



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA – EEL**  
**CENTRO TECNOLÓGICO – CTC**  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO - TRINDADE - CEP 88040-900  
FLORIANÓPOLIS - SANTA CATARINA

# **Plataforma de Aquisição de Dados para Monitoramento Ambiental de Reservatórios Hídricos**

*Universidade Federal de Santa Catarina:*  
***EEL 7890 – Projeto Final***

***Acadêmico: Davi Cesar Mendes Leal***  
***Orientador: Márcio Holsbach Costa, Dr***  
***Supervisor: Daniel Cobra, Ph.D***

*Florianópolis, fevereiro de 2012.*



# **Plataforma de Aquisição de Dados para Monitoramento Ambiental de Reservatórios Hídricos**

***Davi Cesar Mendes Leal***

Esta monografia foi julgada no contexto da disciplina  
**EEL 7890: Projeto Final**  
e aprovada na sua forma final pelo  
**Curso de Engenharia Elétrica**

Banca Examinadora:

---

Daniel T. Cobra, Ph.D.  
Orientador da Empresa

---

Prof. Márcio Costa, Dr.  
Orientador do Curso de Engenharia Elétrica

---

Prof. Eduardo Augusto Bezerra, Ph.D.  
Participante da Banca Examinadora

---

Prof. Samir Ahmad Mussa, Dr.  
Participante da Banca Examinadora

**Florianópolis, 28 de fevereiro de 2012.**



# Resumo

Esse trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados projetado para a realização de medições através de sensores meteorológicos analógicos e de uma sonda multiparamétrica. Seu objetivo principal é a avaliação em tempo real da qualidade da água em represas de abastecimento de usinas hidroelétricas. O sistema é composto por um microcontrolador de arquitetura ARM 9, com um sistema operacional Linux embarcado que gerencia a aquisição dos dados. São também apresentados os condicionadores de sinais dos sinais provenientes dos sensores e o processo de conversão analógico-digital. A leitura dos dados medidos pela sonda multiparamétrica é realizada através de uma interface padrão RS232C. Testes foram realizados e os resultados indicam o adequado funcionamento do sistema desenvolvido.

Palavras-chave: Sonda Multiparamétrica, ARM 9, Linux embarcado, sensores meteorológicos.



## Sumário

Resumo.....	iv
1 - Introdução.....	1
1.1 - Objetivos.....	1
2 - Reservatórios e qualidade da água .....	3
2.1 - Reservatórios.....	4
2.2 - Índices de qualidade das águas .....	5
2.2.1 - Índice de qualidade da água (IQA).....	6
2.2.2 - Índice de qualidade de águas brutas para fins de abastecimento público (IAP).....	7
2.2.3 - Índices de qualidade das águas para proteção da vida aquática e de comunidades aquáticas (IVA).....	7
2.2.4 - Índice de balneabilidade (IB) .....	8
2.3 - Parâmetros da água .....	8
2.3.1 - Temperatura da água .....	9
2.3.2 - Oxigênio dissolvido (OD).....	9
2.3.3 - Potencial Hidrogeniônico (pH).....	10
2.3.4 - Turbidez.....	10
2.3.5 - Condutividade.....	11
3 - Sistema de aquisição de dados .....	12
3.1 - Sistemas embarcados .....	12
3.1.1 - Microcontroladores .....	14
3.1.2 - Sistema operacional.....	15
3.1.3 - Linux embarcado .....	15
3.2 - Sonda multiparamétrica .....	16
3.3 - Sensores.....	16
3.3.1 - Sensores de temperatura RTD.....	17

3.3.2 - Sensor de umidade .....	18
3.4 - Condicionador de sinais.....	18
3.5 - Conversor analógico-digital .....	19
4 - Materiais e Métodos.....	23
4.1 - Hardware .....	23
4.2 - Microcontrolador (CPU) .....	23
4.2.1 - Sistema operacional .....	24
4.3 - Sonda multiparamétrica .....	25
4.4 - Sensores Meteorológicos .....	27
4.4.1 - Temperatura e umidade .....	27
4.4.2 - Aquisição do sinal dos sensores .....	28
4.5 - Software.....	33
4.6 - Testes .....	33
4.6.1 - Relação entre tensão de entrada e tensão de saída do filtro .....	33
4.6.2 - Aquisição das medições do sistema.....	34
4.6.3 - Medição com os sensores meteorológicos.....	36
4.6.4 - Teste de funcionamento da sonda multiparâmetros.....	37
5 - Análise dos resultados.....	40
5.1 - Resultado da relação entre tensão de entrada e tensão de saída do filtro .	40
5.2 - Resultados das medições com os sensores meteorológicos.....	42
5.3 - Resultado da medição de temperatura usando a sonda multiparâmetros ..	43
5.4 - Resultados da medição de condutividade e turbidez usando a sonda multiparâmetros.....	44
6 - Conclusão.....	46
7 - Bibliografia .....	47

# 1 - Introdução

O grande interesse da sociedade e dos governos pela preservação do meio ambiente, e os altos custos das multas para o caso de agressão à natureza, motivam as empresas a investir cada vez mais na preservação do ecossistema nos quais estão inseridas. No caso das represas, onde a água comumente é também utilizada para consumo humano, é necessária uma constante monitoração a fim de diagnosticar rapidamente alterações da qualidade. Uma das técnicas mais utilizadas atualmente ainda é a coleta manual da água no local, em determinados períodos, e posteriormente a análise em laboratório, necessitando de uma razoável infraestrutura, transporte e pessoal especializado.

A utilização de um sistema eletrônico embarcado em uma boia, com sensores para o monitoramento da qualidade da água em tempo real, permite a detecção de problemas assim que esses começam a afetar as características dos recursos hídricos, ao contrário das técnicas tradicionais que, além de necessitar de um tempo para a análise, também sofrem com a influência humana durante a coleta das amostras. O monitoramento em tempo real aliado à comunicação via satélite e a eficiência energética (uso de painéis solares e equipamentos de baixo consumo de energia), permitem que o equipamento tenha autonomia para funcionar por um período prolongado de tempo sem que haja interferência humana.

## 1.1 - Objetivos

A Fundação CERTI obteve a aprovação de um projeto [1], em parceria com a Tractebel Energia que visa a criação de uma boia para o monitoramento de represas de abastecimento de usinas hidroelétricas, capaz de medir alguns parâmetros para a monitoração da qualidade da água presente nesses locais. O escopo do projeto contempla a concepção das partes elétrica, eletrônica, mecânica, software da boia e Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA), além do projeto do laboratório móvel, onde serão realizados os testes do equipamento em campo.

O trabalho de conclusão de curso (TCC) aqui proposto está inserido neste projeto, porém com foco principal no aspecto eletrônico da boia, incluindo: a interface dos sensores com o sistema de aquisição de dados (SAD); o software para a aquisição das medições dos sensores; e testes para comprovar o funcionamento

adequado dos sensores, sem incluir, no entanto, a aferição dos mesmos. No final desse trabalho, os seguintes resultados devem ser alcançados:

- Funcionamento do sistema de aquisição de dados;
- Integração dos sensores, em um barramento de comunicação, com o SAD;
- Integração da sonda multiparamétrica com o SAD;
- Testes de validação dos sensores e da sonda multiparamétrica;
- Documentação dos resultados obtidos.

Os parâmetros da qualidade da água foram definidos em conjunto com o departamento de meio ambiente da Tractebel Energia, onde também foi definido o uso de sensores meteorológicos, sendo essas medições adicionais úteis para o monitoramento ambiental do reservatório.

## 2 - Reservatórios e qualidade da água

A crescente demanda por energia elétrica nas mais variadas atividades humanas vem requerendo cada vez mais a busca por formas alternativas de energia. Mesmo com o grande apelo pelo uso das energias renováveis, consideradas como “energias limpas”, a matriz energética brasileira é composta, em sua grande maioria por energia gerada nas usinas hidroelétricas, sendo 65,75% da capacidade de geração elétrica instalada no Brasil [2]. Por muito tempo, a geração hidráulica de energia elétrica foi considerada menos agressiva ao meio ambiente do que as usinas termoelétricas, nas quais existe a queima de combustíveis fósseis. No entanto, sabe-se que a criação de barragens para uso nas usinas hidroelétricas causa grandes impactos ambientais. Mesmo não havendo queima de combustível, existe a emissão de gases (dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e metano ( $\text{CH}_4$ )) dos reservatórios oriundos da biomassa e do solo orgânico submerso. Quando a energia gerada é menor do que 0,1 W por metro quadrado da área do reservatório existe a chance de a emissão de gases exceder a quantidade que seria produzida por uma estação termoelétrica equivalente [3]. Outros problemas ambientais também decorrem da construção dos reservatórios, como a redução da velocidade do fluxo de água, aumentando a sedimentação e a erosão, causadas pela grande variação do nível da água. A transformação do corpo d'água de rio para lago acarreta alterações nas características da água, não só em sua hidrologia, como também em suas características químicas, físicas e biológicas [4].

A construção de barragens pode ocasionar não apenas impactos ambientais, mas também impactos sociais. Caso mal administrada, muitos problemas podem ocorrer na vida da população que vive nos entornos do rio afetado por essa obra. Os problemas mais relevantes já constatados em algumas localidades, segundo [5], são:

- Redução da qualidade de vida;
- Valor das indenizações inferior ao que realmente deveria ser pago;
- Deslocamento da população para centros urbanos ou para terras menos produtivas;
- Diminuição da saúde da população local devido à proliferação de moscas e insetos;

- Destruição do patrimônio cultural.

## 2.1 - Reservatórios

Estima-se que 0,01% de toda a água do nosso planeta seja potável, ou seja, própria para o consumo humano e de animais. Além disso, esse tipo de água abriga uma excepcional concentração de biodiversidade, possuindo aproximadamente 10% a mais de espécies do que em ecossistemas terrestres e 150% a mais do que nos oceanos [6]. Esse fato traz ainda mais responsabilidade para o ser humano quanto à correta utilização desse recurso.

Um reservatório é definido, segundo [5], como a construção formada pelo barramento artificial de um vale natural ou pela formação artificial de lagos, não associados a uma bacia de drenagem natural e com vazões defluentes sujeitas a controle. Sua função é de regulador da vazão do fluxo da água para atender a variação da demanda do usuário.

Suas principais características físicas são [5]:

- Capacidade de armazenamento, calculada a partir de levantamentos topográficos;
- Armazenamento de água pelo solo da margem devido à sua permeabilidade;
- Caudabilidade, quantidade de água que pode ser fornecida pelo reservatório em um determinado período de tempo;
- Transporte de material sólido por suspensão e arrastamentos;
- Perdas d'água, devidas principalmente à infiltração e à evaporação;
- Alterações na profundidade, comprimento, largura, área de superfície líquida, área de drenagem, volume e comprimento das margens.

O represamento de rios causa inúmeros transtornos ambientais e sociais no curto e médio prazo, como comentado anteriormente, porém, a monitoração contínua pode ser utilizada para prevenir danos ambientais no longo prazo. Por exemplo, A temperatura da água influencia muitos processos ecológicos, como o crescimento dos peixes e de outros seres vivos. Com o constante movimento da água dos rios, a massa de água é misturada, mantendo a temperatura aproximadamente constante, de forma independente da profundidade. Já nos

reservatórios, o fluxo de água diminui drasticamente, causando um gradiente de temperatura entre a superfície e a parte mais funda. Além disso, o armazenamento acarreta mudanças químicas, físicas e biológicas na água [6]. Em locais de represamento de água para usinas hidroelétricas, é comum o uso do recurso hídrico para outras finalidades, como por exemplo, recreação, consumo humano etc. Esses são outros motivos da necessidade de se manter a qualidade da água. Segundo [7], citado em [8], o tratamento de 1000m<sup>3</sup> de água em regiões pouco ou nada impactadas tem um custo de US\$ 2,00 enquanto que no caso de água degradada de regiões antropizadas o custo é de US\$ 8,00.

## **2.2 - Índices de qualidade das águas**

A utilização da figura de um único índice de qualidade de água tem como principal vantagem facilitar o entendimento pela população leiga das condições globais de um determinado recurso hídrico. Em geral, representa uma média entre várias variáveis que possuem unidades de medidas diferentes. Como principal desvantagem, resulta na perda da informação individual de cada uma de suas partes [9]. Segundo [9], o uso de um único índice de qualidade, apesar de fornecer uma avaliação integrada, jamais substituirá a avaliação detalhada e individual de cada uma de suas partes.

O índice de qualidade da água (IQA) é calculado segundo parâmetros que refletem a contaminação dos corpos hídricos por esgoto doméstico, levando em consideração aspectos relativos ao tratamento para o abastecimento público. Esse índice não considera diversos aspectos perigosos relacionados ao consumo humano e animal, como por exemplo: a contaminação por metais pesados, compostos orgânicos com potencial mutagênico, substâncias que afetam as propriedades organolépticas da água, número de células de cianobactérias e o potencial de formação de trihalometanos [9].

Existem outros índices que representam de forma mais fidedigna a qualidade da água, de acordo com o propósito do uso. Desde 2002, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) utiliza três índices diferentes: o índice de qualidade de águas brutas para fins de abastecimento público (IAP), o índice de preservação da vida aquática (IVA) e o índice de balneabilidade (IB). O IAP fornece dados mais fidedignos da qualidade da água quando comparado ao IQA. O IVA é

um indicador mais adequado para medir a qualidade da água visando a proteção da vida aquática, pois incorpora variáveis com ponderação mais significativa, em especial a toxicidade e a eutrofização. Para medir a qualidade visando o múltiplo uso, tem-se o IB que avalia o uso para recreação de contato primário. Esses índices não podem ser calculados apenas com a utilização de sensores, pois alguns parâmetros, atualmente, só podem ser medidos em laboratórios. Os índices mencionados são descritos resumidamente a seguir.

### 2.2.1 - Índice de qualidade da água (IQA)

O índice de qualidade da água (IQA) é baseado principalmente nos fatores limnológicos<sup>1</sup> e físico-químicos. Embora o IQA tenha sido criado para condições regionais do hemisfério norte, no Brasil ele tem sido aplicado como índice geral de qualidade das águas em corpos de água [8].

Tabela 2.1 - Parâmetros do índice IQA [10].

<b>Parâmetro</b>
Oxigênio dissolvido – OD (% OD)
Coliformes fecais (NMP/100 ml)
pH
Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO (mg/l)
Nitratos (mg/L NO <sub>3</sub> )
Fosfatos (mg/L PO <sub>4</sub> )
Variação na Temperatura (°C)
Turbidez (UNT)
Resíduos totais (mg/l)

Por utilizar somente nove parâmetros, o IQA não é um índice absoluto para a caracterização da qualidade da água, pois muitos outros parâmetros ainda são necessários para saber se a água está própria para utilização.

---

<sup>1</sup> A limnologia é o estudo das reações funcionais e da produtividade das comunidades bióticas de lagos, rios, reservatórios e região costeira em relação aos parâmetros físicos, químicos e bióticos ambientais [46].

### 2.2.2 - Índice de qualidade de águas brutas para fins de abastecimento público (IAP)

O IAP é um índice de qualidade da água que além de utilizar o IQA como parâmetro, também utiliza outras substâncias químicas e biológicas, aumentando assim, a fidedignidade do índice de qualidade [11]. Além dos nove parâmetros citados para o IQA, o IAP leva em consideração as variáveis apresentadas na Tabela 2.2 com seus respectivos limites de concentração:

Tabela 2.2 – Limites superiores e inferiores dos metais e potencial de formação de Trihalometanos [11].

Grupo	Variáveis	Grupo	Variáveis
Tóxicos	Cádmio Chumbo Cromo Total Níquel Mercúrio PFTHM*	Organolépticos	Zinco Cobre Dissolvido Ferro Dissolvido Manganês Alumínio Dissolvido

O IAP leva em consideração também a contaminação por cianobactérias. Segundo [12], citado em [11], vários gêneros e espécies de cianobactérias, que formam florações, produzem toxinas. As toxinas de cianobactérias, conhecidas como cianotoxinas, constituem uma grande fonte de produtos naturais tóxicos, podendo apresentar ação aguda e eventualmente até causar a morte por parada respiratória após poucos minutos de exposição (alcalóides ou organofosforados neurotóxicos) ou atuar de forma crônica, acumulando-se em órgãos como o fígado (peptídeos ou alcalóides hepatotóxicos).

### 2.2.3 - Índices de qualidade das águas para proteção da vida aquática e de comunidades aquáticas (IVA)

O IVA avalia a qualidade da água para fins de proteção da fauna e flora em geral. Esse índice leva em consideração a presença de contaminantes tóxicos, seus efeitos sobre os organismos aquáticos (toxicidade) e duas variáveis consideradas essenciais para a biota (pH e oxigênio dissolvido). O IVA é o resultado da interação entre dois outros índices: o índice de variáveis mínimas para preservação da vida aquática (IPMCA) e o índice do estado trófico (IET) [13].

### **2.2.3.1 - IPMCA:**

O IPMCA é composto por dois grupos de variáveis [13]:

- **Grupo de variáveis essenciais:** Oxigênio dissolvido, pH e toxicidade.
- **Grupo de substâncias tóxicas:** Cobre, zinco, chumbo, cromo, mercúrio, níquel, cádmio, surfactantes e fenóis. Nesses grupos podem ser incluídos mais parâmetros que venham a ser considerados importantes, inclusive em nível regional.

### **2.2.3.2 - IET:**

O índice do estado trófico (IET) tem a finalidade de classificar o corpo d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas [14]. O Fósforo é considerado uma medida de potencial de eutrofização, pois é um nutriente que contribui com o aumento do crescimento do número de algas (que é o agente causador).

### **2.2.4 - Índice de balneabilidade (IB)**

O índice de balneabilidade se refere à qualidade da água para fins recreativos ou de contato primário, ou seja, onde há a possibilidade de ingestão da água [15]. Esse índice é aplicado em praias de águas interiores, localizadas em rios e reservatórios. Para o IB, levam-se em consideração apenas os coliformes termotolerantes ou a densidade de E. coli. Para a simplificação da divulgação dos resultados, a CETESB desenvolveu, a partir de medições semanais e mensais, uma qualificação anual baseada em critérios estatísticos, expressando a qualidade das águas monitoradas ao longo do ano.

## **2.3 - Parâmetros da água**

Os principais parâmetros da água que serão abordados nesse trabalho foram escolhidos por serem mais comumente utilizados em medições automatizadas, podendo ser encontrados em sondas multiparamétricas. Outros parâmetros também podem ser medidos, a seguir são citados alguns dos mais importantes.

### **2.3.1 - Temperatura da água**

A temperatura da água é um fator muito importante a ser medido, pois a mesma influencia vários outros parâmetros como o pH, condutividade elétrica etc. Outro fator que também é influenciado pela temperatura é a manutenção da vida aquática. Em geral, os organismos conseguem viver em ambientes cuja temperatura varia dentro de uma faixa de valores bastante restrita, tendo uma temperatura preferencial. Quando a temperatura varia e ultrapassa a mencionada faixa, pode ocorrer a morte (em caso de organismos superiores) ou a inativação (no caso de microrganismos) [16].

De acordo com [16], a elevação da temperatura, em geral, tem como consequência:

- Diminuição da densidade e da viscosidade da água, para temperaturas acima de 4°C, facilitando a sedimentação de materiais em suspensão;
- Redução da solubilidade dos gases na água, entre eles o oxigênio, o CO<sub>2</sub> e a amônia;
- Evasão de substâncias orgânicas voláteis, podendo causar maus odores;
- Aumento da velocidade das reações bioquímicas, aeróbias e anaeróbias, de degradação da matéria orgânica;
- Aumento da taxa de crescimento dos organismos aquáticos;
- Evasão de gases tóxicos H<sub>2</sub>S;
- Coagulação de proteínas que constituem a matéria viva;
- Aumento da toxicidade de substâncias dissolvidas na água, como a rotenona.

### **2.3.2 - Oxigênio dissolvido (OD)**

O oxigênio dissolvido (OD) é um importante indicativo da qualidade da água porque indica a ocorrência de contaminação por esgoto doméstico não tratado ou devido à poluição térmica. Baixos níveis de OD indicam alta atividade biológica, pois os organismos aeróbios consomem oxigênio para obtenção de energia. As variações de OD podem ser ocasionadas naturalmente, dependendo da época do ano, ocorrendo principalmente nos rios do Pantanal e na bacia amazônica [16].

Em ambientes de água corrente, um baixo OD em um determinado local não necessariamente indica que a fonte de poluição está próxima. No caso de esgoto doméstico, a fonte poluidora está a montante do local da coleta. Para o caso de poluição térmica, a fonte provavelmente se encontra próxima ao local de coleta.

Segundo [16], a medida de OD deve estar associada à temperatura e o resultado deve ser comparado com a concentração de saturação que também é função da salinidade do corpo d'água. O OD é um dos critérios mais importantes na determinação das condições sanitárias das águas superficiais e quanto maior seu valor, melhor é a qualidade da água [17].

### **2.3.3 - Potencial Hidrogeniônico (pH)**

O potencial hidrogeniônico indica a concentração de íons de hidrogênio na água. Seu valor é adimensional, varia entre 0 a 14 e caracteriza a água em três categorias: ácida, neutra ou básica. Para valores entre 0 a 7 a água é considerada ácida (valores baixos indicam maior acidez). Quando o valor é 7, a água é considerada neutra. Para valores entre 7 a 14 a água é considerada básica, sendo mais básica à medida que o valor aumenta. Esse indicador também é utilizado em outras soluções químicas, não apenas para a água.

Segundo a resolução nº 357/2005 do CONAMA, as águas destinadas ao abastecimento e ao consumo humano devem conter o pH entre 6 a 9 [17]. Valores menores que 4 e maiores que 10 indicam contaminação por efluentes industriais ou a ocorrência de vazamentos de produtos químicos, porém em lagos e reservatórios com alta incidência de fitoplâncton, o pH pode atingir valores maiores que 9 em períodos de maior insolação, devido ao aumento da fotossíntese das algas, removendo o CO<sub>2</sub> e tornando a água mais básica [16].

### **2.3.4 - Turbidez**

A turbidez é causada por partículas em suspensão na água que ocasionam a alteração na penetração da luz. Isso diminui a atividade fotossintética e, conseqüentemente, a quantidade de oxigênio dissolvido. Segundo esse parâmetro a água pode ser considerada turva ou límpida [17]. A zona produtiva dos corpos d'água é quase igual à profundidade de penetração da luz, pois a falta de luz prejudica o desenvolvimento de plantas aquáticas e do plâncton. A turbidez elevada

aumenta a necessidade de reagentes no tratamento da água, aumentando o custo final de distribuição. O valor aceitável segundo a resolução 357/2005 do CONAMA é de até 100 UNT ou uT (unidade Nefelométrica de Turbidez) [16].

### **2.3.5 - Condutividade**

A condutividade elétrica mede a capacidade da água em conduzir corrente elétrica. Esse parâmetro é muito sensível ao lançamento de efluentes, o que facilita avaliar a qualidade da água. É uma medida direta para a concentração de espécies iônicas dissolvidas, principalmente inorgânicas, e também está relacionada com a concentração de sólidos dissolvidos totais, em mg/l.

## 3 - Sistema de aquisição de dados

Nesta seção serão apresentados os elementos fundamentais utilizados para o sensoriamento, condicionamento e aquisição dos parâmetros necessários para a avaliação de qualidade da água.

### 3.1 - Sistemas embarcados

Os sistemas embarcados são equipamentos que possuem recursos computacionais e periféricos suficientes para uma função ou uma tarefa específica, sendo muitas vezes parte de um processo maior. Ao contrário dos computadores pessoais, que são dimensionados para atender a múltiplos propósitos, como aplicações multimídia, comunicação, etc., os sistemas embarcados são dimensionados para possuir o mínimo dos requisitos que sejam suficientes para sua função. Exemplos desses tipos de sistemas estão presentes em máquinas de lavar, geladeiras, entre outros, onde sua existência muitas vezes não é notada pelo usuário.

Com o avanço da tecnologia e a redução dos custos de um sistema embarcado, esse conceito de realização de tarefas específicas acabou ficando ultrapassado, pois muitos equipamentos projetados para realizar uma atividade principal possuem outras funções secundárias. Os *smartphones* são um exemplo desse tipo de equipamento, pois sua principal função é a de comunicação, mas também são utilizados para entretenimento multimídia, acesso a internet e muitas outras funcionalidades. Algumas características identificadas por [18], citado em [19], são expostas a seguir.

- São projetados para uma função específica, não sendo permitida, na maioria dos casos, a sua programação pelo usuário. Geralmente, o usuário pode configurar o modo como o sistema se comporta, mas não sua função.
- Normalmente interagem com o ambiente em que se encontram, coletando dados através de sensores e modificando o ambiente através de atuadores.

- Devem ser confiáveis. Um sistema confiável deve possuir as seguintes características:
  - Estabilidade: é a probabilidade que um sistema não irá falhar.
  - Recuperação: é a probabilidade que uma falha no sistema será corrigida em certo intervalo de tempo.
  - Disponibilidade: é a probabilidade de que um sistema estará disponível em certo tempo. Alta estabilidade e recuperação levam a alta disponibilidade.
  - Segurança: um sistema deve ser seguro em dois aspectos. Ele deve ser seguro para o meio ambiente, ou seja, uma falha não acarreta em danos ao meio ou às pessoas que utilizam este sistema, e deve manter as informações confidenciais dentro dele, sem permitir que pessoas não autenticadas manipulem essas informações.
- Deve respeitar os seguintes requisitos:
  - Consumo de energia: como muitos equipamentos embarcados são móveis e utilizam baterias, esses devem consumir o mínimo de energia possível.
  - Tamanho do código: a quantidade de memória geralmente é muito limitada, por isso os códigos devem ser os menores possíveis.
  - Execução parcimoniosa: os recursos de hardware que não forem utilizados devem ser omitidos, pois geralmente ocupam espaço e energia. A frequência de *clock* e a tensão de alimentação devem ser as menores possíveis.
  - Peso: sistemas móveis devem ser leves.
  - Custo: o uso eficiente de componentes de *hardware* reduz os custos, e na grande maioria das vezes esse é um fator preponderante.
- A *interface* dos sistemas embarcados deve ser a mais simples possível, trocando muitas vezes *mouse*, teclado e *display* por chaves, botões e *leds*.
- Muitos sistemas embarcados possuem requisitos de tempo real. Não completar uma tarefa em um determinado tempo pode ocasionar numa falha grave e ter consequências catastróficas. Por isso devem ser

utilizadas técnicas que diminuem o tempo de execução. Em sistemas de tempo real, uma resposta do sistema deve ser explicada e comprovada sem argumentos estatísticos.

- Muitos sistemas embarcados são híbridos, compostos por partes analógicas e digitais.

### 3.1.1 - Microcontroladores

Microcontroladores são dispositivos eletrônicos capazes de efetuar cálculos aritméticos e tomadas de decisões de acordo com as instruções descritas em um programa (firmware). Estes dispositivos são geralmente utilizados para aplicações específicas, onde o custo é um fator importante. Outra característica importante dos microcontroladores é o fato de já possuírem memórias e periféricos embutidos no mesmo chip, ao contrário dos microprocessadores, diminuindo os custos e tamanho, além de facilitar o desenvolvimento de produtos específicos cada vez menores e mais baratos.

É possível encontrar comercialmente muitos modelos e fabricantes de microcontroladores e a melhor escolha deve aliar o menor custo com as características principais necessárias para o produto, levando em consideração a quantidade de memória, periféricos que serão utilizados, suporte às ferramentas de desenvolvimento, entre outros parâmetros.

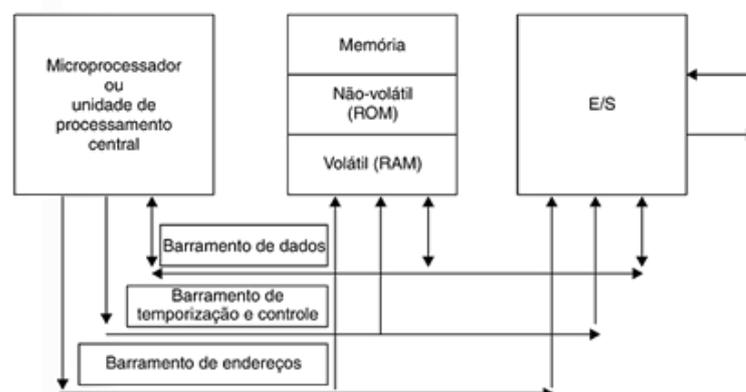


Figura 3.1 - Arquitetura de sistemas microprocessador/microcontrolador [20].

A Figura 3.1 mostra como os 3 blocos básicos dos microcontroladores se conectam. As vias de comunicação entre esses blocos, chamadas barramentos são responsáveis pelo fluxo de informação em vias paralelas. São três os barramentos

existentes: Barramento de dados, barramento de temporização e controle e barramento de endereços.

### **3.1.2 - Sistema operacional**

O Sistema operacional é um programa ou um conjunto de programas cuja função é gerenciar processos, memórias, sistemas de arquivos, entrada e saída de dados, além de fornecer uma interface entre o dispositivo e o usuário. Sistemas operacionais trabalham com prioridades nas tarefas, ou seja, quando ocorre a solicitação de execução de uma ou mais tarefas, a tarefa com maior prioridade é executada primeiro. Além disso, permitem configurações de prioridades de tarefas, otimizando seu processamento, de forma a realizar uma execução em tempo real [21]. A principal diferença entre um sistema operacional e um sistema operacional embarcado é que em aplicações embarcadas devem-se reduzir ao máximo as funções que o sistema deve desempenhar, diminuindo assim o consumo de energia.

Existem muitos tipos de sistemas operacionais destinados a sistemas embarcados, cada um com suas características próprias dependendo da aplicação ao qual serão aplicados. Alguns exemplos são: Symbian OS, da Nokia Corporation; Android, do Google Inc.; Linux, código aberto; Windows CE, da Microsoft Corporation; entre muitos outros.

### **3.1.3 - Linux embarcado**

O Linux é um sistema operacional de código aberto que permite o controle do *hardware* e provê abstração em alto nível para os processos, *sockets* e arquivos de diferentes *softwares* em funcionamento no sistema [22]. O Linux embarcado é um sistema operacional utilizado em sistemas embarcados, onde apenas os recursos essenciais à aplicação estão disponíveis, ao contrário das distribuições dedicadas a computadores do tipo *personal computer* (PC) que incluem diversos recursos que muitas vezes não são utilizados, como suporte a impressoras, áudio, vídeo etc. O Linux embarcado possui o mesmo código fonte (*Kernel*) que as distribuições do Linux existentes, porém é compilada para um determinado modelo de microcontrolador, sendo possível escolher as funcionalidades que serão utilizadas, otimizando assim a escolha do *hardware* necessário para execução da aplicação. Por ser um sistema operacional de código aberto, é possível customizar o *Kernel*

para obter maior desempenho do sistema. Embora existam algumas versões modificadas para utilização em sistemas de 16-bits, a grande maioria dos desenvolvedores utiliza a versão para 32-bits [23].

### **3.2 - Sonda multiparamétrica**

A sonda multiparâmetro é um dispositivo de sensoriamento, em forma cilíndrica, utilizado para avaliar a qualidade da água. Uma sonda pode ter um ou mais sensores, de forma a abranger os parâmetros de interesse [24]. A grande vantagem desse tipo de equipamento, além da possibilidade de combinar diversos sensores, é a disponibilização imediata dos dados desejados já condicionados e formatados de acordo com as necessidades do projetista. Embora apresentem significativa confiabilidade, aferições constantes, realizadas através da coleta e análise laboratorial, são necessárias em decorrência do ambiente agressivo em que se encontram.

### **3.3 - Sensores**

Um sensor pode ser definido como um dispositivo que altera suas características físicas internas devido a um fenômeno externo. Segundo [25], citado em [26], um sensor muda seu comportamento sob a ação de uma grandeza física, podendo fornecer direta ou indiretamente um sinal que indica essa grandeza e convertendo uma quantidade física em um sinal geralmente elétrico (devido à facilidade de manipulação e armazenamento). O transdutor é um sistema completo que produz um sinal elétrico proporcional à grandeza medida e o sensor, por outro lado, é apenas a parte sensitiva do transdutor. Um exemplo é o caso do transdutor de pressão, onde o sensor seria o diafragma capacitivo [27].

Os sinais medidos podem apresentar três naturezas diferentes [26]:

- Analógico: É aquele que assume determinado valor dentro de uma escala contínua.
- Digital: É aquele que pode assumir um número finito de valores em uma determinada escala.
- Binário: É aquele que pode apresentar somente dois valores, 0 ou 1.

As principais características de um sensor são [26]:

- Linearidade: grau de proporcionalidade entre o sinal gerado e a grandeza física;
- Faixa de atuação: intervalo de valores da grandeza em que pode ser utilizado o sensor, sem causar sua destruição ou a imprecisão à leitura;
- Resolução: menor quantidade que pode ser medida;
- Exatidão: É a diferença absoluta entre o valor real do padrão e o valor da média das medições realizadas pelo instrumento;
- Precisão: associada à variabilidade das medições.
- Repetibilidade: É a faixa de valores simétrica em torno do valor médio, dentro da qual o erro aleatório de um sistema de medição é esperado com certa probabilidade [28].

A seguir são apresentados os tipos dos sensores meteorológicos que serão utilizados nesse trabalho.

### 3.3.1 - Sensores de temperatura RTD

O sensor de temperatura tipo detector resistivo de temperatura (*resistance temperature detectors* – RTD) possui sua resistência elétrica dependente da temperatura. Existem vários tipos de materiais que podem ser utilizados nesses sensores, como cobre, níquel e níquel-ferro, porém o mais utilizado é a platina, pois entre estes materiais é o que possui maior faixa de temperatura de leitura, estabilidade e repetibilidade, além de não sofrer ações de oxidação e corrosão.

Existem alguns componentes comerciais que utilizam essa tecnologia, por exemplo, o PT-100 e o PT-1000, fabricado por várias empresas. O valor em seu modelo corresponde à resistência elétrica, em ohms ( $\Omega$ ), a uma temperatura de 0°C. Seu coeficiente de mudança de resistência com a temperatura é 0,00385  $\Omega/^\circ\text{C}$  para a faixa entre 0 a 100°C, sendo seu comportamento praticamente linear. Esse componente segue a norma europeia DIN/IEC751 que define ainda duas classes de tolerância, dependentes da temperatura (t), em °C, além de duas classes industriais [29]:

Classe A:  $\pm(0,15 + 0,002*t)^\circ\text{C}$  ou  $100,00 \pm 0,06$  a 0°C;

Classe B:  $\pm(0,30 + 0,005*t)^\circ\text{C}$  ou  $100,00 \pm 0,12$  a 0°C.

### 3.3.2 - Sensor de umidade

O sensor de umidade pode ser implementado através de um capacitor cuja capacitância varia com a umidade. Ao contrario do RTD, esse sensor não possui um padrão, ficando sua capacitância, sensibilidade e tolerância à escolha do fabricante. Suas vantagens são o fato de funcionarem entre 0 a 100% da umidade relativa do ar, possibilidade de serem molhados, baixo erro devido à linearidade, boa estabilidade, alta repetibilidade e boa resistência à poluição.

### 3.4 - Condicionador de sinais

Os condicionadores de sinais são sistemas eletrônicos utilizados para processamento, conformação, excitação e alteração de forma de sinais elétricos. Entre as possíveis funções de um condicionador de sinais pode-se citar [30]:

- **Amplificação**: É a função mais comum em um condicionador de sinais. Consiste basicamente em um fator de ganho ou atenuação.
- **Buferização**: Representada pela elevada impedância de entrada de um amplificador. Evita o efeito de carregamento do sensor pelo amplificador, o que poderia causar interferência de leitura.
- **Mudança de Nível**: Realiza a alteração da linha de base (nível DC) de um sinal.
- **Linearização**: Geralmente a saída dos sensores são não-lineares. Em aplicações em que não é necessária grande precisão, considerando apenas determinada faixa, pode-se assumir linearidade entre entrada e saída. Em outras aplicações pode ser necessária a aplicação de uma operação matemática não-linear de forma a compensar a característica do sensor e produzir uma relação linear entre a grandeza desejada e a saída do sistema. Um exemplo de linearização é o caso em que a variável assume um comportamento exponencial, como no caso genérico abaixo:

$$f(x) = k_x e^{-\alpha x} \quad 3.1$$

Utilizando a operação matemática logaritmo, que na prática pode ser implementado por um amplificador operacional com um diodo na malha de

realimentação, pode-se linearizar o sinal de entrada de equação 3.1, de tal forma que:

$$f(y) = k_y \ln(f(x)) \quad 3.2$$

Sendo assim:

$$f(y) = k_y \ln(k_x) - \alpha x \quad 3.3$$

Desta forma, o sinal de saída varia linearmente de acordo com o sinal de entrada. Um condicionamento posterior poderia ser feito para eliminar o *offset* e inverter a polaridade do sinal. Isto seria possível através de procedimentos de amplificação e mudança de nível.

- **Conversão**: Frequentemente os condicionadores de sinais são utilizados para converter uma grandeza elétrica em outra grandeza diferente. É o caso de sensores em que a variável dependente é a resistência elétrica, sendo necessária a conversão para valores de tensão ou corrente. Outro caso comum é a monitoração em grandes distâncias onde a saída do sensor é em tensão. A resistência do condutor de transmissão pode influenciar de forma significativa no resultado da medição, nesse caso o sinal é geralmente convertido em corrente, sendo muito utilizado o padrão 4-20mA.
- **Isolação**: É utilizada para proteger a entrada/saída do sistema de aquisição de um alto nível de tensão de modo comum.
- **Filtragem**: Devido a existência de sinais indesejados associados ao sistema de medição, os chamados ruído e interferência, geralmente é necessária a realização de uma etapa de filtragem. Esse processo pode ser realizado de forma passiva (os chamados filtros RLC), ou de forma ativa (utilizando amplificadores operacionais ou transistores).

### 3.5 - Conversor analógico-digital

A maioria das grandezas medidas em um processo possui natureza analógica, porém, os processadores e os microcontroladores só conseguem processar informações digitais, por isso, existe a necessidade da conversão de valores analógicos para valores digitais. O formato digital acarreta uma série de

vantagens, como maior imunidade a ruídos, reprodutibilidade, robustez, equipamentos cada vez menores e mais integrados etc.

O processo de conversão de um sinal analógico em um sinal digital consiste na conversão de uma grandeza física para um código, representado por uma sequência discreta de elementos, ou seja, a discretização de um processo contínuo. Essa discretização consiste em uma amostragem periódica de um sinal e da representação dos valores por meio de certo número de níveis de quantização. Em outras palavras, o sinal é convertido a uma taxa de amostragem e com uma determinada resolução [31].

Existem diversas formas e técnicas para a realização dessa conversão, sendo os blocos básicos visualizados na Figura 3.2.

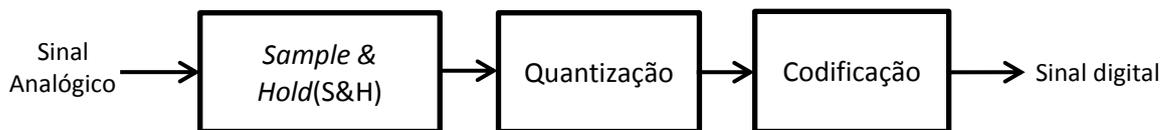


Figura 3.2 - Etapas da conversão analógica-digital.

- **Amostrador (em inglês, *sample&hold*)**: Esse processo consiste na aquisição da amplitude do sinal (em inglês, *sample*), em um determinado instante de tempo, e a sua manutenção (em inglês, *hold*) pelo tempo necessário para que seja possível proceder a quantização do sinal. A frequência de amostragem deve respeitar o teorema de Nyquist que enuncia que para que um sinal de banda espectral limitada em baixas frequências possa ser reconstruído a partir de sua discretização, a frequência de amostragem deve ser maior que o dobro da maior frequência do sinal amostrado, evitando assim o efeito de sobreposição espectral (em inglês, *aliasing*). A Figura 3.3 mostra um sinal senoidal sendo amostrado.

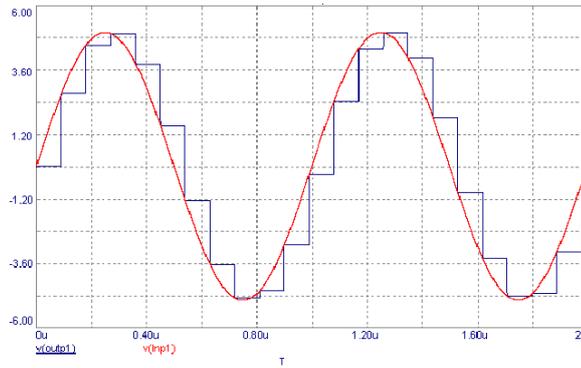


Figura 3.3 – Amostragem de um sinal senoidal [32].

- **Quantização:** Como a variável analógica pode assumir qualquer valor dentro de um intervalo de medição e os sistemas digitais só conseguem tratar de certos valores discretos, é necessário que o valor amostrado seja discretizado para que o sistema possa processar esse valor. A quantização é feita de forma a enquadrar um valor contínuo em um valor discreto dentro de um conjunto de possibilidades. O nível de quantização depende da resolução, em bits, que será adotada. Dessa forma, esse processo introduz erros de medição. Esse erro pode ser minimizado com o aumento da resolução do conversor, pois quanto maior o número de bits, em uma mesma faixa de leitura, maior é a quantidade de valores discretos disponíveis, diminuindo a aproximação necessária para o enquadramento dos valores.

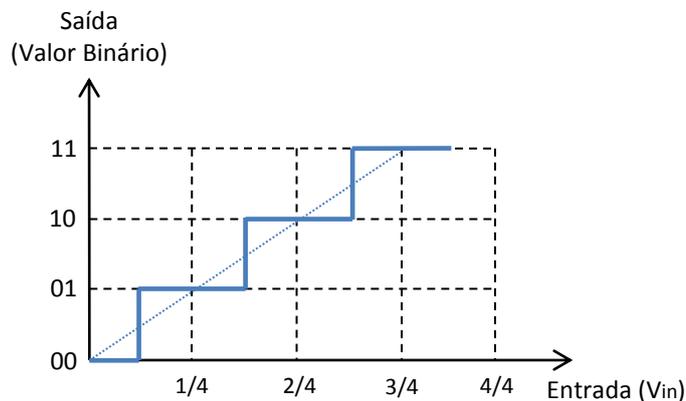


Figura 3.4 - Exemplo de Quantificação.

- **Codificação:** É o último processo da conversão analógica-digital. É a conversão do valor quantizado para um código que permita a adequada transmissão e representação no sistema de processamento digital (um microcontrolador no presente caso).

Existem diferentes arquiteturas para a implementação de conversores analógicos-digitais, entre elas [33]: conversor flash, aproximação aritmética, aproximação delta, aproximação geométrica, sigma-delta etc.

## 4 - Materiais e Métodos

Esta seção apresenta o detalhamento dos materiais e métodos utilizados para a implementação do sistema de aquisição de dados proposto neste trabalho.

### 4.1 - Hardware

O diagrama de blocos do projeto da boia que será desenvolvida pela fundação CERTI é apresentado na Figura 4.1, onde os blocos em vermelho são os tópicos abordados no trabalho de conclusão de curso.

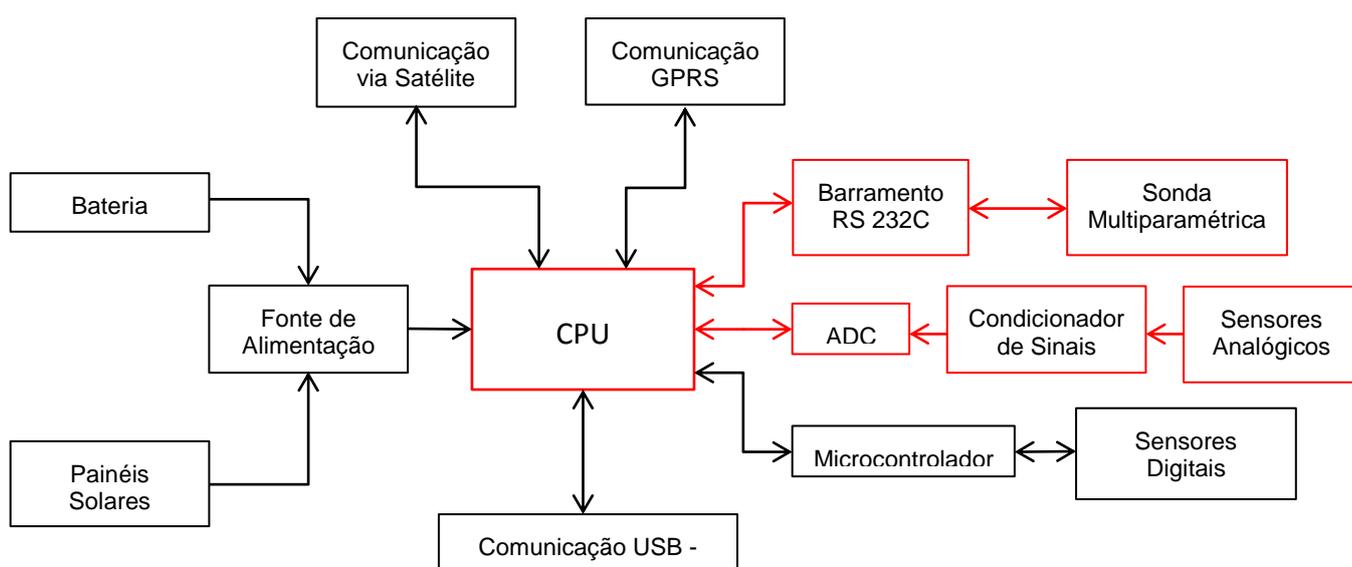


Figura 4.1 - Diagrama de blocos do projeto Boia Yara.

### 4.2 - Microcontrolador (CPU)

O microcontrolador escolhido para ser utilizado nesse projeto possui uma arquitetura *advanced RISC machine* (ARM). O ARM foi desenvolvido com o objetivo de ter alto desempenho, baixo consumo de energia e baixo custo, tornando-o ideal para essa aplicação. Essa arquitetura é licenciada para diversos fabricantes de microcontroladores e possui diversos modelos, sendo suas características de desempenho, consumo e preço diferenciados para atender a uma grande gama de aplicações. Todos esses microcontroladores são de 32-bits, sendo desenvolvidos especialmente para aplicações embarcadas [34].

No projeto da boia optou-se pela utilização de um modelo da série ARM9 fabricada pela empresa Atmel Corporation. O modelo escolhido foi o SAM9263 por possuir os requisitos necessários para essa aplicação e também outras funcionalidades como controlador LCD, USB, Ethernet e CAN, possibilitando a utilização desses elementos em futuras expansões. Outro fator importante considerado é que, no próprio Kernel oficial do Linux, existe suporte para essa família de microcontroladores, disponibilizando *drivers* para as portas USB, SPI entre outros.

A placa de circuito impresso necessária para a montagem desse microcontrolador foi desenvolvida pela Fundação CERTI e planejada modularmente, de forma a atender a diversas aplicações. A placa base, onde será soldado o microcontrolador, junto com os componentes periféricos necessários para seu funcionamento e conectores de expansão disponibiliza também portas de entrada/saída (E/S), conectores para porta USB, porta serial e conexão para a fonte de alimentação. A Figura 4.2 apresenta a placa com os componentes já soldados.



Figura 4.2 - Plataforma Eletrônica para o Microcontrolador SAM9263.

#### **4.2.1 - Sistema operacional**

O desenvolvimento de um *firmware* dedicado para o sistema em questão é uma tarefa muito complicada, pois seria necessário implementar os protocolos de comunicação utilizados no projeto, além de realizar as funções específicas da boia.

Desta forma optou-se pela utilização do sistema operacional de código aberto Linux para facilitar o controle dos equipamentos, do gerenciamento dos dados coletados e da comunicação com o servidor que ficará localizado na empresa.

Também para o desenvolvimento do software embarcado foi escolhido o sistema operacional Linux, na forma da distribuição OpenSUSE. Os códigos foram desenvolvidos na linguagem de programação C e, para serem executados no processador ARM da boia, foi utilizado o compilador *GNU Compiler Collection* (GCC) para efetuar a compilação cruzada para aquela plataforma, sendo os códigos executáveis resultantes transferidos, através da porta serial, para a memória do sistema.

### **4.3 - Sonda multiparamétrica**

Por existir uma grande quantidade de fabricantes e modelos de sondas multiparamétricas, houve a necessidade de realizar uma comparação entre as diversas opções disponíveis, levando em consideração os parâmetros que deverão ser medidos, intervalo dos valores de leitura (*range*), resolução e precisão. Uma característica importante na escolha da sonda é o protocolo de comunicação. Como a intenção do equipamento é ser o mais modular possível, existe a preocupação na utilização de uma sonda que seja compatível com modelos de outros fabricantes. O protocolo SDI-12, desenvolvido especialmente para sensores, é adotado por muitas empresas fabricantes de sondas multiparamétricas. Isso possibilita, sem grandes mudanças de *hardware* e *software*, o uso de sondas de diferentes fabricantes, além de possibilitar a criação de um barramento onde poderiam ser adicionadas outras sondas no mesmo equipamento, flexibilizando o produto final.

Após comparar as características citadas anteriormente para diversos produtos disponíveis no mercado, o modelo escolhido foi o 6600 V2 da fabricante YSI Incorporated (Figura 4.3). Os parâmetros que podem ser lidos pela sonda e as suas respectivas características estão descritas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Características da sonda YSI 6600 V2.

Parâmetro		Range	Resolução	Precisão
Oxigênio dissolvido % Saturação		0 a 500%	0,1%	0 até 200%: $\pm 1\%$ da leitura ou 1% saturação do ar, o qual for maior; 200 até 500%: $\pm 15\%$ da leitura
Oxigênio dissolvido mg/l		0 a 50 mg/L	0,01 mg/L	0 até 20 mg/L: $\pm 0,1$ mg/L ou 1% da leitura, o qual for maior; 20 até 50 mg/L: $\pm 15\%$ of reading
Oxigênio Dissolvido % Saturação		0 a 500%	0,1%	0 até 200%: $\pm 2\%$ da leitura ou 2% da saturação do ar, o qual for maior; 200 até 500%: $\pm 6\%$ da leitura
Oxigênio Dissolvido mg/l		0 a 50 mg/L	0,01 mg/L	0 até 20 mg/L: $\pm 0,2$ mg/L ou 2% da leitura, o qual for maior; 20 to 50 mg/L: $\pm 6\%$ da leitura
Condutividade		0 a 100 mS/cm	0,001 to 0,1 mS/cm (dependente do range)	$\pm 0,5\%$ da leitura + 0,001 mS/cm
Salinidade		0 a 70 ppt	0,01 ppt	$\pm 1\%$ da leitura ou 0,1 ppt, o qual for maior
Temperatura		-5 a +50°C	0,01°C	$\pm 0,15^\circ\text{C}$
pH		0 a 14 units	0,01 unit	$\pm 0,2$ unit
ORP		-999 a +999 mV	0,1 mV	$\pm 20$ mV
Profundidade	Fundo	0 a 656 ft, 200 m	0,001 ft, 0,001 m	$\pm 1$ ft, $\pm 0,3$ m
	Médio	0 a 200 ft, 61 m	0,001 ft, 0,001 m	$\pm 0,4$ ft, $\pm 0,12$ m
	Raso	0 a 30 ft, 9,1 m	0,001 ft, 0,001 m	$\pm 0,06$ ft, $\pm 0,02$ m
	Nível Ventilado	0 a 30 ft, 9,1 m	0,001 ft, 0,001 m	$\pm 0,01$ ft, 0,003 m
Turbidez		0 a 1.000 NTU	0,1 NTU	$\pm 2\%$ da leitura ou 0,3 NTU, o qual for maior
Nitrato (NO <sub>3</sub> )		0 a 200 mg/L-N	0,001 a 1 mg/L-N (dependente do range)	$\pm 10\%$ da leitura ou 2 mg/L, o qual for maior
Amônia		0 a 200 mg/L-N	0,001 a 1 mg/L-N (dependente do range)	$\pm 10\%$ da leitura ou 2 mg/L, o qual for maior
Cloreto		0 a 1000 mg/L	0,001 a 1 mg/L (dependente do range)	$\pm 15\%$ da leitura ou 5 mg/L, o qual for maior
Rodamina		0 a 200 µg/L	0,1 µg/L	$\pm 5\%$ da leitura ou 1 µg/L, o qual for maior

Parâmetro	Range	Resolução	Precisão
Cianobactéria Phycocyanin	0 a 280.000 cells/mL 0 a 100 RFU	220 cels/mL	1 cel/mL 0,1 RFU
Cianobactéria Phycoerythrin	0 a 200.000 cells/mL 0 a 100 RFU	450 cels/mL	1 cel/mL 0,1 RFU
Clorofila	0 a 400 µg/L 0 a 100 RFU	0,1 µg/L	0.1 µg/L Chl 0,1% RFU



Figura 4.3 – Foto da sonda YSI 6600 V2 [35].

## 4.4 - Sensores Meteorológicos

Os sensores meteorológicos utilizados neste projeto serão complementares aos de monitoramento da qualidade da água, transformando a boia em uma pequena estação meteorológica. Esses parâmetros são importantes, pois correlacionam as características do ambiente com a qualidade da água. Os parâmetros medidos nesse trabalho serão de temperatura, umidade e quantidade de chuva.

### 4.4.1 - Temperatura e umidade

Os sensores de temperatura e umidade utilizados nesse trabalho se encontram conjuntamente encapsulados, possuindo cada um uma saída analógica entre 0 e 1V. Isso faz com que seja necessária uma etapa de condicionamento do sinal antes que os mesmos sejam convertidos para o formato digital. O sensor é comercializado pela empresa E+E Elektronik Ges.m.b.H e seu modelo é o EE21-FT1B26/T02. Esse código traz as especificações do modelo, como mostrado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Características do sensor de temperatura e umidade [36].

Modelo	FT	Humidade + Temperatura
Sinal de Saída	1	0 – 1 V
Tipo de encapsulamento	B	Duto de montagem
Comprimento da Sonda	2	50 mm
Filtro	6	Grade de Metal
Range de Temperatura	T02	-40 - 60 °C

#### 4.4.2 - Aquisição do sinal dos sensores

Para que o microcontrolador seja capaz de processar as informações lidas pelos sensores são necessárias algumas etapas de condicionamento de sinais e de conversão analógica-digital.

##### 4.4.2.1 - Filtro passa-baixas *Sallen-Key*

Como as características em frequência dos sinais de temperatura e umidade são restritas a baixas frequências, é interessante efetuar uma filtragem para que sejam eliminados ruídos de mais alta frequência (não associados ao sinal de interesse). No projeto foi utilizado um filtro de Bessel com configuração *Sallen-Key*. Para reduzir interferências da rede de energia elétrica, foi projetado um filtro capaz de eliminar sinais com frequência de 60 Hz, tendo sido escolhida uma frequência de corte de 1 Hz. Esse filtro é ativo e de segunda ordem, ou seja, possui uma atenuação de 12 dB/oitava, com o fator de qualidade (Q) igual a 0,634. Na frequência de 60 Hz, a atenuação é aproximadamente 71 dB. A simulação da resposta desse filtro é mostrada na Figura 4.4.

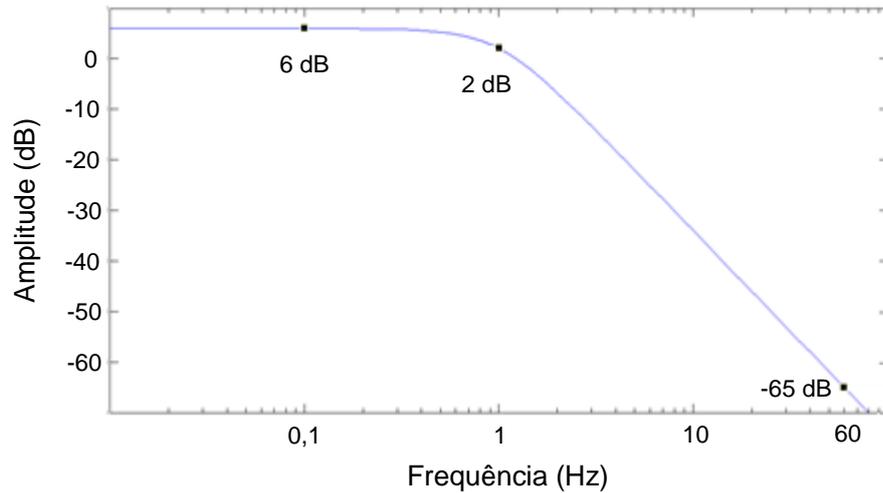


Figura 4.4 – Diagrama de Bode do filtro Sallen-Key.

O circuito do filtro utilizado nesse projeto é apresentado na Figura 4.5.

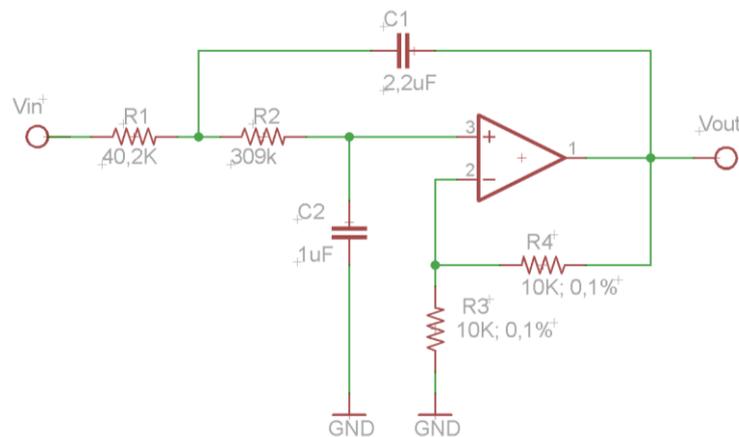


Figura 4.5 – Esquema do circuito do filtro Sallen Key.

Os valores dos resistores e dos capacitores  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $C_1$  e  $C_2$  influenciam diretamente na determinação da frequência de corte e no fator de qualidade do filtro e os resistores  $R_3$  e  $R_4$  influenciam no ganho e no fator de qualidade. Esses componentes foram calculados utilizando os procedimentos descritos em [37] para o filtro com ganho unitário. Como o ganho neste sistema é igual a 2, o valor de  $Q$  é modificado, tendo sido calculado de acordo com [38].

A escolha do amplificador operacional deve levar em consideração certos aspectos [39]. Como a frequência dos sinais a serem medidos é baixa, o componente não necessitará de grande largura de banda, que para filtros Sallen-Key com ganho maior que um deve ser:

$$GBWP = 100G_{MF}f_c \quad 4.1$$

onde, GBWP é a largura de banda (em inglês, *Gain Bandwidth Product*), em Hz;  $G_{MF}$  é o ganho em malha fechada; e  $f_c$  é a frequência de corte, em Hz.

O *slew rate* também deve ser levado em consideração, para que o dispositivo não cause distorções no sinal. Como os sinais medidos variam lentamente, essa característica não se torna crítica. A não-idealidade que é mais influente nesse tipo de aplicação é a corrente de polarização que é a corrente que entra ou sai dos terminais de entrada do amplificador operacional. Essa corrente provoca uma queda de tensão no resistor  $R_2$  do circuito exposto na Figura 4.5, adicionando um erro de nível (*offset*) na saída do filtro. Em função da corrente de polarização (*bias*) utilizam-se resistores com valores pequenos, aumentando o valor dos capacitores para manter a frequência de corte. Um valor elevado de capacitância acarreta em maiores custos, componentes maiores e de menor precisão. Por isso, escolheu-se um amplificador operacional com corrente de *bias* na ordem de pico amperes. Com o valor do resistor escolhido e a corrente de *bias* máxima do amplificador operacional, o erro fica na ordem de poucos microvolts que, além de não afetar significativamente o resultado da medição, pode ser eliminado na calibração do sistema. O modelo do amplificador operacional escolhido foi o AD8531 do fabricante Analog Devices e suas características principais são mostradas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Características Amplificador Operacional AD8531 [40].

Parâmetro	Valor Típico	Valor Máximo
<b>Corrente de <i>Bias</i></b>	1 pA	50 pA
<b><i>Slew Rate</i></b>	3,5 V/ $\mu$ s	-
<b>Tensão de Offset</b>	-	25 mV
<b>Consumo de corrente</b>	0,7 mA	1,25 mA

Os resistores  $R_3$  e  $R_4$  são responsáveis pelo ganho do sistema e, portanto, são fontes de erro devido à imprecisão no valor da resistência. Para diminuir o erro na tensão de saída, a tolerância dos resistores  $R_3$  e  $R_4$  é de 0,1% e o erro máximo causado pela imprecisão desses componentes é de aproximadamente 0,2%. Como o erro associado ao ganho é constante e independe do valor medido pelo sensor, esse efeito pode ser eliminado durante a calibração do sistema. Os outros componentes passivos do sistema não necessitam possuir tanta precisão, pois seus

erros afetam somente o valor da frequência de corte do filtro e a mesma não necessita ser tão precisa.

Após a etapa de condicionamento de sinais, o sinal proveniente dos sensores analógicos passa a ser de 0 a 2V representando a faixa de temperatura de -40 a 60°C que corresponde a uma resolução de 0,05°C/mV.

#### 4.4.2.2 - Conversor analógico-digital

A última etapa, antes de transferir ao microcontrolador as medições realizadas pelos sensores, é a conversão do sinal analógico em sinal digital. Esse processo é realizado por um conversor analógico-digital (conversor A/D) que também é responsável por enviar os dados ao microcontrolador.

O modelo do componente utilizado nesse projeto é o MCP3208 da Microchip Technology e suas principais características são apresentadas na Tabela 4.4.

Um dos motivos da escolha desse modelo de conversor A/D é o protocolo de comunicação digital que o mesmo utiliza para transferir os resultados obtidos da conversão. Como o microcontrolador utilizado nesse projeto possui suporte ao protocolo *serial peripheral interface* (SPI), deu-se prioridade a um conversor que utilizasse esse mesmo protocolo. O protocolo SPI é uma comunicação de dados assíncrona serial que provê comunicação com dispositivos externos no modo mestre/escravo. O microcontrolador utiliza tensão de alimentação de 3,3 V e, como a tensão utilizada no barramento de comunicação deve ser a mesma, o conversor A/D deve ser alimentado com o mesmo nível de tensão para que não haja problemas de compatibilidade. Como a alimentação da placa de aquisição de sinais será de 5V, houve a necessidade de utilizar um regulador de tensão para ajustar o valor que alimenta esses dispositivos, principalmente o conversor A/D. O regulador de tensão utilizado foi o 78L33 da ST Microelectronics.

Tabela 4.4 – Características do conversor analógico-digital MCP3208 [41].

Parâmetro	Valor
Número de canais	8
Resolução	12 bits
Taxa de amostragem	50ksps com $V_{DD} = 2,7$ V
Consumo de corrente	400 $\mu$ A máximo com $V_{DD} = 5$ V

Além dessas características, o conversor analógico-digital utilizado possui um terminal para ligação de uma tensão de referência externa, possibilitando escolher a tensão máxima que poderá ser convertida. Como o conversor possui uma resolução limitada, a otimização da faixa de conversão possibilita uma maior sensibilidade. O valor da tensão de referência é de 2048 mV e foi escolhido devido ao fato de o conversor possuir uma resolução de 12 bits, que equivale a 4096 níveis de tensão que o conversor consegue distinguir dentro da faixa entre zero até a tensão de referência. Neste caso a sensibilidade do conversor é de 0,5 mV/nível.

O componente usado para converter a tensão de alimentação na tensão de referência é o REF3020 da Texas Instruments. As características desse componente são descritas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Características do REF3020 - tensão de referência [42].

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Tensão de Saída</b>	2048 mV
<b>Precisão</b>	± 0,2%
<b>Influência da temperatura</b>	50 ppm/°C a 25°C

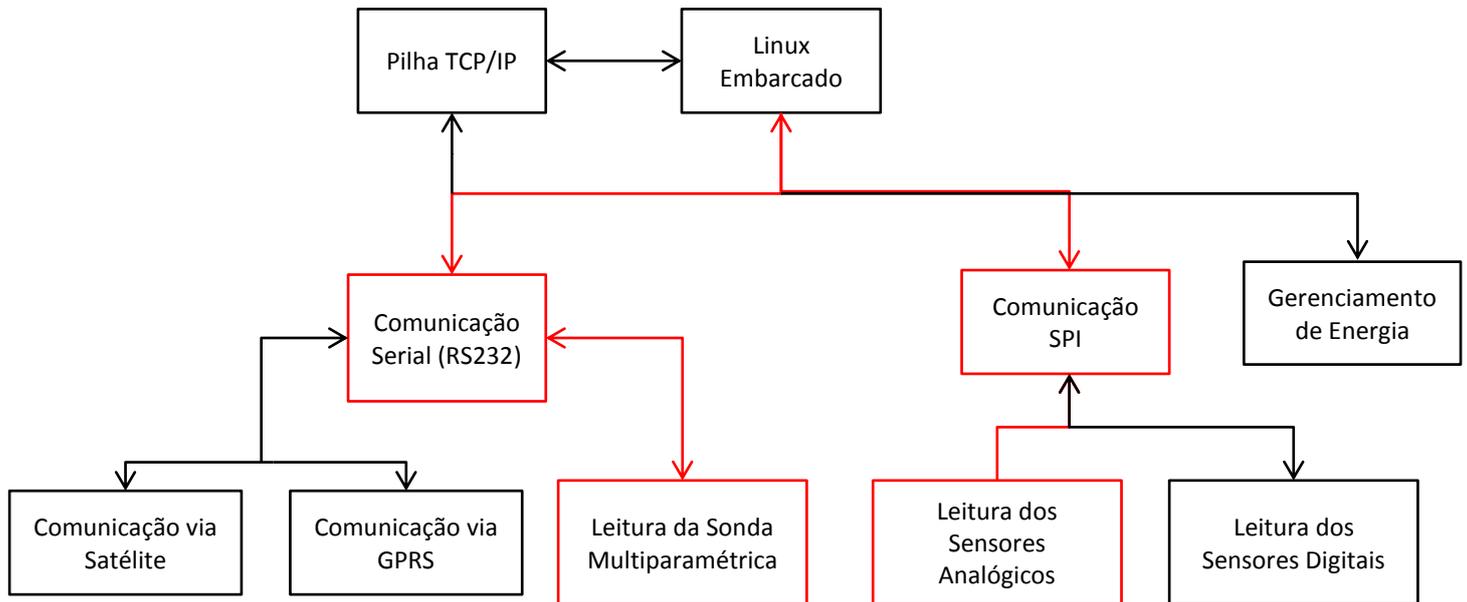
Devido à precisão da tensão de referência, o erro máximo que pode ser introduzido é de 0,2% da medição final, sendo esse erro fixo e independente do valor da leitura, podendo ser eliminado através da calibração do sistema.

Como a leitura do sensor é de -40°C até 60°C, o tamanho da faixa de medição é de 100°C. Após o condicionamento de sinais, a resposta em tensão do sensor é de 0 a 2000 mV, correspondendo, portanto a 0,05°C/mV. Como a resolução do conversor analógico-digital é de 0,5 mV/nível de quantização, a resolução final do sistema de aquisição do sinal é de 0,025°C/nível de quantização. O mesmo ocorre para o sensor de umidade, onde a resolução do sistema é de 0,025%UR/nível de quantização.

## 4.5 - Software

Para a leitura dos sensores, foram desenvolvidos algoritmos em linguagem de programação C para a aquisição dos valores referentes às medições da sonda e dos sensores meteorológicos. A

Figura 4.6 mostra o diagrama de blocos dos softwares utilizados no projeto. Os blocos em vermelho indicam os algoritmos implementados no trabalho de



conclusão de curso.

Figura 4.6 - Diagrama de blocos dos softwares do projeto Boia Yara.

## 4.6 - Testes

Após a montagem do sistema de medição, foram feitos alguns testes com a placa existente, e com o software desenvolvido para execução em ambiente Linux para verificar se o projeto eletrônico foi realizado com sucesso e o funcionamento da sonda.

### 4.6.1 - Relação entre tensão de entrada e tensão de saída do filtro

Para estimar o erro de medição do sistema eletrônico, foram realizadas medições utilizando um calibrador digital do modelo Microcal 20 DPC do fabricante Eurotron, certificado pelo Inmetro, que possui uma fonte de alimentação e um multímetro. Foram feitas medições a cada 100 mV começando a partir de 0 V até 1

V. Esse teste foi realizado tanto para o canal ao qual será ligado o sensor de umidade quanto para o de temperatura.

#### **4.6.2 - Aquisição das medições do sistema**

Após o processo de conversão do sinal analógico para um sinal digital, o conversor transfere os dados obtidos através de um canal serial utilizando o protocolo de comunicação SPI. O conversor envia os dados pelo canal serial em conjuntos de 8 bits e um bit é enviado a cada pulso de *clock*. Como são necessários 12 bits para cada conversão e mais 1 bit que sinaliza o início da transmissão, são necessários pelo menos 16 bits para cada medida, descartando-se os 3 primeiros bits. Porém, é necessário enviar alguns bits de dados para o conversor para sinalizar o início da conversão, se a conversão será, ou não, realizada através de um canal diferencial (dois pinos) e qual canal será utilizado. Isso acrescenta mais 5 bits, forçando o microcontrolador a enviar, no mínimo 24 bits. Para realizar a conversão, são enviados 5 bits em nível lógico zero, um bit de início em nível lógico um e mais 4 bits de configuração do conversor A/D, totalizando 10 bits enviados. Após o primeiro pulso de *clock*, depois do envio dos 10 bits, o conversor realiza a conversão analógica-digital e envia para o microcontrolador, no pulso de *clock* conseguinte, o valor zero, que sinaliza o início da transmissão do resultado da conversão. Os 12 bits enviados após a sinalização de início são correspondentes aos valores da conversão. Caso se mantenha o pino de habilitação em nível zero e os pulsos de *clock*, o conversor envia nos próximos 11 bits o resultado da conversão em ordem inversa, ou seja, os bits menos significativos primeiro, e após isso, o conversor envia zeros indefinidamente [41]. O diagrama de transmissão de dados é mostrado na Figura 4.7.

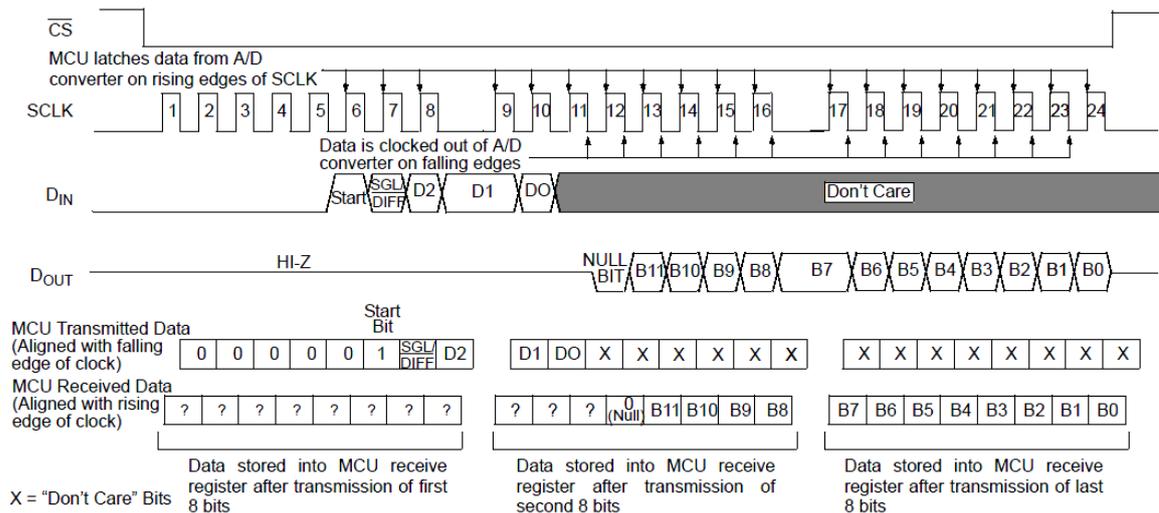


Figura 4.7 - Diagrama da comunicação do conversor A/D MCP 3208 [41].

No entanto, o microcontrolador armazena os dados recebidos no formato *little-endian* de 16 bits, ou seja, ele armazena os 8 bits menos significativos como se fossem os 8 bits mais significativos e vice-versa. Com isso o resultado encontrado é de 32 bits, sendo necessária uma decodificação dos dados medidos. Abaixo é mostrado um exemplo idealizado, onde a umidade relativa do ar medida pelo sensor simula 50% UR.

Resultado da conversão: 2000 ou 0x7D0

Valor hexadecimal do valor recebido pelo microcontrolador: 0xXX, 0xX7, 0xD0, 0x17

Valor armazenado pelo microcontrolador: 0xX7, 0xXX, 0x17, 0xD0

Considerando que esses valores foram armazenados em uma matriz de nome 'rx', as variáveis 'valor' e 'valor\_final' são inteiros de 16 bits. A seguir é apresentado o conjunto de instruções, em linguagem C, para a leitura do valor armazenado:

```

Linha 1:      valor = rx[0] & 0x0F;
Linha 2:      valor = valor << 8;
Linha 3:      valor = valor + rx[3];
Linha 4:      Valor_final = (float) valor * 0.025;

```

Na linha 1, zera-se o quarto bits mais significativos, e na linha 2, desloca-se o valor resultante 8 bits para a esquerda, sendo o resultado 0x700. Na linha 3 soma-se o resultado anterior ao valor 0xD0, obtendo 0x7D0, que é o mesmo que 2000 em

decimal. Finalmente, o valor decimal é multiplicado pela resolução do sistema, obtendo-se o valor 50.

#### 4.6.3 - Medição com os sensores meteorológicos

A medição com os sensores meteorológicos foi realizada no laboratório de calibração da Fundação CERTI onde foi utilizada uma estufa fabricada sob encomenda que possui a capacidade de controlar a temperatura e umidade escolhida pelo usuário. Essa estufa possui uma incerteza de 0,6 °C para temperatura. No momento das medições, não houve a disponibilidade de utilização do sensor de umidade calibrado pelo Inmetro, desta forma, as informações de umidade foram obtidas através do mostrador da estufa, o qual não se encontrava calibrado, mas estima-se que seus valores se encontram próximos dos reais. Portanto, apenas o sensor de temperatura estava certificado. As medições foram feitas em três valores diferentes para cada parâmetro, sendo a temperatura ajustada em 15°C, 25°C e 35°C e a umidade em 40% UR, 50% UR e 60% UR. Para cada valor, foram realizadas dez medições separadas por um intervalo de um minuto entre cada medição. A Figura 4.8 mostra a estufa com o sensor sendo calibrado. O dispositivo vermelho dentro da estufa é o sensor de temperatura calibrado e o fixado no teto na parte de trás é o sensor de umidade da estufa. O dispositivo branco e cinza sobre a prateleira da estufa é o sensor de temperatura e umidade utilizado nesse projeto.



Figura 4.8 - Calibração dos sensores de temperatura e umidade.

#### 4.6.4 - Teste de funcionamento da sonda multiparâmetros

A sonda utilizada para o teste não é do mesmo modelo que será utilizada no projeto, porém é do mesmo fabricante e possui funcionamento idêntico à mencionada anteriormente. As diferenças são: menor dimensão física e maior limitação no uso de sensores. O modelo da sonda testada é o YSI 600 OMS e é uma opção mais simples do que a sonda YSI 6600 V2. A mudança foi necessária devido à disponibilidade da sonda desejada para a realização dos testes.

A comunicação entre a sonda e o microcontrolador foi realizada através do padrão RS-232C utilizando-se uma porta USB com um conversor USB – RS232. O protocolo de comunicação é baseado em um sistema de menus. Após o recebimento do código adequado, a sonda responde enviando o conteúdo solicitado. A Figura 4.9 mostra a organização dos menus da sonda.

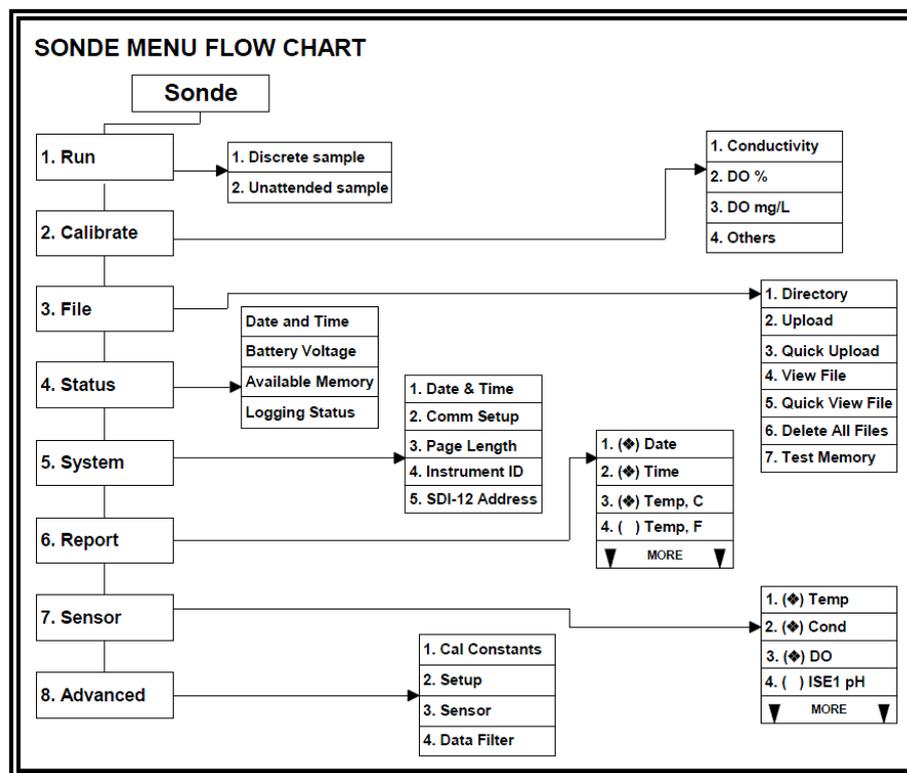


Figura 4.9 - Organização dos menus das sondas do modelo YSI Série 6 [43].

Os números antes dos nomes dos menus correspondem ao código ASCII que deve ser enviado para a sonda. Por exemplo, para realizar a calibração do sensor de condutividade, após ligar a sonda, deve-se enviar para a sonda quatro bytes

referente às letras “menu” para que a sonda responda com o menu principal. A Figura 4.10 mostra um exemplo da resposta da sonda.

```
-----Main-----  
1-Run                5-System  
2-Calibrate         6-Report  
3-File              7-Sensor  
4-Status            8-Advanced  
  
Select option (0 for previous menu) :
```

Figura 4.10 - Resposta enviada para sonda (menu principal) [43].

No menu principal, basta enviar o código “2” para que a sonda responda com o menu referente à calibração dos sensores, e assim por diante.

Para o teste da sonda, foi escrito um programa em linguagem C de forma a enviar os dados através do teclado do computador e mostrar o resultado no terminal referente ao microcontrolador de forma interativa. O teste realizado para a medição de temperatura seguiu o mesmo procedimento e equipamentos que o teste de temperatura para o sensor de temperatura e umidade, porém foi feita uma única medição em 25°C. A Figura 4.11 mostra a sonda durante o processo de teste na estufa.



Figura 4.11 - Teste de medição de temperatura com a sonda multiparâmetros.

Devido à disponibilidade da sonda, apenas dois parâmetros foram medidos: condutividade e turbidez. Diferentemente da medição de temperatura, não houve a disponibilidade de padrões precisos para a calibração. Por isso a condutividade medida foi comparada com resultados calculados teoricamente, enquanto que para a turbidez foram utilizados valores obtidos através de um experimento encontrado na literatura técnica.

Para a medição de condutividade foram coletados 20 litros de água do abastecimento público em um recipiente, mergulhada a sonda e iniciada a medição. Após a coleta de algumas medições foram acrescentados 10 gramas de sal na água, pois isso aumenta a condutividade da água. Após mais algumas medições, foram acrescentados mais 25 gramas de sal e depois mais 50 gramas. Os valores da massa de sal foram escolhidos arbitrariamente. Para comparar os resultados obtidos no experimento com a sonda, foi utilizada uma tabela fornecida por uma fabricante de instrumentos de medições de parâmetros da qualidade da água, Horiba Group [44]. Essa tabela relaciona a condutividade com a quantidade de sal em relação à quantidade de água.

Para a medição da turbidez, a sonda foi mergulhada em água coletada do abastecimento público, onde foi acrescentada uma pequena quantidade de leite para aumentar a turbidez, até a sonda medir 50 NTU. Utilizando essa água, fez-se um teste de turbidez utilizando o método do tubo de turbidez que consiste na utilização de um tubo transparente com um disco de Secchi<sup>2</sup> no fundo. O teste é realizado adicionando-se a água a ser testada no tubo até que não se consiga enxergá-la a olho nu, anotando-se a altura da coluna d'água. Como esse é um teste em que o resultado depende do operador, as medições foram feitas com três observadores diferentes. Após o experimento, foi comparado o valor obtido com o teste com os valores encontrados no experimento feito em [45]. Foram repetidos esses procedimentos para os valores de 100 e 200 NTU.

---

<sup>2</sup> Disco que possui quadrantes alternando nas cores preta e branca.

## 5 - Análise dos resultados

Diversos testes foram realizados a fim de comprovar o funcionamento do projeto e o seu comportamento, além de possíveis fontes de erros. A seguir, são apresentados os resultados dos testes realizados e os comentários sobre os mesmos.

### 5.1 - Resultado da relação entre tensão de entrada e tensão de saída do filtro

As tabelas 5.1 e 5.2 apresentam os valores obtidos com as medições dos canais de medição de temperatura e umidade. O multímetro utilizado nas medições apresentava um offset de 1,1 mV, esse valor não foi desconsiderado dos resultados apresentados.

Tabela 5.1 – Medição para o canal de temperatura.

Tensão de Entrada (mV)	Valor Esperado no conversor	Tensão Amplificada (mV)	Valor de Saída do Conversor
000,0	0	002,2	2
100,0	400	201,4	401
200,0	800	401,3	801
300,0	1200	601,1	1201
400,0	1600	800,9	1601
500,0	2000	1000,8	2002
600,0	2400	1201,0	2403
700,0	2804	1403,5	2809
800,0	3200	1607,9	3217
900,0	3600	1811,7	3624
1000,0	4000	2014,7	4030

Para a medição de temperatura, o erro é muito pequeno até o valor de 600mV e, acima desse valor, o erro aumenta. Abaixo de 600mV o erro pode ter sido ocasionado pelo conversor A/D, pois o mesmo possui um erro típico máximo de  $\pm 3,5$  LSB (*Least Significant Bit*). Já acima disso, outros fatores interferem no erro. Um dos prováveis motivos é a presença de alguma não linearidade do filtro em relação ao valor da amplitude do sinal. A Figura 5.1 representa graficamente os valores dos últimos pontos de medição apresentados na Tabela 5.1.

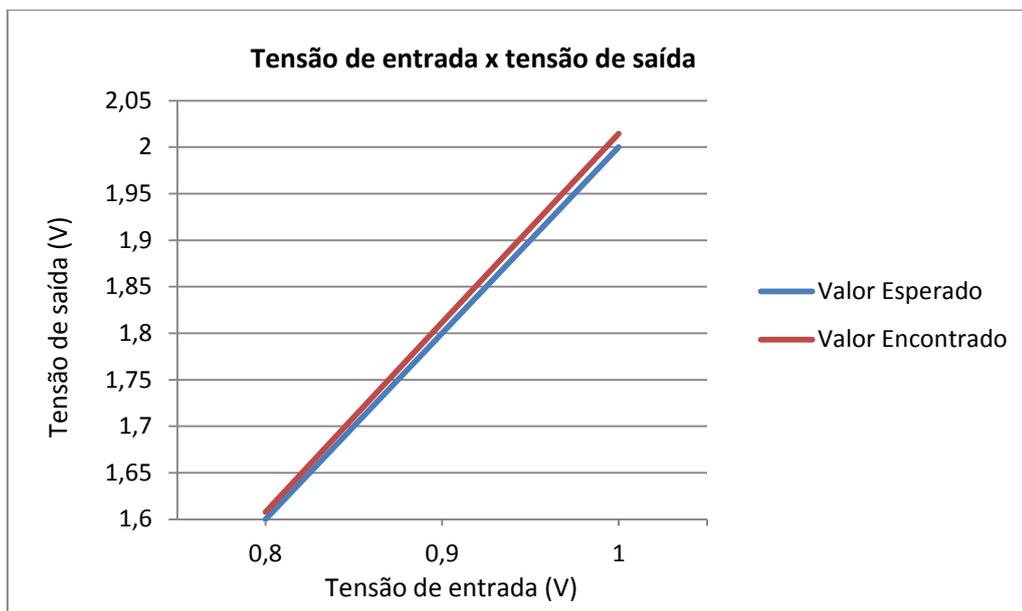


Figura 5.1 - Gráfico da tensão de entrada x tensão de saída.

Tabela 5.2 – Medição para o canal de umidade.

Tensão de Entrada (mV)	Valor Esperado no conversor	Tensão Amplificada (mV)	Valor de Saída do Conversor
000,0	0	000,0	0
100,0	400	191,6	381
200,0	800	391,5	781
300,0	1200	591,4	1182
400,0	1600	791,3	1582
500,0	2000	991,3	1982
600,0	2400	1191,9	2384
700,0	2800	1395,8	2793
800,0	3200	1602,5	3207
900,0	3600	1808,1	3617
1000,0	4000	2012,5	4025

O mesmo comportamento ocorre com o circuito de leitura do canal de umidade. Porém, abaixo dos 600mV de tensão de entrada, é possível perceber um erro constante de aproximadamente 10mV, considerando que o multímetro possuía um erro constante de 1,1mV. Isso pode ter sido causado por um erro de offset na entrada do amplificador operacional.

## 5.2 - Resultados das medições com os sensores meteorológicos

A Tabela 5.3 e a Tabela 5.4 mostram os resultados das medições feitas para o sistema de medição. Os pontos de medição foram as referências utilizadas para o ajuste da estufa, porém esses valores não são tão precisos quanto os que são encontrados nos sensores calibrados, portanto, para efeito de comparação, são utilizados como padrão as medições realizadas pelos instrumentos calibrados. Como houve indisponibilidade para a medição com o sensor calibrado para a umidade, utilizou-se o valor de referência da estufa.

Tabela 5.3 – Medição para o canal de temperatura.

	Temperatura de Referência: 15°C	Temperatura de Referência: 25°C	Temperatura de Referência: 35°C
Medição	Temperatura medida: 14,9°C	Temperatura medida: 24,6°C	Temperatura medida: 34,4°C
1	14,8	24,3	34,2
2	14,8	24,3	34,2
3	14,8	24,3	34,1
4	14,8	24,3	34,2
5	14,8	24,3	34,2
6	14,8	24,3	34,1
7	14,8	24,3	34,2
8	14,8	24,3	34,2
9	14,8	24,3	34,1
10	14,8	24,3	34,2
<b>Média</b>	<b>14,8</b>	<b>24,3</b>	<b>34,2</b>

O resultado encontrado indica que o sistema produz resultados muito próximos dos valores considerados como parâmetros. O erro máximo do sistema de medição é a soma da correção com a incerteza da medição feita na câmara, que é de 0,6°C, de acordo com os dados de calibração da estufa disponíveis no laboratório. Sendo assim, o erro máximo, sem correção, é de aproximadamente 0,9°C. Esse resultado poderia ser melhorado caso fosse utilizado um processo de calibração com uma incerteza menor.

Tabela 5.4 – Medição para calibração do canal de umidade.

	Umidade de Referência: 40% UR	Umidade de Referência: 50% UR	Umidade de Referência: 60% UR
Medição	Umidade medida: Não disponível	Umidade medida: Não disponível	Umidade medida: Não disponível
2	42	50	58
3	42	50	58
4	42	50	58
5	42	50	58
6	42	50	58
7	42	50	59
8	42	50	59
9	42	51	58
10	42	50	58
<b>Média</b>	<b>42</b>	<b>50</b>	<b>58</b>

Os resultados das medições para umidade se encontram próximos dos valores ajustados na estufa, porém não se pode afirmar exatamente quão próximo o valor medido está do valor real, pois não se sabe a incerteza do mostrador. Porém, os resultados obtidos pelo sistema de medição chegam próximos ao valor ajustado na estufa, mostrando que o sistema é capaz de medir a umidade, porém desconhecendo sua precisão.

### 5.3 - Resultado da medição de temperatura usando a sonda multiparâmetros

Os resultados obtidos na medição de temperatura utilizando a sonda multiparâmetros são apresentados na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Medição de temperatura utilizando a sonda multiparâmetros.

Medição	Temperatura de Referência (°C)	Temperatura Medida na Sonda(°C)
1	25,4	25,0
2	25,5	25,0
3	25,5	25,0
4	25,5	25,1
5	25,5	25,1
6	25,6	25,1
7	25,6	25,2
8	25,6	25,2

Medição	Temperatura de Referência (°C)	Temperatura Medida na Sonda(°C)
9	25,6	25,2
10	25,6	25,2
Média	25,6	25,1

O resultado da medição na sonda multiparâmetro mostra um resultado muito próximo ao medido pelo sensor calibrado, sendo que a diferença média é de 0,5°C. Como a incerteza da medição feita na câmara é de 0,6°C, o erro máximo associado à sonda é de 1,1°C para a temperatura de 25°C. Esse erro poderia ser reduzido fazendo-se uma correção ou a medição com equipamentos com menor incerteza.

#### 5.4 - Resultados da medição de condutividade e turbidez usando a sonda multiparâmetros

Os resultados obtidos a partir dos sensores de condutividade e turbidez foram organizados em gráficos para melhor visualização, devido à grande quantidade de dados coletados. A Figura 5.2 mostra os resultados obtidos das medições de condutividade da água e a Tabela 5.6 os resultados obtidos das medições de turbidez.

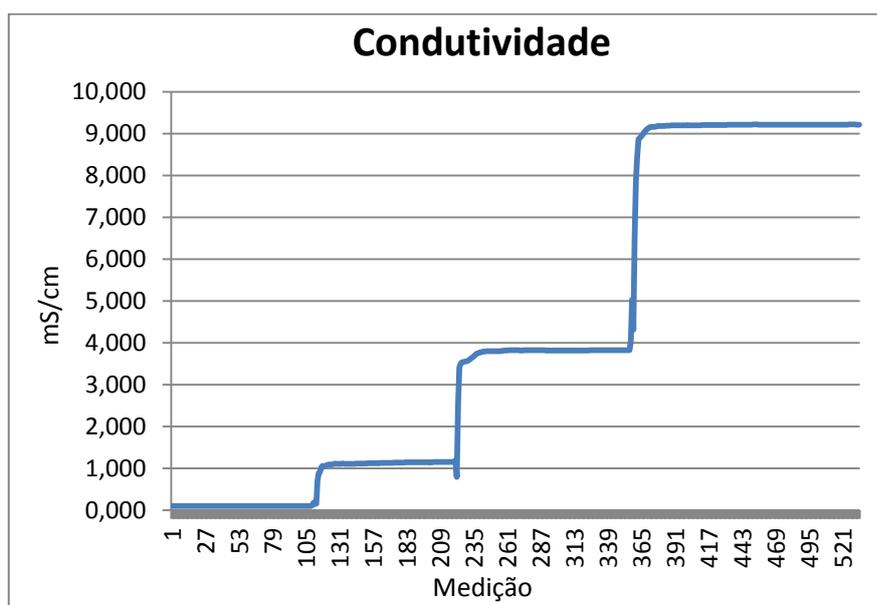


Figura 5.2 - Gráfico das medições de condutividade.

Para a água provida do abastecimento público, o valor da condutividade era de 0,104 mS/cm (mili Siemens por centímetro). Depois do acréscimo de 10 gramas de sal, a sonda passou a medir um valor próximo de 1,15 mS/cm. Após algumas

medições, foi adicionado à solução mais 25 gramas de sal, fazendo com que a sonda medisse 3,8 mS/cm. Por último, adicionando-se 50 gramas de sal, a sonda passou a medir 9,2 mS/cm. Os valores obtidos pela medição com a sonda se aproximam dos valores encontrados em [44]. Por exemplo, no experimento com a sonda, obteve-se uma leitura de 3,8 mS/cm para 20 litros de água e 35 gramas de sal, enquanto na tabela em [44] este valor de condutividade corresponderia aproximadamente a uma solução de 40 gramas de sal em 20 litro de água.

Tabela 5.6 – Medição de turbidez utilizando a sonda multiparâmetros.

<b>Medição com a sonda</b>	<b>1º Medição com tubo de turbidez</b>	<b>2º Medição com tubo de turbidez</b>	<b>3º Medição com tubo de turbidez</b>
<b>53,1 NTU</b>	20 cm	20 cm	22 cm
<b>99,4 NTU</b>	10,5 cm	10,5 cm	11,5
<b>211,7 NTU</b>	5 cm	5,5 cm	6 cm

A Tabela 5.7 mostra parcialmente os resultados encontrados no experimento em [45].

Tabela 5.7 – Conversão centímetros-turbidez [45].

<b>Centímetros de coluna d'água (cm)</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>
<b>7,3</b>	200
<b>11,5</b>	100
<b>17,9</b>	50

A medição realizada para 100 NTU feita no laboratório ficou muito próxima ao encontrado no experimento apresentado em [45], mas para 50 e 200 NTU os valores não ficaram tão próximos, porém foram semelhantes nos dois experimentos, considerando que nos dois casos, as medições eram subjetivas e foram realizadas por observadores e condições diferentes. Como os objetivos do projeto não incluíam a calibração dos sensores, os valores encontrados foram suficientes para validar o funcionamento da sonda multiparamétrica para a medição de turbidez.

## 6 - Conclusão

Esse projeto foi desenvolvido como parte do subsistema de aquisição de dados da boia de medição da qualidade da água a ser desenvolvida pela Fundação CERTI em parceria com uma empresa Tractebel Energia. A boia irá auxiliá-la no controle da qualidade da água através das medições realizadas com maior frequência do que as realizadas em laboratórios e também possibilitando a detecção de problemas mais rapidamente.

O uso do microcontrolador utilizando o sistema operacional Linux se mostrou muito flexível ao desenvolvimento de softwares para o controle da boia, leitura e armazenamento dos dados lidos pelos sensores e para o envio desses dados colhidos de forma remota para um servidor. Como esse trabalho é preliminar ao desenvolvimento da boia, o subsistema de aquisição dos sinais dos sensores foi testado separadamente com sucesso.

Os componentes utilizados no desenvolvimento do sistema de condicionamento de sinais mostraram bom desempenho, apesar de alguns pequenos erros de medição que provavelmente podem ser corrigidos em uma versão futura.

O sistema de medição projetado funcionou como o esperado. Apesar da calibração precisa dos sensores não fazer parte do escopo do projeto, os valores medidos foram compatíveis com os valores esperados. As medições de temperatura, pelo fato da utilização de equipamentos certificados, relatam um resultado mais confiável com relação ao valor real do ambiente de medição. Para a medição de umidade, apesar de não terem sido feitas medições com sensores calibrados, os resultados foram próximos aos que foram ajustados na estufa.

O teste feito com a sonda multiparâmetros para medições da temperatura apresentou resultados bem próximos do padrão calibrado, mostrando o correto funcionamento da sonda em conjunto com o sistema de aquisição de dados. Por não ter sido possível a utilização de um padrão para a medição de condutividade e turbidez, não se pode afirmar o quão bem funcionam esses sensores, porém com os testes pode-se notar a coerência dos resultados obtidos com as mudanças das características da água após a adição de outras substâncias, como o sal e o leite e também pela comparação com outros experimentos realizados.

## 7 - Bibliografia

- [1] FUNDAÇÃO CERTI. **Desenvolvimento de boia Instrumentada para Monitoramento de Qualidade da Água - Boia Yara**. Florianópolis: [s.n.], 2010.
- [2] ANEEL. BIG - Banco de Informações de Geração, Capacidade de Geração do Brasil. **ANEEL**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp>>. Acesso em: 2012 jan. 2012.
- [3] ROSA, L. P. et al. **Hydroelectric Reservoirs And Global Warming**. World Climate & Energy Event. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2002.
- [4] FRIEDL, G.; WÜEST, A. Disrupting biogeochemical cycles - Consequences of damming. **Aquat. Sci.**, Dübendorf, p. 55-65, 2002.
- [5] CRUZ CASTRO, H.; FABRIZY, N. P. Impactos Ambientais de Reservatórios e Perspectivas de Uso Múltiplo. **Revista Brasileira de Energia**, v. 4, n. 1.
- [6] MCCARTNEY, M. Living with dams: managing the environmental impacts. **Water Policy 11 Supplement 1**, 2009. 121-139.
- [7] TUNDISI, J. G.; BARBOSA, F. A. R. Conservation of Aquatic ecosystems: present status and perspectives. **Limnology in Brazil. Brazilian Limnological Society**, 1995.
- [8] CARVALHO, A. R.; SCHLITTER, F. H. M.; TORNISIELO, V. L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. **Química Nova**, p. 618-622, 2000.
- [9] CETESB. Índices de Qualidade da Água. In: **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo**. [S.l.]: [s.n.], 2010. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%A1guas-superficiais/108-%C3%ADndices-de-qualidade-das-%C3%A1guas>>. Acesso em: 05 set. 2011.
- [10] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Sistema de Cálculo da Qualidade da Água (SCQA): Estabelecimento das equações do índice de qualidade das águas**. Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais - SEMAD. [S.l.]. 2005.
- [11] CETESB. IAP - Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público. In: **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo**. [S.l.]: [s.n.], 2010. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%A1guas-superficiais/108-%C3%ADndices-de-qualidade-das-%C3%A1guas#>>. Acesso em: 05 set. 2011.
- [12] AZEVEDO, S. M. F. O. Toxinas de Cianobactérias : Causas e conseqüências para a saúde pública. **Revista Virtual de Medicina**, v. 1, n. 3, jul/ago/set 1998.
- [13] CETESB. IVA - Índices de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas. In: **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo**. [S.l.]: [s.n.], 2010. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%A1guas-superficiais/108-%C3%ADndices-de-qualidade-das-%C3%A1guas#>>. Acesso em: 05 set. 2011.
- [14] CETESB. IET – Índice do Estado Trófico. In: **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo**. [S.l.]: [s.n.], 2010. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%A1guas-superficiais/108-%C3%ADndices-de-qualidade-das-%C3%A1guas>>. Acesso em: 09 set. 2011.
- [15] CETESB. IB - Índice de Balneabilidade. In: **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo**. [S.l.]: [s.n.], 2010. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%A1guas-superficiais/108-%C3%ADndices-de-qualidade-das-%C3%A1guas#>>. Acesso em: 05 set. 2011.
- [16] VIEIRA, M. R. Os principais parâmetros monitorados pelas sondas multiparâmetros são: pH, condutividade, temperatura, turbidez, clorofila ou cianobactérias e oxigênio dissolvido. **AgSolve**. Disponível em: <<http://www.agsolve.com.br/noticia.php?cod=2938>>. Acesso em: 15 jan. 2012.
- [17] SILVEIRA, T. Análise Físico-Química da Água da Bacia do Rio Cabelo - João Pessoa - PB. **II Congresso de pesquisa e inovação da rede Norte Nordeste de educação tecnológica**, João Pessoa - PB, 2007.
- [18] MARWEDEL, P. **Embedded System Design**. 1 edition. ed. Dortmund: Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [19] SANTOS, D. M. **Projeto de sistemas embarcados: Um estudo de caso baseado em microcontrolador e seguindo AOSD**. Monografia de Graduação Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis. 2006.

- [20] GIMENEZ, S. P. **Microcontroladores 8051**. [S.l.]: Prentice Hall, 2002.
- [21] DIAS, J. G.; FROES, L. C.; MARCONDES, J. **Sistemas Operacionais Embarcados**. Universidade de Mogi das Cruzes. São Paulo. 2010.
- [22] YAGHMOUR, K. **Building Embedded Linux Systems**. [S.l.]: O'Reilly, 2003. 2 p.
- [23] YAGHMOUR, K. **Building Embedded Linux Systems**. 1ª. ed. [S.l.]: O'Reilly, 2003. 6 p.
- [24] BORGES, G. B. C.; BORTONI, E. D. C.; ALMEIDA, R.. Avaliação de Tecnologias para o Monitoramento de Águas Subterrâneas. **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, São Paulo, 2007.
- [25] DALLY, J. W.; RILEY, F.; MCCONNELL, K. G. **Instrumentation for Engineering Measurements**. 2ª. ed. Nova York: John Wiley & Sons.
- [26] ROSÁRIO, J. M. **Princípios de Mecatrônica**. [S.l.]: Person Prentice Hall, 2005. 55-58 p.
- [27] WERNECK, M. M. **Transdutores e Interfaces**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1996.
- [28] ALBERTZZI, A.; SOUZA, A. R. **Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial**. 1ª. ed. [S.l.]: Manole, 2008.
- [29] OMEGA.CO.UK. **What are RTD Sensors? Why Use Them? How Do They Work?** [S.l.].
- [30] FERREIRA, E. C. **Curso IE763 - Sensores e condicionamento de Sinais**. Departamento de Eletrônica e Microeletrônica - Demic, UNICAMP. [S.l.].
- [31] CONCEIÇÃO, A. B.; OLIVEIRA, A. A. **Projeto e Implementação de Protótipo de Aquisição de Dados via USB de Baixo Custo**. Trabalho de Conclusão de Curso Universidade Federal do Pará (UFPA). Belém. 2010.
- [32] SPECTRUM Software. Disponível em: <<http://www.spectrum-soft.com/news/winter97/sample.shtm>>. Acesso em: 03 fev. 2012.
- [33] UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO **Instrumentação e Técnicas de Medidas**. [S.l.]: [s.n.], v. Eletrônica - Volume III, 2010/2.
- [34] ATMEL. Atmel - The Architecture for the Digital World. **Atmel**, 2011. Disponível em: <<http://www.arm.com/products/processors/index.php>>. Acesso em: 13 out. 2011.
- [35] YSI INCORPORATED. **YSI**. Disponível em: <<http://www.ysi.com/productsdetail.php?6600V2-1>>. Acesso em: 17 Out 2011.
- [36] E+E ELEKTRONIC. Data Sheet - EE21 Series. **High-Precision Humidity / Temperature**. Acesso em: 18 Out. 2011.
- [37] ESS, D. V. Signals-From-Noise. What Sallen-Key Filter Articles Don't Tell You.
- [38] UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO **Instrumentação e Técnicas de Medidas**. [S.l.]: [s.n.], v. Eletrônica - Volume II, 2010/2.
- [39] BAKER, C. B. **Select the Right Operational Amplifier for your Filtering Circuits**. Microchip Technology Inc. [S.l.]. 2003.
- [40] ANALOG DEVICES. Datasheet - AD8531. **Operational Amplifier**. Acesso em: 29 dez. 2011.
- [41] MICROCHIP TECHNOLOGY. Datasheet - MCP3208. **2.7V 4-Channel/8-Channel 12-Bit A/D Converters with SPI Serial Interface**, 2008. Acesso em: 29 dez. 2011.
- [42] TEXAS INSTRUMENT. Datasheet - REF3020. **CMOS VOLTAGE REFERENCE**, 2008. Acesso em: 29 dez. 2011.
- [43] YSI INCORPORATED. **6-Series Multiparameter Water Quality Sondes - User Manual**. YSI Incorporated. [S.l.]. 2006.
- [44] HORIBA, LTD. Ions in water, and Conductivity. **Horiba**. Disponível em: <<http://www.horiba.com/application/material-property-characterization/water-analysis/water-quality-electrochemistry-instrumentation/ph-knowhow/the-story-of-conductivity/the-fundamentals/ions-in-water-and-conductivity/>>. Acesso em: 10 fev. 2012.
- [45] MYRE, E.; SHAW, R. The Turbidity Tube: Simple and Accurate Measurement of Turbidity in the Field, Michigan, abril 2006.
- [46] POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINI-CARLOS, V. O que é limnografia. **Departamento de Ecologia , USP-IB**. Disponível em: <<http://www.ib.usp.br/limnologia/Oqueelimnologia/>>. Acesso em: 05 set. 2011.