento .....	58
<b>4.5.3 Distância dos nodos</b> .....	59
4.5.3.1 Teste inicial .....	59
4.5.3.2 Perda de pacotes no experimento .....	59
<b>4.6 CONTROLE E ATUAÇÃO DO EXPERIMENTO</b> .....	60
<b>4.6.1 Controle dos dados medidos</b> .....	60
<b>4.6.2 Atuação do projeto</b> .....	61
<b>4.7 ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	62
<b>4.7.1 Condutivímetro</b> .....	62
<b>4.7.2 Phmetro</b> .....	64
<b>4.7.3 Temperatura da água</b> .....	64
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	65
5.1 CONCLUSÃO .....	65
5.2 CONTRIBUIÇÕES .....	66
5.3 PRINCIPAIS DIFICULDADES ENCONTRADAS .....	67
5.4 APRENDIZADOS PARA CONTINUAÇÃO DO TRABALHO	67
5.5 TRABALHOS FUTUROS .....	68
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	69
<b>ANEXO A – Informações detalhadas do hardware utilizado no projeto</b> .....	77

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

O arroz é um dos alimentos mais importantes para a nutrição humana, sendo a base alimentar de mais de três bilhões de pessoas. Atualmente, é a cultura com maior potencial de aumento de produção e responde pelo suprimento de 20% das calorias consumidas na alimentação de pessoas no mundo. Em decorrência disso, desempenha papel estratégico na solução de questões de segurança alimentar. É o segundo cereal mais cultivado no mundo, ocupando a área aproximada de 168 milhões de hectares. Em termos de segurança alimentar e extensão da área plantada, o arroz é um dos cereais mais importantes cultivados no planeta (AZAMBUJA et al., 2004; FOOD; NATIONS, 2014). Avanços tecnológicos, especialmente a partir de 1970, permitiram a evolução da área e da produtividade na América Latina (FILHO, 1979; SANINT, 1997) onde o Brasil se destaca como maior produtor (AZAMBUJA et al., 2004). É uma das culturas mais produzidas no Brasil, participando de 15 a 20% na safra nacional de grãos, sendo um produto tipicamente utilizado para o consumo interno (AZAMBUJA, 2003). O país tem uma produção anual entre 11 e 13 milhões de toneladas de arroz nas últimas safras, participando com 79,3% da produção do Mercosul (na média de 2008/2009 até 2014/2015). A cultura do arroz, especialmente o irrigado, tem grande importância social e econômica no Brasil (NOLDIN; EBERHARDT, 2005).

O arroz é produzido em 83 municípios catarinenses, a maior área plantada concentra-se no sul do Estado com 61,9%, seguido do Médio/Baixo Vale do Itajaí e Litoral Norte com 25,2%, Alto Vale do Itajaí com 9,04% e o Litoral Centro com 3,9% da área plantada (EPA-GRI, 2016). O setor agroindustrial operou em 2016 com 66 indústrias de beneficiamento, das quais 30 concentram-se na região de Araranguá e 18 em Criciúma, com capacidade de beneficiar 1500 mil t/ano de arroz em casca, muito superior a produção do estado, e portanto, a região importa arroz de outros estados. Em SC, o valor bruto da produção (VBP) do arroz no ano de 2014 foi de 736 milhões, representando 3,4% do VBP dos principais produtos da agropecuária do estado. Atualmente, mais de 30 mil pessoas dependem economicamente desta atividade. Não é um valor muito alto, mas é importante por sua contribuição na diversificação da economia catarinense, e de extrema importância para a economia do sul do estado. Em um levantamento

realizado pela EPAGRI/CEPA (2016) na safra de 2015/2016 constatou-se que 90% da mão de obra ocupada na produção é familiar. Em média, são envolvidas duas pessoas por propriedade. O cultivo do arroz ocupa áreas sujeitas a inundação e portanto, não são áreas de desenvolvimento da pecuária e de outros cultivos. Dos 146.692 ha plantados, a produção é de 6.998kg/ha, somente na região sul do Estado de SC estão 90.765ha com 7.050kg/ha produzidos. O estado de Santa Catarina é nos dias de hoje o 2º maior produtor de arroz irrigado do Brasil, sendo considerado estabilizador para o mercado brasileiro juntamente com o Rio Grande do Sul, garantindo o suprimento desse cereal à população brasileira, tendo a produção de de 8,5% e 9,8% nas safras de 2014/15 e 2015/2016, respectivamente.

Na região sul de Santa Catarina, observa-se um grande número de lavouras que utilizam o Rio Araranguá para a irrigação, pois é possível acompanhar o número elevado de bombas de irrigação nas margens do rio. Constatou-se que aproximadamente 70% da população rural que habita nessa área, utiliza da água do rio para fim de abastecimento doméstico. A captação é realizada através de poços escavados com profundidades de cerca de 3 a 15 metros (KREBS et al., 2004).

O Rio Araranguá é formado pela junção dos rios Itoupava e Mãe Luzia, possui uma vazão média de 53 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, apresenta orientação geral leste-oeste, sinuosidades do tipo meandrante e na foz desloca-se para nordeste paralelamente a linha de costa por cerca de 7 km antes de desaguar no mar. Próximo a foz a principal atividade desenvolvida é a pesca. O canal apresenta um fundo irregular, sendo que ao longo do seu talvegue, o Rio Araranguá apresenta uma profundidade média de aproximadamente 7,5 m, variando da mínima de 2,5 m próximo da desembocadura até a máxima de quase 12 m, localizado 30 km a montante (MANIQUE et al., 2010).

De acordo com os dados do ICEPA (2010) de 2010 a microrregião geográfica de Araranguá é a maior produtora de arroz Santa Catarina, tendo sua produção na safra de 2010/11 na casa de 313 mil toneladas, o que corresponde a 31,8% da quantidade produzida de grãos de todo o estado. Nessa microrregião é onde se concentra a maior parte da produção da rizicultura, o que faz com que ela ocupe um lugar de grande destaque no estado.

Para orientar os agricultores, a EPAGRI fornece acesso ao serviço de monitoramento de maré ao longo do dia e também com a previsão para uma semana, através de um Maregrama disponibilizado pelo sistema CIRAM acessado pela Internet. A EPAGRI, recomenda também, aos produtores de arroz de SC, que utilizam águas de rios litorâneos,

que adquiram condutivímetros portáteis, que são de baixo custo e de fácil operação. Estes equipamentos permitem acompanhar a qualidade da água e tomar decisões acertadas no manejo da irrigação nas lavouras. No entanto, apenas através do sistema CIRAM é difícil precisar o nível de salinidade da localidade onde estão instaladas as bombas para irrigação.

## 1.2 PROBLEMÁTICA

O arroz é uma planta hidrófila, assim sendo as culturas irrigadas são as mais comuns no Sul do Brasil. O melhor ambiente para a cultura do arroz irrigado são várzeas que oferecem um subsolo impermeável, a uns 20 a 25 cm da superfície, porque elas possibilitam grande economia da água necessária à irrigação.

Na região de Araranguá, existe uma vasta área plantada do arroz irrigado próximo às margens do Rio Araranguá, que possui ligação com o mar. No entanto, o arroz irrigado é considerado uma cultura moderadamente sensível à salinidade. Quando o solo é afetado por altos níveis de salinidade ocorrem reduções na taxa de crescimento, pois além da toxidez causada pela alta concentração de sais, as plantas ficam incapacitadas de absorver a quantidade suficiente de água, pelo decréscimo do componente osmótico do solo (EPAGRI, 2012). A sensibilidade do arroz ao sal da água varia conforme o estágio de desenvolvimento da planta, sendo críticas nas fases de plântula e floração que quando em níveis acima do tolerado, ocasiona redução da densidade das plantas, morte das folhas, aumento da esterilidade e número de perfilhos não produtivos (SOSBAI, 2012).

Conforme observado por MANIQUE et al. (2010), a salinidade no estuário do Rio Araranguá pode avançar mais de 30 km estuário adentro, alcançando facilmente diversas bombas para retirada de água para irrigação do arroz. Conforme as estimativas da EPAGRI (1998), a demanda da rizicultura nesta região é quase seis vezes superior à vazão de estiagem. Essa demanda de água para rizicultura prejudica o abastecimento de água para consumo e favorece a salinização dos rios na sua porção estuarina comprometendo a captação de água para abastecimento e para a própria rizicultura.

O presente trabalho propõe para a coleta e envio dos dados, o emprego de sensores e módulos de Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) para a monitoração dos dados relacionados à salinidade do Rio Araranguá. O critério utilizado para a análise para verificar a salinidade é a

condutividade elétrica (CE) da água da irrigação, dada a relação direta entre a planta e a água utilizada, a qual, nesse trabalho, será estimada por um condutivímetro.

As RSSF são redes de dispositivos autônomos que coletam dados através de sensores e cooperam entre si (TIERNO, 2008). Elas constituem uma tecnologia emergente e muito interessante pela mistura de vários campos da tecnologia, tais como: sensoriamento, computação e comunicação. Com o ônus de que uma RSSF detém de uma autonomia muito mais baixa do que uma rede cabeada, por exemplo. A maioria delas dependem de uma bateria ou de um painel solar, os quais são recursos limitados, tendo que fazer um certo equilíbrio entre a autonomia de energia e a transferência de dados, ou seja, a durabilidade do sistema perante sua medição, a largura de banda no envio de dados, o nó e também a frequência de processamento dentro do microcontrolador.

### 1.3 OBJETIVO

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um mecanismo para monitorar pH, condutividade e temperatura de um ponto do Rio Araranguá para auxiliar na coleta de informações para os produtores de arroz irrigado da região. O protótipo deverá, em primeiro momento, considerar um trecho com 2 pontos no Rio Araranguá, utilizando uma infraestrutura de RSSF.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

Considerando o desenvolvimento do trabalho e o objetivo geral apresentado, destacam-se os seguintes objetivos específicos:

- Pesquisar as tecnologias de RSSF e GSM e determinar como realizar a transmissão das amostras coletadas na beira do rio;
- Desenvolver o circuito do condutivímetro e montá-lo;
- Realizar testes com os sensores de um modo geral (pH, condutivímetro, nível e pressão);
- Calibrar os sensores de pH e de condutividade;
- Modelar a infraestrutura que será feita no trecho do Rio Araranguá;

- Desenvolver um mini-servidor para visualização de dados;
- Testar e validar os dados e infraestrutura de RSSF.

#### 1.4 METODOLOGIA

O presente trabalho está organizado da seguinte forma:

- Capítulo 2: As informações relacionadas a bacia do Rio Araranguá e sobre as áreas de produção de arroz da região no entorno do Rio estão apresentadas neste capítulo. Parâmetros como a extensão das águas do Rio Araranguá, municípios de compreensão da extensão do Rio, índices de vazão, bem como os problemas ambientais relacionados com a produção de arroz irrigado e a questão da salinidade do estuário estão descritos neste capítulo;
- Capítulo 3: Definição, objetivo e características das RSSF, descrição dos equipamentos de radiofrequência, protocolo, modos de alimentação e modelo de rede utilizados e testados no trabalho;
- Capítulo 4: Modelagem do sistema implementado com a RSSF, informações sobre hardware e software utilizados, caracterização do cenário experimental e os experimentos realizados estão disponibilizadas neste capítulo;
- Capítulo 5: Conclusão e trabalhos futuros;
- Capítulo 6: Referências bibliográficas.



## 2 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARARANGUÁ

A bacia do Rio Araranguá localiza-se ao sul do Estado de Santa Catarina, aproximadamente 40 km da divisa com o Rio Grande do Sul. Compreende os municípios de Criciúma, Siderópolis, Treviso, Cocal do Sul, Içara, Nova Veneza, Forquilha, Maracajá, Arroio do Silva, Meleiro, Turvo, Ermo, Jacinto Machado, Morro Grande, Timbé do Sul e Araranguá, totalizando uma área de aproximadamente 3020 km<sup>2</sup>. A cidade de Araranguá, que dá o nome desse subsistema, se destaca como o centro polarizador das atividades de comércio e prestação de serviços, seguido da agropecuária. É importante destacar que a atividade da mineração de carvão é bem atuante na porção oriental bacia do rio Araranguá. Enquanto na centro-ocidental se concentra-se por extensas lavouras de arroz irrigado.

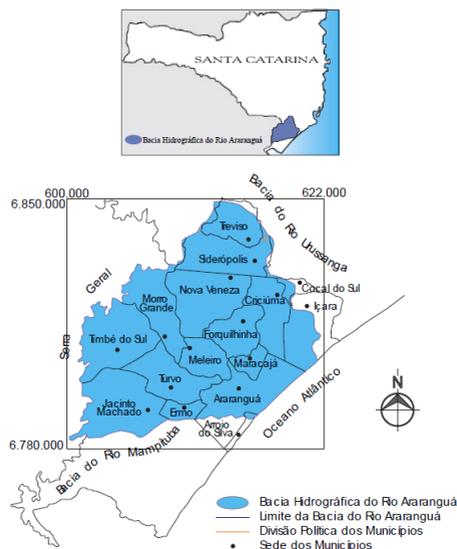


Figura 1 – Localidade da bacia do rio Araranguá.

Fonte: Krebs e Alexandre (2000)

A bacia apresenta seus índices máximos de vazão no período de fevereiro à março. As vazões mínimas ocorrem no período de novembro a janeiro. O clima é mesotermo com chuvas bem distribuídas regularmente através do ano, porém, o índice de precipitação é bem variado

durante o dia. Sendo que a temperatura média é 19°C, alternando entre 14°C a 23°C (GAPLAN, 1986).

A bacia do rio Araranguá é um espaço onde se observam paisagens diferenciadas. No baixo vale, o Rio Araranguá recebe a carga poluente das atividades localizadas a montante, que misturam-se às águas estuarinas. Ela abrange uma expressiva porção da fachada atlântica do sul do estado de Santa Catarina e compreende três principais macro-unidades geomorfológicas: o Compartimento Serrano, representado pela escarpa (terreno íngreme) da Serra Geral; a Baixada Pré-Litorânea, representada por amplas superfícies aplainadas resultantes do retrabalhamento de antigos depósitos de leques aluviais e fundos de vales preenchidos por uma sedimentação aluvial moderna; e a Baixada Litorânea, representada por depósitos fluviolagunares (ação de rios e lagos) e cordões arenosos marinhos (DANTAS et al., 2005). O subsistema dos terrenos íngremes da Serra Geral transferem matéria e energia para os pontos mais baixos, que são a baixada pré-litorânea e baixada litorânea, que ao mesmo tempo que recebem, também exportam para o oceano.



Figura 2 – Paisagem característica da Bacia do Rio Araranguá no subsistema de arroz irrigado.

Fonte: COMASSETTO (2008)

### 2.0.1 O Rio Araranguá

À montante da cidade de Araranguá situa-se o principal rio da bacia, nomeado com o próprio nome da cidade, o Rio Araranguá. Ele é formado pela confluência dos rios Mãe-Luzia e Itoupava, sendo os dois

principais fornecedores de água para a rizicultura da região, através de suas planícies fluviolagunares de baixo curso. O rio abrange apenas o trecho final da bacia, fluindo através de 35 km até a sua foz com o Oceano Atlântico através do Balneário Morro dos Conventos, desembocando numa área transicional do continente com o oceano, chamado de estuário.

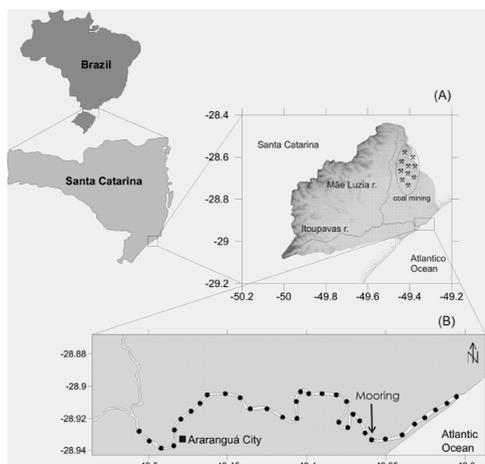


Figura 3 – Junção dos rios Itoupava e Mãe Luzia formando o Rio Araranguá a jusante da extração de carvão.

Fonte: D'aquino et al. (2010)

O Rio Araranguá apresenta um padrão de canal com trechos retilíneos, consistindo um típico rio de planície com gradiente do canal extremamente baixo. Os trechos desembocam nas extensas planícies mal drenadas, circundadas de cordões arenos e campos de dunas, fazendo com que a drenagem do rio seja muito baixa, sendo que os terrenos planos da baixada são cortados por poucos canais.



Figura 4 – Rio Araranguá circundado por campos e dunas.  
Fonte: Dantas et al. (2005)

Calcado na presente análise geomorfológica, pode-se salientar, de forma geral, grandes conjuntos fisiográficos e paisagísticos que nortearam os processos de intervenção humana e produziram distintas paisagens geográficas na bacia hidrográfica do Rio Araranguá. Neste sentido, ressalta-se também os impactos ambientais advindos do processo histórico de apropriação desses espaços geográficos pelas sucessivas atividades econômicas (DANTAS et al., 2005).



Figura 5 – Foto real do Rio Araranguá, ponte da barranca.  
Fonte: O autor

## 2.1 BREVE HISTÓRICO

A economia da bacia do Rio Araranguá no período de 1890 até 1945 esteve muito fortemente ligada à exploração agropecuária. No entanto, o sistema de produção de arroz irrigado atualmente praticado na bacia começa mais concretamente a partir do 1950, percebendo-se um aumento significativo do número de áreas irrigadas na bacia, elevando a demanda da água, impondo a construção de vários canais de irrigação, sendo que antes, num primeiro momento, pelas condições de relevo e recursos ambientais disponíveis, era aplicado o policultivo.

Domingos e Bacha (2002) lembram que o arroz é considerado uma planta semiaquática, exigindo grandes quantidades de água para ser rentável. Os principais elementos que caracterizaram a rizicultura irrigada como a principal atividade agrícola dessa região foram: clima, relevo e solo adequados para o cultivo de arroz irrigado, com rede hidrográfica bem distribuída podendo ser apropriada para essa finalidade e com as devidas práticas de adequação do terreno, criaram-se as condições mínimas para o cultivo de arroz em larga escala, sendo que no início, a irrigação era utilizada somente nas áreas próximas aos rios, onde o relevo permitia a água ser conduzida por gravidade. Porém, esse método tinha uma baixa eficiência do uso da água.

Segundo Back (1998), antes desse período do começo da explo-

ração agrícola, o cultivo era feito em solo seco. A semeadura era feita utilizando-se uma enxada para cobrir a semente com terra ou de uma plantadeira manual. Após certo tempo, cultivava-se preferencialmente em terras úmidas e nas áreas próximas de rios, em locais cujo relevo permitisse o uso da água conduzida por gravidade, ou seja, terrenos mais baixos que o rio, mais conhecidos por "banhados". Sendo assim, novas áreas passaram a ser cultivadas com água dos rios conduzidas até as lavouras através de canais.



Figura 6 – Lavoura de cultivo de arroz mecanizada.

Fonte: Pereira (2008)

As condições do relevo com pouca declividade favoreceram a sistematização de áreas para o uso da irrigação no sistema de inundação, ao passo que a proximidade grande dos rios facilita o fluxo da água superficial, fazendo com que cada vez mais fossem ocupadas as margens dos rios com o cultivo de arroz.

Na década de 1980, o processo de mecanização da produção, pela troca de ferramentas manuais pela aquisição e uso de máquinas e equipamentos mais modernos, começou-se o uso dos agroquímicos, apesar de que em menor escala e aplicados manualmente.

Segundo um diagnóstico chamado "Plano de Gestão e Gerenciamento da Bacia do Rio Araranguá: Zoneamento das Disponibilidades Hídricas da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá" (ICEPA, 1997), apontou de forma específica que a bacia já em 1997 "apresentava uma situação crítica em relação à disponibilidade de águas superficiais para fins de abastecimento público, industrial e agrícola". Sendo agravadas

cada vez mais pelas desenvolvimento das diversas atividades econômicas, apontando também que as condições de qualidade da água são críticas em diversos pontos da bacia, indicando que os principais causadores são as atividades de rizicultura irrigada e mineração.

## 2.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A QUESTÃO AMBIENTAL E A PRODUÇÃO DE ARROZ

Alguns estudos apontam que o cultivo de arroz irrigado afeta o solo, a água e o ar, e ainda tem o agravante do elevado consumo de água (se comparado a outras atividades econômicas), desmatamento em larga escala nos leitos de rios, mudança de paisagem, trazendo o esgotamento de recursos ambientais e a redução da biodiversidade.

O estado de Santa Catarina possui uma rica e bem distribuída rede hidrográfica com regime pluviométrico bem regular e razoavelmente bem distribuído durante o ano. Entretanto, numa avaliação preliminar e indicativa sobre a disponibilidade hídrica frente aos diversos usos feita por COMASSETTO (2008), revela que o comprometimento da água disponível em situação de estiagem e qualidade é mais preocupante e crítica na bacia do Rio Araranguá, se comparada com outras bacias catarinenses.

A água ocupa uma posição de destaque na bacia, pelo motivo de ela manter tanto os ecossistemas naturais (flora e fauna), assumindo uma importante função na produção das cidades, tanto industrial como agrícola, promovendo o crescimento econômico, porém, comprometendo de diversas formas a qualidade ambiental. COMASSETTO (2008) salienta também que alguns fatores caracterizam o problema ambiental da bacia, com destaque para a mineração de carvão e agropecuária em geral, cujos sistemas não apenas se apropriam da água, mas também a poluem.

A rede hidrográfica encontra-se comprometida em 2/3 de sua extensão com valores de pH das águas dos rios atingindo, em certos trechos, o nível de 2 a 3 unidades, com elevados teores de acidez e de sulfatos de ferro (ALVAREZ et al., 1978).

### 2.2.1 Relação dos problemas ambientais da bacia com a rizicultura irrigada

A rizicultura irrigada também apresenta importância socioeconômica significativa ocupando, segundo Buss et al. (2005), a maior parte da planície aluvial dos rios da bacia, originando uma paisagem homogênea marcada pelas canchas de arroz, instaladas em uma topografia plana ou aplainada, que cada vez mais se expande em direção às encostas, modificando profundamente a paisagem original. Outra forma de degradação do Rio Araranguá está ligada diretamente a agricultura da região. O preparo da terra para o plantio do arroz se realiza com uma lâmina de água, operação essa conhecida como “lameiro”, que consiste no “alisamento” do solo (ALTHOFF; KLEVESTON et al., 1996).



Figura 7 – Visual da cancha de cultivo de arroz após alisamento com lâmina de água de 5 a 7 cm.

Fonte: Pereira (2008)

A área cultivada é de 51.404 hectares, que corresponde a mais de 30% da área plantada do território da bacia do Rio Araranguá, sendo considerada a maior produtora do estado. Na safra de 2015/16 teve produção de 364 mil toneladas, com rendimento de 7.086kg/ha (EPAGRI, 2016). É o setor econômico que mais demanda água na bacia devido ao sistema de cultivo pré germinado, que utiliza água desde a fase de preparo do solo até próximo da fase de colheita, ao manter-se uma lâmina de água na lavoura de 10 cm de altura em média. A razão disso é a aptidão dos solos da bacia para esse tipo de prática agrícola (EPAGRI, 2000).

Durante o preparo dos canais de entrada de fluxo de água para as lavouras, o volume de sedimentos transportados pelos rios aumenta alarmantemente, implicando em sérios problemas, tais como: mudança na paisagem, a perda de solos saudáveis pra cultura do arroz e o comprometimento do rio por assoreamento, aumento da turbidez e arraste de defensivos agrícolas e impermeabilizantes (que servem para adequar as condições do terreno) incorporados ao solo provenientes de outras plantações anteriores em direção a nascente da bacia.

Alexandre e Duarte (2005) observam alguns efeitos do cultivo de arroz irrigado, que com a total mecanização, reduz a capacidade de infiltração da água, contribuindo com o processo de erosão nas épocas de alta pluviosidade: a água enfrenta dificuldade de penetrar no solo, sendo levada para o rio, levando os sedimentos de solo e uma boa porção de nutrientes, que se situam acima da camada compactada, provocando a turbidez na água. Além disso, as alterações causadas na paisagem para viabilizar a rizicultura ocorrem da seguinte forma: remoção da mata nativa e nivelamento do relevo, interferindo significativamente no fluxo natural dos rios e na capacidade de recarga dos aquíferos. Haldich (1997) e Gaidzinski (2001) afirmam que a água devolvida aos rios compromete a qualidade das águas superficiais e subterrâneas.



Figura 8 – Cultivo de arroz irrigado na fase de inundação e a mudança na paisagem.

Fonte: O autor

Segundo a pesquisa de Krebs e Alexandre (2000), os resultados de análise das amostras de água coletadas em áreas de cultivos de arroz em épocas coincidentes com a irrigação, apresentaram altas taxas de metais pesados (Co, Zn, Cu e Ni), os quais ultrapassaram 750 vezes os parâmetros admitidos pelo CONAMA (Santa Catarina, 1998), evidenciando a contaminação das águas pelos herbicidas e pesticidas utilizados na rizicultura. CHEMIM (2002) afirma que o uso da água para irrigação de arroz, ao mesmo tempo que esse sistema proporcionou aumento significativo na produtividade do arroz, comprometeu a qualidade da água, tanto de forma qualitativa e quantitativa. É recomendado o uso de inseticidas apenas quando for detectada a necessidade, nunca preventivamente.

Essa prática de cultivo necessita de muita água, especialmente em épocas de pouca pluviosidade, especialmente nos meses entre novembro e fevereiro, que também são o período com maior evapotranspiração. Com isso, com a frequente expansão de áreas de rizicultura na bacia, precisa-se analisar, principalmente, a disponibilidade e qualidade da água do local, senão a prática poderá não ser sustentável num futuro próximo.

### **2.2.2 Cunha Salina**

A rizicultura tem uma grande expressão econômica para essa região da bacia do Rio Araranguá. Outro grande problema que resulta do vasto uso desse sistema de cultura de arroz irrigado é a salinidade. O fenômeno de cunha salina ocorre quando a vazão da água doce, que é injetada em um estuário por um rio, tende a lançar-se no oceano escoando sobre uma camada inferior de água salgada que se movimenta do ambiente marinho em direção ao ambiente terrestre (PMCS, 2005). Esse problema limita o uso da água para agricultura e consumo doméstico. A salinização da água também pode contaminar os recursos hídricos subterrâneos desse trecho da bacia, especialmente na região costeira. O sal diluído na água em quantidades maiores nos mananciais hídricos, utilizados na irrigação das lavouras de arroz, pode reduzir o crescimento das plantas (GOMES et al., 2004). O desempenho da rizicultura pode ser influenciado pela composição e concentração, intensidade e duração do estresse salino (GRATTAN et al., 2002; SCIVITTARO et al., 2012).

Segundo YOSHIDA (1981) e Marcondes e Garcia (2009), o arroz é muito sensível à salinidade nas fases iniciais, de plântula e flo-

ração, o que pode trazer danos sem volta no crescimento, redução do perfilhamento, esterilidade e/ou morte das plantas. Os efeitos tóxico-fisiológicos do estresse causado pelo sal incluem a diminuição da germinação, florescimento das mudas e expansão das folhas, causando redução na área de fotossíntese da planta e na matéria seca, reduzindo o conteúdo nutritivo absorvido pela planta (ASHRAF, 2010).

Nas regiões costeiras de SC, as fontes de água para a rizicultura conectadas com o oceano sofrem grande influência, principalmente em épocas de pouca chuva e em dias em temperatura acima do normal, devido à evapotranspiração. Com a redução do nível e água no rio, a água salgada é propiciada a entrar adentro do rio, aumentando a concentração de sais que podem causar danos à cultura do arroz (SCHMIDT; FILHO, 2017). Devido a maior densidade da água do mar, ela forma uma espécie de cunha, que penetra pela parte inferior da região da água doce.

Antes da exploração, com o contínuo escoamento água do rio para o mar, as pressões entre a foz e o mar mantinham a posição da cunha salina em equilíbrio, porém, com a contínua exploração do aquífero costeiro, da poluição da água com os defensivos agrícolas, e com os inúmeros canais feitos para desembocar a água nas lavouras de arroz, o bombeamento reduz a pressão da água doce, diminuindo sua descarga em direção ao mar, resultando no avanço da cunha salina, podendo atingir poços e contaminar todo o aquífero (D'AQUINO et al., 2010). Esse processo ocorre mais frequentemente em novembro, dezembro, dezembro, janeiro e fevereiro, que são os meses de verão, sendo mais quentes, coincidindo com o ciclo de irrigação das lavouras (SCHMIDT; FILHO, 2017).



Figura 9 – Estuário do Rio Araranguá.  
Fonte: Tadeu Santos (2010)

Schmidt e Filho (2017) afirmam que na região de influência da cunha salina do Rio Araranguá, que pode chegar a 45 km de extensão, atingem os afluentes nas cidades de Araranguá, Meleiro, Turvo e Maracajá, onde é comum ocorrer perdas de lavouras pela irrigação do arroz com água salgada sem ter o conhecimento da salinidade que poderia estar presente nela.

O rio sofre com as atividades carboníferas e a rizicultura, em torno do estuário ocorre a cultura do arroz irrigado o qual faz o uso da água estuarina (COELHO; D'AQUINO, 2011). Estuários são ambientes onde são observados fortes gradientes ambientais resultantes da dinâmica de interação entre água doce e a marinha no interior da bacia estuarina (CAMERON; PRITCHARD, 1963; MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002; DYER, 1997). A mistura entre águas de diferentes densidades, nesse caso do mar e do rio, depende do nível de energia disponível para gerar a mistura, principalmente gerada pela fricção gerada pela propagação da onda da maré.

Ambientes estuarinos estão localizados em uma zona de transição entre o ambiente terrestre e marinho, o qual ocorre encontro de duas massas da água, fluviais e marinhas. Entretanto é uma região altamente dinâmica, onde a água salgada é diluída no estuário, podendo assim ser classificado de acordo com sua estratificação de sal, onde tem como principais forçantes a descarga fluvial e oscilações do nível do mar (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002).

Quando a água do mar não é totalmente diluída na água do rio, o estuário começa a ter problemas nos processos de transporte e retenção de materiais, caracterizando o efeito filtrante, é são as trocas de sedimentos, nutrientes e poluentes da desembocadura do rio com a do mar, relacionando-se com a circulação de materiais nessa troca.

A concentração de sedimentos em suspensão varia significativamente de um estuário para o outro, bem como no tempo e no espaço para um mesmo estuário (DYER, 1995), com as constantes mudanças nos eventos hidrológicos ao longo do ano.

### 3 REDES DE SENSORES SEM FIO

Os dispositivos computacionais estão se tornando cada vez menores, possibilitando o surgimento de novas tecnologias. Entre estas tecnologias destacam-se as Redes de Sensores Sem Fio (RSSF), que são um tipo especial de rede ad-hoc constituída por um conjunto de dispositivos chamados nodos. Com suas partes básicas: o microprocessador, a memória, conversor analógico-digital (ADC), módulo de rádio, fonte de alimentação e os sensores propriamente ditos, que fornecem aos nodos a capacidade de coletar dados do ambiente no qual são imersos. Estes dispositivos, distribuídos em um espaço físico, permitem implementar aplicações dos mais variados gêneros (HAYES, 2008; WERNER-ALLEN et al., 2005). São compostos de hardware reduzido, de baixa capacidade computacional e de baixo custo se comparada com uma rede cabeada. Realizam atividades de sensoriamento e processamento de dados através de conexões sem fio.

A grande habilidade das RSSF reside em agregar um grande número de pequenos nodos sensores que se organizam e se configuram independentemente. A tecnologia de redes de sensores sem fio é um campo bastante explorado pela área de instrumentação e medidas de combinar sensoriamento, computação e comunicação em um único e pequeno dispositivo (HILL, 2003). As RSSF viabilizam ao administrador funcionalidades como instrumentação, monitoramento e reação a fenômenos e eventos em um ambiente específico para aquela rede (REGIS; ALENCAR, 2009). Além de fazer as coletas de dados, elas podem prover habilidades de atuação em eventos e controle, capacitadas de cooperar entre si e desempenhar tarefas mais complexas, como amostragem estatística e agregação de dados (ESTRIN et al., 1999, 2001). A figura 10 apresenta um exemplo de uma RSSF similar a que foi empregada no presente trabalho.

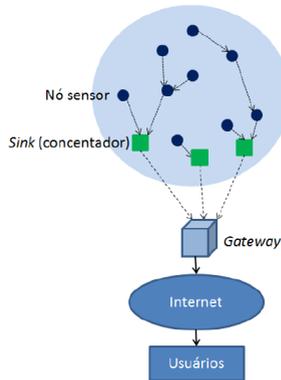


Figura 10 – Demonstração de uma RSSF.  
Fonte: Souza (2011)

Segundo Silva (2013), um aspecto que reforça o uso das redes de sensores sem fio é o avanço no desenvolvimento de micro sensores para medição de diversas grandezas (pressão, temperatura, umidade, fluxo de ar e calor, etc). O desenvolvimento nessa área deve-se aos avanços nas pesquisas com novos materiais e métodos para microfabricação de sensores microeletrônicos.

Os custos na instalação desse tipo de sistema tendem a ser minimizados uma vez que estruturas como cabos, fios e toda uma infraestrutura mais complexa não são necessários, permitindo uma certa área possa ser facilmente monitorada por centenas de sensores que automaticamente foram uma rede de interconexão e informam os dados sendo adquiridos.

A maioria das aplicações no campo das redes de sensores sem fio são projetadas sob restrições de energia de comunicação e largura de banda (DOWNES et al., 2006). Um nodo sensor dificilmente consegue processar e realizar a coleta dos dados de forma individual de um modo eficiente ao mesmo tempo, levando a maioria das aplicações a limitar seus mecanismos de aquisição de dados a tipos de dados de baixa largura de banda, ou seja, a quantidade de dados transferida (throughput) (SALUSTIANO, 2008), tende a ser reduzida, para não comprometer a autonomia de energia e o processamento de dados internamente do nodo. Porém, se os mesmos estiverem em grande número, eles têm o poder de fazer varias tarefas através de técnicas de colaboração e gerenciamento de recursos, oferecendo diversas possibilidades tecnológicas realmente novas.

É importante ressaltar que uma das grandes diferenças para às redes cabeadas, é que os protocolos criados e disponíveis para essas estruturas são inadequados para serem adotados nas aplicações baseadas em RSSF, devido a sua característica de restrição. Por exemplo, nas redes cabeadas, as requisições e o envio de informações entre os nodos e demais elementos que compõem a sua estrutura, são baseadas em endereços. Esta forma de ter acesso à informação não é aplicável no caso das RSSF's, uma vez que os dados adquiridos pelos sensores dos nós são difundidos através da rede, de acordo com o tipo de dado solicitado ou a ser propagado – os nodos podem, em um determinado instante, iniciar a propagação de um dado (JUNIOR, 2004).

As RSSF's tem dois principais tipos de nodos:

- **Nodo sensor:** Responsável por realizar e medir as variáveis ambientais, processá-las, deixá-las em um formato conhecido (caracteres ASCII) e transmiti-las pela rede para chegarem até o nodo coordenador (gateway). Basicamente, o nodo sensor é composto por um microcontrolador, um ou mais sensores, um ou mais módulos de comunicação sem fio e sua estrutura (nesse caso para boiar na água).
- **Nodo coordenador:** Responsável por receber as medidas dos nodos sensores, transformá-los em um pacote de dados e enviá-los para um servidor, contendo os valores das medidas de cada um dos nós e dele mesmo. Para obter essas funções, o nodo coordenador é capacitado por um microcontrolador, um ou mais sensores, um módulo xbee para comunicar-se com os nodos sensores e um módulo de transmissão GSM. São os encarregados de transportar os dados até a estação base onde se encontra o operador da rede, para armazenamento e aplicação dos mesmos.

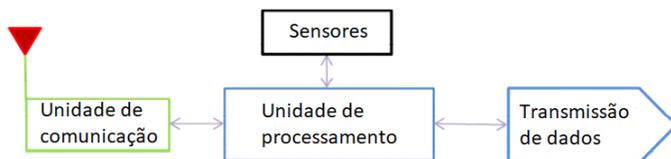


Figura 11 – Diagrama de blocos de um nodo coordenador.

Fonte: O autor

Uma RSSF coleta as informações medidas do ambiente e usa-as na aplicação na qual se deseja por um meio sem fio. Sendo assim, tem-se

de escolher um protocolo eficiente que balanceie as limitações de energia, processamento, transmissão e limitações de hardware. O pacote de transmissão de dados (tipo de dado e medida) terá que satisfazer a aplicação.

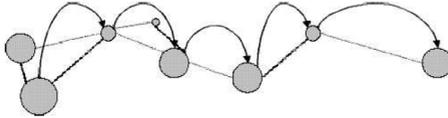


Figura 12 – Transmissão Multihop.

Fonte: Loureiro et al. (2003)

Deve ser levado em consideração o roteamento e comunicação entre os pontos que estão interligados na rede, pois os nodos sensores das RSSF tem recurso limitado e não podem receber uma carga de dados maiores do que seu buffer, o que poderia ocasionar sobrecarregamento e perda de informações.

### 3.1 CARACTERÍSTICAS DAS RSSF

Para o desenvolvimento de uma rede de monitoramento ambiental considerada do tipo heterogênea, ou seja, os nodos sensores possuem a mesma constituição física e as mesmas funções, terão as mesmas características de hardware, funcionamento e de comunicação, porém o nodo coordenador – que também será um nodo sensor – além de fazer o sensoriamento, transmitirá o pacote de dados para um servidor.

A natureza dinâmica das RSSF's requer procedimentos e a aplicação de mecanismos que dizem respeito a auto-organização e autoconfiguração da rede. A RSSF deve se ajustar a configurações de perda e inserção de nodos sensores, que podem ocorrer em situações de esgotamento de energia de suas fontes de alimentação, quando os nodos tornam-se inativos para economizar energia (“estado adormecido”, mais conhecido por sleep) ou outros dispositivos são adicionados à rede (JUNIOR, 2004).

Com isso, as RSSF possuem algumas características próprias, além de herdar de algumas outras das redes ad-hoc:

- Tolerância a falha - Os nodos podem ser perdidos por um período de tempo ou até desativados. Dentre as grandes falhas que ocorrem, estão a falta de visibilidade, principalmente no moni-

toramento ambiental, em que uma névoa pode comprometer a transmissão de dados, ou dano físico, onde algum animal ou condição climática comprometa o nodo, além de poder sofrer a perda momentânea de energia. O algoritmo de controle deverá se adequar para resolver problemas desse tipo de perda fazendo com o que os nodos atualizem sua tabela de nodos vizinhos.

- Escalabilidade - Uma das principais características da RSSF é a grande possibilidade de ter um grande numero de nos sensores devido às demandas da aplicação, recurso ou ambiente a ser monitorado. O protocolo de comunicação da rede deve se precaver do direcionamento dos dados.
- Hardware limitado - Recurso limitado, geralmente as medidas serão processadas em conjunto e não de forma individual.
- Baixa taxa de transmissão - As RSSF possuem baixas taxas de transmissão, além de que a informação coletada não é feita de forma contínua. As taxas podem ser influenciadas ou determinadas pelo tipo de sistema de rádio, protocolo de comunicação e modulação empregada. Se o pacote de dados delimitado no protocolo tiver muitos dados inúteis, como “bits de preenchimento”, resultará em uma transmissão não eficiente em informação.
- Sistema de funcionamento colaborativo - É mais conhecido pelo algoritmo adaptativo de atraso mínimo, no qual os dados coletados sequencialmente tem um *delay* entre eles, ou seja, um atraso mínimo para não haver sobrecarregamento de comunicação, reduzindo também o consumo de energia da rede.
- Comunicação Multihop - Mais conhecida por comunicação de múltiplos saltos que nada mais é a comunicação de nodo a nodo, com todos se comunicando usando broadcast.

### 3.2 REDE ZIGBEE

O padrão ZigBee (ZIGBEE, 2010) estabelece um conjunto de especificações (pilha de protocolos) para a comunicação sem fio em sistemas de sensores e controle, os quais, geralmente, dispõem de pouca largura de banda, energia limitada para operação dos dispositivos e devem ter uma baixa latência, considerando o grande número de dispositivos que podem constituir a rede (CONGONA, 2010).

O padrão IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) 802.15.4, que descreve as camadas mais baixas da pilha de protocolos; Física – PHY (*Physical*, camada física) e a camada de enlace MAC (*Medium Access Control*, acesso ao meio) é adotada pelo padrão ZigBee (ZIGBEE, 2010).

### 3.2.1 O padrão

O protocolo ZigBee foi desenvolvido pela Aliança ZigBee – um consórcio entre empresas de tecnologia e fabricantes de semicondutores globais. É uma tecnologia de transmissão de dados sem fio para redes de baixo custo e consumo, possibilitando grande autonomia. Segue o padrão IEEE 802.15.4, na parte destinada a redes sem fio de área pessoal com baixas taxas de transmissão (Low rate – Wireless Personal Area Network – LR – WPAN), para implementar as camadas física e de enlace, transmitindo os dados nas frequências ISM de 868 MHz (Europa), 915 MHz (EUA) e 2,45 GHz (global) (Zigbee, 2010). Dentre suas principais características estão:

- Baixo consumo;
- Suporte a diversas topologias de rede;
- Grande capacidade de nós na rede;
- Acesso ao meio físico: protocolo CSMA-CA;
- Criptografia de dados em AES (Advanced Encryption Standard), de 128 bits;
- Taxa de transmissão de dados: 20 kbps (868 MHz), 40 kbps (915 MHz) e transmissão máxima de 250 kbps (2,4 GHz);
- Alcance: 50m (entre 5 e 500m, dependendo do ambiente);

De acordo com o padrão IEEE 802.15.4, o ZigBee define seus dispositivos em duas funções: completa e reduzida.

Os dispositivos que fazem parte da rede são:

- Coordenador: Dispositivo do tipo FFD responsável pela formação da rede ZigBee. Estabelece o canal de comunicação e um número lógico na rede. Ao definir os parâmetros, o coordenador permite o tráfego dos dados entre os nodos da rede. Participa do

redirecionamento dos dados, recebendo-os e/ou transmitindo-os. Com isso, ele é um elemento imprescindível na rede e deve-se ter pelo menos um na rede.

- End device: Dispositivo do tipo RFD, apenas transmite ou recebe dados, sempre unindo-se a um coordenador. Não redireciona informação como um coordenador.

### 3.2.2 Modelo de rede

O padrão ZigBee, baseado nas recomendações do IEEE 802.15.4, considera uma topologia de rede mais complexa chamada malha (mesh), a qual foi utilizada nesse presente projeto.

Ela é caracterizada por ter a comunicação permitida entre todos os nodos, ou seja, todos os nodos se comunicam entre si, encaminhando as informações dos nodos sensores até chegar ao nodo coordenador. Essa topologia estabelece a redundância no tráfego de dados e favorece a segurança na comunicação, tendo a mínima perda de dados. No entanto, para grandes redes, essa configuração se torna inviável por sobrecarregar cada nó, uma vez que se torna responsável por transmitir dados e de todos os outros da rede. Por isso, existe a configuração de malha parcial, que permite a ligação de vários nodos entre si, mas com conexão limitada aos mais próximos, simplificando as interações, porém ainda oferecendo um nível de redundância capaz de garantir a comunicação dos dados através da rede (SILVA, 2013).

Dentro dela há dois tipos de classificação: com ou sem infraestrutura. Nas com infraestrutura, temos nodos que realizam tarefas específicas ou prestações de serviços específicos. Nas sem infraestrutura, os nodos móveis tem os mesmos serviços e se conectam entre eles de forma arbitrária, cooperando para formar uma rede, a qual é a grande característica da rede ad-hoc.

Este tipo de topologia é ideal quando se deseja alcançar maiores áreas de cobertura, porém, tem-se de ter um protocolo de configuração mais bem definido de redirecionamento de dados, pois dependendo do tráfego de transmissão e seus nodos adjacentes, a comunicação pode ficar comprometida em seu equilíbrio, fazendo com que as informações não chegando em tempo hábil pelo possível gargalo em algum caminho, enviando muitas mensagens por segundo, e conseqüentemente a autonomia dos nós não ficando satisfatória, perdendo o equilíbrio do sistema.



## 4 MODELAGEM DO PROTÓTIPO

### 4.1 EXPERIMENTO

A RSSF para monitoramento ambiental da condutividade do Rio Araranguá será composta por dois tipos de nodos: sensor e coordenador. Cada nodo possui particularidades que resultam em especificações distintas.

Os nodos apresentam um desafio em relação aos requisitos. Da mesma maneira que precisam ser leves e ter um tamanho bem reduzido comparado com os meios normais de medição, precisam também apresentar uma boa autonomia, levando a necessidade do uso de baterias pequenas e um sistema de baixo consumo, sem comprometer o processamento e a comunicação entre ele e o outro nodo.

Para realizar essa tarefa, é necessário o uso de componentes que são capazes de, juntamente com os sensores e módulos de comunicação, transferir, condicionar e preparar os dados para transmissão. E pra abrigar todo esse aparato, é necessário o uso do microcontrolador, que é um componente único que abriga processamento, interface, memória e diversas funções integradas em um único circuito microeletrônico (SILVA, 2013).

O nodo sensor realiza a leitura do sensor de temperatura e envia essa informação para o coordenador. Já o nodo coordenador realiza a leitura dos sensores de pH e do condutivímetro, e também recebe a leitura do sensor de temperatura da água pelo Xbee e envia os dados para o servidor WEB via GSM (figuras 13 e 14).

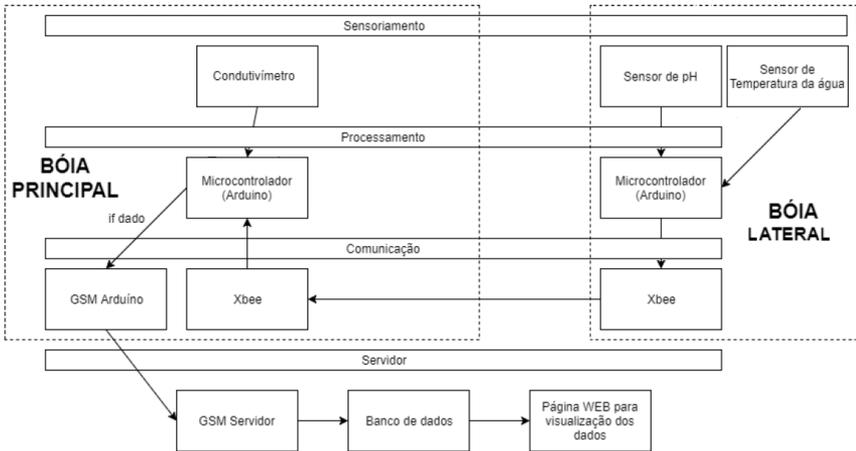


Figura 13 – Diagrama de blocos do experimento.

Fonte: O autor



Figura 14 – Fluxo de informações do experimento.

Fonte: O autor

## 4.2 HARDWARE E SOFTWARE UTILIZADOS

### 4.2.1 Hardware utilizado

O nodo sensor (figura 15) tem as seguintes especificações de hardware:

- Microcontrolador Arduino Uno com o microprocessador ATmega328p;
- Shield Xbee Série 1 900Mhz;

- Sensor de temperatura DS18B20;
- Bateria de LiPo Turnigy nano-tech 1000mAh;

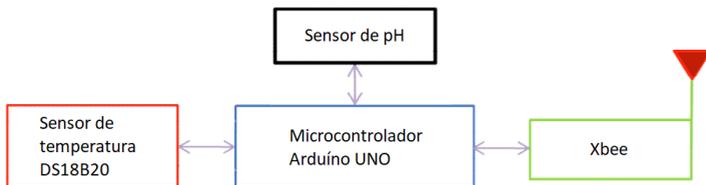


Figura 15 – Diagrama de blocos do nodo sensor da rede.  
Fonte: O autor

O nodo coordenador (figura 16) tem as seguintes especificações de hardware:

- Microcontrolador Arduino Uno com o microprocessador ATmega328p;
- Shield Xbee Série 1 900Mhz;
- Shield Arduino GSM/GPRS SIM900;
- Sensor de pH: pHmeter v1.0 SEN0161;
- Condutivímetro;
- Bateria de Lipo Turnigy nano-tech 1000mAh;

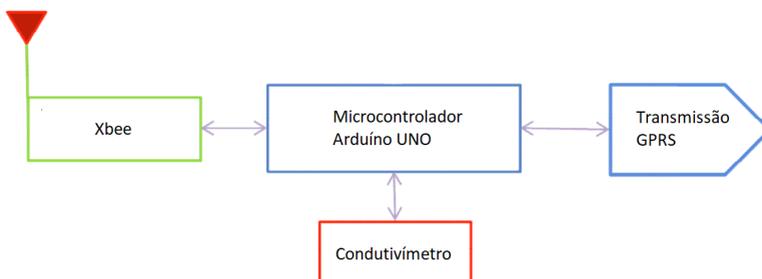


Figura 16 – Diagrama de blocos do nodo coordenador da rede.  
Fonte: O autor

Informações detalhadas sobre o hardware utilizado estão em anexo nesse texto.

## 4.2.2 Servidor web e banco de dados

A utilização do serviço web foi utilizado para o Arduíno enviar uma mensagem para ele, e o mesmo vai guardar a mensagem em um banco de dados, juntamente com a data e a hora em que a mensagem foi recebida pelo servidor. Por ser uma opção gratuita e público, foi escolhido o 000webhost.com como host, que suporta apenas as implementações PHP para servidor web e MySQL para o banco de dados e armazenar as informações.

### 4.2.2.1 Configuração do Banco de Dados

Utilizando o phpMyAdmin foi criado um banco de dados para armazenar todas as informações enviadas para o link do servidor web (larm.000webhostapp.com). Nesse banco de dados foi criada uma tabela com dois campos, que são vistos na figura 17:

- Time Stamp;
- Texto da mensagem enviada pelo Arduino.

#	Nome	Tipo	Agrupamento (Collation)	Atributos	Nulo	Predefinido	Comentários	Extra
<input type="checkbox"/>	timeStamp	timestamp(6)		on update CURRENT_TIMESTAMP	Não	0000-00-00 00:00:00.000000	Horario SMS	ON UPDATE CURRENT_TIMESTAMP
<input type="checkbox"/>	Texto	text	utf8_unicode_ci		Não	/None	Texto Recebido	

Figura 17 – Criação da tabela do banco de dados.

Fonte: O autor

### 4.2.2.2 Criação do servidor Web

Foram criados três arquivos PHP para acessar e atualizar esse banco de dados:

- Connect.php - Arquivo com as configurações do banco de dados (usuário e senha);
- Add.php - Esse arquivo recebe via GET as informações do GSM Shield pela internet, acesso o banco e grava os dados que foram recebidos pelo Arduino;
- Index.php - Arquivo responsável por montar a página web e exibir as informações do banco de dados para o usuário.

2018-11-11 20:56:57.000000	pH:5,56
2018-11-11 20:57:26.000000	Condut:8263
2018-11-11 20:58:02.000000	Temperatura:27,32C
2018-11-11 20:58:28.000000	pH:5,56
2018-11-11 20:59:03.000000	Condut:8192
2018-11-11 20:59:27.000000	Temperatura:27,32C
2018-11-11 20:59:53.000000	pH:5,56
2018-11-11 21:00:25.000000	Condut:8201

Figura 18 – Visualização dos dados dentro do banco de dados.

Fonte: O autor

Os dados ficaram dispostos dessa maneira na página web por cada informação ser mandada por vez, tendo cada uma seu time stamp individual.

#### 4.3 DESENVOLVIMENTO DO CONDUTIVÍMETRO

O condutivímetro é um dispositivo utilizado na verificação da condutividade elétrica de uma solução ou um material, com a capacidade de possuir corrente elétrica (CE), podendo ser definida como sendo o inverso da resistência.

Ribeiro et al. (2005) afirmam que a condutividade elétrica (CE) é a variável mais empregada para se avaliar o nível de salinidade, constituindo um os principais elementos de classificação da qualidade das águas para irrigação. A determinação da CE permite avaliar o perigo que a água oferece, em termos de salinização do solo (AMORIM et al., 2010; MEDEIROS et al., 2003).

Os medidores de condutividade são aplicados em análises químicas, onde a identificação de íons e a polaridade colaboram na identificação de espécies químicas em soluções aquosas. Também é aplicado em verificações de potabilidade de água, na determinação da sua pureza e diluição de íons, necessários em observações de concentrações de solutos e padrões de consumo humano (MÓL et al., 2005).

Os eletrodos são essenciais nos medidores da condutividade, isto porque ficam nos terminais do circuito em contato com a solução, onde transferem a energia do circuito para o eletrólito, efetuando a medição e levando a energia de volta ao mesmo. Assim, pode-se verificar a diferença de potencial dos eletrodos nos dois terminais, encontrando a resistência e a condutância, a qual será o inverso.

Os dados foram lidos pela porta digital 3 do microcontrolador, que foi conectada no pino DT do módulo.

Para fazer a análise da condutividade da água foi utilizada a

seguinte fórmula:

$$K * \text{condutancia} = \text{condutividade} \quad (4.1)$$

$$K * (1/R) = \text{condutividade} \quad (4.2)$$

$$K * (A/d) = \text{condutividade} \quad (4.3)$$

Observação: A condutividade é dada em Siemens por cm e A é a área das chapas e d a distância entre elas.

### 4.3.1 Módulo HX711

Foi o módulo utilizado para as medidas de condutividade. O circuito final do projeto foi focado em melhorar a precisão dos dados no arduíno, que tem um conversor AD de 10 bits, ou seja, tendo a leitura de 0 a 1023 bits, que nesse caso, é uma precisão considerada baixa para a medição de tensão e corrente do condutivímetro.

Então, foi utilizado um módulo conversor e amplificador chamado HX711 (figuras 19 e 20), que tem um conversor de 24 bits, com a leitura de 0 a 16777215, muito maior que a do Arduíno.

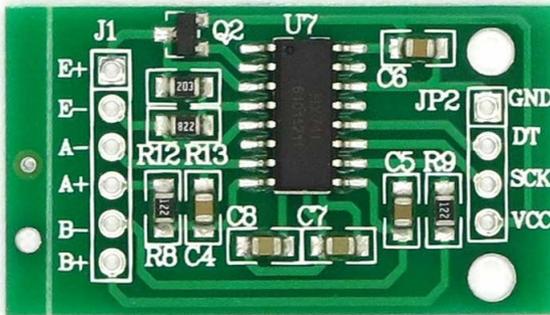


Figura 19 – Módulo conversor e amplificador HX711.

Fonte: sunrom.com



- Liga metálica de Alumínio + zinco - Aluzinco;
- Alumínio.

Os materiais mais utilizados nos condutivímetros vendidos no mercado são: Platina, ouro e aço inoxidável (DORNEL, 2017).



Figura 21 – Chapa utilizada no condutivímetro.  
Fonte: O autor

As chapas de aluzinco e alumínio são oxidáveis, ou seja, oxidam com a incidência (nesse caso) de sal, água, ar ou vapor d'água. Para não ter problemas de oxidação, nesse caso, o melhor seria a utilização de aço inoxidável.

As medidas as chapas tiveram de estar totalmente imersas na água para fazer as medidas, para se ter o melhor manuseio delas, foram cortadas em 10 cm de altura com 5 cm de largura, separadas apenas por uma fita isolante, para ficarem isoladas uma da outra, mas tendo a mínima distância entre elas para ter o mínimo de interferência sobre a medição, aumentando o valor da constante K, e, conseqüentemente, a precisão da medida de condutividade.

#### 4.3.3 Circuito elétrico de medição do condutivímetro

O circuito do sensor está ilustrado na figura 22:

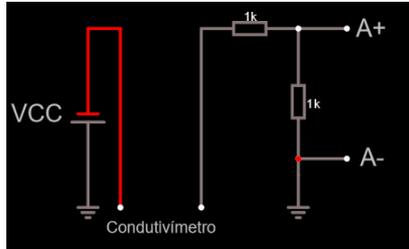


Figura 22 – Circuito do sensor condutivímetro.

Fonte: O autor

A alimentação (VCC) utilizada foi o 5V do microcontrolador. Uma das duas chapas foi diretamente ligada a ele e a outra ligada ao primeiro resistor do divisor de tensão, para ter a continuidade do circuito. As chapas tem a água como conexão entre elas, para medir a condutividade da mesma. Foram utilizados dois resistores de 1k Ohms para fazer uma divisão de tensão e diminuir a flutuação do sinal de saída no diferencial entre o A+ e A- do módulo HX711.

#### 4.3.4 Calibração do condutivímetro

A calibração foi feita com uma série de amostras para fazer a curva do condutivímetro de bancada com o feito no projeto. Equiparou-se os números de saída para deixá-los com os mesmos aspectos e estágios de salinidade, ajustando a calibração em software. As amostras foram feitas com 5 gramas de sal por estágio, desde a água límpida até uma amostra com 20 gramas de sal, diluídas em 250 ml de água.

Em cada estágio foram feitas 50 medições com o condutivímetro do projeto e foi colocado o condutivímetro de bancada no mesmo recipiente para se ter a medida real de condutividade. Para se ter uma análise mais linear dos números, foi utilizado um filtro média móvel. Segundo SMITH (1999), em um sistema linear invariante no tempo (LIT), que possui resposta impulsional finita (FIR) e necessita de valores de entrada futuras, o filtro média móvel tira uma média, que vai ser alterando com os novos valores do sinal em questão, trazendo linearidade para as medidas. Foram calculados das amostras os desvios padrões, máximos e mínimos e variância (tabela 1).



Figura 23 – Amostras enumeradas de 1 a 5.

Fonte: O autor

1. Exemplo de como foram medidas as amostras com os dois condutímetros:

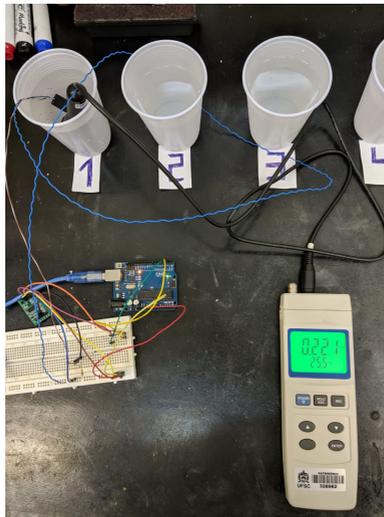


Figura 24 – Medindo condutividade das amostras (exemplo).

Fonte: O autor

	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Amostra 4</b>	<b>Amostra 5</b>
<b>Desvio Padrão</b>	91,03	49,7	93,33	66,92	40,52
<b>Variância</b>	8286,69	2470,45	8710,55	4478,6	1642,59
<b>Máximo</b>	5800	6425	6718	6976	7011
<b>Mínimo</b>	5385	6230	6305	6689	6883
<b>Média</b>	5672,64	6330,88	6554,06	6762,47	6954,36

Tabela 1 – Estatísticas das amostras.

	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Amostra 4</b>	<b>Amostra 5</b>
<b>Condutividade</b>	0,221mS/cm	33,8mS/cm	36,2mS/cm	49,9mS/cm	53,8mS/cm
<b>Salinidade</b>	0,0902g/L	21,478g/L	23,142g/L	32,812g/L	35,612g/L

Tabela 2 – Condutividade e salinidade das amostras.

A calibração foi feita por estágio, diretamente no software, equalizando os valores para posterior classificação em: líquido pouco condutivo, pouco/médio condutivo, médio condutivo, médio/muito condutivo e muito condutivo.

<b>Amostras</b>	<b>C. proj</b>	<b>C. manual</b>	<b>Condutividade</b>
Água límpida	5672	0,221mS/cm	Pouco condutivo
Água com 5g de sal	6330	33,8mS/cm	Pouco/médio condutivo
Água com 10g de sal	6554	36,2mS/cm	Médio condutivo
Água com 15g de sal	6762	49,9mS/cm	Médio/muito condutivo
Água com 20g de sal	6953	53,8mS/cm	Muito condutivo

Tabela 3 – Classificação condutivímetro do projeto em relação ao condutivímetro manual.

Os intervalos utilizados entre os números foram analisados levando em conta as medidas do condutivímetro do projeto em comparação ao manual e estão na tabela a seguir:

<b>Intervalo de condutividade</b>	<b>Condutividade</b>	<b>Salinidade</b>
0 a 6001	Pouco condutivo	0,0902g/L
6002 a 6442	Pouco/médio condutivo	21,478g/L
6443 a 6658	Médio condutivo	23,142g/L
6659 a 6858	Médio/muito condutivo	32,812g/L
6859 a infinito	Muito condutivo	35,612g/L

Tabela 4 – Intervalos de condutividade e salinidade.



Figura 25 – Curva de salinidade.

Fonte: O autor

A curva de salinidade demonstrou que quando foi iniciada a colocação de sal nas soluções, que inicialmente era doce, começou a ficar salina, principalmente pela adição de 5 gramas de sal diluídos em apenas 250 ml de água, aumentando a concentração de sal à cada amostra.

A equação da curva e o R ao quadrado estão nas equações a seguir, onde x é a condutividade elétrica como variável independente:

$$y = 8,2378x - 2,0864 \quad (4.4)$$

$$R^2 = 0,858 \quad (4.5)$$

#### 4.4 CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO EXPERIMENTAL

##### 4.4.1 Localização do ambiente experimental

O experimento foi realizado em uma localidade à beira do Rio Araranguá. Situado na rua Coronel Apolinário Pereira, no bairro Vila São José, a frente de uma propriedade chamada Fazenda São Jorge Araranguá (figuras 26 e 27).



Figura 26 – Vista frontal do ponto de captação das medidas do Rio Araranguá.

Fonte: Google Maps

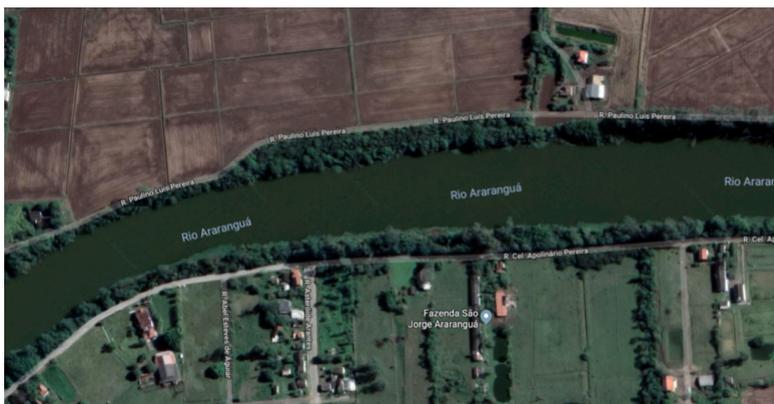


Figura 27 – Vista aérea do ponto de captação das medidas do Rio Araranguá.

Fonte: Google Maps

#### 4.4.2 Infraestrutura utilizada no experimento

A infraestrutura montada teve que permitir avaliar o alcance de conectividade entre o nodo coordenador e nodo sensor, o desempenho da rede como uma ferramenta de monitoramento e coleta ambiental das medidas de pH, temperatura e condutividade da água.

As restrições do recipiente que foi montado eram:

- Os sensores tiveram de ser colocados na água do Rio Araranguá, por esse motivo, deve ser oco por dentro para abrigar os dispositivos;
- O recipiente não pôde ficar imerso na água por causa das antenas do GPRS e do rádio;
- O condutímetro e o sensor de temperatura da água tiveram de estar a no mínimo a 50 cm de profundidade na água, garantindo que as medidas não sejam errôneas pela lâmina de água doce formada pelas possíveis chuvas anteriores à medição.

Para encapsular os sensores e os módulos de comunicação do nodo sensor e coordenador, os recipientes foram feitos no formato de bóias, que tem o interior oco com um cano de pvc de 50 cm em direção para baixo. Eles possuem uma tampa que quando elas foram colocadas na água, aumentar a proteção dos dispositivos internos (figuras 28 e 29).



Figura 28 – Bóia nodo coordenador.  
Fonte: O autor



Figura 29 – Bóia nodo sensor.  
Fonte: O autor

Os nodos foram separados por uma distância de 10 metros pelo motivo de os Xbees utilizados terem a potência de apenas 1mW, considerada o mínimo de potência nesse tipo de comunicação.

## 4.5 RESULTADOS OBTIDOS

Os testes no Rio Araranguá para aferir as medidas e validar o projeto foram feitos no dia 11 de novembro de 2018, das 18h40 às 19h00, no período de 20 minutos. As fotos estão na figura 30:

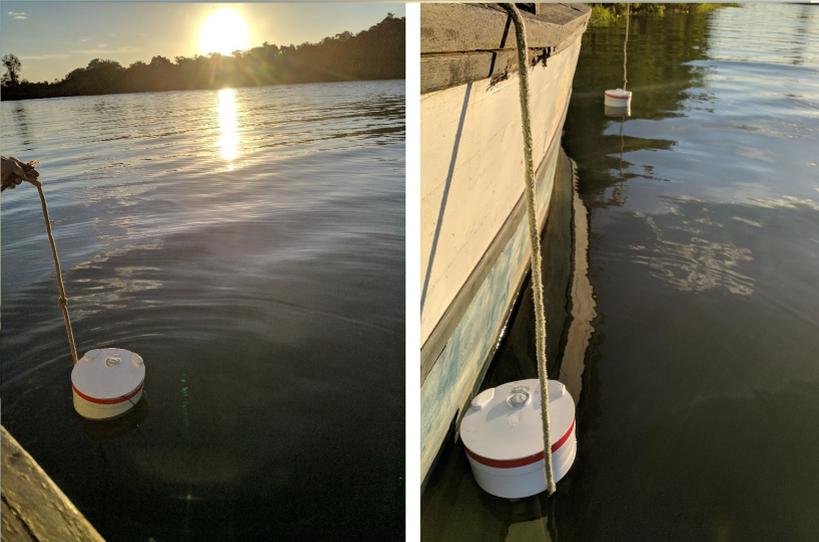


Figura 30 – Fotos do experimento

Fonte: O autor

Como o experimento durou 20 minutos, com cada amostra sendo enviada por volta de 35 segundos de intervalo pelo delay da comunicação GPRS, foram aferidas 11 amostras de cada medida (pH, condutividade e temperatura), resultando em um total de 33 amostras.

### 4.5.1 Medida de condutividade, pH e temperatura da água

A tabela a seguir demonstra as medidas feitas da condutividade, pH e temperatura da água no rio no período do teste:

Amostras	Condutividade	pH	Temperatura
1	8199	5,57	27,32
2	8255	5,57	27,32
3	8174	5,57	27,32
4	8162	5,56	27,32
5	8237	5,56	27,32
6	8186	5,56	27,32
7	8289	5,56	27,32
8	8128	5,56	27,32
9	8263	5,56	27,32
10	8192	5,56	27,32
11	8201	5,56	27,32

Tabela 5 – Variação das medidas no decorrer do teste.

A tabela a seguir demonstra as estatísticas das amostras retiradas do rio:

	Condutividade	pH	Temperatura
<b>Desvio Padrão</b>	45,68	0,004583	0
<b>Variância</b>	2086,84	0,000021	0
<b>Máximo</b>	8289	5,57	27,32
<b>Mínimo</b>	8128	5,56	27,32
<b>Média</b>	8212,4	5,563	27,32

Tabela 6 – Estatísticas da variação das medidas no decorrer do teste.

## 4.5.2 Autonomia dos nodos

### 4.5.2.1 Autonomia máxima

Para realizar a medição da autonomia máxima que os nodos conseguiriam sustentar com a bateria utilizada no experimento, foram retiradas as informações de consumo de corrente por hora da documentação de cada dispositivo, sensor e *shield* acoplados aos nodos. As informações estão nas tabelas à seguir:

<b>Dispositivo</b>	<b>Corrente por hora</b>
Xbee	50mA
Shield Xbee	10mA
Shield GSM (em funcionamento)	100mA
Shield GSM (modo sleep)	1.5mA
Arduino	12mA

Tabela 7 – Gasto de corrente dos dispositivos alimentados pela bateria no nodo coordenador

<b>Dispositivo</b>	<b>Corrente por hora</b>
Xbee	50mA
Shield Xbee	10mA
Sensor de pH	40mA
Sensor de temperatura	25mA
Arduino	12mA

Tabela 8 – Gasto de corrente dos dispositivos alimentados pela bateria no nodo sensor

Analisando as informações das tabelas, tem-se que o nodo coordenador gasta por volta de 172mA por hora de corrente. Sendo assim, esse nodo sustentaria em torno de 5,8 horas de monitoramento. Já o nodo sensor gasta por volta de 137mA por hora, durando 7,3 horas de monitoramento com a bateria utilizada no projeto.

#### 4.5.2.2 Gasto de corrente no experimento

No experimento os nodos foram colocados no rio por volta de 20 minutos. À seguir tabela com o gasto aproximado de corrente dos nodos durante o experimento:

<b>Nodo</b>	<b>Corrente gasta</b>
Coordenador	58mA
Sensor	46mA

Tabela 9 – Gasto de corrente dos nodos durante o experimento

Com base na tabela acima, pode-se perceber que o gasto de corrente durante o experimento foi baixo, pela temperatura do recipiente

onde elas estavam não estar alta e pelo curto tempo de experimentação.

### 4.5.3 Distância dos nodos

#### 4.5.3.1 Teste inicial

O teste inicial feito para medir a distância em relação a perda de pacotes na comunicação dos Xbees foi feito em campo aberto na UFSC. O teste serviu para análise da comunicação entre eles de 0 metros até em torno de 100 metros para verificar quanto iria aumentar a perda de pacotes de acordo com o aumento da distância entre os módulos.

<b>Distância</b>	<b>Perda de pacotes (%)</b>
25m	0%
50m	por volta de 20%
75m	por volta de 65%
100m	por volta de 90%

Tabela 10 – Distância X Perda de pacotes na comunicação Xbee - Teste na universidade

De 0m até 25 metros não teve perda de pacotes. Acima de 50m a taxa de perda ficou muito alta, perdendo muito o desempenho da comunicação entre os nodos. Esse teste assegurou que os Xbees utilizados nesse projeto são próprios para distâncias curtas de no máximo 25 metros, após isso, pode-se ter uma perda grande de pacotes, prejudicando a média de dados e perdendo a linearidade das informações.

#### 4.5.3.2 Perda de pacotes no experimento

No experimento, a distância entre os nodos foi de no máximo 10 metros. Apesar de os nodos estarem com suas antenas dentro de um recipiente fechado, não foi perdido nenhum pacote pela distância ser pequena.

Distância	Perda de pacotes (%)
5m	0%
10m	0%

Tabela 11 – Distância X Perda de pacotes na comunicação Xbee - Experimento

## 4.6 CONTROLE E ATUAÇÃO DO EXPERIMENTO

### 4.6.1 Controle dos dados medidos

Durante o período de teste, os dados de pH e temperatura foram medidos e enviados do nodo sensor ao nodo coordenador por um módulo Xbee de operação de 2.4 GHz via rede padrão IEEE 802.15.4 com protocolo Zigbee, que por sua vez, mediu a condutividade da água do Rio Araranguá. Após os dados estarem todos no nodo coordenador, foram encaminhados para um serviço web via comunicação GSM. O controle dos dados está na figura 31:

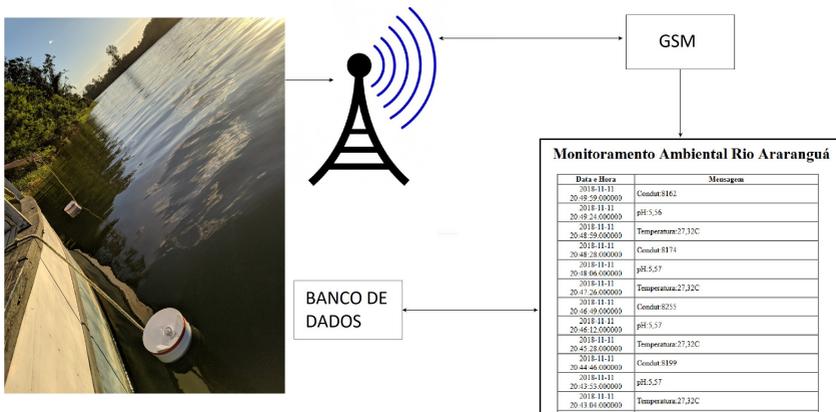


Figura 31 – Controle dos dados medidos no Rio Araranguá.

Fonte: O autor

A visualização dos dados medidos no Rio Araranguá (figura 32) foram todas lidas numa página web, que tem embutida um banco de dados. As informações nesse site são dispostas com sua data e hora e a mensagem. O endereço da página é: [larm.000webhostapp.com](http://larm.000webhostapp.com).

## Monitoramento Ambiental Rio Araranguá

Data e Hora	Mensagem
2018-11-11 20:49:59.000000	Condut:8162
2018-11-11 20:49:24.000000	pH:5,56
2018-11-11 20:48:59.000000	Temperatura:27,32C
2018-11-11 20:48:28.000000	Condut:8174
2018-11-11 20:48:06.000000	pH:5,57
2018-11-11 20:47:26.000000	Temperatura:27,32C
2018-11-11 20:46:49.000000	Condut:8255
2018-11-11 20:46:12.000000	pH:5,57
2018-11-11 20:45:28.000000	Temperatura:27,32C
2018-11-11 20:44:46.000000	Condut:8199
2018-11-11 20:43:53.000000	pH:5,57
2018-11-11 20:43:04.000000	Temperatura:27,32C

Figura 32 – Visualização detalhada da disposição dos dados na página web.

Fonte: O autor

Por ser uma página web que aceita qualquer tipo de requisição, se fosse desejado adicionar mais algum sensor ou informação no projeto, o único empecilho seria a programação no microcontrolador para enviar a nova mensagem. Entretanto, mesmo com essa facilidade de enviar novos dados, o banco de dados é fechado apenas para o administrador, portanto, os dados são protegidos.

### 4.6.2 Atuação do projeto

Para o projeto ter uma atuação e não apenas controle, foi adicionada uma função para o Arduino enviar uma mensagem SMS de alarme quando as seguintes condições forem alcançadas:

- Quando o pH estiver abaixo de 5 ou acima de 8;
- Condutividade acima de 7000.

A atuação detalhada do TCC é visualizada na figura 33:

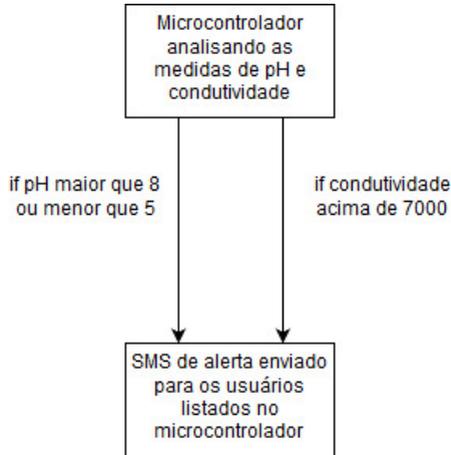


Figura 33 – Atuação do TCC.

Fonte: O autor

Se as condições fossem atendidas, uma mensagem seria enviada para os números de telefone que estivessem listados no programa do microcontrolador, alertando os usuários. Esses valores foram escolhidos pelo valor de condutividade acima de 7000 (na medida do sensor) ou salinidade acima de 30g/L, representar uma condutividade alta e os valores abaixo de 5 e acima de 8 indicaria acidez ou basicidade moderada da água do rio.

## 4.7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.7.1 Condutivímetro

As medidas do condutivímetro foram analisadas e foi percebido que elas estavam fora do intervalo em que elas deveriam estar pelo motivo das chapas estarem oxidadas na hora do experimento. Infelizmente, as chapas de metal utilizadas no experimento não são inoxidáveis, o que poderia trazer algum erro ao sistema do condutivímetro. Essa oxidação deveu-se pela calibração ter sido feita anteriormente ao experimento, fazendo com que as chapas tivessem contato direto ao sal e a água por um grande período de tempo, e assim, alterando as medidas finais.



Figura 34 – Chapa oxidada no experimento.

Fonte: O autor

Para garantir que a medida de condutividade da água do Rio Araranguá fosse aferida, foi feita uma medição de condutividade em laboratório após o experimento.

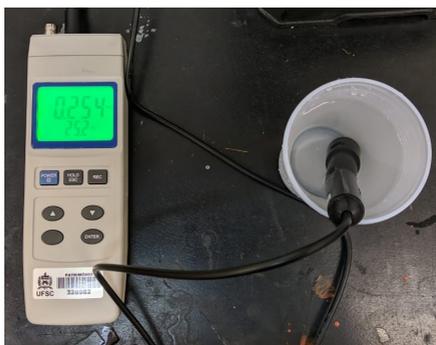


Figura 35 – Condutividade água do Rio Araranguá.

Fonte: O autor

Com isso, comparando o dado analisado pelo condutivímetro de bancada, foi averiguado que a água do rio no ponto onde foi extraída a amostra, a água estava com pouca condutividade. Contudo, um dos motivos para que ela possa ter sido constatada como pouco condutiva foi por ter sido pega na superfície do rio, onde pode existir uma lâmina de água doce, local onde não há grande influência do sal, diferentemente do local da água que foi analisada pelo condutivímetro projetado para o experimento. Eeman et al. (2011) afirmam que a água doce tende a se manter no topo, próximo a superfície formando uma lâmina sobre a água salina.

### 4.7.2 Phmetro

Hermes e Silva (2004) afirmam que o pH apresenta mudanças ao longo do dia, por conta dos processos bioquímicos ocorrentes nas águas que tem incidência direta da radiação solar durante o dia. Outro fator que pode interferir nos valores de pH, é o tipo de solo por onde a água percorre (Borges et al, 2003). As medidas de pH variaram de 5,57 a 5,56, com 5,563 de média entre as 11 amostras.

### 4.7.3 Temperatura da água

As medidas de temperatura não tiveram nenhuma variação durante o experimento, ficaram estagnadas em 27,32°C. No dia da realização do experimento a temperatura estava na casa dos 31°C, portanto, o rio estava quente, ocasionando na alta temperatura da água, e como estava em época de verão, a incidência de chuva também é maior se comparada as outras estações, conseqüentemente, a evapotranspiração da água é diminuída.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho trata de um projeto para a monitoração do Rio Araranguá empregando uma tecnologia de RSSF para sensoria-mento remoto das condições de salinidade, ph e temperatura da água. Destaca-se que foi desenvolvida uma abordagem de baixo custo visando a possibilidade de implementar um sistema para auxiliar os produtores de arroz da região sul do Estado de SC. Foram pesquisadas tecnologias que mais se apropriavam aos requisitos do projeto, que seriam capaz de assumir as tarefas de aquisição de medidas e transmissão com a melhor relação custo-benefício. Os testes foram realizados no Rio Araranguá e no Laboratório de Automação de Robótica Móvel (LARM) da Uni-versidade Federal de Santa Catarina no Centro de Tecnologias e Saúde (CTS) de Araranguá.

### 5.1 CONCLUSÃO

Com relação aos testes e resultados obtidos, seguem as conclu-sões. Considerando a comunicação e alcance da RSSF:

- Os testes realizados para verificar o alcance da comunicação dos nodos sensores confirmaram a capacidade das RSSF, usando Xbee operando a 2.4 Ghz de ser aplicado em um cenários de monitора-mento ambiental apresentado nesse projeto. Contudo, essa série do Xbee mostrou-se com alcance muito baixo se for aumentar o número de nodos sensores e a extensão de área monitorada do rio.

Considerando a autonomia da bateria empregada pela RSSF:

- Como a fonte de alimentação foi uma bateria de 1000mAh, pra esse projeto ela se mostrou mais do que suficiente, ainda mais que o código do microcontrolador não teve foco em eficiência ener-gética, pelo tempo de experimento ser baixo. Se fosse aprimorado o código e fosse trocada por uma bateria com carga máxima maior, o projeto conseguiria alcançar uma autonomia suficiente para muito mais tempo.

Considerando os sensores:

- Condutivímetro: Se mostrou um sensor muito confiável, com seu

ônus de ter que ser calibrado e que foi desenvolvido com metais oxidáveis;

- Sensor de pH: Sensor bem confiável, porém, com as quedas de tensão do microcontrolador teve alguns dados errôneos;
- Sensor de temperatura: Sensor confiável e sem nenhum desvio de precisão.

Considerando o conversor A/D utilizado no condutivímetro:

- Conversor A/D HX711 com amplificador de 24 bits: Com essa precisão o microcontrolador conseguiu captar todas as diferenças de salinidade da água, mesmo as mais superficiais.

Em relação ao serviço web, conclui-se:

- Apesar de ser um serviço web público, que permite quaisquer tipo de mensagens, possui um banco de dados com proteção dos dados de interferências externas e que permite acesso apenas do administrador da página.

## 5.2 CONTRIBUIÇÕES

Dentre as principais contribuições do projeto:

- Os usuários não terão que se locomover até o rio para realizar as medições, já que normalmente são áreas um pouco mais distantes e de difícil acesso;
- Projeto de custo mais barato do que os que estão no mercado, pois o condutivímetro foi projetado para ser de baixo custo e acessível;
- Mensagens de alerta para quando alguma medida sair da normalidade;
- Com troca da bateria e aprimoramento de código, é possível ter um nodo que dura mais de 1 mês sem ter que recarregar a fonte de alimentação;
- Os usuários poderão analisar e controlar os dados facilmente por uma página web sem ter que instalar nenhum software adicional.

### 5.3 PRINCIPAIS DIFICULDADES ENCONTRADAS

Dentre as principais dificuldades encontradas no projeto, destacam-se:

- Dificuldade de encontrar recipientes no mercado que tenham um interior oco que caibam todos os dispositivos de cada nodo, tendo que ser fabricado pelo próprio projetista;
- Encontrar metais no mercado e que possam ser utilizado no condutivímetro;
- Dificuldade de achar algum acesso ao rio para fazer as medições sem pôr em risco a integridade da infraestrutur dos nodos;
- Integração de todos os sensores e shields nos nodos sem que sejam comprometidas as medições e comunicação;
- Achar algum módulo para amplificar a precisão dos dados do condutivímetro feito para o projeto;
- Dificuldade de manter as chapas do condutivímetro íntegras para não haver mudança na medição dos dados após a calibração.

### 5.4 APRENDIZADOS PARA CONTINUAÇÃO DO TRABALHO

- Trocar o microcontrolador para um de no mínimo 16 bits para ter capacidade de processar e armazenar mais informações com mais rapidez e eficiência;
- Utilização de uma fonte externa para minimizar as quedas de tensão, principalmente nas medidas analógicas e no momento em que são enviados os dados, os quais o uso de corrente é aumentado;
- Utilização de metais inoxidáveis no condutivímetro, como o aço, para não ocorrer problemas oxidação e de ter que recalibrar diversas vezes o mesmo sensor;
- Utilização de rádios que alcancem distâncias maiores, como o NRF24L01;
- Fazer mais amostras na calibração, no mínimo 30, para se ter uma curva de salinidade mais aproximada aos números reais;

- Fazer testes de distância com intervalos menores de espaço entre cada um, para se ter uma aproximação melhor das perdas de pacote em relação a distância entre os nodos;
- Fazer mais testes no rio com toda a infraestrutura da RSSF pronta para se ter dados e construir um banco de dados mais fiel a realidade.

## 5.5 TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se como trabalhos futuros para aperfeiçoar e ampliar as aplicações das RSSF no monitoramento ambiental do Rio Araranguá:

- Desenvolvimento de uma rede multihop com mais nodos sensores;
- Desenvolvimento de uma RSSF com rádio de maior alcance;
- Desenvolvimento de uma rede de nodos sensores para análise dos dados do rio em toda sua totalidade;
- Integração de novos sensores aos nodos;
- Adicionar modo de alimentação híbrido ao projeto, com um painel solar recarregando a bateria, aumentando a autonomia;
- Desenvolvimento de um aplicativo celular para acompanhar as variações das medições do Rio como maior mobilidade.

## REFERÊNCIAS

- ALTHOFF, D. A.; KLEVESTON, R. et al. Sólidos suspensos e perda de nutrientes no preparo do solo para arroz irrigado. *Agropecuária Catarinense*, 1996.
- ALVAREZ, F. C. et al. Impacto da mineração de carvão sobre os recursos hídricos da bacia carbonífera de santa catarina. *IPH/UFRGS*, 1978.
- AMORIM, J. R. A. et al. Qualidade da água subterrânea para irrigação na bacia hidrográfica do rio piauí, em sergipe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.804-811, 2010.
- ASHRAF, M. Inducing drought tolerance in plants: some recent advances. *Biotechnology Advances*, v.28, p.169-183, 2010.
- AZAMBUJA, I. H. V. Contribuição do cultivo de arroz irrigado na economia brasileira. 2003.
- AZAMBUJA, I. H. V. et al. Dinâmica sócio espacial da cadeia produtiva do arroz irrigado na microrregião de araranguá sc. 2004.
- BACK, A. J. Viabilidade da cobrança pela utilização de águas para irrigação na bacia do rio araranguá. *Revista de Tecnologia e Ambiente*, 1998.
- BUSS, M. D. et al. A paisagem da bacia do araranguá: herança das relações entre homem e natureza. *Encontro Nacional da ANPEGE*, 2005, 2005.
- CAMERON, W. N.; PRITCHARD, D. W. Estuaries. *New York: Wiley Interscience*, 1963, 1963.
- CHEMIM, E. M. Recursos hídricos fluviais: gerenciamento e conflitos no município de turvo (sc). *Curso de Geografia/UFSC*, 2002.
- COELHO, M. C.; D'AQUINO, C. A. IdentificaÇÃO da cunha salina no estuário do rio araranguá, sc. *Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar*, 2011.
- COMASSETTO, V. Água, meio ambiente e desenvolvimento na bacia do araranguá (sc). *Universidade Federal de Santa Catarina*, 2008.

DANTAS, M. E. et al. Geomorfologia aplicada À gestÃo integrada de bacias de drenagem: Bacia do rio araranguÃ (sc). 2005.

D'AQUINO, C. et al. Fluvial modulation of hydrodynamics and salt transport in a highly stratified estuary. 2010.

DOMINGOS, E.; BACHA. Preparo do solo e manejo da Ãgua. EPAGRI. *A cultura do arroz prÃ-germinado*, 2002.

DOWNES, I. et al. Development of a mote for wireless sensor networks. *nt. Proc. of Cognitive Systems and Interactive Sensors (COGIS), Paris*, 2006.

DYER, K. Estuaries: A physical introduction. *New York: John Wiley and Sons*, 1997.

DYER, K. R. Sediment transport processes in estuaries. PERILLO, G. M. E. (Ed.). *Geomorphology and sedimentology of estuaries*, 1995.

EPAGRI. ProduÃo de arroz irrigado. 1998.

EPAGRI. Avaliacao de cultivares para o estado de santa catarina 2000/2001. 2000.

EPAGRI. Boletim agropecuÃrio. 2016.

ESTRIN, D. et al. Next century challenges: scalable coordination in sensor networks. *5th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking (MobiCom '99), pages 263-270, New York, NY, USA*, 1999.

ESTRIN, D. et al. Instrumenting the world with wireless sensor networks. *International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 2001), pages 2033-2036*, 2001.

FILHO, A. F. Algumas consideraÃes sÃcio-econÃmicas da cultura do arroz. *Informe AgropecuÃrio, ano 5, n. 55, p. 11-15 . Belo Horizonte: EPAMIG*, 1979.

FOOD; NATIONS, A. O. of the U. Rice market monitor. 2014.

GAIDZINSKI, M. C. A rizipiscicultura no municÃpio de meleiro-sc. *DissertaÃo (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Santa Catarina, FlorianÃpolis*, 2001.

GAPLAN. Rede de sensores sem fio de baixo custo para monitoramento ambiental. *Atlas de Santa Catarina Rio de Janeiro*, 1986.

GOMES, A. d. S. et al. Uso e manejo da água em arroz irrigado. *Arroz irrigado no Sul do Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Embrapa Clima Temperado*, 2004.

GRATTAN, S. R. et al. Rice is more sensitive to salinity than previously thought. *california Agriculture*, v.56, p.189-195, 2002.

HADLICH, G. Cartografia de riscos de contaminação hídrica por agrotóxicos: proposta de avaliação e aplicação na microbacia hidrográfica do córrego garuva, sombrio, sc. *Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis*, 1997.

HAYES, J. Evaluation of a low cost wireless chemical sensor network for environmental monitoring. *IEEE SENSORS 2008*, 2008.

HILL, J. L. System architecture for wireless sensor networks. *Ph. D. Thesis. University of California*, 2003.

ICEPA. Plano de gestão e gerenciamento da bacia do rio araranguá: zoneamento da disponibilidade e da qualidade dos recursos hídricos. 1997.

ICEPA. Icepta 2010. 2010.

JUNIOR, F. L. C. Desenvolvimento de dispositivo nó sensor com arquitetura reconfigurável para redes de sensores sem fio. *Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Instituto de Ciência Exatas da UFMG*, 2004.

KREBS, A.; ALEXANDRE, N. Recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio araranguá - sc: Disponibilidade e conflitos. 2000.

KREBS, A. S. et al. Caracterização hidrogeológica do aquífero relacionado aos depósitos de leques aluviais na bacia do rio araranguá, sc. 2004.

LOUREIRO, A. A. F. et al. Redes de sensores sem fio. *Departamento de Ciência de Computação*, 2003.

MANIQUE, G. A. et al. Transporte de sedimentos em suspensão em um estuário altamente estratificado sob condições de descarga fluvial transiente. *Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, 2010.

MARCONDES, J.; GARCIA, A. B. Aspectos citomorfológicos do estresse salino em plântulas de arroz (*Oryza sativa* L.). *Arquivos do Instituto Biológico*, v.76, p.187-194, 2009.

MEDEIROS, J. F. et al. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da chapada do Apodi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.469-472, 2003.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. Princípios de oceanografia física de estuários. 2002.

MÓL, G. S. et al. Química e sociedade. *Volume Único. 1ª Ed. São Paulo: Nova Geração*, 2005.

NOLDIN, J. A.; EBERHARDT, D. S. A realidade ambiental e a lavoura orizícola brasileira. *CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO*, 4.; *REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO*, 2005.

PEREIRA, V. S. Indicadores de sustentabilidade do agroecossistema arroz orgânico na bacia do Araranguá (sc). 2008.

REGIS, C.; ALENCAR, M. Diversidade cooperativa adaptativa aplicada a redes de sensores sem fio. *Universidade Federal de Campina Grande*, 2009.

RIBEIRO, G. et al. Uso da regressão linear para estimativa da relação entre a condutividade elétrica e a composição iônica da água de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.15-22, 2005.

SALUSTIANO, R. E. Aplicações de técnicas de fusão de sensores no monitoramento de ambientes. *Dissertação Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação*, 2008.

SANINT, L. R. Evolución tecnológica, perspectivas futuras y situación mundial del arroz. *XXII Reunión da Cultura do Arroz Irrigado – Palestras. EPAGRI – IRGA – EMBRAPA/CPACT. Itajaí: EPAGRI – CNPQ*, 1997.

SCHMIDT, F.; FILHO, L. O. V. Tolerância de cultivares de arroz da epagri à salinidade da água de irrigação na fase vegetativa. *Agropecuária catarinense, florianópolis*, v.30, n.1, p.89-95, jan./abr. 2017, 2017.

- SCIVITTARO, W. B. et al. Tolerância de genótipos de arroz à salinidade da água de irrigação na fase vegetativa. *REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO; SIMPÓSIO SOBRE SELÊNIO NO BRASIL. Maceió, 2012, 2012.*
- SILVA, M. S. Rede de sensores sem fio de baixo custo para monitoramento ambiental. *Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação*, 2013.
- SMITH, W. S. The scientist and engineer's guide to digital signal processing. *2nd ed, California Technical Publishing San Diego, California.*, 1999.
- SOSBAI, S. S.-B. d. A. I. Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil. 2012.
- SOUZA, L. H. Desenvolvimento de uma rede de sensores sem fio utilizando zigbee para aplicações diversas. *Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia de Computação Universidade de Pernambuco*, 2011.
- TIERNO, I. A. P. Protocolos de roteamento para rffs. *UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA*, 2008.
- WERNER-ALLEN, G. et al. Monitoring volcanic eruptions with a wireless sensor network. *Second European workshop on wireless sensor networks*, 2005.
- YOSHIDA, S. Fundamentals of rice crop science. *Los Baños, IRRI, 1981. 269p.*, 1981.



**ANEXO A - Informações detalhadas do hardware utilizado  
no projeto**



## A.1 MICROCONTROLADOR

O microcontrolador Arduino Uno foi o utilizado para gerenciamento das tarefas do nodo sensor e do nodo coordenador. Trata-se de um microcontrolador de 8 bits que tem 14 entradas/saídas digitais (6 podem ser usadas como saídas PWM), 6 entradas analógicas, um cristal de quartzo de 16MHz, uma conexão USB, uma tomada de força, um cabeçalho ICSP e um botão de reinicialização. Além de poder ser alimentado por baterias, ele tem ainda as seguintes características:

- 32 kb de memória flash;
- ADC de 10 bits;
- Memória RAM de 2 kb;
- Memória EEPROM de 1 kb;
- Interfaces UART, SPI, I2C;
- 3 temporizadores.



Figura 36 – Microcontrolador Arduino UNO.

Fonte: arduino.cc

Esse microcontrolador agrega diversas funcionalidades que contribuem para um projeto compacto, pois evita ter de acoplar outros componentes, como um cristal de clock externo. Sua grande quantidade de componentes integrados internamente contribuíram para minimizar o número de componentes externos.

A programação dele foi realizada na sua própria IDE, que permite adicionar várias bibliotecas diretamente no programa rapidamente. Foi utilizada a interface UART para comunicar com os módulos de comunicação Xbee e GPRS, a interface I2C para comunicar com o sensor

de temperatura DS18B20, e as portas digitais e analógicas para ler o sensor de pH e o condutivímetro.

## A.2 XBEE

É um módulo de comunicação sem fio que implementa o protocolo ZigBee, flexível quanto à aplicação, construído de forma a favorecer a integração de nodos específicos. Operam nas faixas ISM (industrial, scientific and medical) de 915 MHz e 2.4 GHz obedecendo ao padrão IEEE 802.15.4. Esse módulo possui um microcontrolador interno e uma API (Application Programming Interface) que permite receber sinais digitais e analógicos e transmiti-los a outro módulo ligado a rede.



Figura 37 – Dispositivo Xbee.

Fonte: (SILVA, 2013)

Para comunicação, ele possui a porta serial, mais conhecida por UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), para estabelecer a comunicação de um modo transparente entre os nodos. Para controle de energia, o modulo possui um pino de hibernação (sleep), pelo qual ativa-se ou desativa-se o modo de baixo consumo configurado na aplicação.

### A.2.1 Comunicação entre os Xbees dos nodos

O módulo de comunicação Xbee foi utilizado para comunicar o nodo sensor e o nodo coordenador. Eles operaram a comunicação serial ponto a ponto via UART, utilizando o protocolo Zigbee. O pacote (payload) que o nodo sensor enviava para o coordenador tinha 10 caracteres:

B 2 2 4 4 5 4 3 0 0
---------------------

Figura 38 – Pacote de comunicação do nodo sensor e o nodo coordenador.

Fonte: O autor

O pacote foi dividido da seguinte maneira:

- Primeiro caractere: Início do pacote;
- Segundo ao quinto caractere: Temperatura da água que o sensor DS18B20 estava medindo no momento;
- Sexto ao oitavo caractere: pH da água do rio que o sensor pH meter SEN0161 estava medindo no momento;
- Resto dos caracteres: Reservas.

### A.3 SENSOR DE TEMPERATURA DA ÁGUA

O sensor utilizado para medir a temperatura da água do Rio Araranguá foi o DS18B20. Ele é um termômetro digital produzido pela Dallas Instruments. É capaz de ler a temperatura e interpretá-la e enviar a informação da temperatura em graus Celsius para o microcontrolador usando um barramento de apenas um fio (protocolo de comunicação one-wire). Além disso, ele tem as seguintes características:

- Alimentação DC entre 3 e 5.5V;
- Mede temperatura de -55°C a 125°C;
- Não necessita de componentes externos;
- A prova d'água;
- Ponta de aço inoxidável;
- Cabo de 1m;
- 0.5°C de faixa de erro.



Figura 39 – Sensor de temperatura da água DS18B20.

Fonte: [portal.vidadesilicio.com.br](http://portal.vidadesilicio.com.br)

O DS18B20 é indicado para aplicações onde é necessário medir a temperatura a longa distância do microcontrolador ou em ambientes úmidos. Uma grande vantagem que faz ele se sobressair é pela leitura dele ser digital, não sofrendo interferência da distância. O que é uma diferença muito importante dele, já que ele terá que ficar 50cm abaixo da superfície da água. O sensor foi utilizado na entrada digital D2 do microcontrolador.

#### A.4 BATERIA

A bateria utilizada no experimento foi a Turnigy nano-tech 1000mAh. Ela é uma bateria de LiPo (lítio-polímetro) que em geral são mais seguras e mais amigáveis com o meio ambiente, tornando-se as baterias de alto desempenho mais comuns com foco no mercado de equipamentos móveis de tamanho reduzido. Dentre suas principais especificações estão:

- Capacidade: 1000mAh;
- Tensão: 11.1V;
- Peso: 79g (incluindo fios, plug e o case);
- Dimensões: 77x35x17mm;
- Bateria de 3 células.



Figura 40 – Bateria de LiPo Turnigy nano-tech 1000mAh.

Fonte: dfrobot.com

Além de ser uma bateria de tamanho e peso diminutos e com capacidade suficiente para o propósito do experimento, ela ainda tem vantagens em relação as outras baterias de LiPo ofertadas:

- Densidade de potência chega a 7.5kW/kg;
- Perda de menos tensão quando a descarga está sendo alta;
- Controle maior de temperatura, trazendo menos risco a infraestrutura do projeto;
- Carregamento mais rápido;
- Dobro de ciclo de vida em relação as primeiras baterias de LiPo feitas.

## A.5 SHIELD GSM

Foi utilizado nesse experimento o Shield Arduino GSM/GPRS SIM900 da marca TinySine. Ele oferece uma maneira de utilizar a rede de telefonia celular GSM para receber dados de um local remoto através de SMS, áudio e GPRS, assemelhando-se à um telefone celular. É um shield compatível com todos os microcontroladores que tem a pinagem padrão do Arduino. É configurado através da comunicação serial (UART) usando comandos AT. Dentre as principais características do shield estão:

- Baseado no módulo SIM900;
- Quad-Band 850/900/1800/1900 MHz - funciona em redes GSM em todos os países do mundo;

- Controle via comandos AT;
- Short Message Service - para que o usuário possa enviar pequenas quantidades de dados pela rede em formato ASCII ou hexadecimal;
- Comunicações TCP e UDP incorporadas - permitem carregar dados em um servidor web;
- Conectores de alto-falante e microfone - permite enviar ou reproduzir áudio;
- Suporte para cartão SIM e antena GSM;
- 12 GPIOs, 2 PWMs e um ADC;
- Baixo consumo de energia - 1.5mA (em idle);
- Faixa de temperatura - -40C a 85C.



Figura 41 – Shield GSM SIM900.

Fonte: TinySine

O shield GSM foi utilizado no modo software serial no projeto, utilizando as entradas digitais 2 e 3 do microcontrolador.

## A.6 PHMETRO

O sensor de pH utilizado no projeto foi o pH meter v1.0 SEN0161. Ele tem um módulo com conector BNC que serve pra interligar o sensor de pH à porta analógica do Arduino. Para manter o sensor calibrado, é obrigatório o uso da solução na ponta do sensor quando não estiver sendo utilizado. Dentre as principais características do módulo e do sensor estão:

- Tensão do módulo: 5V;
- Tamanho do módulo: 43x32mm;
- Range da medida do sensor: 0 a 14;
- Faixa de temperatura de uso: 0 a 60°C;
- Precisão: faixa de erro de 0.1pH para mais ou para menos.

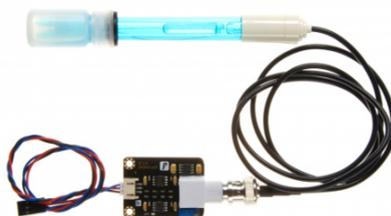


Figura 42 – Phmetro SEN0161.

Fonte: dfrobot.com

O sensor de pH foi utilizado na porta analógica A0 do nodo sensor do projeto.