

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA QUÍMICA**

RUBENS ZENKO SAKIYAMA

**Desenvolvimento de uma plataforma para
monitoramento dos níveis de O₂ disperso de rios
componentes de uma microbacia de abastecimento de
água usando microcontroladores programáveis**

**MARINGÁ
2019**

RUBENS ZENKO SAKIYAMA

Desenvolvimento de uma plataforma para monitoramento dos níveis de O₂ disperso de rios componentes de uma microbacia de abastecimento de água usando microcontroladores programáveis

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Engenharia Química.

Área de Concentração:
Microcontroladores

Orientador: Prof. Dr. Cid Marcos
Gonçalves Andrade

Co-orientadora: Profa. Dra. Linnyer
Beatryz Ruiz Aylon

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

S158d Sakiyama, Rubens Zenko
Desenvolvimento de uma plataforma para monitoramento dos níveis de O₂ disperso de rios componentes de uma microbacia de abastecimento de água usando microcontroladores programáveis / Rubens Zenko Sakiyama. -- Maringá, 2019.
124 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Cid Marcos Gonçalves Andrade.
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2017.

1. Água - Qualidade - Rio Pirapó - Paraná (Estado). 2. Qualidade da água - Monitoramento online. 3. I. Andrade, Cid Marcos Gonçalves, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. III. Título.

CDD 23.ed. 551.483

Síntique Raquel de C. Eleuterio - CRB 9/1641

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

Esta é a versão final da Tese de Doutorado apresentada por Rubens Zenko Sakiyama perante a Comissão Julgadora do Curso de Doutorado em Engenharia Química em 31 de julho de 2019.

COMISSÃO JULGADORA



Prof. Dr. Cid Marcos Gonçalves Andrade
Presidente/Orientador



Prof.^a Dr.^a Linnyer Beatrys Ruiz Aylon
Coorientadora



Prof. Dr. Rafael Krummenauer
Membro



Prof. Dr. Carlos Alexandre Ferri
Membro



Prof. Dr. Marcelo Fernandes Vieira
Membro



Prof. Dr. Paulo Henrique Soares
Membro

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por me guiar em todo o percurso que trilhei e me dar força e tranquilidade para seguir meus objetivos, principalmente na finalização dessa tese. Agradeço a Ele também por colocar pessoas em meu caminho que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

Meu agradecimento especial ao Prof. Cid Marcos Gonçalves Andrade, pela orientação, incentivo e confiança, desde o início do doutorado, e principalmente, paciência com minhas limitações.

Também sou muito grato à Profa. Linnyer Beatryz Ruiz Aylon por sua orientação com seus conhecimentos, ampliando minha rede de contatos e principalmente pelas palavras de apoio nos momentos que mais precisei.

Ao Prof. André Murilo Dias e ao acadêmico Luis Felipe Fávoro Soares, do curso de Engenharia Elétrica, meus sinceros agradecimentos, pelas várias idas à estação da Sanepar para instalação, testes e manutenção dos equipamentos.

A Profa. Rosângela Bergamasco por adquirir o primeiro sensor de oxigênio dissolvido para meus experimentos.

À Sanepar por permitir a utilização da estação de captação para a realização do experimento e a seus funcionários que nos deram suporte.

À oficina mecânica do DEQ pela preparação dos tubos e confecção de suportes e ao DSM por transportar os tubos até a estação de captação.

À todos que contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho e que aqui não foram nominados, meus sinceros agradecimentos.

Por fim e não menos importante agradeço àqueles que sempre me apoiaram incondicionalmente, sempre juntos comigo, em minha caminhada: minha esposa Marisa e meus filhos Lea e Marcelo.

RESUMO

O desenvolvimento de áreas urbanas e industrializadas contribui para o aumento da quantidade de dejetos lançados nos lençóis fluviais. Devido a crescente preocupação com a preservação do meio ambiente, como os lençóis fluviais, faz-se necessária a criação de ferramentas para a detecção de situações que provocam a sua degradação. O monitoramento da qualidade da água é feita, em muitos casos, de forma manual e in loco. Nesse sentido, diversos pesquisadores têm se empenhado no desenvolvimento de sistemas *online* para monitoramento da qualidade da água. Sendo a concentração de oxigênio dissolvido na água o parâmetro que possui o maior peso no índice de qualidade da água, este trabalho propõe a utilização de uma rede de sensores sem fio para o monitoramento da concentração de oxigênio dissolvido na água em três pontos na estação de captação de água no rio Pirapó, em Maringá, no estado do Paraná. São medidas a concentração de oxigênio dissolvido e a temperatura da água em intervalos definidos pela diferença entre as medidas atual e anterior de oxigênio dissolvido. As medições de temperatura da água e da concentração de oxigênio dissolvido na água são enviadas para um servidor de dados onde ficam armazenadas para consultas online e construção de histórico. Também foram obtidos dados de índice de chuvas e índices de radiação solar da Estação Meteorológica Principal de Maringá para análise da influência desses índices na concentração de oxigênio dissolvido.

PALAVRAS-CHAVE: monitoramento da qualidade da água, rede de sensores sem fio, microcontrolador.

ABSTRACT

The development of urban and industrialized areas contributes to the increase of the amount of waste thrown into river beds. Due to the growing concern with preservation of the environment it makes necessary the development of tools to monitor conditions that leads to its degradation. Water quality assessment is commonly performed. However, in majority of cases, it is manually and locally. Therefore, several researchers have been engaged in the development of an online systems to surveil water quality. Considering that concentration of oxygen dissolved in water is one of the highest value parameter in water quality index, this work proposes the use of a wireless sensor network for monitoring dissolved oxygen concentration at three distinct locations in a water pump station at the Pirapó River, located in Maringá, Paraná state. The frequency of dissolved oxygen concentration and water temperature measurement values were defined by the difference between previous and current values. Dissolved oxygen concentration and water temperature were assessed and sent to a local data server where it was stored for online consultation and used to develop a database. Rainfall and solar radiation index were obtained from the Estação Meteorológica Principal de Maringá and analyzed altogether with dissolved oxygen concentration and water temperature.

KEYWORD: water quality monitoring, wireless sensor network, microcontroller.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 – Curvas obtidas por Brown et al. (1970).....	20
Figura 2-2 – Sensor de oxigênio ENV-40DO	23
Figura 2-3 – Detalhes de construção do ENV-40-DO.....	24
Figura 2-4 – Circuito EZO.....	25
Figura 2-5 – Conexão do circuito EZO com o Arduino Uno	27
Figura 2-6 – Sensor de temperatura DS18B20.....	28
Figura 2-7 – Arquitetura simplificada de um microcontrolador.....	29
Figura 2-8 – Dispositivos necessários para a programação de um microcontrolador. ...	29
Figura 2-9 – Placa microcontrolada Arduino Uno	31
Figura 2-10 – Arduino Pro Mini.....	31
Figura 2-11 – Interface FTDI conectada ao Arduino Pro Mini.....	32
Figura 2-12 – Arduino Mega.....	33
Figura 2-13 – Ambiente de programação do Arduino.....	34
Figura 2-14 – Exemplo genérico de um barramento I ² C.....	35
Figura 2-15 – Transferência de dados em barramento I ² C.....	36
Figura 2-16 – Exemplo de <i>frame</i> transferido na comunicação I ² C	36
Figura 2-17 – Exemplo de conexões em um barramento SPI	37
Figura 2-18 – Relação entre sinal de <i>clock</i> e envio de dados no protocolo SPI.....	38
Figura 2-19 - <i>Data logging shield</i>	39
Figura 2-20 – GPRS <i>shield</i>	40
Figura 2-21 – Rede de sensores sem fio com arquitetura plana	42
Figura 2-22 – Rede de sensores sem fio com arquitetura hierárquica.....	43
Figura 2-23 – Arquitetura das camadas funcionais da tecnologia ZigBee	46
Figura 2-24– Topologias de rede no ZigBee	47
Figura 2-25 – Módulo XBee® PRO S3B	48
Figura 2-26 – Pacote de dados enviado pelo XBee® modo API	50
Figura 2-27 – Configuração de módulos XBee® através do <i>software</i> XCTU.....	50
Figura 2-28 – XBee® Explorer	51
Figura 2-29 – Placa complementar XBee® <i>shield</i> para Arduino	51
Figura 2-30 – Bateria Samsung INR18650-25R	53
Figura 2-31 – Bateria Unipower modelo UP1270E	54

Figura 2-32 – Painel JY da Buheshui	55
Figura 2-33 – Painel modelo SW4018 da Elegeek.....	55
Figura 2-34 – Posição do painel solar	56
Figura 2-35 – Gráfico <i>Boxplot</i> (Valladares Neto <i>et al.</i> , 2017)	57
Figura 3-1 – Diagrama de blocos do nó sensor	60
Figura 3-2 – Arduino Pro Mini com indicação dos componentes retirados.....	61
Figura 3-3 – Conversor CE019.....	62
Figura 3-4 – Diagrama de fluxo de funcionamento do nó sensor	63
Figura 3-5 – Bateria J.W.S	65
Figura 3-6 – Conexões da placa BMS-2S	66
Figura 3-7 – Nó sensor montado em gabinete Patola.....	67
Figura 3-8 – Nó sensor montado em gabinete Steck.....	67
Figura 3-9 – Diagrama de blocos do nó central	68
Figura 3-10 – Montagem dos <i>shields</i> com o Arduino Mega.....	68
Figura 3-11 – Conexões do módulo SIM900 com o Arduino Mega.....	69
Figura 3-12 – Diagrama de fluxo do nó central	69
Figura 3-13 – Painéis solares para o nó central.....	71
Figura 3-14 – Controlador de carga CTK-5S	71
Figura 3-15 – Nó central em seu gabinete	72
Figura 3-16 – Canais criados no Thingspeak®	73
Figura 3-17 – Configuração de canal do Ponto1	73
Figura 3-18 – Configuração do canal do Ponto2 e Ponto3.....	74
Figura 3-19 – Localização da estação de captação da Sanepar de Maringá.....	75
Figura 3-20 – Posicionamento dos nós sensores e nó central.....	76
Figura 3-21 – Localização da ERB utilizada.....	77
Figura 3-22 – Posicionamento de antenas na torre da Sanepar	78
Figura 3-23 – Instalação do nó central	79
Figura 3-24 – Medição do nível de sinal do enlace CE-P1	81
Figura 3-25 – Medição de nível de sinal do enlace CE-P2	81
Figura 3-26 – Medição do nível de sinal do enlace CE-P3	81
Figura 3-27 – Estrutura existente ns EEB-00	82
Figura 3-28 – Fixação da antena e painel solar em P1	82
Figura 3-29 – Circuito do nó sensor do Ponto1	83
Figura 3-30 – Tubo para acondicionamento dos sensores em P2.....	84

Figura 3-31 – Fixação do circuito e painel solar em P2	84
Figura 3-32 – Local de instalação do Ponto3	85
Figura 3-33 – Instalação do circuito do nó sensor em P3.....	85
Figura 3-34 – Instalação dos sensores em P3	86
Figura 4-1 – Medições gravadas no cartão SD.....	88
Figura 4-2 – Acesso ao servidor do Thingspeak® por computador.....	89
Figura 4-3 – Visualização de dados no smartphone.....	90
Figura 4-4 – Estado do sensor de O ₂ dissolvido em P3.....	92
Figura 4-5 – Estado do tubo de aço galvanizado em P2.....	92
Figura 4-6 – Tubo novo instalado em P1	93
Figura 4-7 – Substituição de baterias	98

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4-1 – Tensão de alimentação do nó sensor 1.....	97
Gráfico 4-2 - Tensão de alimentação do nó sensor 2	98
Gráfico 4-3 - Tensão de alimentação do nó sensor 3	99
Gráfico 4-4 - Tensão de alimentação do nó central.....	100
Gráfico 4-5 – Ciclo de carga e descarga das baterias	100
Gráfico 4-6 - Níveis de O ₂ dissolvido durante todo o período de medição.....	101
Gráfico 4-7 – <i>Boxplot</i> de O ₂ de P1, P2 e P3 durante todo o período de medição	102
Gráfico 4-8 – Níveis de O ₂ dissolvido do Ponto1, mês a mês.....	102
Gráfico 4-9 - Níveis de O ₂ dissolvido do Ponto2, mês a mês	103
Gráfico 4-10 - Níveis de O ₂ dissolvido do Ponto3, mês a mês	103
Gráfico 4-11 – Nível de O ₂ dissolvido em relação à temperatura da água em P1.....	104
Gráfico 4-12 - Nível de O ₂ dissolvido em relação à temperatura da água em P2	105
Gráfico 4-13 - Nível de O ₂ dissolvido em relação à temperatura da água em P3	105
Gráfico 4-14 – Nível de O ₂ x Temperatura da água em P2 – Fração	106
Gráfico 4-15 – Nível de O ₂ x Temperatura da água em P3 - Fração.....	106
Gráfico 4-16 – Influência da chuva no Ponto3.....	107
Gráfico 4-17 - Influência da chuva no Ponto2	107
Gráfico 4-18 – Influência da chuva no Ponto1	108
Gráfico 4-19 – Efeitos da radiação solar sobre níveis de O ₂ dissolvido.....	109
Gráfico 4-20 – Influência da radiação sobre nível de O ₂ dissolvido em um intervalo. 110	
Gráfico 4-21 – Níveis de O ₂ dissolvido e temperatura em P1 e radiação solar.....	110
Gráfico 4-22 - Níveis de O ₂ dissolvido e temperatura em P2 e radiação solar	111
Gráfico 4-23 - Níveis de O ₂ dissolvido e temperatura em P3 e radiação solar	111
Gráfico 4-24 – Níveis de O ₂ por radiação de 19/07 a 20/07.....	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 2-1 - Parâmetros para o índice de qualidade da água e seus pesos.....	19
Quadro 2-2 – Índices de Qualidades das Águas e parâmetros analisados.....	21
Quadro 2-3 – Especificações do ENV-40-DO	23
Quadro 2-4 – LED indicativo de operações do circuito EZO	25
Quadro 2-5 – Alteração de parâmetros do circuito EZO.....	25
Quadro 2-6 – Alteração dos parâmetros de compensação do circuito EZO.....	26
Quadro 2-7 – Modos de operação do SPI quanto ao sinal de <i>clock</i>	38
Quadro 2-8 – Comparação entre algumas tecnologias de comunicação sem fio	45
Quadro 2-9 – Especificações da camada física do ZigBee.....	46
Quadro 2-10 – Pinagem dos módulo XBee®-PRO S3B.....	49
Quadro 3-1 – Parâmetros alterados nos módulos XBee®.....	60
Quadro 3-2 – Determinação do intervalo entre medições	64
Quadro 3-3 – Consumo do nó sensor	64
Quadro 3-4 – Resultado dos testes de descarga das baterias J.W.S	65
Quadro 3-5 – Consumo do nó central.....	70
Quadro 3-6 – Nível de sinal da ERB da Vivo	77
Quadro 3-7 – Distância dos enlaces entre os nós	79
Quadro 3-8 – Atenuação do espaço livre para os três enlaces.....	79
Quadro 3-9 – Quantidade de cabos e conectores utilizados para cada enlace.....	80
Quadro 3-10 – Valores calculados para potência recebida nos enlaces	80
Quadro 4-1 – Data de início de operação dos nós sensores e nó central.....	87
Quadro 4-2 – ID do canal para P1, P2 e P3.....	88
Quadro 4-3 – Total de medições coletadas.....	90
Quadro 4-4 – Total de medições válidas	91
Quadro 4-5 – Diferença entre medições coletadas e válidas	91
Quadro 4-6 – Quantidade total de falhas de comunicação	94
Quadro 4-7 – Falhas de comunicação na rede interna.....	94
Quadro 4-8 - Falhas de comunicação na rede externa.....	95
Quadro 4-9 – Falhas de comunicação por dia da semana.....	95
Quadro 4-10 – Falhas de comunicação ao longo do dia.....	96
Quadro 4-11 – Legendas utilizadas nos gráficos.....	97
Quadro 4-12 – Comparação das medições de O ₂ com valores da Sanepar	113

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA: Agência Nacional das Águas

API: *Application Programming Interface*

ASCII: *American Standard Code for Information Interchange*

BNC: *Bayonet Neill Concelman*

CDMA: *Code Divison Multiple Access*

CETESB: Companhia de Ambiental do Estado de São Paulo

CPU: *Central Processing Unit*

DBO₅: Demanda bioquímica de oxigênio

DIP: *Dual In Line Package*

DSSS: *Direct Sequence Spread Spectrum*

EEPROM: *Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*

ERB: Estação Rádio Base

FFD: *Full Device Function*

GPRS: *General Packet Radio Services*

GPS: *Global Positioning System*

GSM: *Global System for Mobile Communication*

HDPE: *High-Density Polyethylene*

I²C: *Inter-Integrated Circuit*

IAP: Índice de Qualidade da Água Bruta para Fins de Abastecimento Público

IB: Índice de Balneabilidade

ICSP: *In-Circuit Serial Programming*

IDE: *Integrated Development Environment*

IEEE: *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

IET: Índice do Estado Trófico

IQA: Índice de Qualidade das Águas

ISM: *Industrial, Scientific and Medical*

IVA: Índice de Qualidade da Água para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas

LED: *Light Emmiting Diode*

MAC: *Media Access Control*

MS: Ministério da Saúde

PNQA: Programa Nacional de Avaliação de Qualidade das Águas

PWM: *Pulse Width Modulation*

RFD: *Reduced Device Function*

RPSMA: *Reverse polarity SMA*

RSSF: Rede de sensores sem fio

RTC: *Real Time Clock*

SD: *Secure Digital*

SEMA: Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná

SMA: *Sub miniature version A*

SPI: *Serial Peripheral Interface*

SRAM: *Static Random Access Memory*

TTL: *Transistor Transistor Logic*

UART: *Universal Asynchronous Receiver Transmitter*

ULA: Unidade Lógico Aritmética

USB: *Universal Serial Bus*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivo	14
1.2	Justificativa	14
1.3	Organização do trabalho	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	Introdução	17
2.2	Qualidade da água.....	17
2.2.1	Índice de qualidade da água.....	18
2.3	Sensor de oxigênio dissolvido	22
2.3.1	Sensor de oxigênio dissolvido da Atlas Scientific.....	23
2.4	Sensor de temperatura DS18B20	27
2.5	Microcontroladores	28
2.5.1	Arduino	30
2.5.2	Protocolo I ² C	34
2.5.3	Protocolo SPI.....	36
2.5.4	Módulo para registro de dados	39
2.5.5	Modem GSM/GPRS	40
2.6	Redes de sensores sem fio	41
2.6.1	Protocolo ZigBee	44
2.6.2	Módulo XBee® PRO S3	48
2.7	Cálculo do enlace em radio frequência.....	52
2.8	Baterias recarregáveis	53
2.9	Painel fotovoltaico	54
2.10	Gráficos <i>Boxplot</i>	56
2.11	Conclusões	58

3	METODOLOGIA	59
3.1	Introdução	59
3.2	Configuração dos módulos XBee®	59
3.3	Projeto do nó sensor.....	60
3.4	Projeto do nó central	67
3.5	Configuração do servidor de dados	72
3.6	Instalação da plataforma na estação de captação da Sanepar	75
4	RESULTADOS	87
4.1	Introdução	87
4.2	Gravação no cartão SD	87
4.3	Acesso ao servidor do Thingspeak®	88
4.4	Total de medições efetuadas e medições válidas	90
4.5	Falhas na rede de comunicação	93
4.6	Circuito de alimentação dos nós sensores durante o período de medição	96
4.7	Concentração de O ₂ dissolvido durante o período de medição.....	101
4.8	Medidas de concentração de O ₂ dos pontos P1, P2 e P3 mês a mês	102
4.9	Nível de O ₂ dissolvido em relação à temperatura da água.....	104
4.10	A influência das chuvas na concentração de O ₂ dissolvido	106
4.11	A influência da radiação solar na concentração de O ₂ dissolvido.....	108
5	CONCLUSÕES.....	114
5.1	Trabalhos futuros	116
6	REFERÊNCIAS	117

1 INTRODUÇÃO

O aumento crescente de dejetos (quer sejam de natureza industrial ou residencial) descartados em leitos de rios, bem como no ar, de grandes centros urbanos, torna imprescindível o monitoramento do meio ambiente, através da medição do nível de concentração de O₂ das águas dos leitos dos rios, bem como através da medição do nível de CO₂ no ar.

Os poluentes ambientais em sistemas de água têm sido avaliados como indicadores incluindo demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), o qual exige procedimentos complicados, necessitando de 5 dias de incubação, ou seja, efluentes e águas poluídas devem ser medidas ao longo de 5 dias a 20 ° C (CHEE, 2011).

Atualmente existem equipamentos eletrônicos para medição de vários parâmetros considerados importantes para um indicador da qualidade da água como oxigênio dissolvido, pH, condutividade e turbidez, onde a medição é feita de forma imediata através de um sensor.

O monitoramento *online* (em tempo real) e *in loco* (no local) de poluentes orgânicos em sistemas de água e do ar é um processo que é essencial não só para a proteção da saúde humana, mas também para a proteção do ecossistema.

Para o monitoramento *in loco*, existem disponíveis no mercado vários equipamentos para a medição dos principais parâmetros utilizados na qualidade da água, mas exige o deslocamento de pessoal até o local de interesse para a realização das medições.

Com o crescente desenvolvimento da tecnologia de rede de sensores sem fio, o monitoramento on-line passou a ser uma atividade viável. Mas os custos com equipamentos utilizados nesta modalidade ainda são relativamente altos quando se trata de sua aplicação em países em fase de desenvolvimento.

Dessa forma, far-se-á uso da plataforma Arduino (EVANS et al., 2013), uma plataforma *open-source*, como base para a construção desta plataforma e os módulos com a tecnologia *ZigBee* (SANTOS, 2009) para a construção da rede de sensores sem fio.

Dos parâmetros possíveis de se realizar medições diretas através de sensores, o oxigênio dissolvido é considerado o de maior peso na composição do índice de qualidade da água desenvolvido pela “*National Sanitation Foundation*” e adotado por

órgãos como a Agência Nacional das Águas (ANA, 2016), a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2016) e a Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná (SEMA, 2016).

Portanto, o monitoramento do índice de O₂ dissolvido em água pode fornecer um bom indicativo da qualidade da água analisada.

1.1 Objetivo

Esta pesquisa tem como objetivo desenvolver uma plataforma baseada em rede de sensores sem fio que possibilite monitorar remotamente e *online*, os índices de O₂ dissolvido em rios de uma microbacia de abastecimento de água. Pretende-se disponibilizar os dados coletados em um servidor de dados para acesso do público em geral.

A plataforma deverá ter a capacidade de analisar e detectar variações significativas na concentração de O₂ dissolvido na água com a finalidade de alertar os órgãos responsáveis pelo serviço de manutenção da qualidade da água, ficando os dados coletados armazenados em um servidor de dados para geração de um histórico das medidas realizadas no período de monitoramento.

A plataforma deverá ser autossuficiente em relação à energia consumida por seus circuitos por ser instalada em locais onde não há disponibilidade de energia elétrica.

O intervalo entre as medições de oxigênio dissolvido será determinado pela diferença da medição atual com a medição anterior. Para diferenças maiores o intervalo de medição será menor para eliminar possíveis oscilações nas medições.

A plataforma será desenvolvida com a intenção de aceitar no futuro outros tipos de sensores para medição de outros parâmetros que compõem o índice da qualidade da água como pH, condutividade e turbidez.

1.2 Justificativa

O abastecimento público de água em termos de quantidade e qualidade é uma preocupação crescente da humanidade, em função da escassez do recurso água e da

deterioração da qualidade dos mananciais. Organismos internacionais como a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS) e a *Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental* (AIDIS) e, nacionais como o Ministério da Saúde (MS) e o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) têm reconhecido a problemática da água no final de século XX (MS, 2016).

As atividades humanas têm provocado alterações significativas no meio ambiente, influenciando a disponibilidade de uma série de recursos, como a água, que se torna escassa e com qualidade comprometida. Os crescentes desmatamentos, os processos de erosão/assoreamento dos mananciais superficiais, os lançamentos de efluentes e detritos industriais e domésticos nos recursos hídricos têm contribuído para tal situação. No Brasil, apesar do grande potencial de água disponível para os diversos usos, as características do recurso natural renovável, em várias regiões do país, têm sido drasticamente afetadas (MS, 2016).

Rebouças (1997) já alertava há duas décadas que os processos de urbanização, de industrialização e de produção agrícola não têm levado em conta a capacidade dos ecossistemas em suportá-los, com o lançamento de esgotos domésticos e efluentes industriais sem tratamento, gerando a poluição dos corpos de água doce de superfície em níveis nunca antes imaginado.

Por muito tempo no Brasil a problemática da qualidade da água foi deixada de lado, mas a comunidade técnica brasileira já reconhece a chamada “crise da água” e a necessidade de melhorar as ações de vigilância e controle de sua qualidade.

A Agência Nacional de Águas (ANA) lançou em 2010 o Programa Nacional de Avaliação de Qualidade das Águas (PNQA) que visa ampliar o conhecimento sobre a qualidade das águas superficiais no Brasil, contribuindo assim com a gestão sustentável dos recursos hídricos. Este programa conta com 1.340 pontos em todo país onde são feitas análises de quatro parâmetros básicos (pH, oxigênio dissolvido, condutividade e temperatura) durante as campanhas de medição de vazão. Para a medição desses parâmetros, *in loco*, são utilizadas sondas multiparamétricas que são postas em contato com os corpos d’água, não necessitando de coleta, transporte e análise de amostras em laboratórios (ANA, 2016).

Apesar de não haver procedimentos padronizados na frequência de medições destes parâmetros (ANA, 2016), há um alto custo de logística para o deslocamento de pessoal e equipamentos para os pontos de coleta. A importância do monitoramento da qualidade da água leva a busca de soluções com características autônomas, de baixo

custo, confiável e flexível (RASIN, 2010), como a utilização de uma rede de sensores sem fio para realização do monitoramento da qualidade da água em diversos pontos de interesse e com capacidade de comunicação com uma central de processamento de informações, para disponibilizar estas informações a órgãos responsáveis pelo monitoramento ambiental, públicos ou não, e aos cidadãos em geral.

1.3 Organização do trabalho

Este trabalho está organizado em sete capítulos: O capítulo 1 contém a introdução, objetivo e justificativa do trabalho.

No capítulo 2 é apresentada uma revisão sobre os conceitos de monitoramento da qualidade da água, índice de qualidade da água com destaque no parâmetro de oxigênio dissolvido e as tecnologias a serem utilizadas na construção da plataforma proposta.

No capítulo 3 é apresentada a metodologia a ser utilizada para a obtenção dos resultados desejados no objetivo da pesquisa.

No capítulo 4 são apresentados os dados obtidos com a plataforma em funcionamento na Estação de Captação da Sanepar no rio Pirapó durante o período de 07/07/2018 a 31/10/2018 e a utilização de dados obtidos da Estação Climatológica de Maringá deste mesmo período, para análise das medições efetuadas.

O capítulo 5 contém as conclusões relativas ao desempenho da plataforma, assim como discussão dos resultados obtidos e por fim, no capítulo 6 apresentamos as referências utilizadas para o seu desenvolvimento.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Introdução

Neste capítulo são apresentadas as pesquisas realizadas sobre qualidade da água, índice de qualidade da água (onde justificamos a escolha da medição do oxigênio dissolvido como parâmetro para determinação da qualidade da água), os conceitos teóricos utilizados e a descrição dos componentes como sensores, microcontroladores e outros módulos a serem utilizados na montagem desta plataforma.

2.2 Qualidade da água

A água, essencial e insubstituível à existência e bem estar do homem e à manutenção dos ecossistemas do planeta, passou a ser um recurso natural de valor econômico, estratégico e social. A escassez de água em qualidade torna imperativo o desenvolvimento de uma política moderna de manuseio desse recurso, visando principalmente permitir sua exploração de maneira consciente e auto-sustentável (MS, 2016).

Para racionalizar a gestão dos recursos hídricos do país, o governo vem tentando dar efetividade aos instrumentos de lei relativos à utilização dos corpos d'água utilizados para as diversas finalidades com a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997). Com a nova legislação, qualquer uso que se fizer do recurso d'água estará sujeito à autorização, a qual se dará por meio de outorga de direitos de uso. O exercício da outorga de direitos, que inclui a fiscalização ou acompanhamento de uso, tem como principal objetivo assegurar o controle quantitativo do uso da água, com o objetivo de garantir sua qualidade. Essas atribuições são exercidas pela Agência Nacional de Águas (ANA), criada pela Lei 9.984/2000 e regulamentada pelo Decreto 3.692/2000 (ANA, 2004).

Nesse sentido, o monitoramento contínuo de parâmetros de qualidade da água e sua quantidade disponível podem se tornar um instrumento eficiente de acompanhamento do uso da água mesmo em regiões afastadas ou inóspitas. Não sendo possível o monitoramento de todos os parâmetros que indicam alterações antrópicas, foca-se a atenção em parâmetros da qualidade da água passíveis de se medir em campo

e que podem indicar diferentes tipos de poluição. Como exemplo as estações de monitoramento da qualidade da água do órgão ambiental paulista (CETESB) e da Agência Nacional de Águas que monitoram: oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica, temperatura e turbidez para o diagnóstico das bacias. (ANA, 2004)

2.2.1 Índice de qualidade da água

O índice de qualidade da água é um número que expressa a qualidade geral da água em um determinado local e tempo com base em vários parâmetros de qualidade da água. O objetivo de um índice é transformar dados complexos de qualidade da água em informações que são compreensíveis e utilizáveis pelo público. Este tipo de índice é semelhante ao índice desenvolvido para a qualidade do ar. O uso de um índice para a qualidade da água é um assunto controverso entre os cientistas de qualidade da água, pois não contempla todos os parâmetros que determinam sua qualidade. No entanto, um índice de qualidade da água baseado em parâmetros muito importantes pode fornecer um indicador simples da qualidade da água, dando ao público uma ideia geral dos possíveis problemas com a água na região (BASIN, 2016).

O índice de qualidade da água adotado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2016), Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2016) e a Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná (SEMA, 2016) foi desenvolvido pela “*National Sanitation Foundation*” (EUA), em 1970, baseados na pesquisa de BROWN et al. (1970) (WILLS and IRVINE, 1996).

Em um estudo realizado por BROWN et al. (1970), foram selecionados 142 especialistas com conhecimentos na gestão de qualidade da água. Foram enviados três questionários a estes especialistas. No primeiro questionário, foi solicitado para cada um emitir sua consideração sobre trinta e cinco parâmetros para possível inclusão no índice de qualidade da água e adicionar qualquer outro parâmetro que deveria ser incluído. Também foi solicitado uma quantificação de importância de cada um dos parâmetros em uma escala de 1 (alta importância) a 5 (baixa importância).

Os resultados da primeira pesquisa foram incluídos no segundo questionário e os especialistas foram solicitados a revisar suas respostas. O objetivo do segundo questionário foi obter um consenso da importância de cada parâmetro. Também foi incluída uma lista de nove novos parâmetros que foram adicionados por alguns

especialistas no primeiro questionário. Para o segundo questionário, foi solicitado aos especialistas selecionar não mais do que quinze parâmetros que consideraram mais importantes dentre o total de quarenta e quatro parâmetros analisados.

Dos dois primeiros questionários, BROWN et al. (1970) selecionou nove parâmetros para determinação do índice de qualidade da água. No terceiro questionário, os especialistas foram solicitados a desenhar uma curva de influência na qualidade da água para cada um dos nove parâmetros. Cada curva era composta de níveis de qualidade da água de 0 a 100 no eixo y e o aumento do nível do parâmetro selecionado no eixo x.

Cada especialista desenhou uma curva o qual representava, em sua opinião, os índices de qualidade da água em função do aumento do nível do parâmetro em questão. Para cada parâmetro, BROWN et al. (1970), obteve um gráfico de uma única linha fazendo uma média dos gráficos recebidos dos especialistas.

As curvas sintetizadas por BROWN et al. (1970), bem como seus pesos relativos correspondentes são apresentados na Figura 2-1.

Utilizando-se de análise estatística das curvas, BROWN et al. (1970) determinaram um peso para cada parâmetro, onde a soma dos pesos era igual a 1.

Os nove parâmetros selecionados e seus respectivos pesos estão listados no Quadro 2-1. Observamos que ao parâmetro oxigênio dissolvido foi atribuído o maior peso em relação aos demais parâmetros.

Quadro 2-1 - Parâmetros para o índice de qualidade da água e seus pesos

Parâmetro	Peso (w)
Oxigênio dissolvido	0,17
Densidade de coliformes fecais	0,15
pH	0,12
BOD ₅	0,10
Nitratos	0,10
Total de fosfatos	0,10
Δt °C do equilíbrio	0,10
Turbidez	0,08
Total de sólidos	0,08

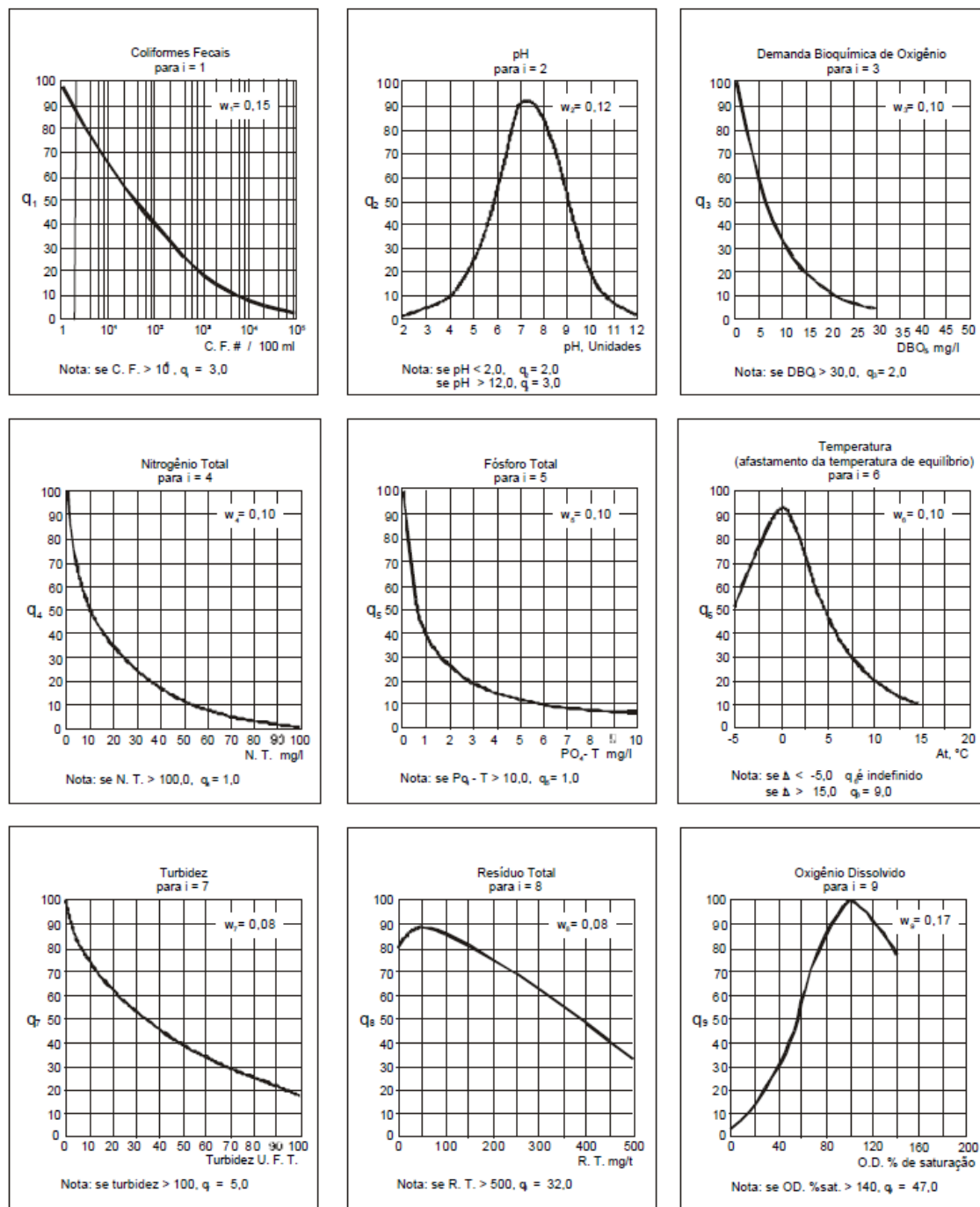


Figura 2-1 – Curvas obtidas por Brown et al. (1970)

Fonte: CETESB (2016)

O índice de qualidade da água (IQA) é calculado pelo produtório ponderado das qualidades estabelecidas para cada parâmetro, conforme a expressão:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

onde:

IQA: índice de qualidade das águas [0 a 100]

q_i : qualidade do *i*-ésimo parâmetro, entre 0 e 100, obtido das curvas da Figura 2-1.

w_i : peso correspondente ao *i*-ésimo parâmetro, obtido do Quadro 2-1, sendo que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

em que:

n: número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

Atualmente vários índices de qualidade da água (ANA, 2016) são utilizados dependendo da finalidade do uso da água, como mostra o Quadro 2-2.

Quadro 2-2 – Índices de Qualidades das Águas e parâmetros analisados

Índice	Parâmetros analisados
Índice de Qualidade das Águas - IQA	Oxigênio dissolvido, densidade de coliformes fecais, pH, BOD5, nitratos, total de fosfatos, Δt °C do equilíbrio, turbidez e total de sólidos.
Índice de Qualidade da Água Bruta para Fins de Abastecimento Público - IAP	IQA, substâncias tóxicas (cádmio, chumbo, cromo, mercúrio, níquel) e organolépticas (fenóis, ferro manganês, alumínio, cobre, zinco)
Índice de Qualidade da Água para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas - IVA	Concentração de substâncias que causam efeito tóxico sobre os organismos aquáticos (toxicidade), pH, oxigênio dissolvido e IET
Índice do Estado Trófico - IET	Fósforo total
Índice de Balneabilidade - IB	Escherichia coli

Na composição dos índices de qualidade de águas, o IAP (índice de qualidade de água bruta para fins de abastecimento público) e o IVA (Índice de qualidade de água para proteção da vida aquática) utilizados no estado de São Paulo pela CETESB, a

concentração de oxigênio dissolvido possui grande peso para o cálculo desses índices (CETESB, 2016).

Pela relevância da concentração de oxigênio dissolvido no índice de qualidade da água, a plataforma propõe o monitoramento *online* da concentração desse parâmetro, utilizando uma rede de sensores sem fio. Com o monitoramento online, pode-se observar as variações do nível de oxigênio dissolvido em vários períodos do dia com a realização de medições ininterruptas em intervalos de no máximo sessenta minutos. A plataforma idealizada utiliza uma série de componentes e conceitos descritos a seguir.

2.3 Sensor de oxigênio dissolvido

A quantidade de oxigênio dissolvido em meios líquidos encontra larga aplicação nas atividades médicas, biológicas, ambientais e oceanográficas. Na prática, o monitoramento da quantidade de oxigênio dissolvido já é utilizado rotineiramente na indústria de produção de bebidas e alimentos, na agricultura (aquicultura), em estações de tratamento de esgoto e como ferramenta clínica para análise de sangue (ATKINSON et al., 1999).

A concentração de oxigênio dissolvido é um dos mais importantes parâmetros que descrevem a qualidade da água de todos os tipos. O monitoramento contínuo da concentração de oxigênio dissolvido se tornou uma necessidade, principalmente, de em estações de tratamento de águas residuais. O método utilizado para este monitoramento deverá ser exato e confiável. Por estes motivos novos instrumentos estão sendo concebidos para melhorar a padrões de medições de oxigênio dissolvido, tais como sensores ópticos, que estão sendo empregados nas estações de tratamento de águas residuais, nos últimos anos (FAMIELEC, 2015).

Há vários métodos para determinação do oxigênio dissolvido que variam de testes em laboratórios químicos a medições por meio de instrumentos equipados com sensores sensíveis a concentração de oxigênio dissolvido em uma amostra.

2.3.1 Sensor de oxigênio dissolvido da Atlas Scientific

O sensor de oxigênio dissolvido fabricado pelas Atlas Scientific (ENV-40-DO) é indicado para utilização em laboratórios e em campo, e em diversas áreas como alimentação, agricultura, piscicultura e monitoramento ambiental. A Figura 2-2 ilustra o sensor ENV-40-DO e suas principais características são mostradas no Quadro 2-3 (ATLAS SCIENTIFIC, 2016):

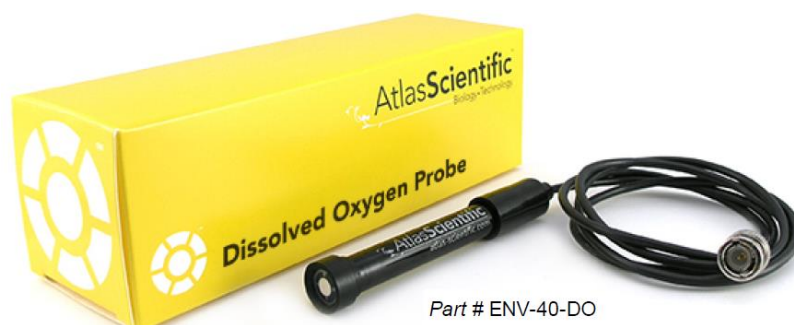


Figura 2-2 – Sensor de oxigênio ENV-40DO
Fonte: Atlas Scientific

O sensor ENV-40-DO é do tipo galvânico e é constituído de tubo com uma haste de zinco (anodo) submersa em um eletrólito. O elemento sensor é uma membrana HDPE (*High-Density Polyethylene*) comprimida sobre um disco de prata (catodo). É um elemento passivo e que gera uma pequena tensão entre 0 mV e 47 mV dependendo da concentração de oxigênio em sua membrana sensitiva. A Figura 2-3 mostra os detalhes de construção do sensor ENV-40-DO. O ENV-40-DO pode ser totalmente submerso em água, inclusive seu cabo, até o conector BNC, o qual não poderá estar submerso.

Quadro 2-3 – Especificações do ENV-40-DO

Parâmetro	Especificação
Faixa de operação	0 a 20 mg/L
Material do corpo	<i>Epoxy e Noryl</i>
Temperatura máxima de operação	50 °C
Pressão máxima de operação	690 kPa (100 PSI)
Profundidade máxima de operação	60 m (197 pés)
Conexão elétrica	Conector BNC
Dimensões	16,5 mm x 116 mm

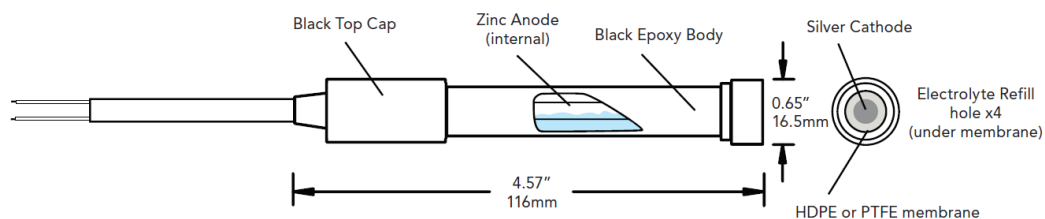


Figura 2-3 – Detalhes de construção do ENV-40-DO
Fonte: Atlas Scientific

A conversão entre a tensão em mV gerada pelo sensor e a concentração de oxigênio dissolvido em mg/L não é uma relação linear e fatores como a temperatura, a pressão e a salinidade da água podem alterar esta relação. Para maior comodidade em utilizar o sensor ENV-40-DO, a Atlas Scientific fornece também um circuito (*EZO class embedded Dissolved Oxygen Circuit*) que faz estas compensações e oferece a leitura da concentração de oxigênio dissolvido em formato digital.

A Figura 2-4 ilustra o circuito EZO o qual possui como suas principais características:

- Faixa de leitura de oxigênio dissolvido: 0,01 a 35,99 mg/L
- Precisão de leitura: +/- 0,2 mg/L
- Compensações: temperatura, salinidade e pressão
- Calibração requerida: anualmente
- Modo de leitura: simples ou contínua
- Protocolos da saída de dados: UART ou I²C
- Formato dos dados na saída: ASCII
- Tensão de operação: 3,3 V a 5 V

No modo UART, os parâmetros de comunicação são: taxa de transmissão de 9600 bps, 8 bits de dados, 1 stop bit, sem paridade e sem controle de fluxo. O tempo para realização de uma leitura é um segundo.

O circuito EZO possui um LED colorido para indicação da operação sendo realizada. O Quadro 2-4 detalha as cores assumidas pelo LED e as correspondentes operações realizadas.



Figura 2-4 – Circuito EZO
Fonte: Atlas Scientific

Quadro 2-4 – LED indicativo de operações do circuito EZO

Cor do LED	Operação realizada
Verde	UART em standby
Ciano	Realização medição
Púrpura	Alterando baud rate
Vermelho	Comando não reconhecido

Alguns parâmetros de funcionamento podem ser alterados com envio de comandos através da UART, como ativação ou não do LED indicativo, leitura simples ou contínua e ativação do modo standby. O Quadro 2-5 ilustra a sintaxe dos comandos para alteração dos parâmetros de funcionamento.

Quadro 2-5 – Alteração de parâmetros do circuito EZO

Alteração de parâmetro	Comando a ser enviado
Ativar LED indicativo	L,1
Desativar LED indicativo	L,0
Leitura contínua	C,1
Leitura simples	C,0
Realizar leitura (somente no modo leitura simples)	R
Modo <i>sleep</i>	Sleep

Dentre os três parâmetros utilizados para compensação das leituras, a temperatura possui maior efeito. O circuito EZO utiliza como padrão a temperatura de 20 °C. Se a temperatura do ambiente em medição possui variação superior a 3 °C, este novo valor deverá ser transmitido para o circuito EZO.

A salinidade provoca menos efeito na habilidade da água reter oxigênio e se a condutividade da água for menor que 2,5 μ S, o valor padrão será utilizado. Se a salinidade da água for constante, este parâmetro pode ser ajustado e não mais alterado. Isto é devido a flutuações na salinidade não ter efeito sobre as leituras.

A pressão assumida como valor padrão pelo circuito EZO é a pressão atmosférica. O sensor ficará submerso e não estará submetido à pressão atmosférica, mas o ajuste deste parâmetro é necessário somente para profundidades acima de 10 metros ou se o sensor for utilizado em tubulações pressurizadas.

Os parâmetros de salinidade e pressão são armazenados em memória EEPROM e não serão perdidos na falta de alimentação. A temperatura não é armazenada em memória não-volátil devendo sempre ser informada quando o circuito for ligado. Caso isto não ocorra, a temperatura de 20 °C será assumida.

Os parâmetros para compensação das leituras também são enviados pela UART, conforme detalhado no Quadro 2-6.

Quadro 2-6 – Alteração dos parâmetros de compensação do circuito EZO

Parâmetro	Valor utilizado como exemplo	Comando a ser enviado
Temperatura	23,7 °C	T, 23.7
Salinidade	5000 mS	S, 5000
Pressão	90,25 kPa	P, 90.25

O consumo do circuito EZO é de 15 mA quando ativado e de 1 mA no modo *sleep*. A conexão do circuito EZO com um microcontrolador é através de sua interface serial UART como ilustra a Figura 2-5.

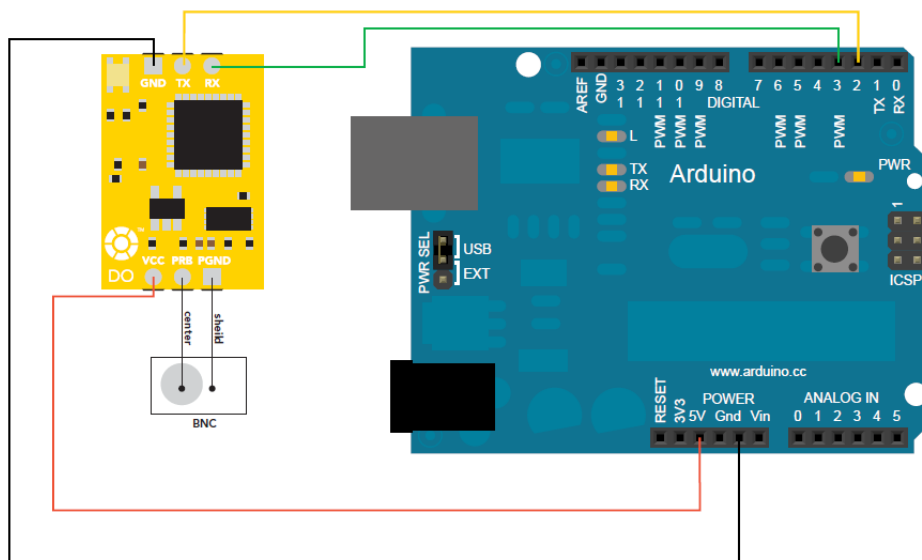


Figura 2-5 – Conexão do circuito EZO com o Arduino Uno
Fonte: Atlas Scientific

2.4 Sensor de temperatura DS18B20

Para realizar a compensação pela temperatura no circuito EZO, descrito no item anterior, utilizamos um sensor para medir a temperatura da água. Além da compensação para o circuito EZO, o valor da temperatura da água também será utilizada para analisar sua influência na concentração de oxigênio dissolvido na água.

Para essa função utilizamos o DS18B20, componente fabricado pela Maxim Integrated que faz a medição da temperatura o qual está exposto e converte para uma informação digital com resolução de 12 bits. Mede temperaturas entre $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$, mas garante precisão de $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ na faixa entre $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$. A temperatura medida e convertida é transmitida utilizando a interface 1-Wire.

Pode-se adquirir no mercado um módulo sensor DS18B20 para utilização em ambientes a prova d'água, conforme ilustrado na Figura 2-6.

Possui três terminais, sendo que dois deles são de alimentação (VCC e GND) e o terceiro para envio dos dados da temperatura medida. Vem com cabo de 1,5 m de comprimento.

O processamento das informações enviadas pelos sensores deverá ser feita por um microcontrolador descrito no item a seguir.



Figura 2-6 – Sensor de temperatura DS18B20

2.5 Microcontroladores

O desenvolvimento da eletrônica aplicada a circuitos integrados tornou possível colocar centenas de milhares de transistores em um único chip, viabilizando a produção dos microprocessadores. Depois surgiram circuitos integrados contendo simultaneamente, processador e periféricos, obtidos em razão do aumento no nível de integração, marcando a era dos microcontroladores (SILVA, 2006).

Microcontrolador é um circuito integrado programável que contém todos os componentes de um computador, como CPU (Unidade Central de Processamento), memória para armazenar programas, memória de dados, portas de entrada e saída para a comunicação com o mundo exterior, temporizadores, conversores analógico-digitais, interfaces de comunicação serial e outros. Esta é uma das principais características que diferencia os microcontroladores dos microprocessadores, onde os últimos possuem uma ULA muito mais poderosa, porém não possuem todos os recursos que os microcontroladores apresentam em uma única pastilha (SILVA, 2006). A Figura 2-7 ilustra a arquitetura de um microcontrolador.

Pode-se definir brevemente o microcontrolador como um “pequeno” componente eletrônico, dotado de uma “inteligência” programável, utilizado no controle de processos lógicos, interagindo com periféricos como LEDs, botões, displays, relés, sensores e atuadores (SOUZA, 2011). Para que o microcontrolador faça o que se deseja, é necessário programá-lo, utilizando ferramentas adequadas, como um computador com software apropriado e uma placa de programação (BRAGA, 2016). A Figura 2-8 apresenta toda a interface de programação de um microcontrolador.

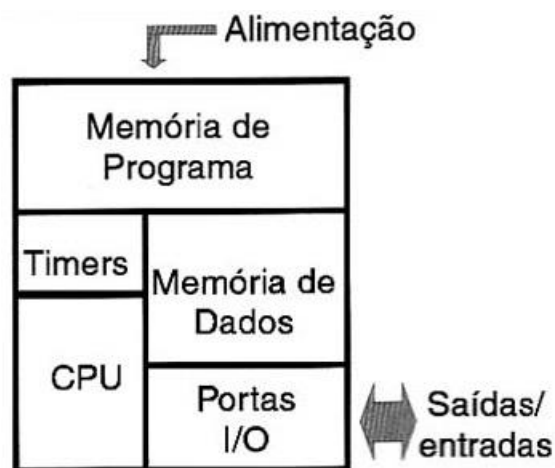


Figura 2-7 – Arquitetura simplificada de um microcontrolador.
Fonte: Braga, 2016.

Os microcontroladores geralmente são embarcados em produtos, visando a automação e controle de produtos e periféricos, sendo programados para executar funções específicas de controle. Se comparados aos microprocessadores, os microcontroladores trabalham a frequências muito menores, porém possuem tamanho, custo e consumo de energia, reduzidos. Estas características justificam seu emprego, em processos específicos que não exigem grandes velocidades de processamento, como por exemplo, sistemas de controle de motores automotivos, controles remotos, brinquedos e equipamentos portáteis (SOUZA, 2011).

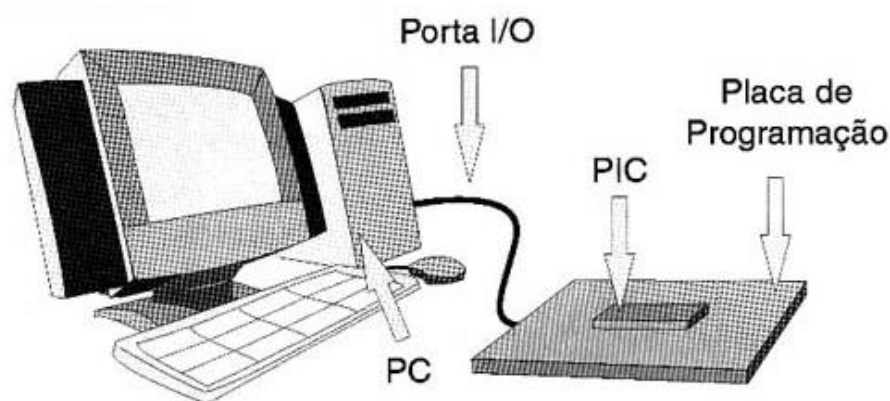


Figura 2-8 – Dispositivos necessários para a programação de um microcontrolador.
Fonte: Braga, 2016.

Dentre vários microcontroladores disponíveis no mercado optou-se por utilizar uma estrutura de desenvolvimento aberta, como o Arduino, objetivando a construção de um protótipo funcional rápido e confiável.

2.5.1 Arduino

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica livre desenvolvida por Massimo Banzi e sua equipe no Interaction Design Institute na cidade de Ivrea, na Itália, no ano de 2005, com o objetivo de possibilitar seus alunos de design, mesmo com pouca experiência em programação, pudessem automatizar seus projetos acadêmicos sem dificuldades. Em pouco tempo, o Arduino se popularizou e superou todas as expectativas iniciais de Banzi, sendo utilizado atualmente até mesmo fora do ambiente acadêmico, em processos de automação residencial e industrial, além de ser uma excelente ferramenta na introdução de conceitos de microcontroladores para acadêmicos das mais diversas áreas. (EVANS et al., 2013).

Basicamente, o Arduino é um pequeno computador capaz de receber e processar sinais provenientes de sensores ou outros dispositivos e então gerar sinais para atuadores ou outros dispositivos, conforme a programação desenvolvida pelo usuário. Este tipo de sistema é chamado de computação física ou embarcada e é caracterizada por poder interagir com o ambiente por meio de *hardware* e *software* (MCROBERTS, 2011).

Atualmente, a plataforma mais utilizada é o Arduino Uno que é composta por um microcontrolador Atmel AVR ATmega328, um cristal oscilador de 16 MHz, conexão USB utilizando o conversor USB-serial ATmega8U2, conector P4 para alimentação externa associada a um regulador de tensão de 5 V, um botão Reset, alguns LEDs para indicação do funcionamento, conexão para gravação ICSP, 14 pinos de entrada/saída digital (dos quais 6 podem ser usados como PWM) e 6 pinos de entrada analógica (conversor A/D de 10 bits). O microcontrolador ATmega328 possui 32 kB de memória *flash*, dos quais 0,5 kB é utilizado pelo *bootloader*, 2 kB de memória SRAM e 1 kB de memória EEPROM (ARDUINO, 2016).

A alimentação da placa é feita através da conexão USB, quando a mesma está conectada a um computador, ou através do conector P4 de alimentação externa, utilizando uma fonte de alimentação ou uma bateria. Quando alimentado através do conector P4, recomenda-se que a tensão fornecida esteja entre 7 V e 12 V para não sobrecarregar o regulador de tensão (ARDUINO, 2016). A Figura 2-9 apresenta a placa Arduino Uno.

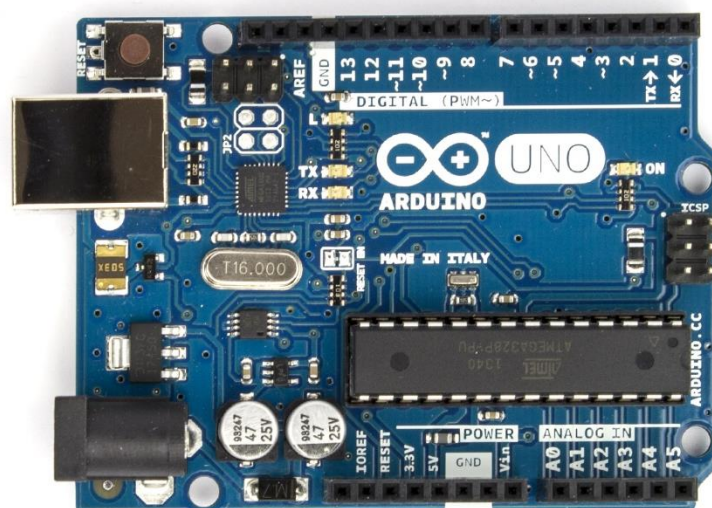


Figura 2-9 – Placa microcontrolada Arduino Uno
Fonte: ARDUINO, 2016

O Arduino Pro Mini é uma versão com menor tamanho e menor custo criada para usuários avançados. Vem com um mínimo de componentes visando diminuir o custo e consumo de energia. É uma ótima opção para substituição do modelo Uno em projetos embarcados, já que utiliza o mesmo microcontrolador (ATMega328P) e possui as mesmas especificações do Arduino Uno. A Figura 2-10 ilustra o Arduino Pro Mini e a comparação de tamanho em relação ao Arduino Uno.

O Arduino Pro Mini é oferecido em duas versões. A primeira operando com tensão de 5 V e frequência de clock de 16 MHz e a segunda operando com tensão de 3,3 V e a frequência de clock de 8 MHz, que é o modelo utilizado para controlar os nós sensores da plataforma.

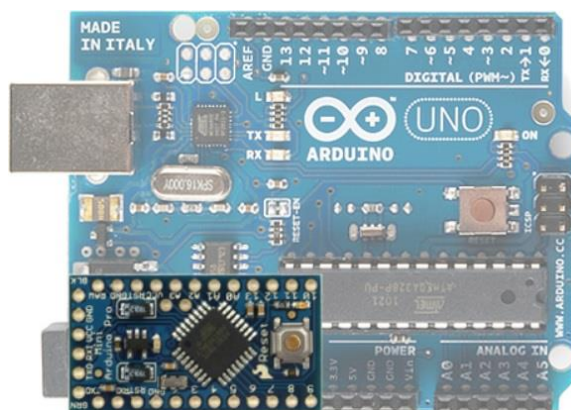


Figura 2-10 – Arduino Pro Mini
Fonte: Sparkfun, 2017

O Arduino Pro Mini não pode ser conectado diretamente a um computador como o Nano pela ausência do componente responsável por essa comunicação. Para a comunicação do Arduino Pro Mini com um computador há a necessidade de utilização de uma interface serial-USB denominada interface FTDI e está ilustrado na Figura 2-11. Suporta comunicação nos protocolos I²C e SPI, mas fazendo necessário o uso das bibliotecas Wire e SPI, respectivamente, durante a programação.

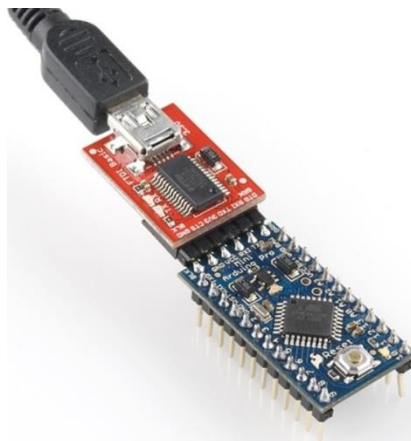


Figura 2-11 – Interface FTDI conectada ao Arduino Pro Mini
Fonte: Sparkfun, 2017

O Arduino Mega, utilizado para controle do nó central da plataforma e ilustrado na Figura 2-12, foi desenvolvido para utilização em projetos que requerem maior número de linhas de entrada e saída, mais memória de programa (*flash*) e mais memória de dados (RAM). O microcontrolador utilizado nesse modelo é o ATmega 2560 que possui 256 kbytes de memória flash, 8 k bytes de memória RAM, 4 kbytes de memória EEPROM e opera na velocidade de 16 MHz. O Arduino Mega possui um total de 54 pinos de entrada/saída digital, sendo que 15 deles podem operar como saída PWM, 16 entradas analógicas e é alimentado com tensão de 5 V que pode ser fornecido pela interface USB, quando conectado a um computador, ou através de uma tensão não regulada entre 7 e 12 V (ARDUINO, 2017).

A forma como os pinos do Arduino Mega estão dispostos torna possível uma de suas grandes vantagens, que é o uso de *shields*. Os *shields* são placas complementares contendo outros dispositivos, como por exemplo receptores GPS e módulos Ethernet, onde o usuário simplesmente acopla o *shield* sobre o Arduino, agregando assim novas funcionalidades ao mesmo (MCROBERTS, 2011).



Figura 2-12 – Arduino Mega
Fonte: ARDUINO, 2016

Para comunicação com outros dispositivos, o Arduino Mega provê quatro canais de comunicação serial UART, sendo três delas para uso geral do usuário e uma delas para a comunicação serial com computador através da porta USB viabilizada pelo conversor USB-serial ATmega8U2. Também suporta comunicação nos protocolos I²C e SPI (ARDUINO, 2016).

Quanto ao *software*, o Arduino vem com um *bootloader* gravado no microcontrolador que permite a transferência da programação desenvolvida pelo usuário, sem a necessidade de um *hardware* gravador, como acontece com outros microcontroladores no mercado. O ambiente de desenvolvimento da programação é o Arduino IDE, uma aplicação multiplataforma livre desenvolvida em Java. A IDE é bastante simples e intuitiva, se assemelhando a um editor de texto, onde o usuário escreve o código em uma linguagem baseada na linguagem C, compila-o e transfere-o para a placa Arduino. Este código desenvolvido é chamado de *sketch*. As bibliotecas são programas com funções prontas e específicas para determinada finalidade, que podem ser adicionadas em uma *sketch*, facilitando o uso de diversos dispositivos e *shields*. Atualmente existem inúmeras bibliotecas disponíveis na comunidade, desenvolvidas tanto por fabricantes destes dispositivos quanto por usuários colaboradores. (MCROBERTS, 2011). A Figura 2-13 apresenta uma tela da IDE do Arduino.

A comunicação do Arduino com outros dispositivos pode ser feita de forma serial. A transmissão de dados via serial exige um protocolo para que a informação seja recebida corretamente. Dentre os protocolos utilizados para a comunicação do Arduino com outros dispositivos destacam-se o SPI e o I²C, detalhados a seguir.

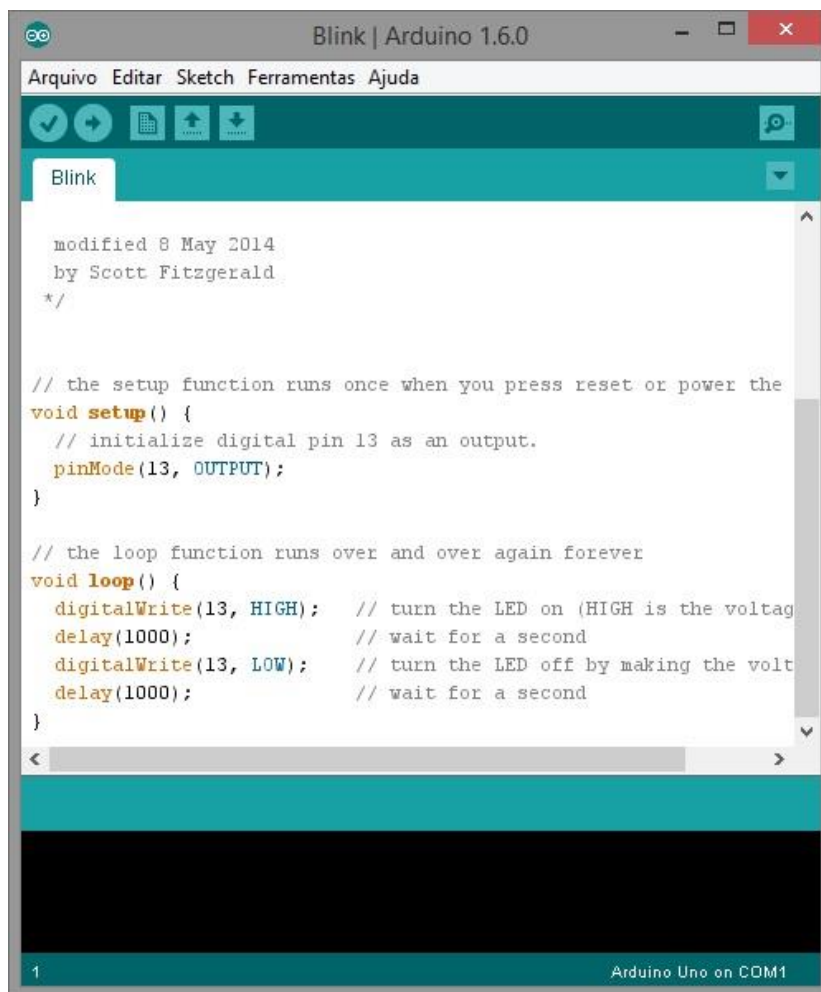


Figura 2-13 – Ambiente de programação do Arduino.

2.5.2 Protocolo I²C

O protocolo de comunicação *Inter-Integrated Circuit* (I²C), como o próprio nome sugere, é um protocolo desenvolvido para estabelecer de forma simplificada a comunicação entre circuitos integrados, como microcontroladores e periféricos, apresentando grande aplicação em sistemas embarcados, de telecomunicação e automotivos. Foi desenvolvido pela Philips Semiconductors na década de 80 (NXP, 2014).

O I²C é constituído por um barramento serial de comunicação serial síncrona e bidirecional a dois fios, sendo um a linha serial de dados (SDA) e outro a linha serial de *clock* (SCL). Este barramento está ilustrado na Figura 2-14. As taxas de transferência de dados neste protocolo podem ser de até 100 kb/s no modo *Standard*, 400 kb/s no modo

Fast e 3,4 Mb/s no modo *High-speed*. O número de dispositivos que pode ser conectado a um barramento I²C é tal qual a capacitância neste barramento não ultrapasse 400 pF (NXP, 2014).

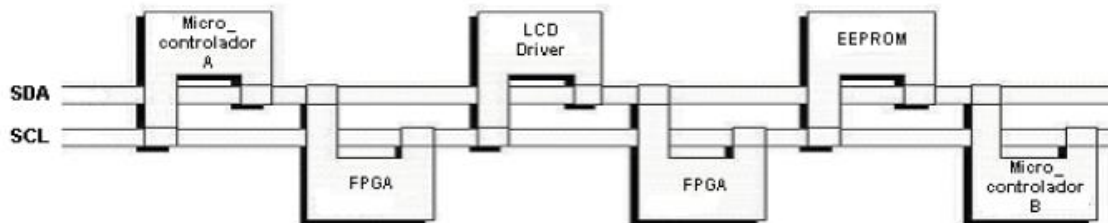


Figura 2-14 – Exemplo genérico de um barramento I²C
Fonte: NXP, 2014

A comunicação entre os dispositivos é do tipo mestre/escravo com suporte multi-mestre, ou seja, mais de um dispositivo pode controlar o barramento, mas não simultaneamente. O endereçamento dos dispositivos é feito por *software*. Quando o barramento está livre, tanto a linha SDA quanto a SCL permanecem em nível alto, devido a uma fonte de tensão positiva conectada a elas por meio de resistores *pull-up* (NXP, 2014).

Quando um dispositivo deseja transmitir ou receber alguma informação, este assume o papel de mestre, gerando um sinal de *clock* na linha SCL, e então requisita a comunicação com o dispositivo desejado por meio do envio do endereço deste pela linha SDA. Ao detectar seu endereço na transmissão, este dispositivo então assume o papel de escravo, envia um bit de reconhecimento e então recebe ou transmite a informação, conforme requisitado pelo mestre. Concluída a comunicação, o mestre remove seu sinal de *clock* da linha SCL, deixando então de ser mestre e tornando o barramento novamente disponível (NXP, 2014).

Para iniciar a transmissão, é gerado um bit START, que é uma transição de nível alto para nível baixo na linha SDA enquanto o sinal de *clock* na linha SCL está em nível alto. Na transmissão, os dados na linha SDA precisam estar estáveis durante o período em nível alto do *clock*, ou seja, o nível do sinal (alto ou baixo) na linha SDA, só pode ser alterado quando o sinal de *clock* na linha SCL está em nível baixo. Os *bytes* são transmitidos primeiro pelo bit mais significativo (MSb). Não há restrição do número de *bytes* a serem enviados, porém entre cada *byte* o receptor envia um bit de reconhecimento. Ao fim da transmissão então é gerado um bit STOP, que é uma

transição de nível baixo para nível alto na linha SDA enquanto o sinal de *clock* na linha SCL está em nível alto (NXP, 2014). A forma da transmissão está apresentada na Figura 2-15, enquanto que a Figura 2-16 ilustra o *frame* transmitido.

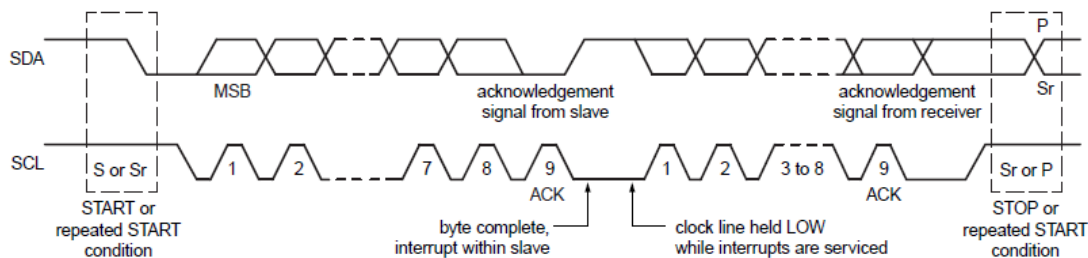


Figura 2-15 – Transferência de dados em barramento I²C

Fonte: NXP, 2014

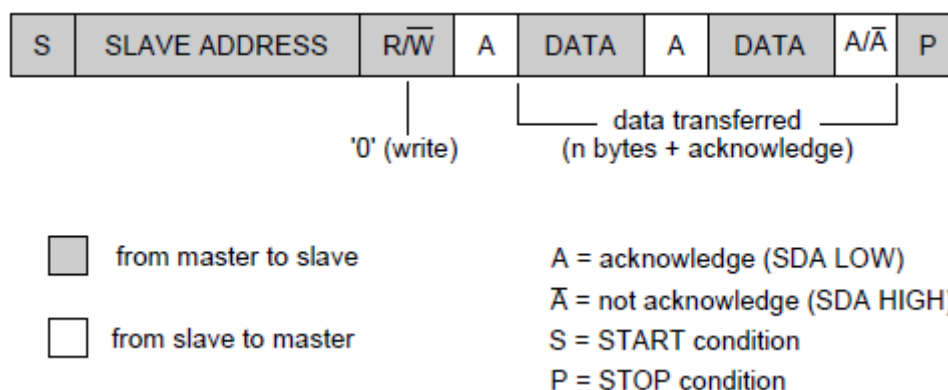


Figura 2-16 – Exemplo de *frame* transferido na comunicação I²C

Fonte: NXP, 2014

2.5.3 Protocolo SPI

O *Serial Peripheral Interface* (SPI) é um protocolo de comunicação serial síncrono desenvolvido pela Motorola, de grande aplicação em comunicações entre microcontroladores e periféricos, assim como o protocolo I²C, porém com grandes diferenças em relação a este. A comunicação é do tipo mestre/escravo, estabelecida em um barramento de quatro fios, sendo dois para dados e dois para controle, operando assim no modo *full-duplex*, onde mestre e escravo podem transmitir dados entre si simultaneamente (INTERSIL, 2007).

As linhas que constituem o barramento SPI são definidas como:

- *Serial Clock (SCK)*: linha na qual o dispositivo mestre aplica o sinal de *clock* para sincronizar a comunicação.
- *Slave Select (SS)*: linha através da qual o dispositivo mestre seleciona o dispositivo escravo com o qual irá se comunicar.
- *Master Output Slave Input (MOSI)*: linha através da qual, se o dispositivo for mestre, irá enviar os dados; se o dispositivo for escravo, irá receber os dados.
- *Master Input Slave Output (MISO)*: linha através da qual, se o dispositivo for mestre, irá receber os dados; se o dispositivo for escravo, irá enviar os dados.

Cada dispositivo escravo conectado ao barramento SPI possui a sua linha SS dedicada. Desta forma, o dispositivo mestre possui tantas linhas SS conectadas a ele quantos dispositivos escravos existirem nesta comunicação SPI, conforme ilustrado na Figura 2-17.

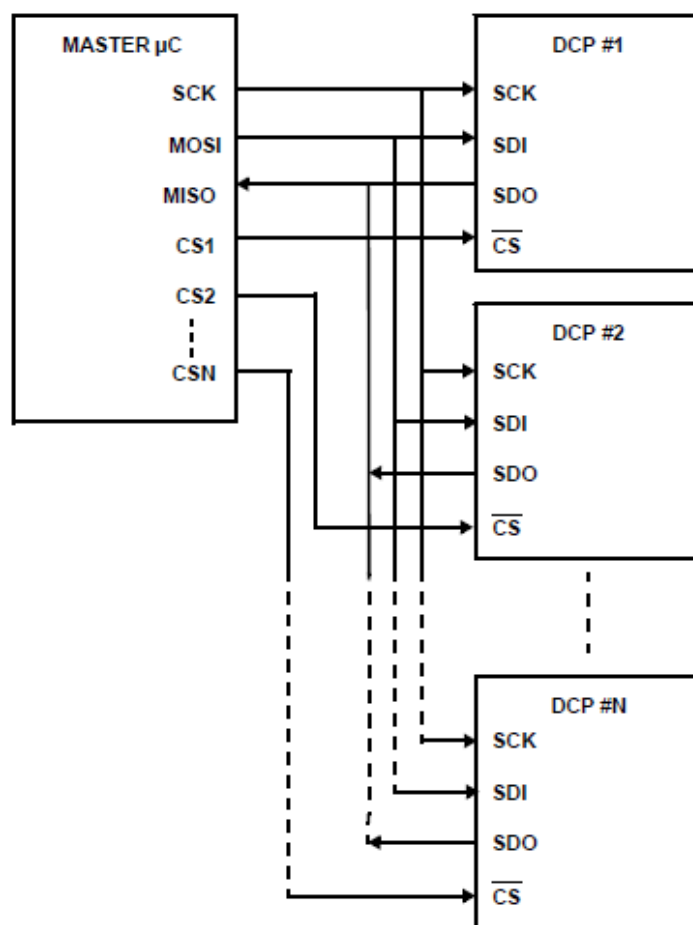


Figura 2-17 – Exemplo de conexões em um barramento SPI
Fonte: INTERSIL, 2007

A comunicação SPI também pode ser configurada em quatro diferentes modos, alterando-se dois parâmetros referentes ao *clock*: polaridade (CPOL) e fase (CPHA). O Quadro 2-7 expõe estas configurações, enquanto que a Figura 2-18 exemplifica através de um diagrama a relação entre *clock* e transferência de dados nestas configurações (SACCO, s/d).

Quadro 2-7 – Modos de operação do SPI quanto ao sinal de *clock*.

Modo	CPOL	CPHA	Borda de troca	Nível em IDLE
0	0	0	Subida	0
1	0	1	Descida	0
2	1	0	Descida	1
3	1	1	Subida	1

Fonte: SACCO (2015)

Quando o mestre deseja se comunicar com um escravo, deve manter a linha SS referente a este escravo em nível baixo ao longo de toda a comunicação. A transferência de dados serial é então iniciada, podendo acontecer nos dois sentidos simultaneamente, onde o primeiro bit a ser transmitido é o mais significativo (MSb).

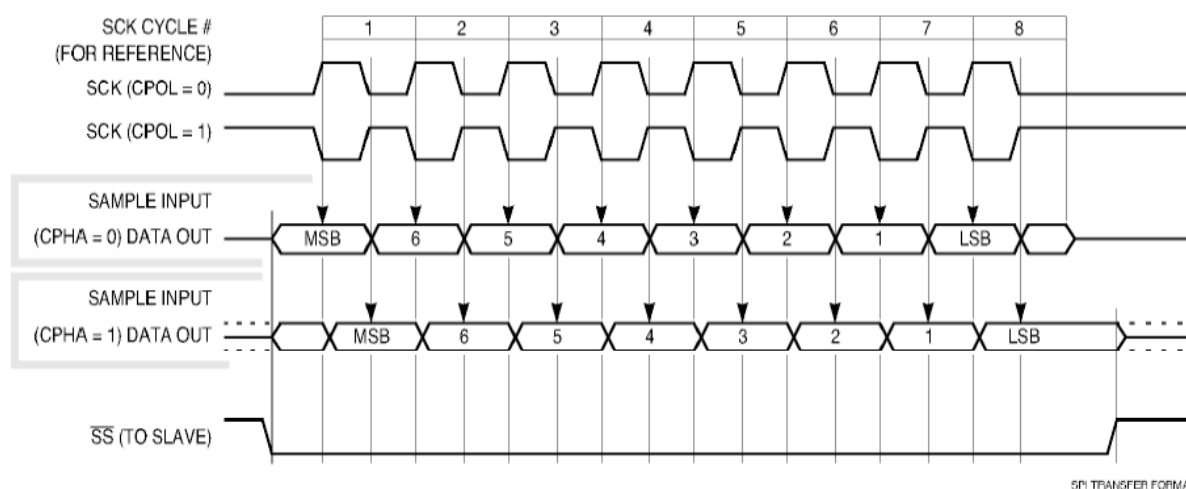


Figura 2-18 – Relação entre sinal de *clock* e envio de dados no protocolo SPI

Fonte: INTERSIL, 2007

Ao fim das transmissões, o mestre coloca a linha SS em nível alto, encerrando a comunicação com o escravo. Enquanto inativos, os escravos conectados no barramento SPI mantêm suas saídas MISO em estado de alta impedância, não interferindo na comunicação (MOTOROLA, s/d).

2.5.4 Módulo para registro de dados

O módulo para registro de dados (*data logging shield*) é um *shield* para ser utilizado com o Arduino e é composto por dois módulos: relógio em tempo real (RTC) e um leitor/gravador de cartão SD, ilustrado na Figura 2-19. Este módulo é utilizado no nó central da plataforma para armazenamento das leituras feitas pelos nós sensores e transmitidas para o nó central.

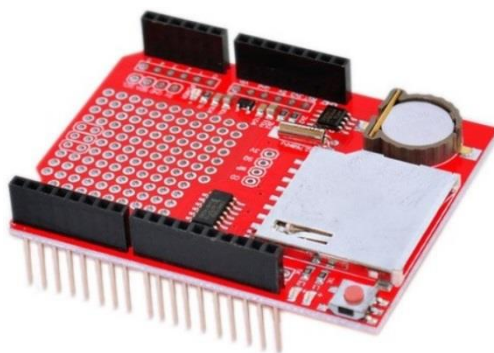


Figura 2-19 - *Data logging shield*

A função do módulo RTC é informar ao Arduino, quando requisitado, a data (dia, mês e ano) e o horário (hora, minuto e segundo) do momento da requisição. Este módulo possui uma bateria de lítio de 3 V acoplada a ele, de modo que as informações de tempo não são perdidas, a menos que esta bateria esgote ou seja removida. O módulo RTC se comunica com o Arduino por meio do protocolo I²C. Para tanto, faz-se necessário o uso de duas bibliotecas no desenvolvimento dos programas: `RTClib.h`, e `Wire.h`. Estas bibliotecas possuem código-fonte aberto e estão disponíveis em diversos *sites* e comunidades sobre Arduino na Internet (MCROBERTS, 2011).

Cartões SD representam uma forma simples e barata de armazenamento de dados, tratando-se de uma memória do tipo não-volátil. O módulo de cartão SD se comunica com o Arduino por meio do protocolo SPI. Para tanto, faz-se necessário o uso de duas bibliotecas no desenvolvimento dos programas: `SPI.h` e `SD.h`. Estas bibliotecas possuem código-fonte aberto e estão disponíveis em diversos *sites* e comunidades sobre Arduino na Internet, inclusive já estão inclusas nas versões mais recentes do software Arduino IDE (MCROBERTS, 2011).

2.5.5 Modem GSM/GPRS

A variedade de modems GSM/GPRS disponíveis para utilização em circuitos com microcontroladores era limitada, devido a não padronização das conexões envolvidas e características mecânicas do projeto. A plataforma Arduino, por ser aberta, possibilitou aos fabricantes produzirem modems como *shields* para esta plataforma.

O *GPRS shield*, ilustrado na Figura 2-20 é compatível com Arduino Uno ou Mega e é baseado no módulo SIM900, da SIMCom. Esse modelo é utilizado no núcleo central da plataforma para envio das leituras efetuadas pelos nós sensores para um servidor WEB.

O *GPRS shield* permite a comunicação de uma plataforma como o Arduino com a rede de telefonia celular GSM para a transmissão e recepção de dados de três formas diferentes: SMS (*Short Message Service*), áudio e serviço GPRS (*General Packet Radio Service*).

O módulo SIM900 é um dispositivo *quad band*, operando nas faixas 850/900/1800/1900 MHz, é controlado através de comandos AT e comunica-se com o Arduino através de interface serial padrão UART.



Figura 2-20 – GPRS *shield*

2.6 Redes de sensores sem fio

Redes de sensores sem fio (RSSF) é uma tecnologia emergente que promete sem precedentes a capacidade de monitorar, e eventualmente, controlar o mundo físico. (RUIZ et al., 2003).

É utilizada atualmente em várias áreas, como, militar, médica, segurança, automação industrial, domótica e monitoramento ambiental, sendo esta última associada à pesquisa para modelagem e previsão para diferentes fenômenos (PIEDRA et al., 2013).

Para ABBA ARI et al. (2015) a aplicação das RSSF na área de monitoramento ambiental é utilizada para prevenção de desastres naturais. Também é utilizada no setor militar, área médica, biomédica, veterinária, aviação, segurança automotiva, distribuição de energia e agricultura.

Segundo ALHMIEDAT (2015) o monitoramento ambiental não consiste apenas de uma coleta de dados em diversos pontos, mas também fornecer informações requisitadas por cientistas, planejadores e fiscalizadores para habilitá-los a tomar decisões de gerenciamento da utilização de recursos naturais e medidas de proteção ao meio ambiente.

Redes de sensores sem fio, em geral, consistem de um grande número de dispositivos de baixo custo, denominados nós sensores, distribuídos sobre uma região de interesse e que se comunicam com um ou mais nós concentradores. Os nós sensores são constituídos por um processador, memória e sensores, e são geralmente alimentados por baterias. O componente lógico de um nó sensor é o software que é executado em sua unidade computacional. (RUIZ et al., 2003)

A rápida evolução dos sistemas micro-eleto-mecânicos (MEMS) tem contribuído para o desenvolvimento de nós sensores com pequenas dimensões, mas essa limitação de tamanho impõe enormes restrições em seus recursos: limitação na quantidade de energia; capacidade reduzida de computação; capacidade limitada de memória, limitação na distância de comunicação e na banda de comunicação. Essas limitações levam a alguns problemas na arquitetura de rede como, qualidade do serviço (QoS), cobertura, segurança e tolerância a falhas (ABBA ARI et al., 2015).

Segundo ABBA ARI et al. (2015) existem vários tipos de redes de sensores sem fio. As redes terrestres possuem centenas ou milhares de sensores dispostos

randomicamente em uma determinada área para monitoramento ambiental e sua principal preocupação é o gerenciamento de energia. As redes subterrâneas são utilizadas para monitoramento do solo na agricultura e na mineração. Neste tipo de rede os nós sensores possuem alto custo e um nó sobre a terra é responsável por capturar os dados enviados pelos nós subterrâneos e enviá-los a uma estação base. As redes subaquáticas possuem nós sensores com custos maiores que os nós sensores terrestres e este ambiente hostil desfavorece a comunicação com banda limitada, recorrentes perdas de sinais, atrasos de propagação e problemas com sincronismo. As redes multimídias são utilizadas em monitoramento em tempo real utilizando imagens, vídeos e som. Os sensores são equipados com câmeras e microfones, necessitam de uma grande largura de banda e conseqüentemente possuem alto consumo de energia. Um tipo mais recente é a rede móvel onde os nós são capazes de se reposicionarem e automaticamente organizar a rede. Redes híbridas compostas de nós móveis e fixos também são utilizadas.

Em relação à arquitetura da rede, ABBA ARI et al. (2015) define dois principais tipos: plana e hierárquica. Na arquitetura plana, ilustrada na Figura 2-21, com exceção do nó *sink*, todos os outros nós da rede possuem a mesma capacidade em termos de energia e processamento. A comunicação entre os nós sensores e o nó *sink* é realizada em um único enlace ou através de múltiplos enlaces.

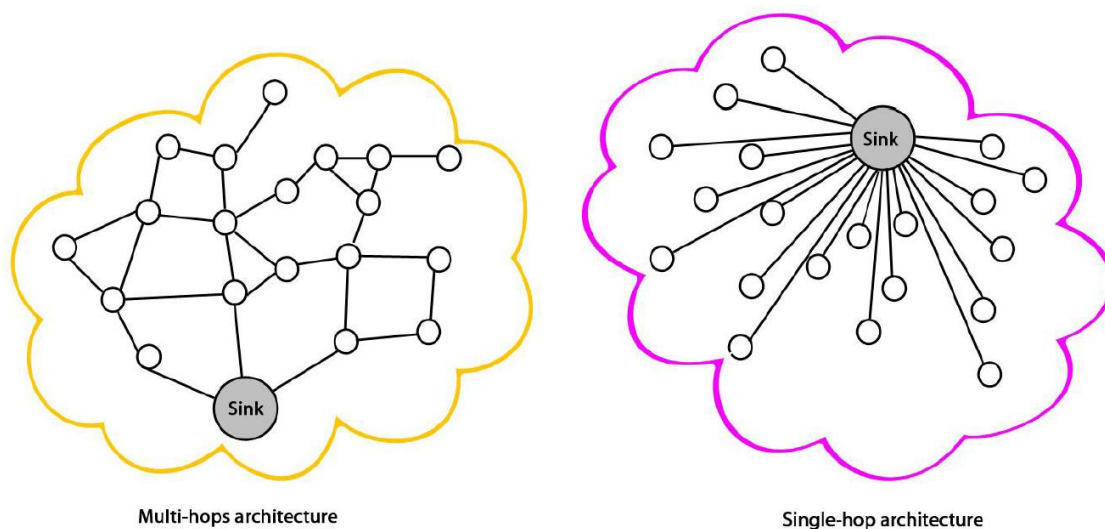


Figura 2-21 – Rede de sensores sem fio com arquitetura plana
Fonte: ABBA ARI et al., 2015

A simplicidade apresentada nesta arquitetura apresenta baixa latência na comunicação, mas a medida que a rede se torna mais densa, problemas no escalonamento de rotas podem aparecer. A arquitetura hierárquica, ilustrada na Figura 2-22, é utilizada para implantação de um grande número de nós sensores. A rede é dividida em vários grupos onde um dos nós é designado como coordenador do grupo que recebe os dados dos nós sensores deste grupo e os transmite ao nó *sink* da rede. Nesta arquitetura temos uma redução na transmissão de dados na rede, mas devido a densidade da rede, poderemos ter maior consumo de energia e latência na comunicação.

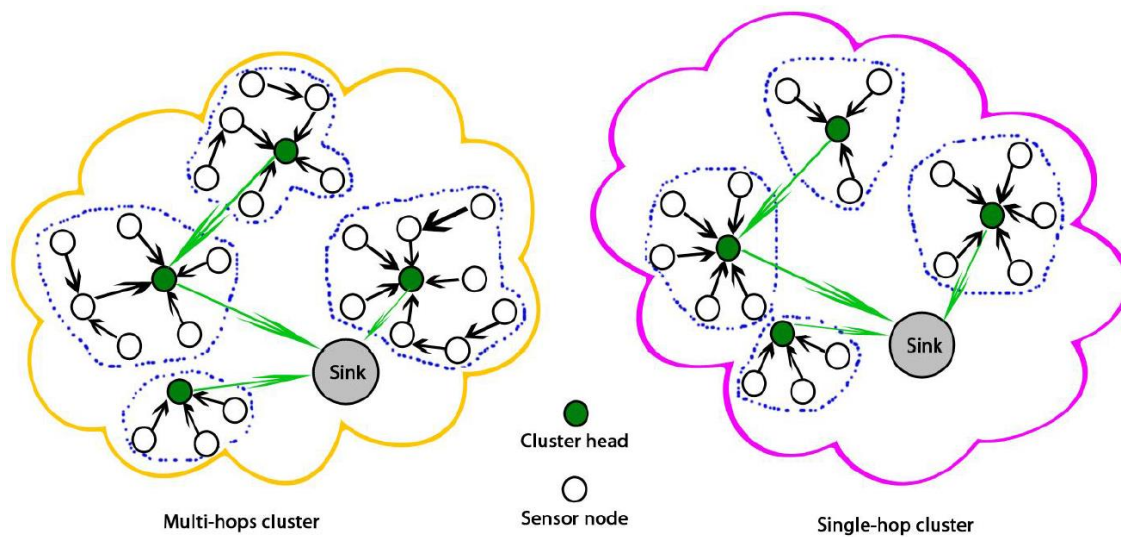


Figura 2-22 – Rede de sensores sem fio com arquitetura hierárquica
Fonte: ABBA ARI et al., 2015

Quanto aos serviços oferecidos, ABBA ARI et al. (2015) divide em provisionamento e gerenciamento de controle dos nós. O serviço de provisionamento consiste da cobertura da rede, número e disposição ideal dos nós para atender uma determinada aplicação e localização, utilizando o sistema de posicionamento global (GPS) ou a utilização de nós âncoras que conhecendo sua localização auxilia os nós vizinhos a ele a se localizarem. Em relação ao gerenciamento e controle de nós ABBA ARI et al. (2015) salienta as questões de sincronização da rede, a utilização de algoritmos de compressão de dados, algoritmos de agregação de dados e a questão da segurança dos dados e da rede.

A sincronização permite a realização de atividades executadas por nós diferentes ao mesmo tempo e é muito importante para o roteamento e diminuição do consumo de energia. A utilização de algoritmos de compressão e agregação de dados permite a

redução na quantidade de dados a serem transmitidos, minimizando os tempos de transmissão e consumo de energia. Algoritmos para manter a segurança dos dados e da rede são de implementação complexa devido a limitações de recursos dos nós da rede, mas protocolos para esta finalidade existem e devem ser implementados para evitar o comprometimento dos dados coletados pela rede.

Pelo fato de muitas vezes operarem em ambientes hostis, sujeitos as variações climáticas ou ataque de animais, as redes de sensores sem fio estão sujeitas a falhas pela perda de nós da rede. Para ABBA ARI et al. (2015) a rede deverá estar apta a suprir a falta de algum nó da rede, encontrando um novo escalonamento na rede, implementado nos protocolos de roteamento e de transporte, detectando a falha e tratando-a de maneira a minimizar os efeitos dela.

As tecnologias e aplicações das redes de sensores sem fio estão em constante desenvolvimento. Muitos trabalhos são apresentados no sentido de obter uma rede de sensores sem fio que atendam aos requisitos em suas aplicações, mas muitos problemas ainda necessitam de melhoramentos como segurança, localização e roteamento eficiente para menor consumo de energia ainda permanecem abertos. Soluções baseadas em algoritmos bio-inspirados poderiam fornecer boas soluções para um bom gerenciamento de uma rede de sensores sem fio (ABBA ARI et al. 2015).

A rede de sensores sem fio utilizada nesse trabalho utiliza o protocolo ZigBee para as camadas de rede e de aplicação, conforme descrito no item a seguir.

2.6.1 Protocolo ZigBee

O protocolo de comunicação ZigBee é utilizado no desenvolvimento de redes de sensores sem fio (RSSF) devido a seus módulos apresentarem baixo custo, pequeno porte, segurança, confiabilidade, operarem em frequência aberta e, principalmente, baixo consumo de energia. Quando o módulo ZigBee não está transmitindo ou recebendo informação, este entra em modo *sleep*, ou dormência, reduzindo drasticamente seu consumo. É possível que em determinadas aplicações do ZigBee, como módulos sensores remotos alimentados por pilhas ou baterias, estas fontes de alimentação durem meses ou até mesmo anos (FALUDI, 2011). O Quadro 2-8 traz um comparativo entre as tecnologias de comunicação sem fio mais utilizadas atualmente.

A tecnologia ZigBee é baseada no padrão IEEE 802.15.4 e foi desenvolvida pela ZigBee Alliance, um consórcio formado por grandes empresas de tecnologia, entre elas Philips, Bosch, Motorola, Freescale e Siemens. Dentre as áreas de aplicação desta tecnologia, destacam-se automação residencial e predial, monitoramento hospitalar, monitoramento e controle industrial (SANTOS, 2009).

Quadro 2-8 – Comparação entre algumas tecnologias de comunicação sem fio

	ZigBee e 802.15.4	GSM/GPRS CDMA	802.11	Bluetooth
Aplicação Principal	Monitoramento e controle de processos	Transmissão de dados e voz em grandes áreas	Internet de alta velocidade	Conectividade entre dispositivos
Autonomia	Anos	1 semana	1 semana	Semanas
Taxa de transferência	250 kbps	Até 128 kbps	11 Mbps	720 kbps
Alcance Típico	Mais de 100 m	Alguns km	50 a 100 m	10 a 100 m
Vantagens	Baixo consumo de potência e custo reduzido	Infraestruturas já existentes	Altas velocidades	Versatilidade na ligação entre dispositivos

Fonte: Santos, 2009.

O padrão IEEE 802.15.4 define as camadas Física e de Controle de Acesso ao Meio (MAC) para redes pessoais sem fio de baixa taxa de transmissão (LR-WPAN), enquanto que o ZigBee define as camadas de Rede e de Aplicação (BARONTI et al., 2007). A Figura 2-23 ilustra a estrutura de camadas do protocolo ZigBee.

O ZigBee trabalha na frequência ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), sendo de 868 MHz (1 canal), 915 MHz (10 canais) e 2,4 GHz (16 canais). Esta frequência de operação é livre e não requer nenhum tipo de licença. Independente da frequência de transmissão, o ZigBee utiliza o método de acesso DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*). Uma rede ZigBee é capaz de hospedar mais de 65000 dispositivos, com taxas de transferência variando de 20 kbps a 250 kbps (SOMANI, 2012). Outras especificações da camada física estão apresentadas no Quadro 2-9.

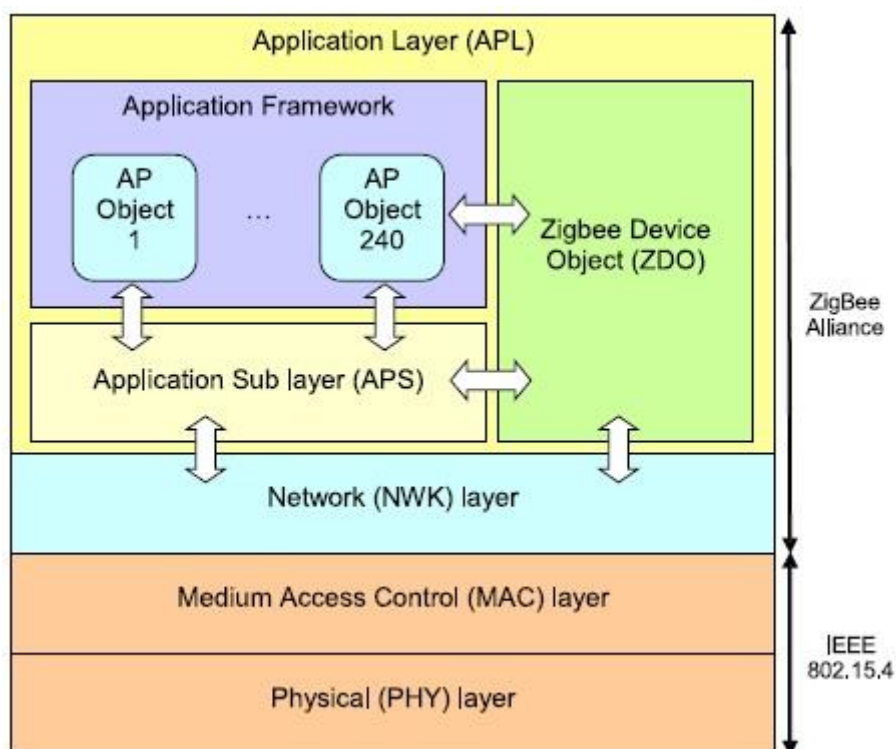


Figura 2-23 – Arquitetura das camadas funcionais da tecnologia ZigBee

Fonte: BARONTI et al., 2007

Em uma rede ZigBee há dois tipos de dispositivos, definidos pela camada MAC: FFD (Dispositivo de Funções Completas) e RFD (Dispositivo de Funções Reduzidas).

Quadro 2-9 – Especificações da camada física do ZigBee

	2,4 GHz	915 MHz	868 MHz
Taxa de dados bruta	250 kbps	40 kbps	20 kbps
Número de canais	16	10	1
Modulação	O-QPSK	BPSK	BPSK
Chips de sequência de pseudo-ruído	32	15	15
Bit por símbolo	4	1	1
Período do símbolo	16 μ s	24 μ s	49 μ s

Fonte: BARONTI et al., 2007.

Os FFDs são equipados com um pacote completo de funções referentes à camada MAC, permitindo que estes possam atuar na rede como coordenadores, roteadores ou dispositivos finais. Desta forma, um FFD pode comunicar-se com

qualquer dispositivo da rede. Já os RFDs são equipados apenas com as funções básicas, limitando-os a atuarem apenas como dispositivos finais e comunicarem-se apenas com FFDs (SOMANI, 2012).

Já em relação à camada de rede, os dispositivos que compõem uma rede ZigBee são classificados em três tipos: coordenador, roteador ou dispositivo final. Um dispositivo final corresponde a um RFD ou FFD atuando simplesmente como um dispositivo sensor ou atuador. Um roteador é um FFD com capacidade de rotear a comunicação entre nós da rede, permitindo que o coordenador se comunique com um nó que esteja fora de seu alcance direto. O coordenador é único em uma rede ZigBee e trata-se de um FFD com habilidades de gerenciamento da rede, como endereçar os dispositivos que entram na rede e controlar o tráfego de dados (BARONTI et al., 2007).

Uma rede ZigBee pode ser implementada utilizando três diferentes topologias: estrela (*star*), árvore (*cluster tree*) e malha (*mesh*). A topologia em estrela é a mais simples, onde não há nós roteadores, apenas o coordenador se comunicando diretamente com os dispositivos finais. Na topologia em árvore há nós roteadores interligando os dispositivos finais ao coordenador, porém a rota da comunicação entre um dispositivo e o coordenador é fixa, seguindo uma hierarquia. A topologia em malha é semelhante à topologia em árvore, porém a rede é capaz de se auto organizar, podendo alterar as rotas de forma a otimizar a comunicação e facilmente abranger maiores áreas (BARONTI et al., 2007). A Figura 2-24 ilustra as possíveis topologias a se trabalhar com redes ZigBee.

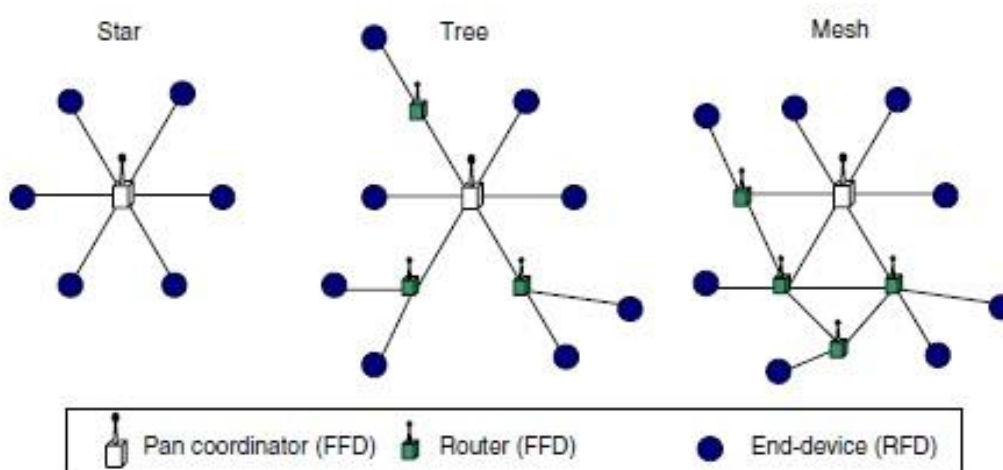


Figura 2-24– Topologias de rede no ZigBee
Fonte: BARONTI et al., 2007

2.6.2 Módulo XBee® PRO S3

O módulo XBee® PRO S3B é um transceptor sem fio desenvolvido pela Digi International Inc. para operar com o protocolo ZigBee, fornecendo os recursos necessários para se formar uma robusta rede de sensores sem fio (RSSF) de baixo consumo e baixo custo. Opera na frequência entre 902 a 928 MHz com potência máxima de 250 mW (24 dBm) a uma taxa de transmissão de 200 kbps com alcance de até 6,5 km ou 10 kbps com alcance de 15,5 km. É alimentado com tensão de 3,3 V e seu consumo é de 215 mA transmitindo (potência máxima), 29 mA em espera ou recebendo dados e de 2,5 μ A em modo *sleep* (DIGI, 2014).

Assim como outros dispositivos que trabalham com radiofrequência, o módulo XBee® PRO S3B possui um conector tipo RPSMA para a conexão de uma antena externa diretamente ao conector ou através de cabo coaxial padrão RG58. Fisicamente, o XBee® é um módulo do tipo DIP que apresenta 20 pinos com espaçamento de 2 mm. Suas dimensões físicas são 32,9 mm x 24,4 mm x 5,46 mm e está ilustrado na Figura 2-25.

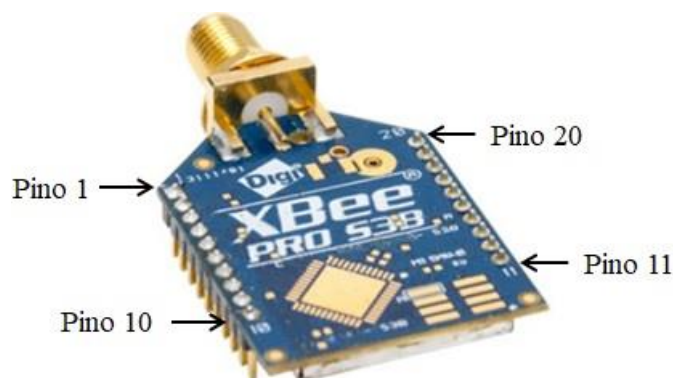


Figura 2-25 – Módulo XBee® PRO S3B
Fonte: DIGI, 2014

Os únicos pinos que obrigatoriamente devem ser conectados são VCC, GND, DOUT e DIN. Os demais podem ser mantidos desconectados, havendo ainda a opção de polarizar as entradas com resistores internos *pull-up* ou *pull-down*, por meio de uma simples configuração via *software* (DIGI, 2014).

O Quadro 2-10 exibe as funções de cada pino do módulo XBee®, enquanto que a Figura 2-25 ilustra a distribuição destes pinos no módulo.

Quadro 2-10 – Pinagem dos módulo XBee®-PRO S3B

Pin #	Name	Direction	Default state	Description
1	VCC			Power supply
2	DOUT/DIO13	Both	Output	GPIO/UART data out
3	DIN/CONFIG /DIO14	Both	Input	GPIO/UART data in
4	DIO12/SPI_ MISO	Both	Output	GPIO/SPI slave out
5	RESET	Input		Device reset. Drive low to reset the device. This is also an output with an open drain configuration with an internal 20 k Ω pull-up (never drive to logic high, as the device may be driving it low). The minimum pulse width is 1 mS.
6	DIO10/PWM0	Both		GPIO/RX signal strength indicator
7	DIO11/PWM1	Both		GPIO/pulse width modulator
8	Reserved		Disabled	Do not connect
9	DTR/SLEEP_ RQ/DIO8	Both	Input	GPIO/pin sleep control line (DTR on the development board)
10	GND			Ground
11	DIO4/SPI_ MOSI	Both		GPIO/SPI slave in
12	CTS/DIO7	Both	Output	GPIO/clear-to-send flow control
13	ON_SLEEP /DIO9	Output	Output	GPIO/module status indicator
14	VREF	Input		Internally used for the programmable secondary processor. For compatibility with other XBee devices, we recommend connecting this pin to the voltage reference if you desire analog sampling. Otherwise, connect to GND.
15	Associate/DIO5	Both	Output	GPIO/associate indicator
16	RTS /DIO6	Both	Input	GPIO/request-to-send flow control
17	AD3/DIO3/SPI_ SSEL	Both		GPIO/analog input/SPI slave select
18	AD2/DIO2/SPI_ CLK	Both		GPIO/analog input /SPI clock
19	AD1/DIO1/SPI_ ATTN	Both		GPIO/analog input /SPI attention
20	AD0/DIO0	Both		GPIO/analog input

Fonte: DIGI, 2014

O módulo XBee® PRO S3B se comunica com outro dispositivo a ele conectado através de uma porta serial de nível lógico assíncrona, podendo assim se comunicar com qualquer UART compatível. Esta comunicação serial pode ser configurada para operar de dois modos distintos: modo transparente e modo API (DIGI, 2014).

Quando operando no modo transparente, toda a informação que chega ao XBee® PRO S3B pela porta serial é transmitida sem nenhuma alteração, como se fosse

uma conexão via cabo. Neste modo é possível alterar configurações do módulo XBee® PRO S3B enviando comandos AT através da porta serial.

Já no modo API (*Application Programming Interface*), a comunicação é feita com envio e recebimento de pacotes de dados (*frames*), que além de conter a informação desejada, contém algumas outras informações úteis, como endereço do remetente/destinatário. Este modo de operação é recomendado quando deseja-se montar uma rede de sensores sem fio, onde um módulo pode receber informações de múltiplos módulos e ser capaz de saber qual módulo enviou cada informação (DIGI, 2012). A estrutura do pacote de dados é apresentada na Figura 2-26.

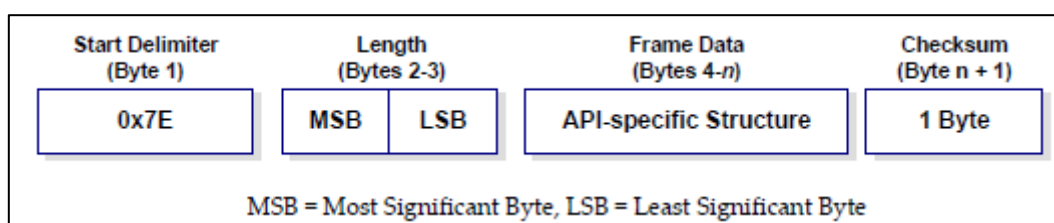


Figura 2-26 – Pacote de dados enviado pelo XBee® modo API
Fonte: DIGI, 2012

A configuração do módulo XBee® PRO S3B é realizada por meio do *software* XCTU, ilustrado na Figura 2-27, disponibilizado gratuitamente pela Digi. Por meio do *software* é possível encontrar todos os módulos que compõem uma rede, ler e alterar as configurações dos parâmetros e atualizar seu *firmware* (DIGI, 2012).

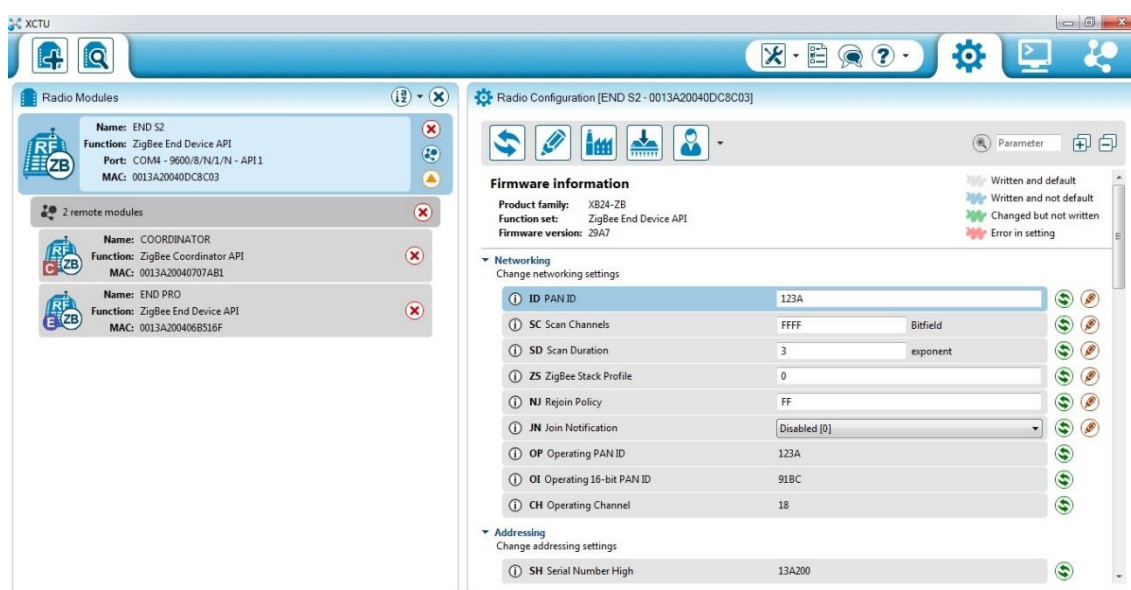


Figura 2-27 – Configuração de módulos XBee® através do *software* XCTU.

Para conectar o módulo XBee® ao computador, faz-se necessário o uso de uma placa complementar, chamada de XBee® Explorer, visto na Figura 2-28, à qual o XBee® é acoplado e conecta-se ao computador por meio de uma conexão USB (FALUDI, 2011).



Figura 2-28 – XBee® Explorer
Fonte: SPARKFUN, s/d

Para conectar o módulo XBee® ao Arduino Mega, é utilizada uma placa complementar chamada XBee® *shield*, que é acoplada sobre o Arduino Mega e então o módulo XBee® é acoplado nesta *shield*, que pode ser vista na Figura 2-29. O módulo XBee® envia as informações para o Arduino por meio de uma comunicação serial, utilizando portas Rx e Tx. Para o recebimento das informações pelo Arduino, utiliza-se no programa funções de manipulação da porta serial, da mesma forma como é feito para comunicar o Arduino com o computador via conexão USB (FALUDI, 2011).



Figura 2-29 – Placa complementar XBee® *shield* para Arduino
Fonte: Dealextrême, s/d

2.7 Cálculo do enlace em radio frequência

O enlace por meio de ondas de rádio é um meio de transmissão de informações, que pode ser voz ou dados, que utiliza ondas eletromagnéticas em determinada frequência emitidas por meio uma antena transmissora, propaga no espaço até a antena receptora (PIAU, 2014).

A elaboração de um projeto de dimensionamento de enlace de rádio possui alguns pré-requisitos, entre os quais a distância e a frequência, são fundamentais no desempenho do enlace.

Além da distância entre as antenas e da frequência do sinal, componentes como cabos e conectores também contribuem para atenuação do sinal. Já as antenas, dependendo do tipo, possibilitam ganho de sinal, para compensar essas atenuações.

Para determinar o nível de sinal recebido pelo receptor, em um enlace de rádio, é utilizada a fórmula de Friis, conforme a equação 1:

$$P_r = P_t + G_t + G_r - A_{el} - A_w - A_c \quad (1)$$

Onde:

- P_r = potência recebida (dBm)
- P_t = potência transmitida (dBm)
- G_t = ganho da antena transmissora (dBi)
- G_r = ganho da antena receptora (dBi)
- A_{el} = atenuação no espaço livre (dB)
- A_w = atenuação por utilização de cabos (dB)
- A_c = atenuação por utilização de conectores (dB)

A atenuação no espaço livre é calculada em função da distância em km e da frequência do sinal em MHz, conforme a equação 2:

$$A_{el} = 32,4 + 20 \cdot \log(d) + 20 \cdot \log(f) \quad (2)$$

O ganho da antena transmissora e receptora, assim como a atenuação por cabos e conectores são obtidos de acordo com os componentes utilizados em cada enlace.

2.8 Baterias recarregáveis

Baterias são dispositivos que armazenam energia na forma de compostos eletroquimicamente ativos que pode ser convertida em energia elétrica em processo denominado descarga. No processo de carga, a conversão acontece em sentido oposto, isto é, converte-se energia elétrica em energia química. É formada basicamente por dois eletrodos (placas positiva e negativa) separados fisicamente por um material isolante elétrico, porém, condutor iônico (separador) e, mergulhados ou envolvidos por um eletrólito (ROSOLEM, 2012).

Durante o processo de descarga, a energia química armazenada nos eletrodos é convertida em energia elétrica por meio das reações de oxidação/redução dos materiais ativos das placas. Durante o processo de carga, é necessário fornecer energia elétrica para a conversão inversa, isto é, transformar os materiais gerados na descarga nos produtos eletroquimicamente ativos originais (NAZRI e PISTOIA, 2009).

A bateria a base de lítio é um dos tipos de acumuladores de energia que têm recebido maior atenção e investimentos por conta de suas elevadas densidades de potência e de energia. Dentre suas aplicações, destacamos a sua utilização em equipamentos portáteis como *tablets*, telefones celulares e computadores, e tem sido muito estudada para utilização em veículos elétricos.

A bateria INR18650-25R fabricada pela Samsung é do tipo íon de lítio recarregável com capacidade de carga de 2500 mAh, tensão nominal de 3,6 V. Quando totalmente carregada, a tensão em seus polos pode atingir 4,2 V e o fabricante recomenda que o processo de descarga seja interrompido quando a tensão atingir 2,5 V. Possui formato cilíndrico com 64,85 mm de comprimento e 18,33 mm de diâmetro e está ilustrado na Figura 2-30 (SAMSUNG, 2014). Esse modelo de bateria é utilizado para alimentação do circuito dos nós sensores da plataforma.



Figura 2-30 – Bateria Samsung INR18650-25R

A bateria modelo UP1270E fabricada pela Unipower é uma bateria estacionária com capacidade de carga de 7 Ah e tensão nominal de 12 V. Suas dimensões são: comprimento de 151 mm, largura de 65mm e altura de 100mm. Possui peso de 2,1 kg e está ilustrada na Figura 2-31. Esse modelo de bateria é utilizado para alimentação do circuito do nó central da plataforma.



Figura 2-31 – Bateria Unipower modelo UP1270E

2.9 Pannel fotovoltaico

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida da conversão direta da luz em eletricidade (efeito fotovoltaico), sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, a unidade fundamental desse processo de conversão. Dentre as tecnologias aplicadas na fabricação das células e módulos fotovoltaicos, a que utiliza o silício monocristalino e o silício policristalino em seu processo produtivo, é a mais utilizada. Por ser considerada uma tecnologia consolidada e confiável, além de oferecer a melhor eficiência, representa 85% do mercado (PINHO e GALDINO, 2014).

Dispositivos fotovoltaicos podem ser associados em série ou em paralelo de forma a se obter os níveis de tensão e corrente desejados. Na associação em série de dispositivos idênticos expostos à mesma irradiação, as tensões são somadas e a corrente não é afetada. Na associação em paralelo de dispositivos idênticos, as correntes são somadas, permanecendo a tensão inalterada. Não se aconselha a associação de dispositivos fotovoltaicos com especificações diferentes, pois podem causar superaquecimento (PINHO e GALDINO, 2014).

O painel modelo JY fabricado pela Buhesui é do tipo policristalino, formado por 18 células, com tensão nominal de operação de 9 V e potência de 2W. Possui dimensões de 115 mm de comprimento por 115 mm de largura e espessura de 2 mm e é ilustrado na Figura 2-32. Esse painel é utilizado para a alimentação dos nós sensores da plataforma.



Figura 2-32 – Painel JY da Buhesui

O painel modelo SW4018 fabricado pela Elegeek é do tipo policristalino com tensão nominal de operação de 18 V, potência de 4,2 W e eficiência entre 15 e 17%. Suas dimensões são 200 mm de comprimento, 130 mm de largura e 2 mm de espessura e está ilustrado na Figura 2-33. Esse painel é utilizado para a alimentação do nó central da plataforma.



Figura 2-33 – Painel modelo SW4018 da Elegeek

Para um melhor aproveitamento da conversão de um painel fotovoltaico, esses devem estar posicionados de acordo com a localidade onde são instalados. O programa

Sundata, disponibilizado pelo Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB, 2018), calcula a inclinação que oferece melhor rendimento, inserindo a coordenada geográfica dessa localidade.

Para a cidade de Maringá, com latitude de 23° 25' 31" sul (-23,4273) e longitude 51° 56' 19" oeste (-51,9375), a inclinação que oferece a maior média anual é de 20° com a face voltada para o norte geográfico, conforme indicado na Figura 2-34.

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Maringa
Município: Maringa , PR - BRASIL
Latitude: 23,401° S
Longitude: 51,949° O
Distância do ponto de ref. (23,4273° S; 51,9375° O): 3,2 km

#	Ângulo	Inclinação
<input type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N
<input type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	23° N
<input type="checkbox"/>	Maior média anual	20° N
<input type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	37° N

Figura 2-34 – Posição do painel solar

2.10 Gráficos *Boxplot*

Em 1977, John Tukey publicou uma proposta que posteriormente foi reconhecida como sendo um eficiente método para mostrar cinco números que sumarizam qualquer conjunto de dados. O gráfico proposto é chamado de *Boxplot* (também conhecido como *box and whisker plot*).

O *Boxplot* ou gráfico de caixas é um gráfico estatístico que possibilita representar a distribuição de um conjunto de dados com base nos seguintes parâmetros descritivos (Capela, 2011): valor mínimo, primeiro quartil, mediana ou segundo quartil, terceiro quartil e valor máximo.

A Figura 2-35 ilustra um gráfico *Boxplot*, onde a linha central da caixa marca a mediana do conjunto de dados e a amplitude interquartílica (AIQ) que é igual ao (3° quartil – 1° quartil). A parte inferior da caixa é delimitada pelo 1° quartil e a parte superior pelo 3° quartil.

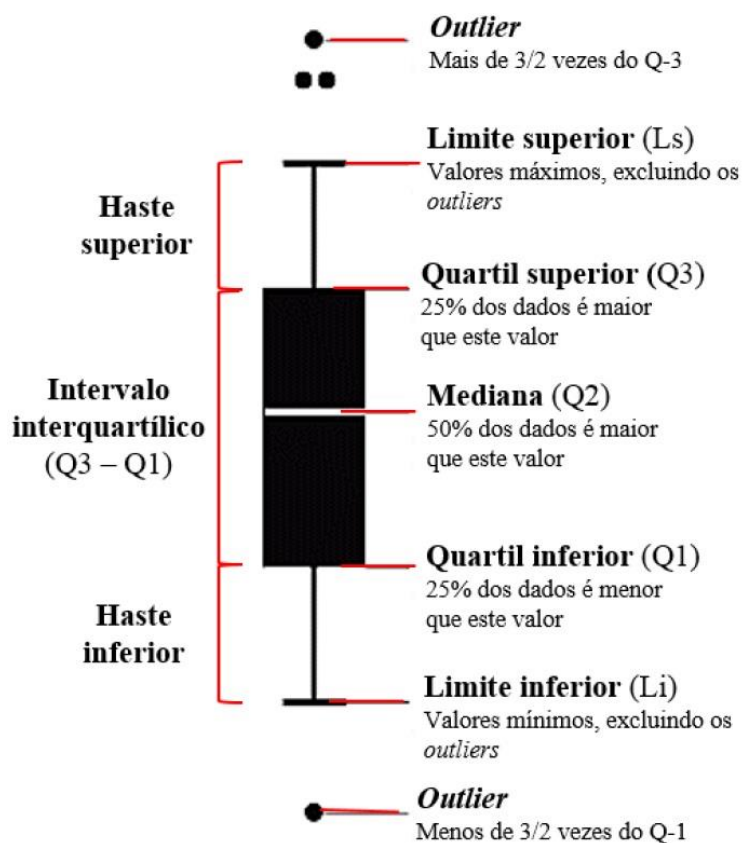


Figura 2-35 – Gráfico *Boxplot* (Valladares Neto *et al.*, 2017)

As hastes inferiores e superiores se estendem, respectivamente, do quartil inferior até o menor valor não inferior a $(1o\ quartil) - (1,5AIQ)$ e do quartil superior até o maior valor não superior a $(3o\ quartil) + (1,5AIQ)$. As quantidades $(1o\ quartil) - (1,5AIQ)$ e $(3o\ quartil) + (1,5AIQ)$ delimitam, respectivamente, as cercas inferior e superior e constituem limites para além dos quais os dados passam a ser considerados *outliers*.

A existência de *outliers*, valores extremamente altos ou extremamente baixos, pode indicar tanto dados incorretos como dados válidos que carecem de uma atenção especial. Dependendo do objetivo pode ser que justamente os *outliers* sejam os pontos de interesse da análise.

O *Boxplot* permite avaliar a simetria dos dados, sua dispersão e a existência ou não de *outliers*, sendo especialmente adequado para a comparação de dois ou mais conjunto de dados correspondentes às categorias de uma variável.

2.11 Conclusões

A utilização da plataforma Arduino traz muitas vantagens na montagem do protótipo, pois além de evitar a montagem de circuitos complexos em protoboards, encontramos uma grande variedade de *shields* e *bricks* compatíveis com esta plataforma. Possui um ambiente de desenvolvimento com interface simples e disponibiliza uma grande quantidade de informações em seu site.

O ZigBee é uma tecnologia muito utilizada em projetos de rede de sensores sem fio na atualidade devido as suas características de baixo custo, tamanho reduzido, segurança, confiabilidade e principalmente baixo consumo de energia. A escolha pelos módulos XBee® fabricados pela empresa Digi se deu por estas características e pela facilidade de aquisição no mercado.

3 METODOLOGIA

3.1 Introdução

A plataforma desenvolvida neste projeto realiza a medição da concentração de oxigênio dissolvido em águas de uma microbacia hidrográfica utilizando uma rede de sensores sem fio, composta por três nós sensores e um nó central. Os nós sensores fazem a medição da concentração de oxigênio dissolvido em três locais distintos dessa microbacia hidrográfica e enviam os valores medidos para o nó central. O nó central, por sua vez, recebe os valores enviados pelos nós sensores, armazena em uma unidade de memória não volátil e transmite esses valores para um servidor de dados utilizando a rede de telefonia celular. Os dados armazenados nesse servidor estarão disponíveis para consultas online.

Neste capítulo apresentamos o projeto das partes integrantes da plataforma, descrevendo os componentes utilizados nos circuitos dos nós sensores, nó central e a utilização do servidor de dados do Thingspeak®.

3.2 Configuração dos módulos XBee®

Nessa plataforma, foram utilizados quatro módulos XBee® Pro S3B. Um para cada um dos três nós sensores e um para o nó central. Para atender as necessidades do projeto, alguns dos parâmetros desses módulos foram alterados utilizando-se o utilitário XCTU, da Digi International, fabricante dos módulos XBee®.

O Quadro 3-1 ilustra os parâmetros alterados nos módulos XBee® do nó central e dos nós sensores. As alterações nas configurações realizadas tiveram como objetivo criar uma identidade da rede (**CM Channel Mask**), configurar o rádio para máxima potência (**PL TX Power Level**), configurar o tipo de nó (**CE Rounting/Messaging Mode**), configurar operação no modo API (**AP API Enable**). A configuração para operação em modo *sleep* (**SM Sleep Mode**) foi feita somente para os nós sensores já que o nó central não entra em modo *sleep*. Os demais parâmetros não foram alterados.

Quadro 3-1 – Parâmetros alterados nos módulos XBee®

Parâmetro	XBee® do nó central	XBee® dos nós sensores
CM (Channel Mask)	00FFFFFFFFFFFF7FFFF	00FFFFFFFFFFFF7FFFF
PL (TX Power Level)	Highest [4]	Highest [4]
CE (Routing/Messaging Mode)	Non-Routing Coordinator [3]	Non-Routing Module [2]
AP (API Enable)	API Mode With Escapes [2]	API Mode With Escapes [2]
SM (Sleep Mode)	Normal [0]	Async. Pin Sleep [1]

3.3 Projeto do nó sensor

O nó sensor é composto por um Arduino Pro Mini, um sensor de temperatura (DS18B20), um sensor de O₂ dissolvido, um módulo XBee®, uma antena omnidirecional, um conversor DC-DC, um controlador de carga, um painel solar, uma bateria e está ilustrado na Figura 3-1.

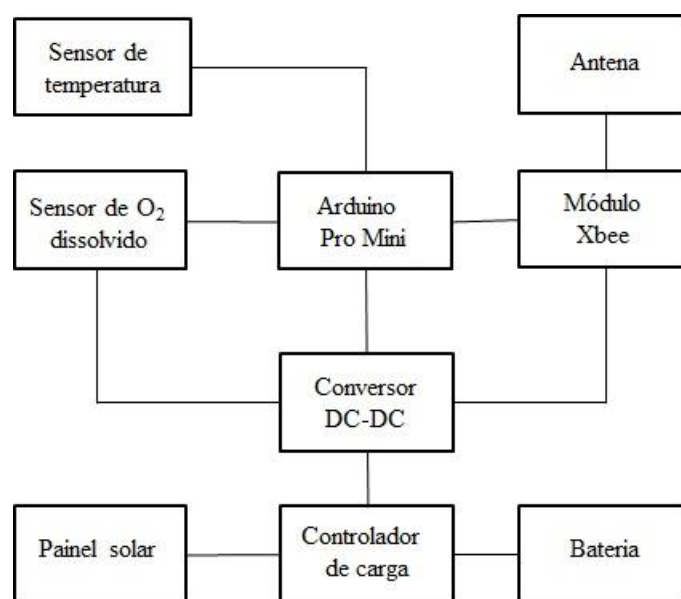


Figura 3-1 – Diagrama de blocos do nó sensor

Para a redução do consumo, foram retirados da placa do Arduino Pro Mini os seguintes componentes: LED indicador de alimentação e o regulador linear de tensão de 3,3 V (K833), conforme indicado na Figura 3-2.

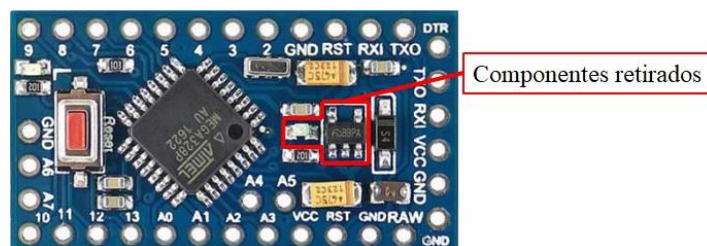


Figura 3-2 – Arduino Pro Mini com indicação dos componentes retirados

Também para contribuir com a redução do consumo do circuito, o módulo XBee® e o sensor de temperatura são colocados em modo *standby* enquanto não estão sendo utilizados.

Para colocar o módulo XBee® em modo *standby*, colocamos o pino 9 (SLEEP_RQ) em nível lógico alto e aguardamos o pino 12 (/CTS) ir a nível lógico alto e o pino 13 (ON//SLEEP) ir a nível lógico baixo. No momento da transmissão dos valores medidos para o nó central, coloca-se o módulo XBee® no modo ativo, colocando o pino 9 (SLEEP_RQ) em nível lógico baixo e aguardamos o pino 12 (/CTS) ir a nível lógico baixo e o pino 13 (ON//SLEEP) ir a nível lógico alto. Essas operações somente são possíveis caso o parâmetro **SM Sleep Mode** esteja configurado como *Async. Pin Sleep* [1], descrito no Quadro 3-1.

O sensor de oxigênio dissolvido da Atlas Scientific também possui recursos para redução do consumo de energia entrando no modo *sleep*. Isto é feito através de envio do comando “Sleep” pela UART, quando o sensor não estiver sendo utilizado para realizar medições de oxigênio dissolvido na água. Para retirar o sensor do modo *sleep*, basta enviar qualquer comando. Também para redução do consumo de energia, o led indicativo foi desabilitado.

A bateria que alimenta o circuito do nó sensor é composta por duas células 18650 em série, que fornece uma tensão total nominal de 7,4 V. Como o Arduino Pro Mini, o sensor de oxigênio dissolvido e o módulo XBee® operam com tensão de alimentação de 3,3 V, um conversor DC-DC chaveado modelo CE019 da Canton Electronics (CANTON, 2018) foi utilizado. Este conversor aceita tensões de entrada entre 5 e 23 V, fornece uma tensão na saída de 3,3 V e corrente máxima de 2 A e está ilustrado na Figura 3-3.

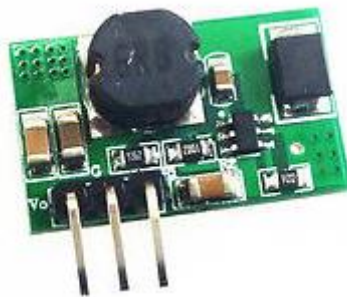


Figura 3-3 – Conversor CE019

O funcionamento do nó sensor consiste em realizar as medições de temperatura, oxigênio dissolvido e tensão de alimentação, e enviá-las ao nó central, como mostrado na Figura 3-4.

Com a finalidade de se eliminar prováveis ruídos que possam ocorrer durante as medições, foi criado um algoritmo para a leitura de temperatura, oxigênio dissolvido e tensão de alimentação. O algoritmo consiste em realizar doze medições em sequência e eliminar o maior e o menor valor medido. Das dez medições restantes, tira-se a média aritmética, obtendo-se assim a medição da grandeza. O tempo para execução desse algoritmo é de vinte e seis segundos para os três parâmetros (tensão de alimentação, temperatura da água e nível de oxigênio dissolvido na água) medidos.

A medição da tensão de alimentação é feita na entrada do conversor DC-DC, onde a tensão é maior que a suportada pela entrada do conversor A/D do Arduino, que é de 3,3 V. A redução da tensão é feita através de um divisor resistivo de tal forma que quando temos 14 V na entrada não regulada, teremos 3,3 V no centro do divisor de tensão.

O tempo em que o circuito fica em *standby* depende da diferença entre a medição atual e anterior do nível de oxigênio dissolvido. Se essa diferença for maior que 2 mg/l, a próxima medição será realizada em 15 minutos. Se a diferença for maior que 1 mg/l e menor ou igual a 2 mg/l, a próxima medição será realizada em 30 minutos. Se a diferença for menor ou igual a 1 mg/l, a próxima medição será realizada em 60 minutos.

Para a geração do tempo de *standby*, é utilizada uma função do Arduino, que o coloca em modo *sleep* por oito segundos. Um contador é inicializado de acordo com a diferença encontrada entre a medida atual e medida anterior, conforme o Quadro 3-2.

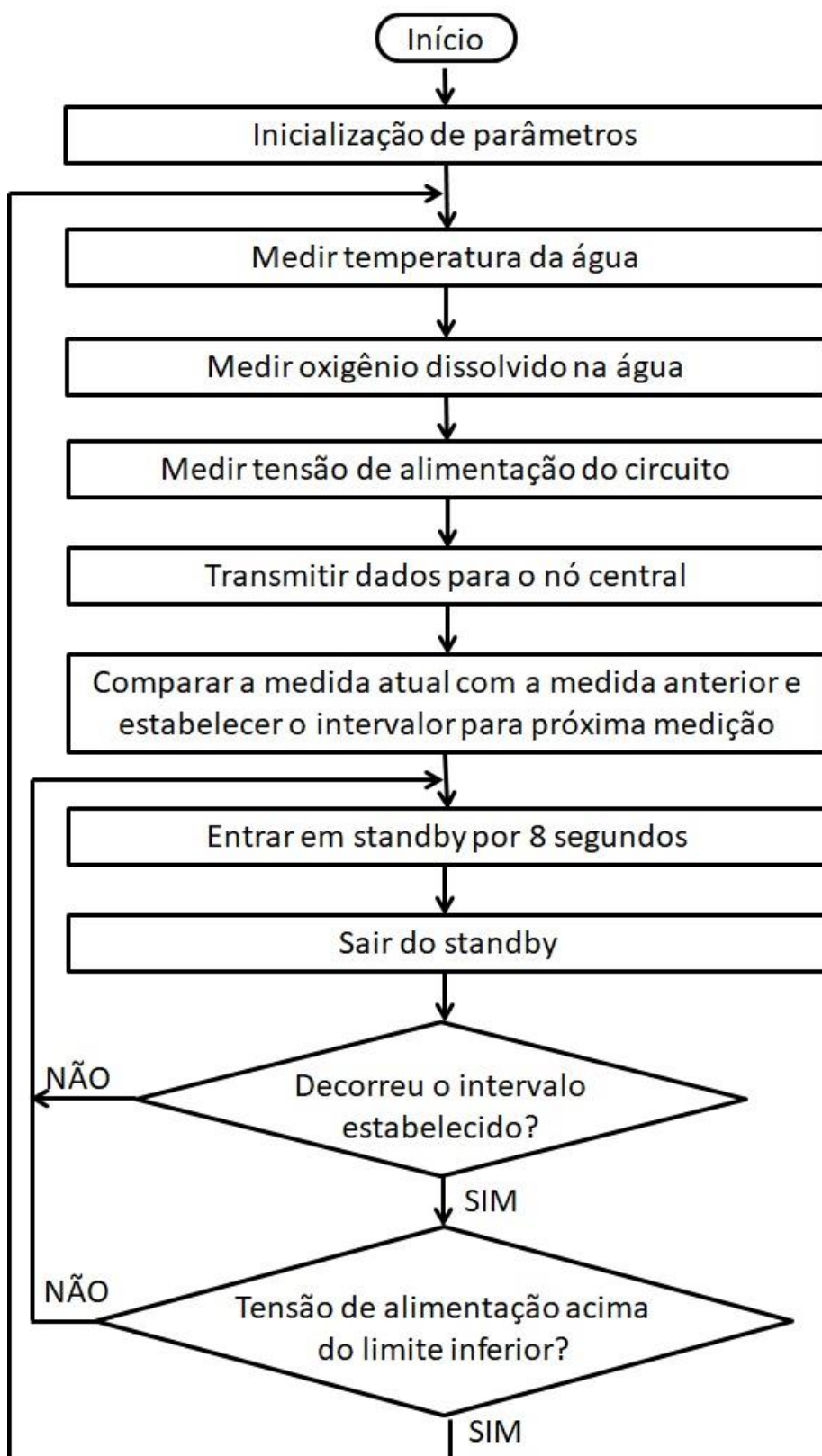


Figura 3-4 – Diagrama de fluxo de funcionamento do nó sensor

Quadro 3-2 – Determinação do intervalo entre medições

Diferença entre media atual e anterior	Intervalo de medição	Valor inicial do contador
diferença > 2 mg/l	15 minutos	101
$2 \geq$ diferença > 1 mg/l	30 minutos	203
diferença \leq 1 mg/l	60 minutos	406

A cada 8 ms o Arduino Pro Mini sai do modo *sleep*, decrementa este contador e testa se o mesmo foi zerado. Se não, retorna ao modo *sleep* por mais 8 ms. Se sim, faz a medição da tensão de alimentação na entrada do conversor DC-DC. Se a tensão for maior ou igual a 6 V, uma nova medição é realizada. Se a tensão for menor que 6 V, retorna ao modo *sleep*, para evitar um descarregamento rápido da bateria, o que não é aconselhada pelo fabricante.

Para determinar a corrente média consumida pelo circuito, foi realizado o levantamento de consumo do circuito nas quatro condições de operação. As leituras de corrente de consumo foram feitas de forma indireta, utilizando-se de um resistor de 10 Ω em série com a linha de alimentação de 3,3 V do circuito, pois o multímetro utilizado não possuía resolução para medição de baixas correntes. O Quadro 3-3 ilustra os valores obtidos da tensão medida sobre o resistor de 10 Ω , a corrente calculada de consumo e o tempo de atividade para cada uma das condições de funcionamento. O tempo de *standby* foi calculado considerando o caso de maior consumo, ou seja, intervalo entre medições de 15 minutos ou 900 segundos.

Quadro 3-3 – Consumo do nó sensor

Condição	Tensão medida (mV)	Corrente calculada (mA)	Tempo (s)
<i>Standby</i>	33,6	3,36	869
Medindo temperatura	62	6,2	9
Medindo oxigênio	156	15,6	17
Transmitindo Xbee®	410	41	5

A carga consumida no intervalo de 15 minutos é calculada fazendo-se a soma dos produtos das correntes de consumo de cada uma das condições multiplicadas pelo tempo de cada uma. Isso nos resulta em uma carga consumida de 3.445,84 mAs. Dividindo o valor obtido pelo tempo de 900 segundos, obtemos a corrente média de consumo de 3,83 mA.

As baterias adquiridas inicialmente foram da marca J.W.S que indicavam em seu corpo, a capacidade de carga de 8800 mAh, ilustrado na Figura 3-5.



Figura 3-5 – Bateria J.W.S

Construiu-se um circuito para determinar a capacidade de carga real dessas baterias, utilizando um Arduino, um *datalogger*, um módulo sensor de tensão e corrente (MAX471), um relé para comutação e um resistor de 15,6 W (como carga para corrente de 230 mA).

Para o teste de descarga, utiliza-se uma bateria totalmente carregada. Ao se dar o início do teste, o relé é acionado de tal forma que a bateria passa a alimentar a carga. A tensão da bateria e a corrente de consumo são medidos a cada minuto e registrados no *datalogger*. Quando a tensão da bateria atingir 3 V, o relé é desligado, cessando a corrente que circula pela carga. Os dados do *datalogger* são lidos em um computador e para cálculo da capacidade da bateria, faz-se a soma dos produtos da corrente medida pelo intervalo de tempo das medidas.

Foi realizado o teste de descarga em seis baterias desse modelo e foi concluído que a capacidade de carga real das baterias eram bem inferiores aos especificados, conforme ilustra o Quadro 3-4.

Quadro 3-4 – Resultado dos testes de descarga das baterias J.W.S

Bateria J.W.S	Capacidade de carga (mAh)
Amostra 1	441
Amostra 2	441
Amostra 3	647
Amostra 4	647
Amostra 5	453
Amostra 6	528

Considerando a capacidade de carga médias dessas seis amostras, obtemos o valor de 526 mAh. Para alimentar o circuito, com consumo de 3,83 mA, teremos uma

autonomia de 137,38 horas ou 5,7 dias. Portanto, um conjunto com duas baterias J.W.S em série é suficiente para alimentar o circuito do nó sensor, visto que a recarga da bateria ocorre com frequência diária pela radiação solar incidente no painel fotovoltaico utilizado na construção do nó sensor.

O dimensionamento do painel solar para o nó sensor deve ser tal que o mesmo reponha a carga que a bateria fornece ao circuito nos períodos em que não há sol. Considerando o consumo do nó sensor de 91,89 mAh durante o período de 24 horas e que a radiação solar está disponível em um período de quatro horas por dia, a corrente de carga fornecida pelo painel solar deverá ser de 22,97 mA. Dessa forma, o painel solar JY fabricado pela Buhesui, que possui corrente máxima de 220 mA, atende às especificações exigidas pelo projeto.

Para a conexão entre painel solar, bateria e circuito, foi utilizado um circuito controlador de carga (BMS – *battery management system*) para duas células de íon de lítio modelo 18650, conforme ilustrado na Figura 3-6.

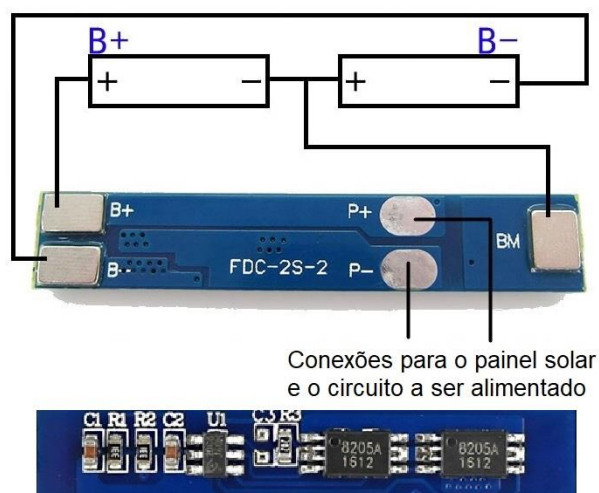


Figura 3-6 – Conexões da placa BMS-2S

A Figura 3-7 ilustra a montagem interna do circuito em uma caixa modelo PB-114/2 TE (PATOLA, 2018) e as conexões para o sensor de oxigênio dissolvido, sensor de temperatura e antena para o módulo XBee®.

Como este gabinete não suporta a operação em ambiente externo, foi construído um novo modelo para o nó sensor utilizando um gabinete da marca Steck, modelo Caixa Light 154x110x70, com grau de proteção IP55, ilustrado na Figura 3-8.

Sensor de O₂
dissolvido

Sensor de
temperatura

Antena do
módulo XBee



Figura 3-7 – Nó sensor montado em gabinete Patola



Figura 3-8 – Nó sensor montado em gabinete Steck

3.4 Projeto do nó central

O nó central recebe as informações dos nós sensores, armazena em memória local não volátil e transmite essas informações para um servidor de dados. O diagrama de blocos do nó central está ilustrado na Figura 3-9.

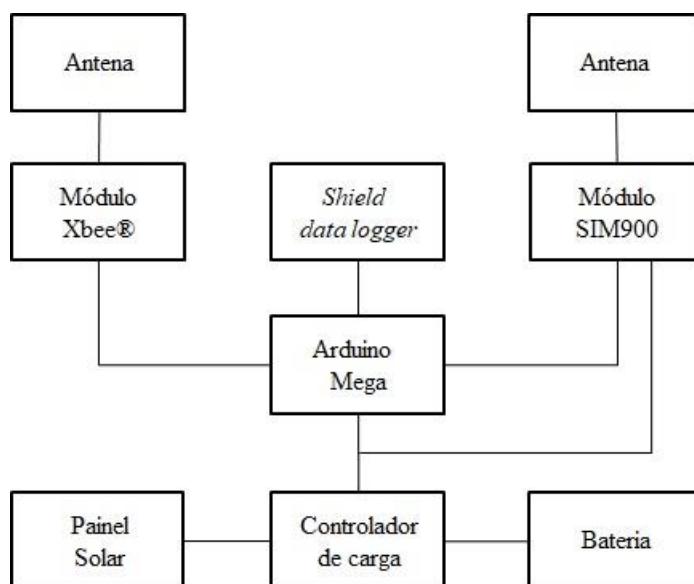


Figura 3-9 – Diagrama de blocos do nó central

A utilização de um *shield data logger* e um *shield* para Xbee® facilitou as conexões desses módulos com o Arduino Mega, conforme ilustra a Figura 3-10. A Figura 3-11 ilustra a conexão do módulo SIM900 com o Arduino Mega, feita em a utilização de cabos.



Figura 3-10 – Montagem dos *shields* com o Arduino Mega

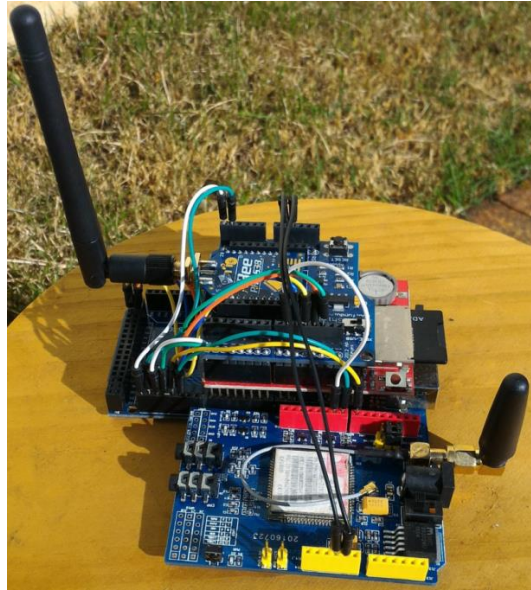


Figura 3-11 – Conexões do módulo SIM900 com o Arduino Mega

O diagrama de funcionamento do nó central está ilustrado no diagrama de fluxo da Figura 3-12.

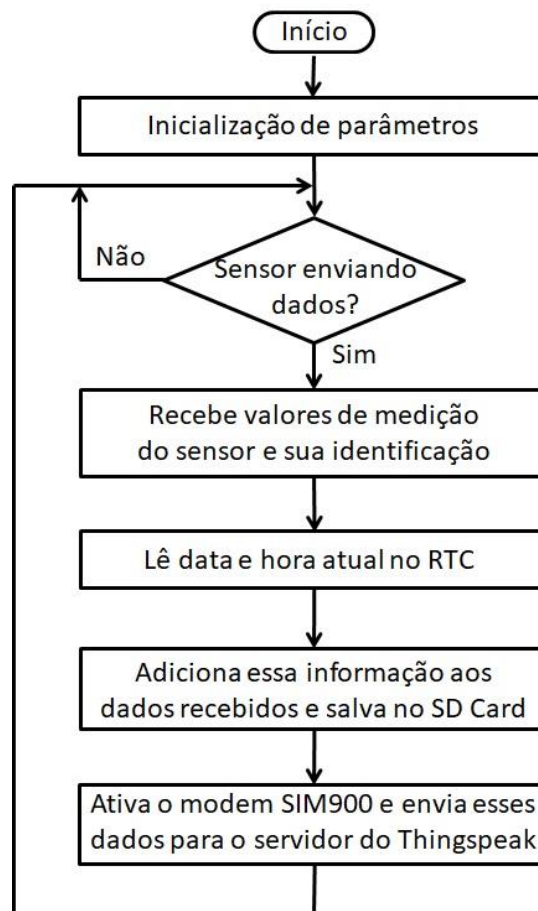


Figura 3-12 – Diagrama de fluxo do nó central

Para dimensionar o sistema de alimentação do nó sensor, foi realizado o levantamento de consumo do circuito em três condições de operação:

1. Em espera ou aguardando dados dos nós sensores, onde o módulo XBee® está no modo recepção e o modem SIM900 está inativo.
2. Recebendo dados dos nós sensores, onde o módulo XBee® está no modo transmissão/recepção e o modem SIM900 está inativo.
3. Transmitindo dados para o servidor, onde o módulo XBee® está no modo recepção o modem SIM900 está ativo.

Para a leitura da corrente consumida foi utilizado um multímetro Fluke 115, e os valores obtidos estão apresentados no Quadro 3-5, juntamente com os tempos ativos de cada uma das condições, considerando o intervalo de medições do nó sensor de 15 minutos e que durante esse intervalo o nó central recebe dados dos três nós sensores e transmite esses dados para o servidor.

Quadro 3-5 – Consumo do nó central

Condição	Corrente (mA)	Tempo (s)
Em espera	100	79500
Recebendo dados do nó sensor	130	1950
Transmitindo dados para o servidor	200	18000

A carga consumida no intervalo de 15 minutos é calculada fazendo-se a soma dos produtos das correntes de consumo de cada uma das condições multiplicadas pelo tempo de cada uma. Isso nos resulta em uma carga consumida de 99.450 mAs. Dividindo esse valor pelo intervalo de tempo total, resulta em uma corrente média de consumo de 110,5 mA. Utilizando uma bateria modelo UP1270E fabricado pela Unipower, com capacidade de carga de 7 Ah, teremos uma autonomia de 63,35 horas.

O dimensionamento do painel solar para o nó central deve ser tal que o mesmo reponha a carga que a bateria fornece ao circuito nos períodos em que não há sol. Considerando o consumo do nó central de 2652 mAh durante o período de 24 horas e que a radiação solar está disponível em um período de quatro horas por dia, a corrente de carga fornecida pelo painel solar deverá ser de 663 mA.

Como painel modelo SW4018 fabricado pela Elegeek fornece uma corrente máxima de 230 mA, foram utilizados seis painéis na configuração em paralelo,

resultando em uma corrente máxima de carga de 1,38 A. A Figura 3-13 ilustra o conjunto de painéis solares para o nó central.



Figura 3-13 – Painéis solares para o nó central

A conexão entre painel solar, bateria e circuito é feita por um circuito controlador de carga modelo CTK-5S, ilustrado na Figura 3-14. O circuito de entrada para o painel solar aceita tensão máxima de entrada de 25 V, corrente de máxima de 5 A e possui um circuito de proteção contra descarga total da bateria, cortando a alimentação do circuito caso a tensão da bateria seja menor que 10,8 V e reconecta a alimentação do circuito quando a bateria atingir o valor de 12,8 V.



Figura 3-14 – Controlador de carga CTK-5S

Como o nó central será instalado em ambiente aberto, para acomodar o circuito, bateria e controlador de carga, foi utilizado um gabinete da marca Steck, modelo Caixa Light 300x220x120, com grau de proteção IP55, ilustrado na Figura 3-15.

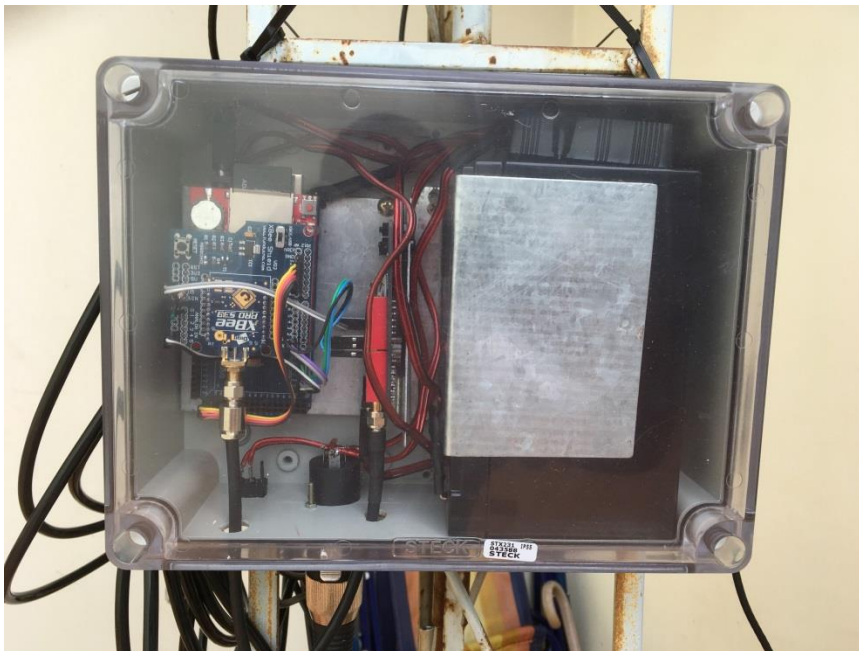


Figura 3-15 – Nó central em seu gabinete

3.5 Configuração do servidor de dados

Para utilizar os serviços do Thingspeak®, inicialmente deve-se cadastrar e criar uma conta. Com a conta criada, faz-se o login de sua conta e crie os canais que deseja utilizar. Em cada canal podemos armazenar até oito campos de informações com valores numéricos.

Nesse projeto, foram criados três canais, um para cada nó sensor, identificados como Ponto1, Ponto2 e Ponto3, conforme ilustrado na Figura 3-16.

Para cada um dos canais, utilizou-se dos oito campos disponíveis, onde foram armazenadas as informações de dia, mês, hora e minuto da leitura realizada, da temperatura da água, da concentração de oxigênio dissolvido, da tensão de alimentação do nó sensor e da tensão da alimentação do nó central, conforme ilustra a Figura 3-17, que exemplifica a configuração de canal do Ponto1

Nome	Criada em	Updated
Ponto1 Private Públicos Settings Sharing API Keys Data Import / Export	2018-01-11	2018-08-05 23:57
Ponto2 Private Públicos Settings Sharing API Keys Data Import / Export	2018-01-11	2018-08-05 02:00
Ponto3 Private Públicos Settings Sharing API Keys Data Import / Export	2018-05-17	2018-10-02 20:18

Figura 3-16 – Canais criados no Thingspeak®

Channel Settings

Percentage complete 50%

ID do canal 401458

Nome Ponto1

Descrição EEB00

Campo 1 Mes

Campo 2 Dia

Campo 3 Hora

Campo 4 Minuto

Campo 5 Temperatura

Campo 6 Oxigenio

Campo 7 Bateria

Campo 8 Sink_Bat

Figura 3-17 – Configuração de canal do Ponto1

Para o Ponto2 e Ponto3 somente altera o ID do canal, nome e descrição, mantendo os campos inalterados, conforme ilustra a Figura 3-18.

The image displays two screenshots of the 'Channel Settings' interface. The top screenshot shows the configuration for 'Ponto2' with an ID of 401461 and a description of 'EEB01'. The bottom screenshot shows the configuration for 'Ponto3' with an ID of 498278 and a description of 'Córrego Sarandi'. Both screenshots show a 'Percentage complete' of 50% and a 'Nome' field with the respective point name.

Field	Ponto2	Ponto3
Percentage complete	50%	50%
ID do canal	401461	498278
Nome	Ponto2	Ponto3
Descrição	EEB01	Córrego Sarandi

Figura 3-18 – Configuração do canal do Ponto2 e Ponto3

Para acesso às informações armazenadas no servidor do Thingspeak®, utiliza-se o link: <https://thingspeak.com/channels/nnnnnn>, onde nnnnnn representa o ID do canal o qual se quer visualizar os valores. São mostrados os últimos cem registros efetuados.

Para visualização de dados anteriores, pode-se inserir parâmetros no link de acesso para visualização de mais registros com máximo de 8.000, ou estabelecer datas inicial e final do período de interesse.

3.6 Instalação da plataforma na estação de captação da Sanepar

A estação de captação da Sanepar no rio Pirapó fica localizada próxima ao km 17 da rodovia PR454, também denominada estrada velha para Astorga, conforme ilustra a Figura 3-19.

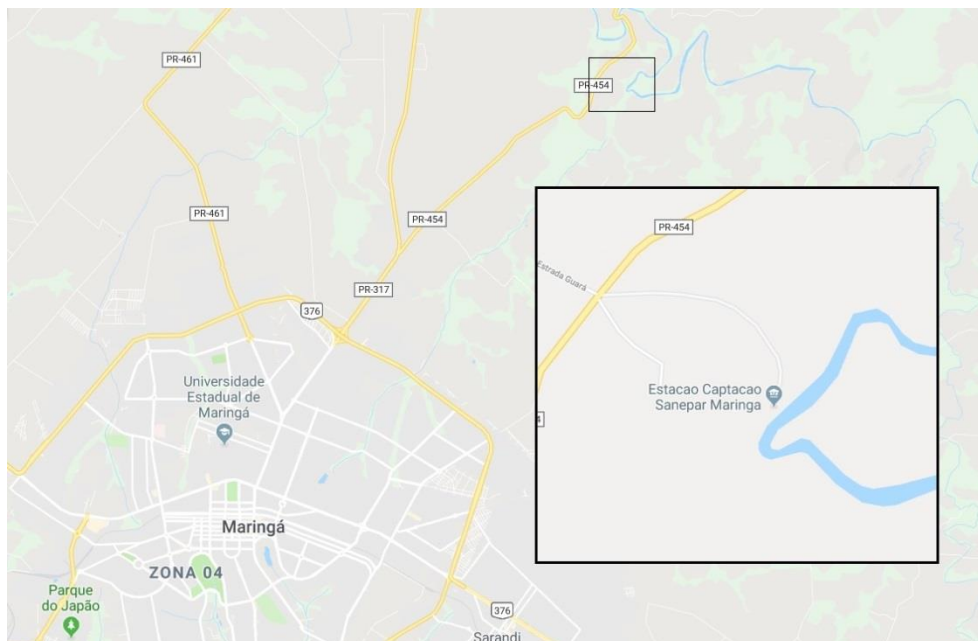


Figura 3-19 – Localização da estação de captação da Sanepar de Maringá

A primeira visita à estação de captação de água da Sanepar, no rio Pirapó, foi realizada para o reconhecimento do local e a escolha dos prováveis locais para a instalação dos nós sensores e do nó central.

A visita foi acompanhada por um técnico da Sanepar ao qual foi manifestada a intenção de instalar três pontos de medição, sendo o primeiro no rio Pirapó em um ponto antes da confluência do córrego Sarandi, o segundo ponto no rio Pirapó após a confluência do córrego Sarandi e o terceiro no próprio córrego Sarandi.

Após visitar alguns locais prováveis para a instalação dos nós sensores, foram escolhidos os seguintes locais, os quais foram denominados Ponto1 (P1), Ponto2 (P2) e Ponto3 (P3).

Para o Ponto1, foi escolhido o mesmo local onde a Sanepar realiza a captação de água do rio Pirapó, denominado por esta de EEB-00, antes da confluência do córrego Sarandi. Para o Ponto2, foi escolhido o local onde estão instaladas as bombas de elevação para a estação de tratamento, denominado EEB-01 pela Sanepar, após a

confluência do córrego Sarandi. Para o Ponto3, foi escolhido o local a margem esquerda do córrego Sarandi, ponto este sugerido pelo técnico da Sanepar.

Para a escolha da localização do nó central, denominado de CE, uma condição indispensável seria a possibilidade de conexão a uma rede de telefonia celular. Devido a dificuldade de se manter conexão com a rede de telefonia celular ao nível do solo, foi definido que a localização do nó central seria próxima a uma torre já existente na EEB-01, para a instalação da antena que possibilita o acesso a rede de telefonia celular.

A Figura 3-20 ilustra os pontos onde foram instalados os nós sensores (P1, P2 e P3) e o nó central (CE) e as distâncias medidas entre os nós sensores e o nó central.

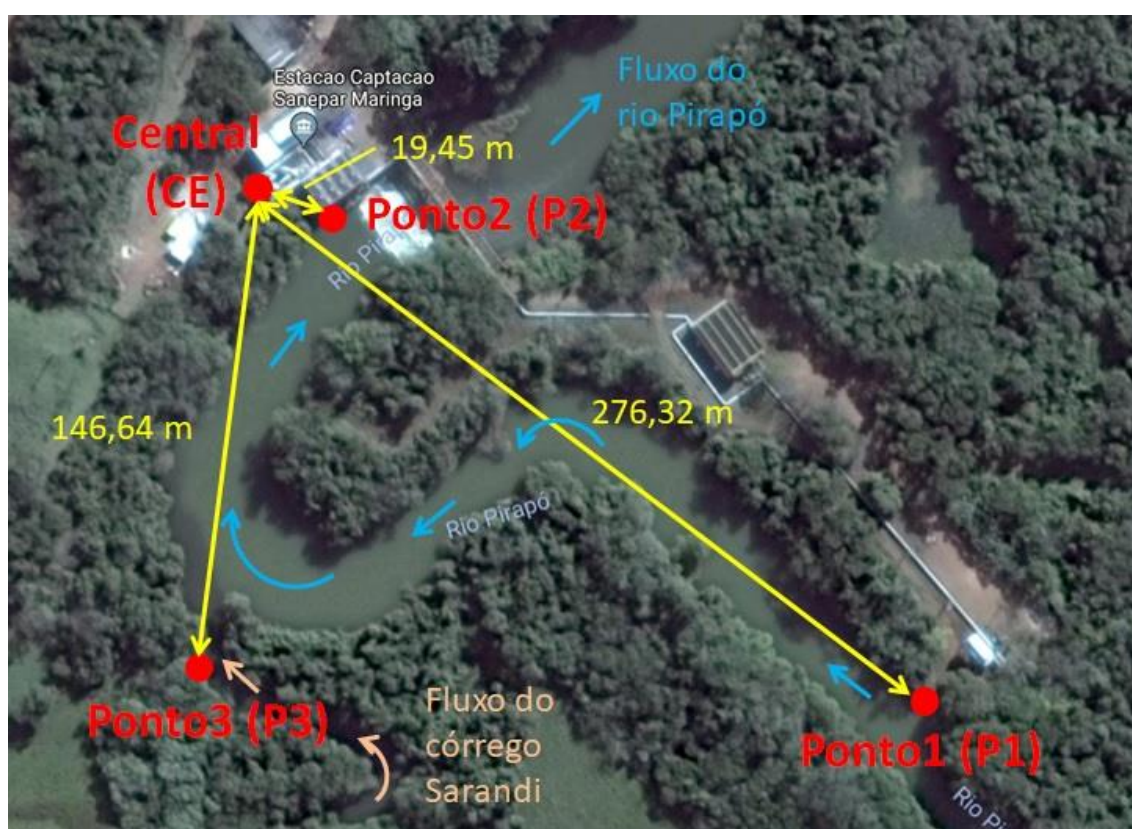


Figura 3-20 – Posicionamento dos nós sensores e nó central

A escolha da operadora a ser utilizada foi definida com o auxílio do mapa de ERBs disponibilizado pela Telebrasil (2018). De acordo com o mapa, as ERBs mais próximas da estação de captação da Sanaepar são das operadoras Vivo e Claro. Foi feita a opção de utilizar a ERB da operadora Vivo, conforme ilustra a Figura 3-21.

A definição da altura em que a antena do modem GPRS devia ser instalada na torre da estação de captação da Sanepar foi feita levando-se em conta outras antenas de

comunicação instaladas na mesma torre. A altura definida foi de vinte e um metros acima no nível do solo. A antena foi instalada na face da torre direcionada para a ERB da operadora Vivo.

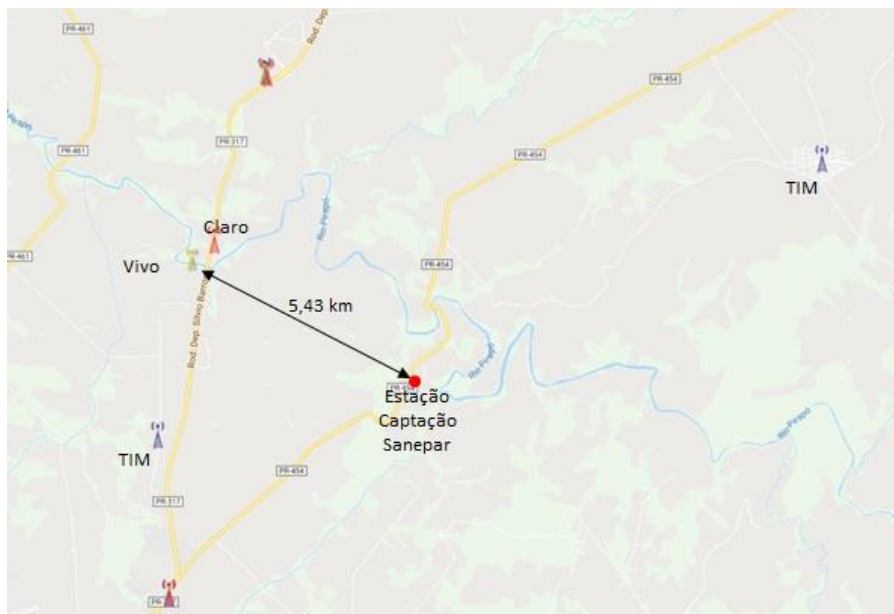


Figura 3-21 – Localização da ERB utilizada

Para verificar se esta altura era suficiente para a comunicação com a ERB da Vivo, foi utilizado um recurso disponível no módulo SIM900, o comando AT+CSQ, que retorna o nível de sinal da ERB em comunicação, conforme ilustra o Quadro 3-6. O nível sinal medido para esta condição oscilou entre -79 e -85 dBm.

Quadro 3-6 – Nível de sinal da ERB da Vivo

Valor de retorno ao comando AT+CSQ	Nível de sinal em dBm	Condição do sinal
2 a 9	-109 a -95	Ruim
10 a 14	-93 a -85	Regular
15 a 19	-83 a -75	Bom
20 a 30	-73 a -53	Excelente

Testes preliminares de comunicação entre o nó central e os nós sensores P1 e P3, posicionados ao nível do solo, mostraram que a vegetação local provocava atenuação no sinal impedindo a comunicação entre os módulos XBee®.

A solução para este impedimento foi a instalação da antena do módulo Xbee® do nó central na mesma torre onde está instalada a antena para o modem GPRS e a elevação das antenas nos pontos P1 e P3, viabilizando a comunicação em visibilidade.

A altura para a instalação da antena para o módulo XBee® do nó central foi definida em 20 metros. A antena foi instalada na face da torre voltada para o ponto P1, de maior distância.

Na Figura 3-22 ilustramos o posicionamento das antenas do modem GPRS e do módulo Xbee® na torre da Sanepar e a Figura 3-23 ilustra a instalação do nó central (CE) fixada na mesma torre.

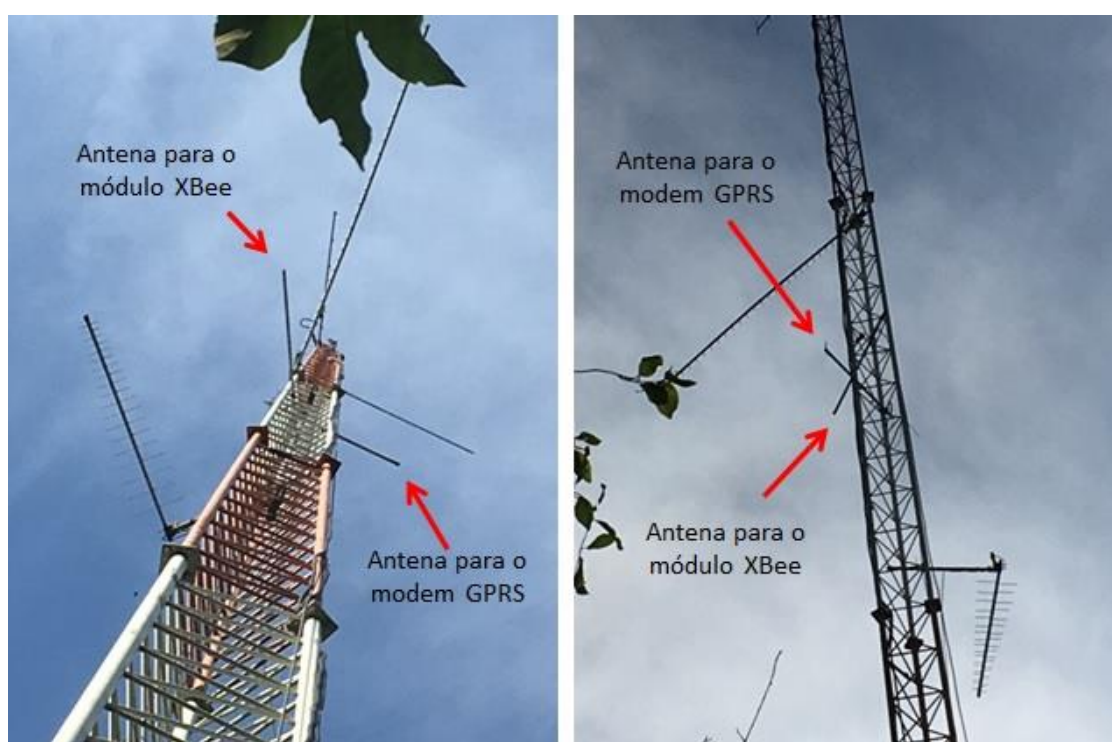


Figura 3-22 – Posicionamento de antenas na torre da Sanepar

Com a antena do módulo Xbee® do nó central instalada, foi verificado que a elevação necessária para as antenas dos módulos XBee® dos nós sensores nos pontos P1 e P3 seria de quatro metros. Para o ponto P2, a antena poderia ser conectada diretamente ao gabinete do módulo. Para confirmar a localização dos três nós sensores, foi calculada potência do sinal recebido para cada um dos três enlaces com o nó central.



Figura 3-23 – Instalação do nó central

Considerando a diferença de altura entre as antenas do nó central e dos nós sensores, a distância a ser utilizada para o cálculo dos enlaces foi obtida conforme o Quadro 3-7.

Quadro 3-7 – Distância dos enlaces entre os nós

	Ponto1	Ponto2	Ponto3
Nó central	276,78 m	25,61 m	147,51 m

Utilizando a equação 2 e considerando a frequência de 900 MHz dos módulos XBee®, obtemos a atenuação do espaço livre para cada um dos três enlaces, conforme o Quadro 3-8.

Quadro 3-8 – Atenuação do espaço livre para os três enlaces

Enlace	Ael (dB)
CE-P1	80,37
CE-P2	59,69
CE-P3	74,90

Para o cálculo da potência recebida para cada um dos enlaces, foi utilizada a equação 1 (equação de Friis) e considerando os seguintes valores:

- Potência do sinal transmitido pelo módulo XBee®: 0,25 W ou 23,98 dBm
- Atenuação do cabo: 57 dB / 100 m (Cabletech RG58)
- Atenuação do conector SMA a 900 MHz: 0,0285dB
- Ganho da antena do transmissor e do receptor: 2 dBi (omnidirecional)

No Quadro 3-9 ilustramos a quantidade de cabo e de conectores utilizados em cada um dos três enlaces.

Quadro 3-9 – Quantidade de cabos e conectores utilizados para cada enlace

Enlace	Cabo (m)	Conectores
CE-P1	30	4
CE-P2	25	3
CE-P3	30	4

O valor obtido da potência recebida para cada um dos três enlaces não poderá ser inferior a -110 dBm, que é a sensibilidade do circuito receptor do módulo XBee®. O Quadro 3-10 ilustra os valores calculados da potência recebida para os três enlaces.

Quadro 3-10 – Valores calculados para potência recebida nos enlaces

Parâmetro	Enlace CE-P1	Enlace CE-P2	Enlace CE-P3
Ptx (dBm)	23,98	23,98	23,98
Ganttx (dBi)	2	2,00	2,00
Gantrx (dBi)	2	2,00	2,00
Ael (dB0)	80,37	59,69	74,90
Acab (dB)	17,1	14,25	17,10
Acon (dB)	0,028	0,09	0,11
Prx (dBm)	-69,52	-46,05	-64,14

Utilizando o recurso *Radio Range Test* do aplicativo XCTU, foram realizadas medidas do nível de sinal dos enlaces do nó central para os três nós sensores, os quais apresentaram valores inferiores em relação aos valores calculados, mas suficientes para o funcionamento da rede, conforme ilustramos na Figura 3-24 para o enlace CE-P1, na Figura 3-25 para o enlace CE-P2 e na Figura 3-26 para o enlace CE-P3.

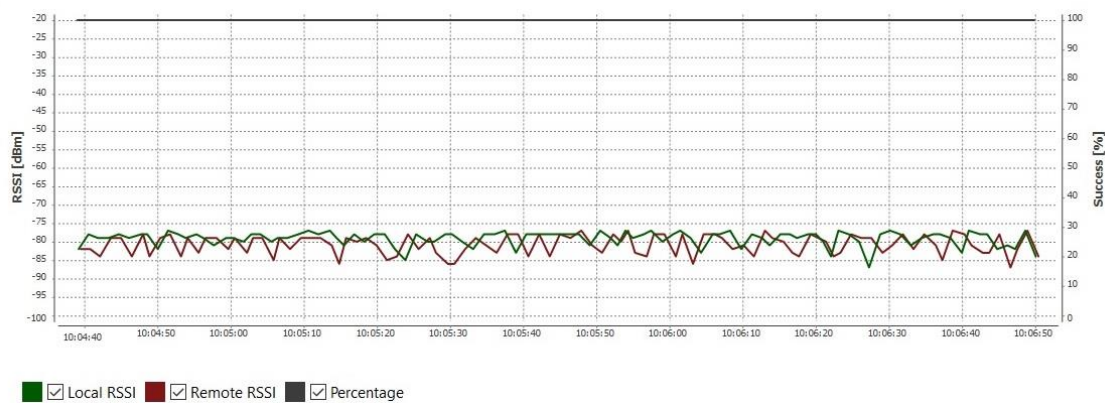


Figura 3-24 – Medição do nível de sinal do enlace CE-P1

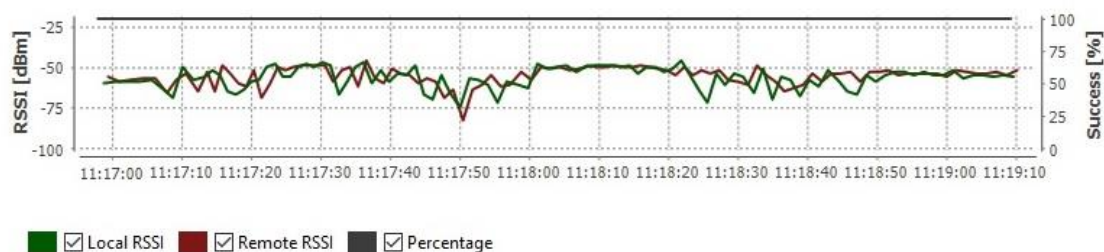


Figura 3-25 – Medição de nível de sinal do enlace CE-P2

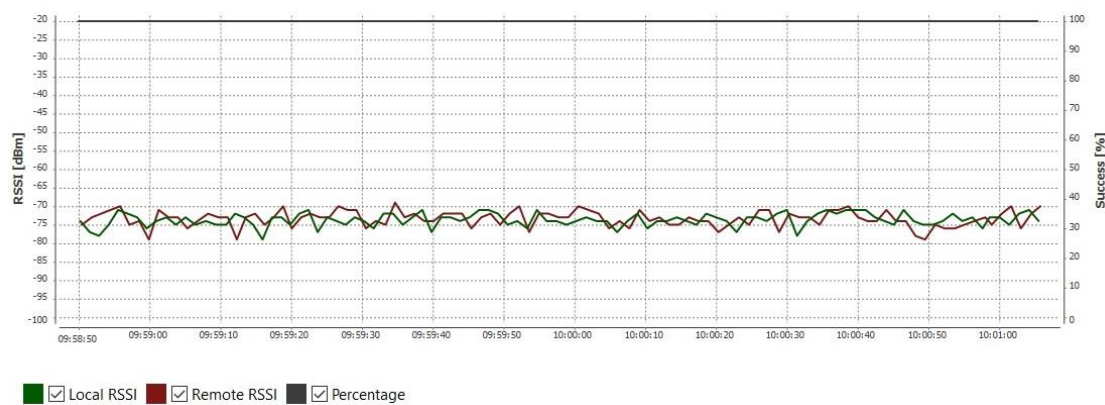


Figura 3-26 – Medição do nível de sinal do enlace CE-P3

Para a instalação do nó sensor no Ponto1, onde a Sanepar faz a captação da água (EEB-00), foi aproveitada uma estrutura já existente utilizada em experimentos anteriores, conforme ilustrada na Figura 3-27. O sensor de oxigênio dissolvido e o sensor de temperatura foram instalados no interior do cano existente a uma profundidade de 45 cm.



Figura 3-27 – Estrutura existente ns EEB-00

A antena para o módulo XBee® e o painel solar foram instalados em uma haste de bambu que foi fixada junto a estrutura existente, conforme ilustra a Figura 3-28. A altura da antena ficou próxima de quatro metros e o painel solar ficou posicionado com orientação para o norte com 30° de inclinação.



Figura 3-28 – Fixação da antena e painel solar em P1

Devido ao aproveitamento do alojamento disponível em P1, o circuito instalado nesse ponto não foi necessário utilizar gabinete para instalação externa, conforme ilustrado na Figura 3-29.



Figura 3-29 – Circuito do nó sensor do Ponto1

O nó sensor instalado no Ponto1 começou a operar em 04/07/2018, juntamente com o nó central.

Para a instalação do nó sensor no Ponto2, onde a Sanepar possui instaladas as bombas de elevação, foi necessária a instalação de um cano mergulhado na água para o acondicionamento dos sensores de temperatura e oxigênio dissolvido. Utilizou-se um tubo de aço galvanizado com 1¹/₄” de diâmetro, parede de 1,2 mm e comprimento de seis metros, fixado no guarda-corpo disponível no local, conforme ilustrado na Figura 3-30. Foram realizados furos em uma das extremidades do tubo para a passagem da água. O sensor de temperatura e o sensor de oxigênio dissolvido foram instalados a uma profundidade de 45 cm da superfície da água.



Figura 3-30 – Tubo para acondicionamento dos sensores em P2

O circuito do nó sensor também foi fixado no guarda-corpo e o painel solar foi fixado em uma haste de bambu com altura aproximada de três metros, conforme ilustra a Figura 3-31. Neste caso não foi necessária a elevação da antena do módulo XBee® devido a proximidade deste nó sensor com o nó central. O nó sensor instalado no Ponto2 começou a operar em 10/07/2018.



Figura 3-31 – Fixação do circuito e painel solar em P2

A instalação do nó sensor no Ponto3 (Córrego Sarandi) foi o mais trabalhoso, pois não havia nenhuma infraestrutura para instalação do equipamento. Também o acesso ao local foi mais dificultoso, pois foi necessário atravessar uma área de pasto e entrar na mata ciliar. A Figura 3-32 ilustra o local onde foi instalado esse nó sensor.



Figura 3-32 – Local de instalação do Ponto3

O circuito do nó sensor neste ponto foi instalado em uma haste de bambu fixada no solo, onde também foi instalado o painel solar e a antena para comunicação com o nó central, conforme ilustra a Figura 3-33.



Figura 3-33 – Instalação do circuito do nó sensor em P3

Os sensores de temperatura e de oxigênio dissolvido foram inseridos no interior de um tubo de aço galvanizado com 1¼” de diâmetro, parede de 1,2 mm e comprimento de seis metros, fixado em uma árvore na margem do córrego Sarandi,

conforme ilustra a Figura 3-34. Os sensores ficaram imersos a uma profundidade de trinta e cinco centímetros em relação a superfície da água do córrego. O nó sensor instalado no Ponto2 começou a operar em 07/07/2018.



Figura 3-34 – Instalação dos sensores em P3

4 RESULTADOS

4.1 Introdução

Neste capítulo, apresentamos os resultados obtidos durante o período de medição dos níveis de O₂ dissolvido e da temperatura da água nas três localidades, Ponto1 (P1), Ponto2 (P2) e Ponto3 (P3), descritas no capítulo anterior. As medições feitas pelos nós sensores são enviadas para o nó central que após gravar em um cartão SD, realiza a transmissão da medição para um servidor de dados do Thingspeak®.

O Quadro 4-1 ilustra as datas de início de funcionamento dos três nós sensores e do nó central. A data final da aquisição dos dados da plataforma foi 31/10/2018.

Quadro 4-1 – Data de início de operação dos nós sensores e nó central

Nó	Início de Operação
Ponto1	04/07/2018
Ponto2	10/07/2018
Ponto3	07/07/2018
Central	04/07/2018

4.2 Gravação no cartão SD

As medições são gravadas no cartão SD no formato texto, conforme ilustrado na Figura 4-1, e podem ser abertos e lidos em um computador pessoal utilizando-se de qualquer utilitário de visualização de arquivos texto, como o bloco de notas.

Os valores armazenados no cartão SD correspondem da esquerda para à direita dos seguintes parâmetros: identificação do ponto, temperatura da água nesse ponto, concentração de oxigênio dissolvido na água nesse ponto, tensão da bateria que alimenta o circuito desse ponto, hora e data da recepção dos dados pelo nó central.

A temperatura da água é medida em °C e a concentração de oxigênio dissolvido na água é medida em mg/l. Os valores de data e hora são obtidos do circuito RTC do *shield data logger*, do nó central.

Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda	
3	23.31	5.66	8.36	03:11:06	16/10/2018
1	23.81	12.77	8.32	03:17:33	16/10/2018
2	23.49	7.15	8.41	03:39:15	16/10/2018
3	23.13	4.44	8.35	04:11:48	16/10/2018
1	23.74	10.37	8.29	04:16:10	16/10/2018
1	23.71	9.94	8.28	04:31:09	16/10/2018
2	23.43	7.09	8.40	04:39:00	16/10/2018
3	23.06	3.61	8.35	04:42:22	16/10/2018
1	23.63	12.37	8.25	05:29:46	16/10/2018
2	23.25	7.02	8.38	05:38:46	16/10/2018
3	22.89	3.90	8.34	05:43:05	16/10/2018
1	23.62	11.61	8.24	05:44:45	16/10/2018
2	23.17	6.96	8.37	06:38:31	16/10/2018
1	23.50	9.66	8.22	06:43:23	16/10/2018
3	22.75	3.43	8.32	06:44:46	16/10/2018
1	23.45	9.88	8.25	07:12:58	16/10/2018
2	23.13	6.88	8.37	07:38:18	16/10/2018
3	22.56	3.44	8.32	07:44:32	16/10/2018
1	23.38	9.67	8.35	08:11:35	16/10/2018
2	23.04	6.80	8.44	08:38:09	16/10/2018
3	22.46	3.10	8.39	08:45:16	16/10/2018
1	23.31	10.44	8.62	09:10:14	16/10/2018
2	23.00	6.72	8.47	09:38:02	16/10/2018
3	22.44	3.86	8.49	09:46:02	16/10/2018
1	23.31	10.53	8.72	10:08:54	16/10/2018
2	23.02	6.63	8.64	10:37:58	16/10/2018
3	22.51	4.32	8.64	10:46:51	16/10/2018
1	23.43	10.21	8.82	11:07:38	16/10/2018
2	23.25	6.54	8.76	11:37:57	16/10/2018
3	22.89	3.70	8.88	11:47:42	16/10/2018

Figura 4-1 – Medições gravadas no cartão SD

4.3 Acesso ao servidor do Thingspeak®

Para visualizar os dados armazenados no servidor do Thingspeak® utilizando um computador pessoal, utiliza-se o link: <https://thingspeak.com/channels/nnnnnn>, onde nnnnnn representa o ID do canal o qual se quer visualizar. O Quadro 4-2 ilustra os três pontos configurados com seu respectivo ID do canal.

Quadro 4-2 – ID do canal para P1, P2 e P3

Ponto	Local	ID do canal
P1	EEB-00	401458
P2	EEB-01	401461
P3	Córrego Sarandi	498278

A Figura 4-2 ilustra os dados visualizados na tela do computador de um acesso feito ao Ponto2. O Thingspeak® possibilita transferir os dados armazenados dos canais no formato csv. Utilizando esse recurso, durante o período de medição, as medições

efetuadas dos três canais foram salvas neste formato para manipulação futura. O Thingspeak® também possibilita a transferência dos dados nos formatos json e xml.



Figura 4-2 – Acesso ao servidor do Thingspeak® por computador

Os dados armazenados no servidor também podem ser acessados via smartphone com o aplicativo Thingview instalado, conforme ilustra a Figura 4-3.

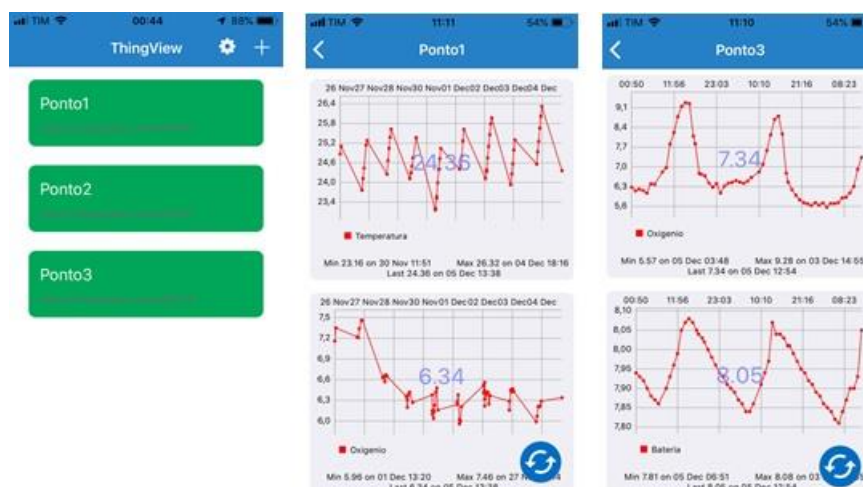


Figura 4-3 – Visualização de dados no smartphone

4.4 Total de medições efetuadas e medições válidas

O período de medição inicia-se em 04/07/2018 a 31/10/2018. Neste período foi coletado um total de 8.706 medições distribuídas conforme ilustra o Quadro 4-3.

Quadro 4-3 – Total de medições coletadas

Ponto/Mês	JUL	AGO	SET	OUT	Total
P1	592	919	974	1000	3485
P2	519	666	719	646	2550
P3	581	652	714	724	2671
Total	1692	2237	2407	2370	8706

Desse total foram retiradas 703 medições consideradas inválidas devido a situações de anormalidade, tais como:

- Medições de teste e medições enquanto executando manutenção, as quais foram anotadas as datas e horário de sua execução.
- Sensor sujo e instalação incorreta de sensor, identificado pelos valores nulos de leitura da concentração de oxigênio.

O Quadro 4-4 mostra a quantidade de medições válidas por mês e por ponto, e o Quadro 4-5 mostra a diferença entre as medições coletadas e medições válidas para os três pontos durante todo o período de medição.

Quadro 4-4 – Total de medições válidas

Ponto/Mês	JUL	AGO	SET	OUT	Total
P1	455	918	974	945	3292
P2	519	666	719	473	2377
P3	581	529	540	684	2334
Total	1555	2113	2233	2102	8003

Quadro 4-5 – Diferença entre medições coletadas e válidas

Ponto	Medições coletadas	Medições válidas	Diferença
P1	3485	3292	192
P2	2550	2377	173
P3	2671	2334	337

O ponto P3, instalado no córrego Sarandi, foi o que apresentou um maior número de medições inválidas. Isto ocorreu devido ao excesso de resíduos desse córrego, provocando o bloqueio do contato do sensor com a água, medindo, portanto valores próximos a zero ou mesmo zero. A Figura 4-4 ilustra o estado do sensor de oxigênio dissolvido nessa condição. Durante o período de medição foram feitas limpezas no sensor de oxigênio dissolvido nos dias 10/08, 31/08, 07/10 e 13/10. O sensor instalado nesse ponto foi substituído em 13/10 por realizar medidas com grandes variações e interrupções de funcionamento.

Também em P3, o tubo que acomoda os sensores entortou devido a choque com objetos que acompanhavam o curso do córrego, como galhos de árvores. Na primeira ocorrência, em 10/08/2018, foi possível desentortar o tubo e reaproveitá-lo. Na segunda vez, em 31/08/2018, o tubo teve que ser substituído. Esses dois eventos ocorreram logo após um período de chuvas na cidade de Maringá, onde aumenta o volume de água do córrego trazendo também resíduos provenientes do sistema de bueiros da cidade. A Figura 4-5 ilustra o estado dos tubos após essas ocorrências. Para evitar novas ocorrências, foi utilizado um tubo de aço galvanizado com o mesmo diâmetro e comprimento, mas com a espessura de 2,65 mm ao invés de 1,2 mm, utilizado anteriormente. Após essa substituição, não houve mais esse tipo de ocorrência.



Figura 4-4 – Estado do sensor de O₂ dissolvido em P3



Figura 4-5 – Estado do tubo de aço galvanizado em P2

As medidas inválidas de P2 foram devido a instalação incorreta do sensor após uma limpeza realizada em 12/10/2018.

As medidas inválidas de P1 foram devido à utilização de um tubo mergulhado na água já existente o qual estava obstruído e bloqueando o contato do sensor com a água. Após a instalação de um novo tubo, efetuado em 12/07/2018, conforme ilustrado na Figura 4-6, as medições inválidas se restringiram a medições efetuadas durante período de limpeza e calibração do sensor.



Figura 4-6 – Tubo novo instalado em P1

4.5 Falhas na rede de comunicação

Durante o período de medição, tivemos falhas na rede de comunicação, detectadas pela ausência de leituras que deveriam estar presentes, determinadas pelos intervalos de medição. Esta análise foi feita obtendo as medições ausentes, confrontando os dados coletados e armazenados no servidor do Thingspeak® e considerando o intervalo entre medições. Durante o período de medição e considerando o total de medidas coletadas, o Quadro 4-6 mostra a quantidade de falhas ocorridas pela ausência de medições dos três pontos instalados.

Quadro 4-6 – Quantidade total de falhas de comunicação

Julho a Outubro/2018	Ponto1	Ponto2	Ponto3
Número total de leituras	3485	2550	2671
Número total de falhas	21	24	31
Porcentagem	0,60%	0,94%	1,16%

As falhas de comunicação podem ocorrer em duas situações distintas: na rede de sensores sem fio entre os nós sensores e o nó central (rede interna) ou entre o nó central e o servidor de dados utilizando a rede de comunicação com a operadora de telefonia celular (rede externa). Para identificar em qual dessas situações ocorreu falha, utilizamos as informações gravadas no cartão SD do nó central. Caso a medição que deveria ocorrer não estiver gravada no cartão SD, considera-se falha na comunicação entre um dos nós sensores e o nó central (rede interna). No caso da medição estar gravada no SD card e não for transmitida para o servidor do Thingspeak®, houve uma falha na comunicação entre o nó central e o servidor (rede externa). Confrontando as medições gravadas no SD card com as medições armazenadas no servidor de dados do Thingspeak®, foi possível separar as falhas de comunicação ocorridas na rede interna e na rede externa da plataforma.

O Quadro 4-7 ilustra as falhas ocorridas na rede interna, ou seja, medições que deveriam ser efetuadas pelos nós sensores e transmitidas ao nó central, mas não foram realizadas.

Quadro 4-7 – Falhas de comunicação na rede interna

Julho a Outubro/2018	Ponto1	Ponto2	Ponto3
Número total de leituras	3485	2550	2671
Número total de falhas na rede interna	8	13	10
Porcentagem de falhas na rede interna	0,23%	0,51%	0,37%

As principais causas, por problemas técnicos, parar este tipo de falha é devido a dois ou mais nós sensores tentando enviar suas informações ao nó central no mesmo tempo e a indisponibilidade do nó central em receber os dados enviados pelo nó sensor. Essa indisponibilidade de receber os dados do nó sensor pode ocorrer na condição em que o nó central esteja em comunicação com a ERB. Condições climáticas também podem afetar a comunicação.

Uma solução para minimizar a quantidade de falhas na rede interna pode ser obtida aumentando o valor do parâmetro MR (*Mesh Unicast Retries*) dos módulos

XBee® dos nós sensores. Este parâmetro é utilizado para programar o número de tentativas adicionais de transmissão de informação, antes de sair por *timeout*. O valor default deste parâmetro é 1, isto é, somente mais uma tentativa de transmissão é feita. Este parâmetro pode assumir valores de 0 a 7.

O Quadro 4-8 ilustra as falhas ocorridas na rede externa, ou seja, medições que foram efetuadas e armazenadas no cartão SD do nó central e não foram transmitidas para o servidor de dados do Thingspeak®.

Quadro 4-8 - Falhas de comunicação na rede externa

Julho a Outubro/2018	Ponto1	Ponto2	Ponto3
Número total de leituras	3485	2550	2671
Número total de falhas na rede externa	13	11	21
Porcentagem de falhas na rede externa	0,37%	0,43%	0,79%

As falhas de comunicação ocorridas entre o nó central e o servidor de dados do Thingspeak® dependem de fatores externos como a disponibilidade da ERB da operadora de telefonia celular, acesso à rede de internet, acesso ao servidor de dados e também de condições climáticas.

Considerando o dia a semana, o Quadro 4-9 mostra a quantidade de falhas na rede interna e na rede externa ocorridas em cada um dos dias da semana.

Quadro 4-9 – Falhas de comunicação por dia da semana

Dia da semana	Falhas na rede interna	Falhas na rede externa	Total
Domingo	2	7	9
Segunda	1	8	9
Terça	1	5	6
Quarta	0	4	4
Quinta	4	5	9
Sexta	11	5	16
Sábado	12	11	23
Total	31	45	76

Dividindo o dia em vinte e quatro intervalos de uma hora cada, o quadro mostra a quantidade de falhas ocorridas durante cada um dos intervalos.

Quadro 4-10 – Falhas de comunicação ao longo do dia

Intervalo	Falhas na rede interna	Falhas na rede externa	Total
0:00 a 0:59	4	11	15
1:00 a 1:59	3	3	6
2:00 a 2:59	1	2	3
3:00 a 3:59	2	1	3
4:00 a 4:59	0	2	2
5:00 a 5:59	2	1	3
6:00 a 6:59	2	2	4
7:00 a 7:59	1	1	2
8:00 a 8:59	0	3	3
9:00 a 9:59	0	0	0
10:00 a 10:59	2	1	3
11:00 a 11:59	2	3	5
12:00 a 12:59	0	1	1
13:00 a 13:59	1	1	2
14:00 a 14:59	3	1	4
15:00 a 15:59	1	0	1
16:00 a 16:59	1	2	3
17:00 a 17:59	0	3	3
18:00 a 18:59	0	1	1
19:00 a 19:59	1	0	1
20:00 a 20:59	1	1	2
21:00 a 21:59	0	3	3
22:00 a 22:59	1	1	2
23:00 a 23:59	3	1	4
Total	31	45	76

4.6 Circuito de alimentação dos nós sensores durante o período de medição

Para melhor interpretação dos gráficos ilustrados, utilizaremos as legendas conforme o Quadro 4-11.

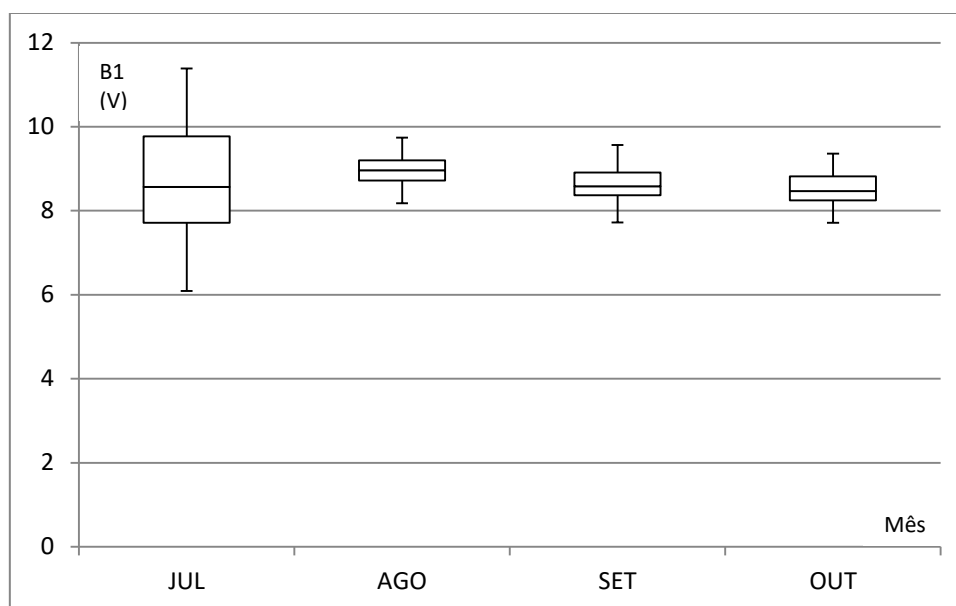
A tensão de alimentação dos nós sensores e do nó central foi monitorada durante todo o período de medição. Nos nós sensores, foi monitorada a tensão presente na entrada do conversor DC-DC que alimenta todo o circuito. No nó central, foi monitorada a tensão que alimenta o Arduino Mega e o módulo SIM900, através de entradas próprias para essa finalidade.

Quadro 4-11 – Legendas utilizadas nos gráficos

Legenda	Descrição
T1	Temperatura da água no Ponto1, em °C
T2	Temperatura da água no Ponto2, em °C
T3	Temperatura da água no Ponto3, em °C
O21	Nível de oxigênio dissolvido na água no Ponto1, em mg/l
O22	Nível de oxigênio dissolvido na água no Ponto2, em mg/l
O23	Nível de oxigênio dissolvido na água no Ponto3, em mg/l
B1	Tensão de alimentação do nó sensor 1, em V
B2	Tensão de alimentação do nó sensor 2, em V
B3	Tensão de alimentação do nó sensor 3, em V
BS	Tensão de alimentação do nó central, em V
Rad	Radiação solar, em kJ/m ²
Chuva	Índice pluviométrico, em mm

O Gráfico 4-1 mostra a o *boxplot* da tensão de alimentação do nó sensor 1, mês a mês durante o período de medição.

Gráfico 4-1 – Tensão de alimentação do nó sensor 1



Observamos nesse gráfico, que no mês de julho, houve uma grande variação na tensão de alimentação do nó sensor 1. Isto ocorreu devido a ser utilizado um conjunto de baterias recarregáveis que no processo de descarga atingiram o valor mínimo de 6 V, causando interrupção no funcionamento do nó sensor, permanecendo em modo *standby*. No dia 31/07/2018, as baterias do nó sensor do Ponto1 foram substituídas por uma de

maior capacidade de carga. A Figura 4-7 ilustra as baterias que estavam sendo utilizadas e as que passaram a ser utilizadas.

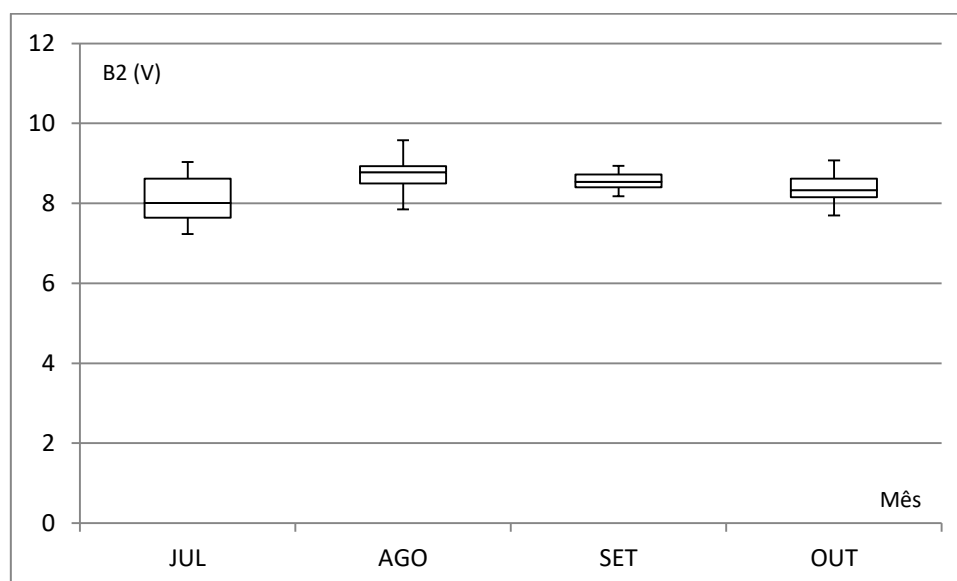


Figura 4-7 – Substituição de baterias

A partir da substituição, observamos que as oscilações da tensão de alimentação do nó sensor 1 diminuíram e o funcionamento do circuito não foi mais interrompido por esse motivo.

O Gráfico 4-2 mostra a *boxplot* da tensão de alimentação do nó sensor 2, mês a mês durante o período de medição.

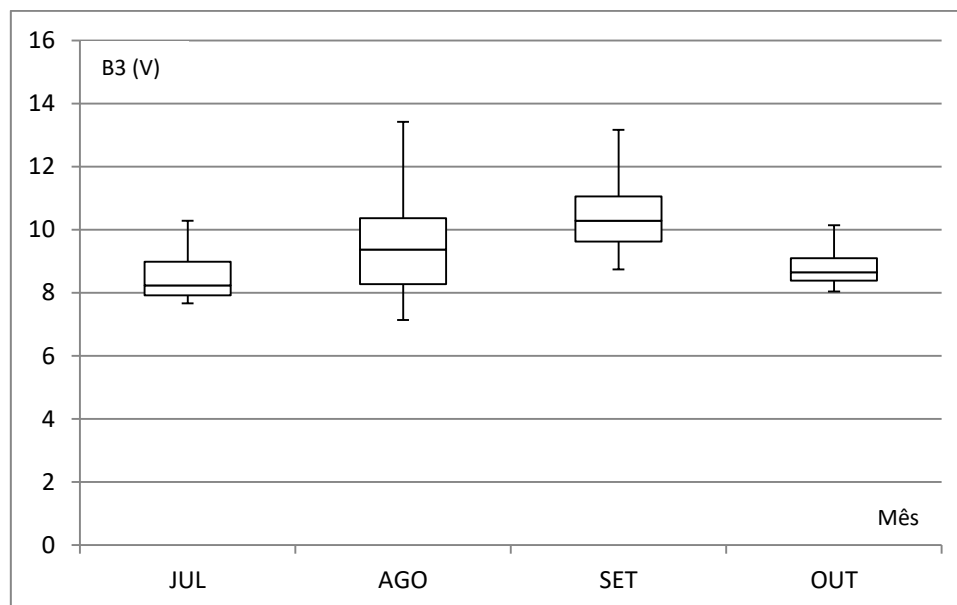
Gráfico 4-2 - Tensão de alimentação do nó sensor 2



O nó sensor 2 também estava sendo alimentado com um conjunto de baterias de mesmo modelo que do nó sensor 1, mas que devido a sua maior capacidade de carga, não causou interrupção no funcionamento. Por garantia, também foram substituídas em 10/08/2018, apresentando assim menos variações em torno do valor médio da tensão a partir dessa data..

O Gráfico 4-3 mostra a o *boxplot* da tensão de alimentação do nó sensor 3, mês a mês durante o período de medição.

Gráfico 4-3 - Tensão de alimentação do nó sensor 3

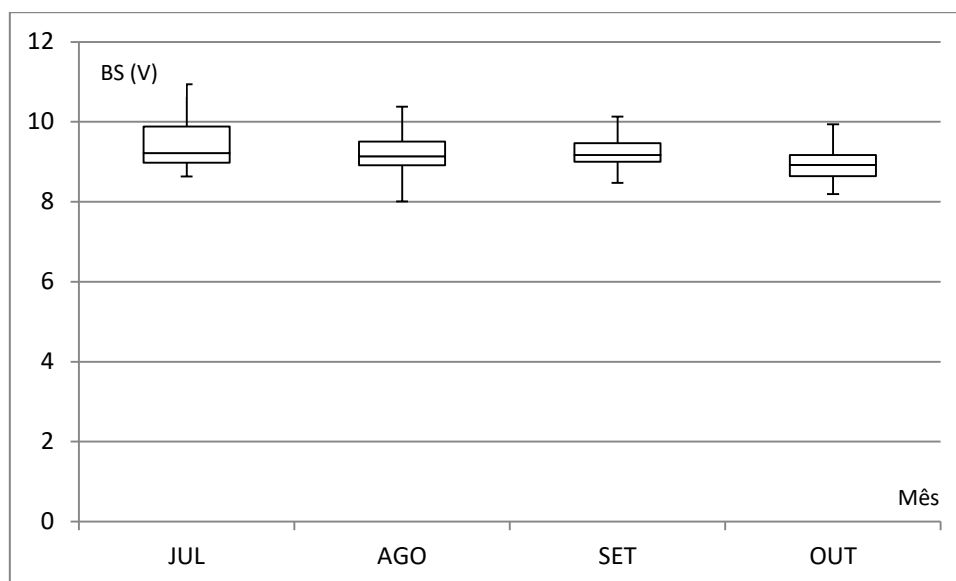


Neste caso, observamos que nos meses de agosto e setembro tivemos uma grande variação no valor da tensão de alimentação. Isto ocorreu devido a um mal contato no divisor de tensão do circuito que faz a leitura da tensão de alimentação do circuito. Inicialmente não se tinha idéia do que estava ocorrendo, mas como as leituras de temperatura e O_2 dissolvido estavam sendo efetuadas com valores coerentes e a manutenção exigiria o desligamento do circuito e seu transporte para reparos, foi feita a opção de deixá-lo funcionando. No primeiro momento que foi necessário fazer uma manutenção no tubo que acomoda os sensores, em 07/10/2018, foi refeita a solda nesse ponto e as leituras voltaram a sua normalidade.

O Gráfico 4-4 mostra o *boxplot* da tensão de alimentação do nó central, mês a mês durante o período de medição.

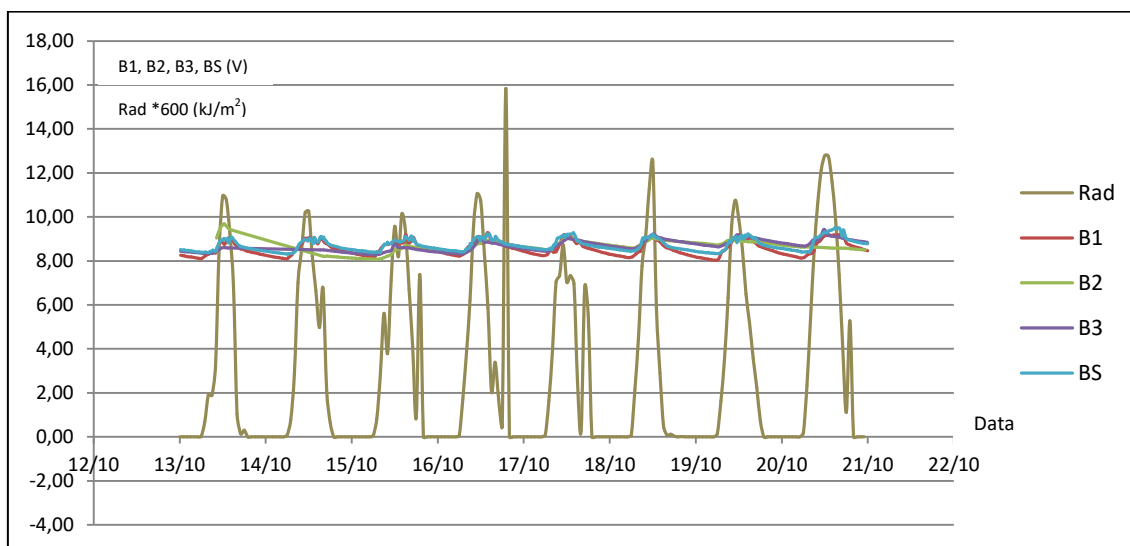
O nó central também apresentou interrupções de funcionamento no final do mês de julho e início do mês de agosto. Uma bateria não era o suficiente para manter a alimentação do circuito em tempo integral em condições de céu encoberto ou com chuva durante um período contínuo superior a cinco dias. Para este caso foi instalada uma bateria em paralelo com a já existente, mantendo o nó central em funcionamento durante todo o período de medições.

Gráfico 4-4 - Tensão de alimentação do nó central



O Gráfico 4-5 ilustra os ciclos de carga e descarga das baterias dos nós sensores e do nó concentrador em função da radiação solar registrados no período de 13/10/2018 a 20/10/2018. Para plotar em um mesmo gráfico, a radiação solar foi dividida por 600, portanto os valores de radiação solar em kJ/m^2 são, na realidade, os valores do eixo vertical multiplicado por 600.

Gráfico 4-5 – Ciclo de carga e descarga das baterias

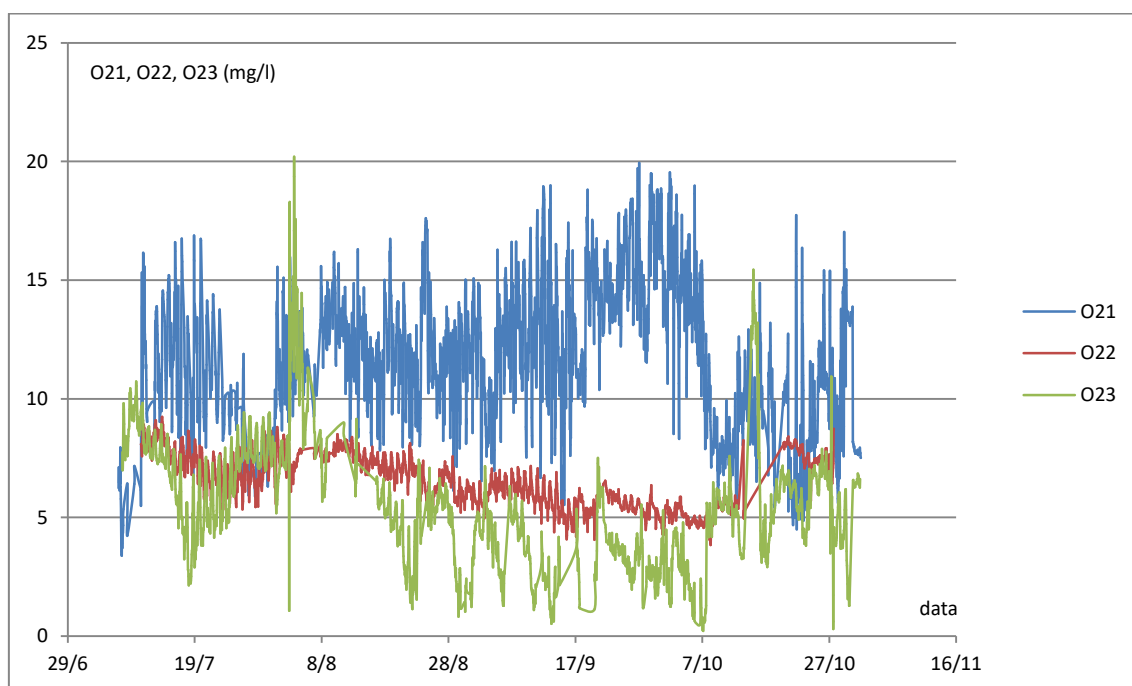


Os períodos de carga não coincidem exatamente com os períodos de maior radiação solar devido a este dado ser obtido da Estação Climatológica de Maringá, distante 12 km (em linha reta) da Estação de Captação da Sanepar.

4.7 Concentração de O₂ dissolvido durante o período de medição

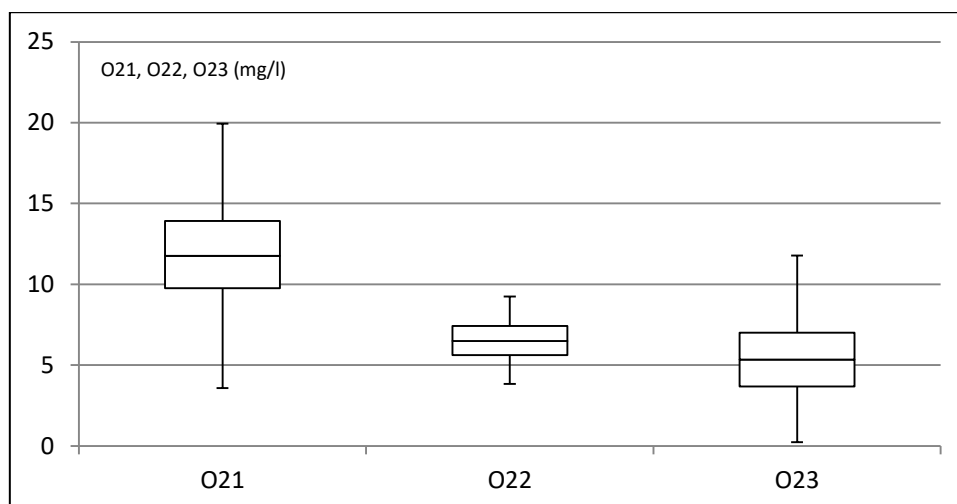
O Gráfico 4-6 ilustra os níveis de oxigênio dissolvido, em mg/l, dos três pontos, durante todo o período de medição.

Gráfico 4-6 - Níveis de O₂ dissolvido durante todo o período de medição



Observamos que o sensor de O₂ dissolvido instalado no Ponto1 apresentou grandes oscilações durante o período de medição. Como a Sanepar executa as operações de retrolavagem nas bombas de captação e desassoreamento na área de entrada de água, inicialmente foi atribuída a essas operações, a causa das oscilações das medições. Posteriormente, já no final do período de medição, foi descoberto que as oscilações eram do próprio sensor. Como o objetivo do trabalho é observar as variações de níveis de O₂ e não seu valor com precisão, somado ao fato de não possuir mais sensores de reserva, esse sensor foi mantido para a realização das medições. Para uma melhor visualização e para auxiliar na interpretação das informações, utilizamos o gráfico *boxplot* para esses mesmos valores, conforme ilustrado no Gráfico 4-7.

Os níveis de O₂ no Ponto1 apresentaram valores maiores, seguido pelo Ponto2 e Ponto3. O Ponto2 foi o que apresentou menores variações do nível de O₂ dissolvido ao longo do período.

Gráfico 4-7 – *Boxplot* de O₂ de P1, P2 e P3 durante todo o período de medição

4.8 Medidas de concentração de O₂ dos pontos P1, P2 e P3 mês a mês

O Gráfico 4-8 ilustra a concentração de O₂ dissolvido no Ponto1, mês a mês. O Gráfico 4-9 ilustra a concentração de O₂ dissolvido no ponto 2, mês a mês e o Gráfico 4-10 ilustra a concentração de O₂ dissolvido no Ponto3, mês a mês.

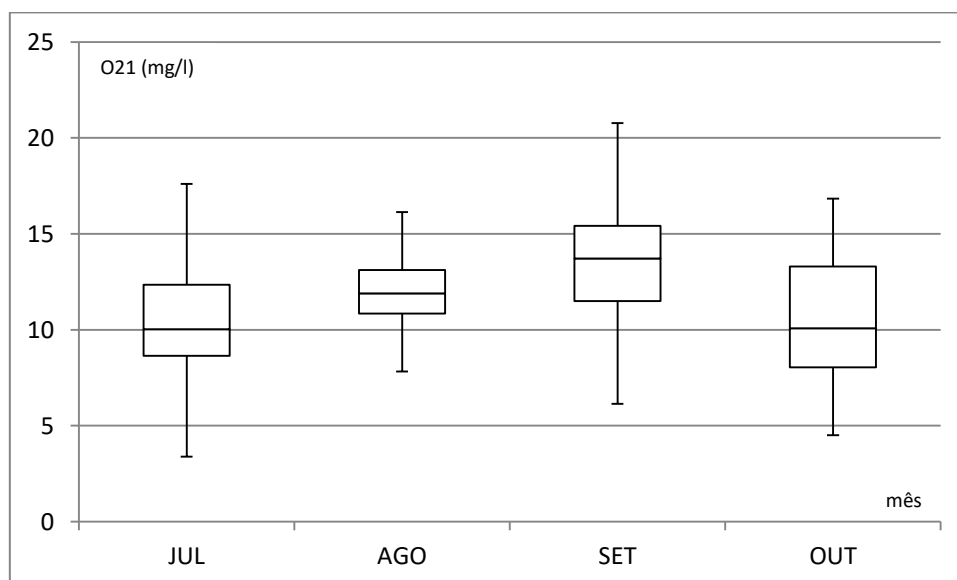
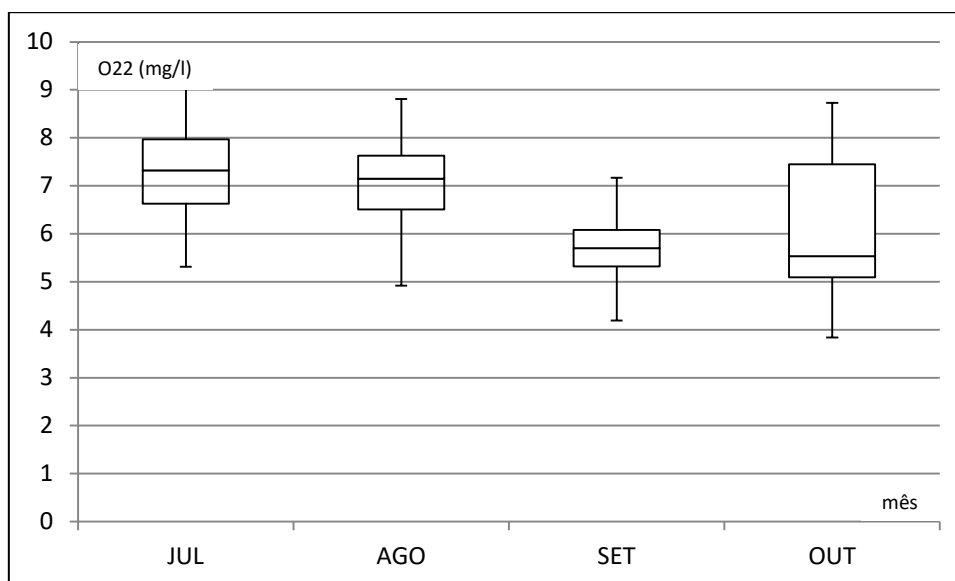
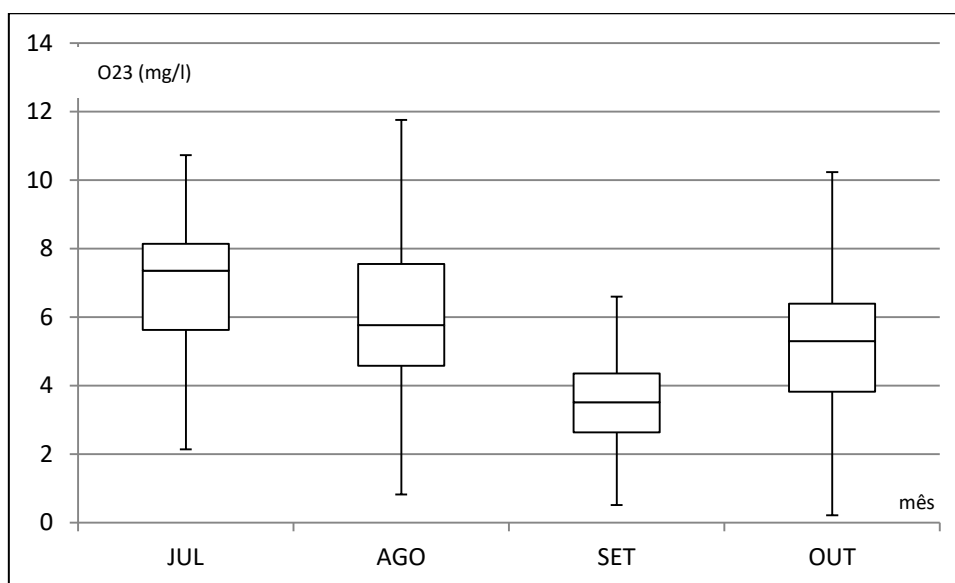
Gráfico 4-8 – Níveis de O₂ dissolvido do Ponto1, mês a mês

Gráfico 4-9 - Níveis de O₂ dissolvido do Ponto2, mês a mêsGráfico 4-10 - Níveis de O₂ dissolvido do Ponto3, mês a mês

Analisando os gráficos acima, observamos uma grande influência do córrego Sarandi nas águas do rio Pirapó, pois a concentração de O₂ no rio Pirapó após a confluência do córrego Sarandi, acompanhou mais a concentração de O₂ do córrego Sarandi do que a concentração de O₂ do próprio rio Pirapó antes da confluência.

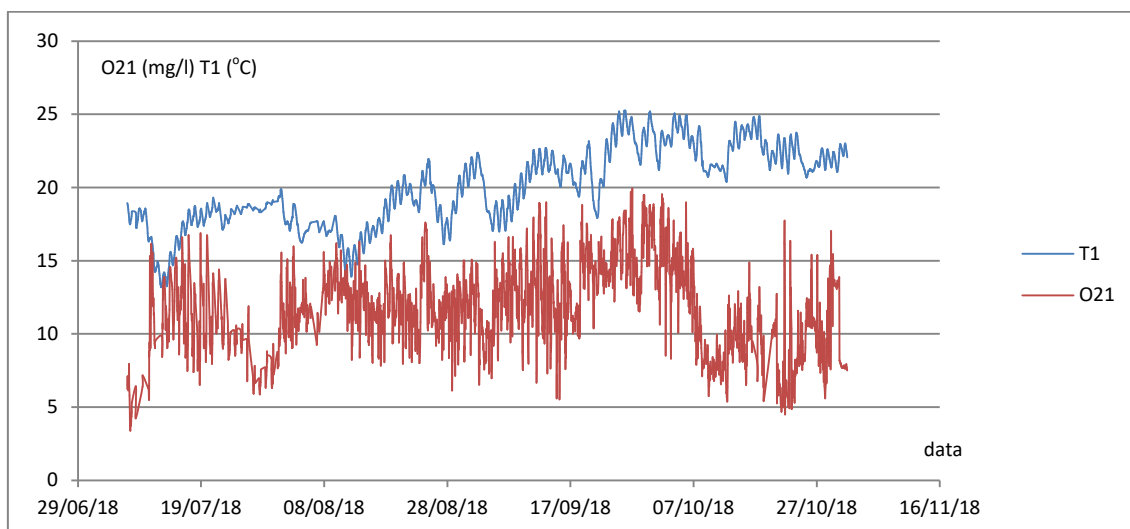
Observamos uma grande influência dos níveis de O₂ dissolvido do córrego Sarandi (P3) nos níveis de O₂ dissolvido do rio Pirapó em P2, após receber as águas desse córrego. Essa influência se deu principalmente pelo fato do sensor de O₂ dissolvido de P2 ser instalado na mesma margem onde deságua o córrego Sarandi e de

onde a Sanepar captava a água, onerando o tempo e custo do processo de tratamento para o abastecimento da cidade de Maringá. Por esse motivo, a Sanepar mudou o ponto de captação a 200 metros antes da desembocadura do córrego Sarandi, em 1997 (VENDRAMEL, 2002).

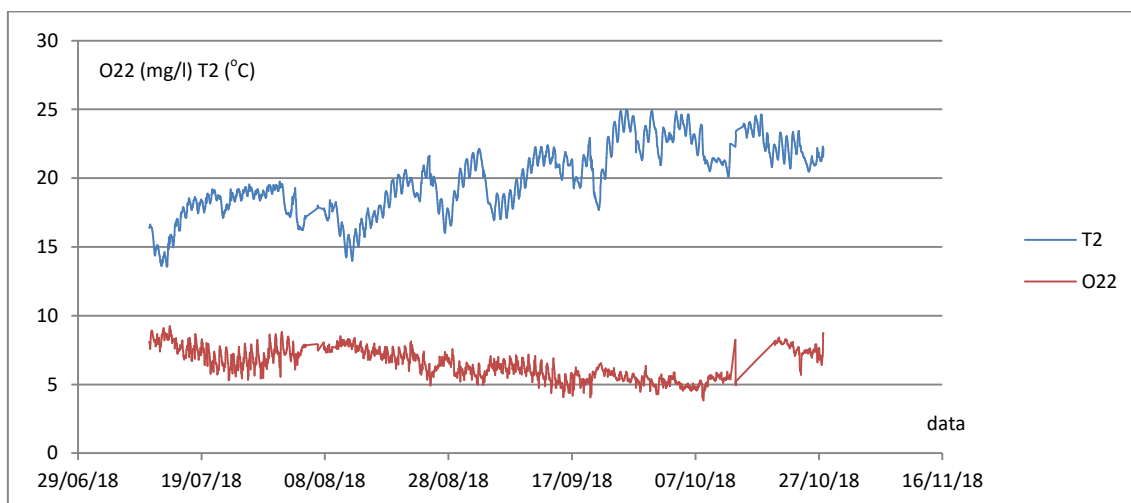
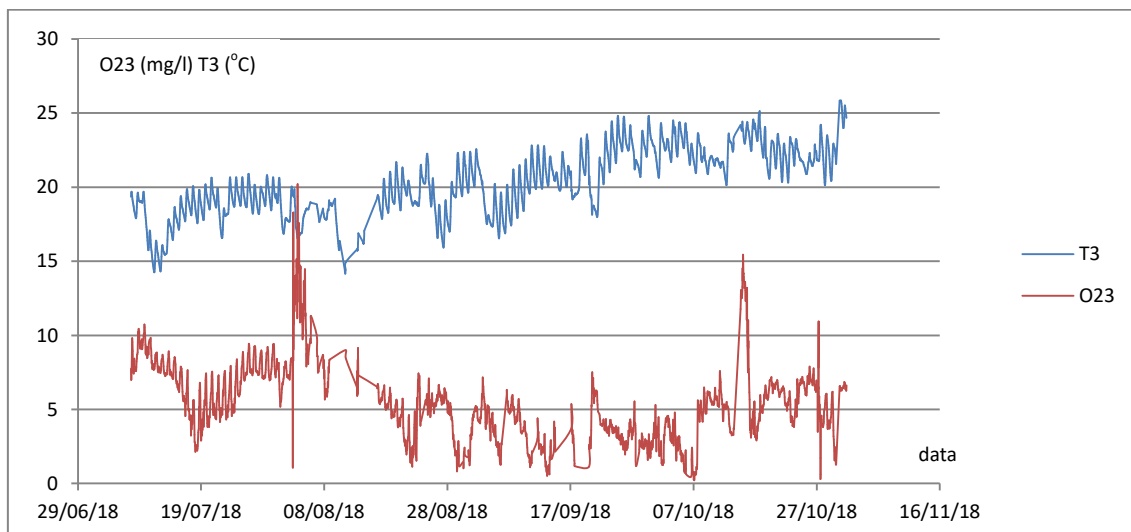
4.9 Nível de O₂ dissolvido em relação à temperatura da água

O Gráfico 4-11 ilustra os valores medidos de temperatura da água e de oxigênio dissolvido no Ponto1 durante o período de medição. O Gráfico 4-12 e o Gráfico 4-13 ilustram os valores medidos de temperatura e de oxigênio dissolvido no Ponto2 e Ponto3, respectivamente.

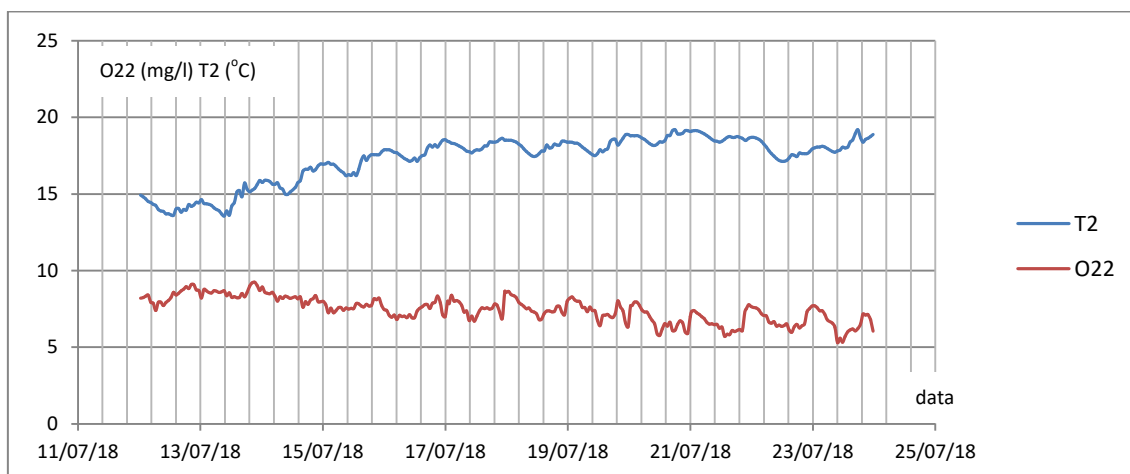
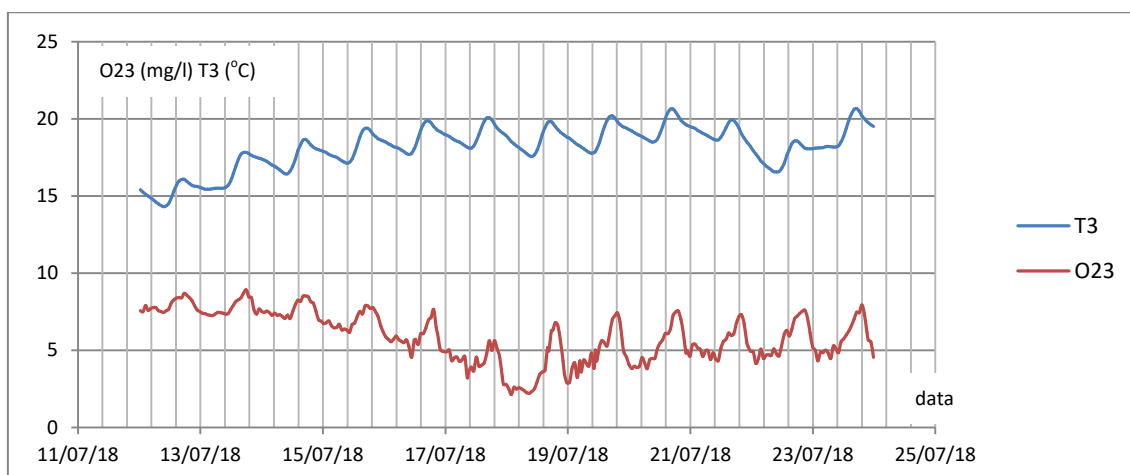
Gráfico 4-11 – Nível de O₂ dissolvido em relação à temperatura da água em P1



No Gráfico 4-12 e no Gráfico 4-13 observamos uma diminuição no nível médio de oxigênio dissolvido com o aumento médio da temperatura da água, o que está de acordo com CHARBONNEAU (1979), que diz que o nível de oxigênio dissolvido na água diminui com o aumento da temperatura da água. No Gráfico 4-11, devido às oscilações dos valores medidos de oxigênio dissolvido, não parece muito claro essa observação.

Gráfico 4-12 - Nível de O₂ dissolvido em relação à temperatura da água em P2Gráfico 4-13 - Nível de O₂ dissolvido em relação à temperatura da água em P3

Já em relação às variações diárias de temperatura, isto não ocorre, pois como ilustra o Gráfico 4-14 e o Gráfico 4-15, obtidos de uma fração do período de medição, compreendida entre 12/07/2018 e 30/07/2018, observamos que o aumento da temperatura não implica em uma diminuição no nível de oxigênio dissolvido na água. As variações do nível de oxigênio na água estão ocorrendo por outros motivos e não devido às variações da temperatura.

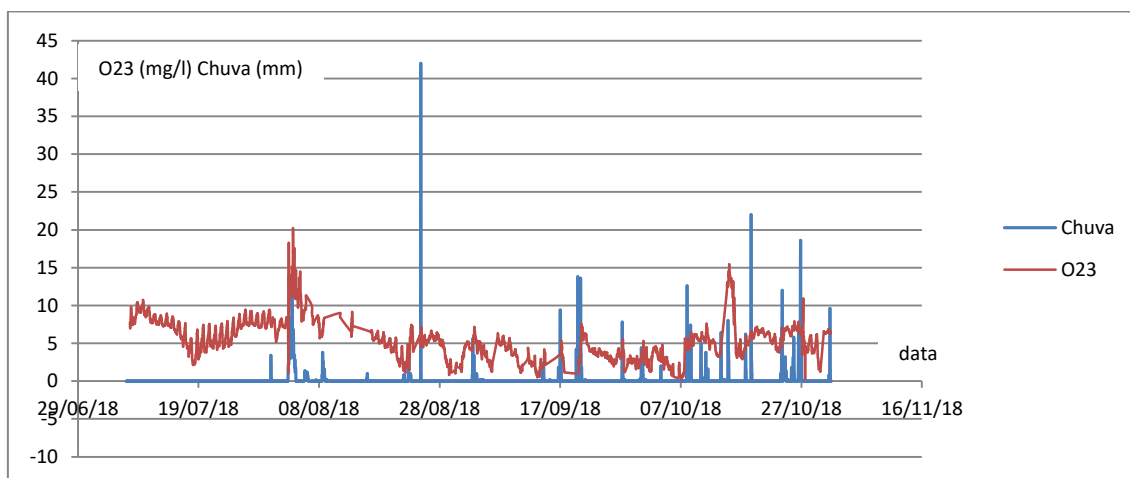
Gráfico 4-14 – Nível de O₂ x Temperatura da água em P2 – FraçãoGráfico 4-15 – Nível de O₂ x Temperatura da água em P3 - Fração

4.10 A influência das chuvas na concentração de O₂ dissolvido

No mesmo período em que as medições de temperatura da água e concentração de oxigênio dissolvido foram realizadas, também foram obtidos dados meteorológicos da Estação Climatológica de Maringá, localizada na Universidade Estadual de Maringá, para os parâmetros de temperatura ambiente, índice de chuvas e índice de radiação solar.

Devido a sua localização, observamos que as chuvas registradas na Estação Climatológica de Maringá influenciaram de forma significativa no nível de O₂ dissolvido do Córrego Sarandi (Ponto3), conforme ilustra o Gráfico 4-16.

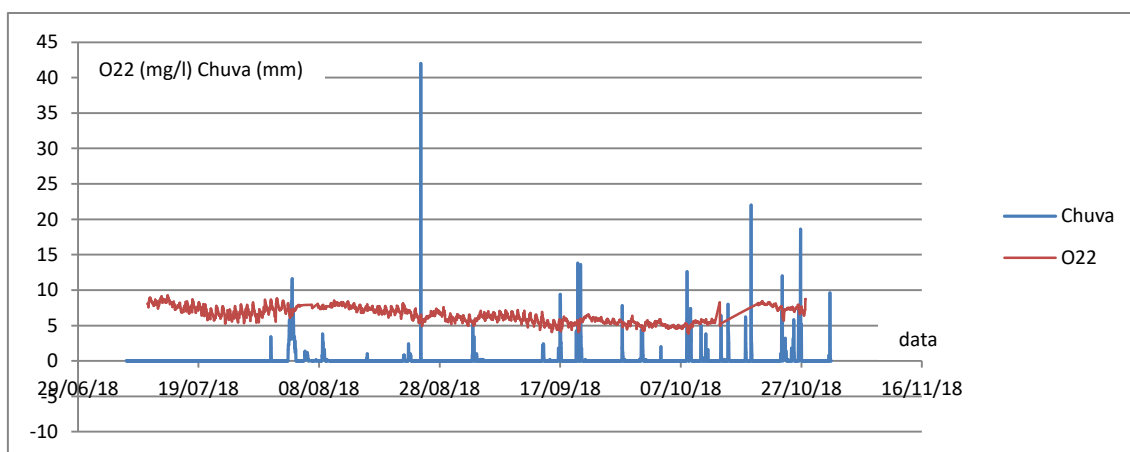
Gráfico 4-16 – Influência da chuva no Ponto3



Essa influência se deve ao fato do Córrego Sarandi receber as águas do Ribeirão Morangueiro com nascente no Parque Alfredo Werner Nyffeler a 1.750 metros da Estação Climatológica de Maringá.

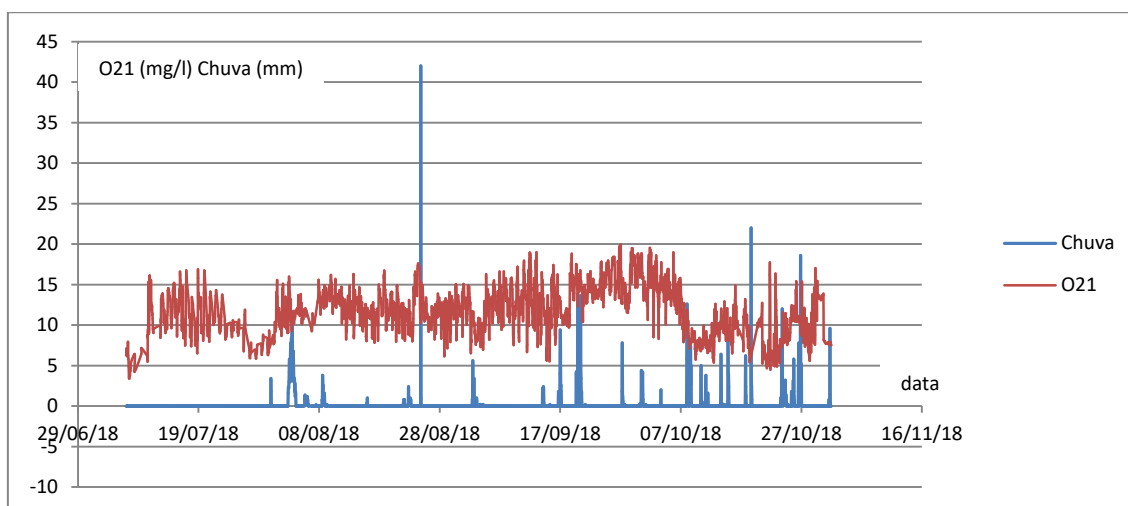
No Ponto2 instalado na EEB-01, observamos uma pequena influência da chuva no nível de O₂ dissolvido, consequência das variações de O₂ dissolvido no Córrego Sarandi, conforme se observa no Gráfico 4-17.

Gráfico 4-17 - Influência da chuva no Ponto2



Já para o Ponto1 instalado na EEB-00, as chuvas na cidade de Maringá não influenciaram nos níveis de O₂ dissolvido, ilustrado no Gráfico 4-18. Para uma melhor análise da influência da chuva nas águas do rio Pirapó, deve-se adquirir os dados climatológicos da região compreendida pela bacia do rio Pirapó.

Gráfico 4-18 – Influência da chuva no Ponto 1



4.11 A influência da radiação solar na concentração de O₂ dissolvido

O Gráfico 4-19 ilustra a radiação solar e os índices de O₂ dissolvido nos três pontos durante todo o período de medição, mês a mês.

Observamos que os níveis de oxigênio tendem a diminuir com o aumento da radiação solar, mas esta ocorrência se deve ao fato da temperatura da água aumentar com o aumento da radiação solar, provocando conseqüentemente a diminuição dos níveis de oxigênio dissolvido.

A variação dos níveis de O₂ dissolvido em P1, P2 e P3 em relação à radiação solar, é mostrada com mais detalhes no intervalo entre os dias 12/07/2018 a 30/07/2018, conforme o Gráfico 4-20. Esse intervalo foi escolhido devido a não ocorrência de chuvas, que poderiam alterar os níveis de O₂, principalmente no Ponto3, conforme visto no Gráfico 4-16. Os valores da radiação solar foram divididos por 600 para melhor se adequar aos valores de O₂ dissolvido.

Observamos no Gráfico 4-20 que o nível de O₂ dissolvido no Ponto1 diminui com o aumento da radiação solar e aumenta no período da noite. O mesmo acontece com os níveis de O₂ dissolvido no Ponto2, mas de maneira menos acentuada, levando a crer que existem nas águas do rio Pirapó consumidores de oxigênio durante o dia e produtores de oxigênio durante a noite.

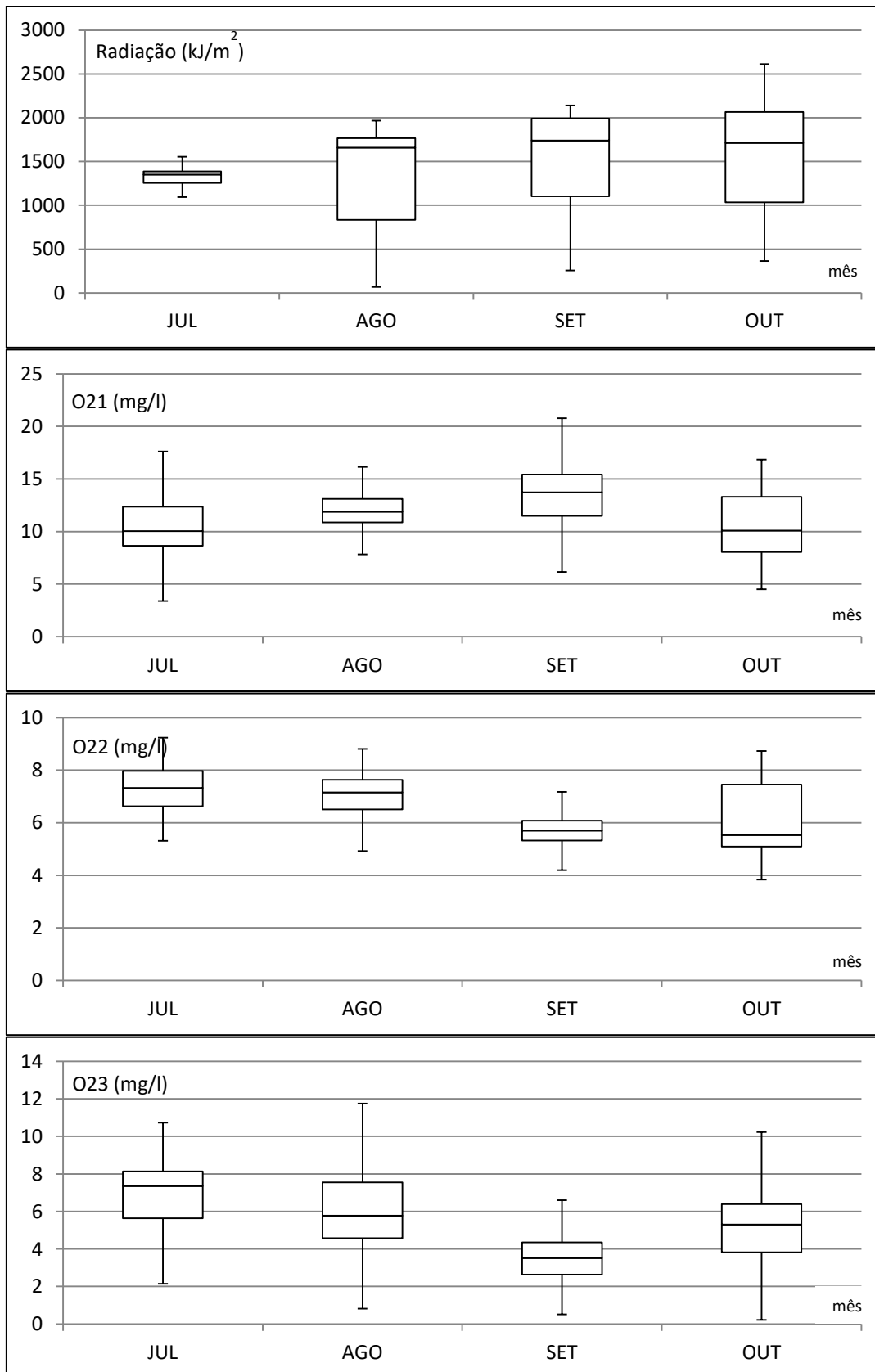
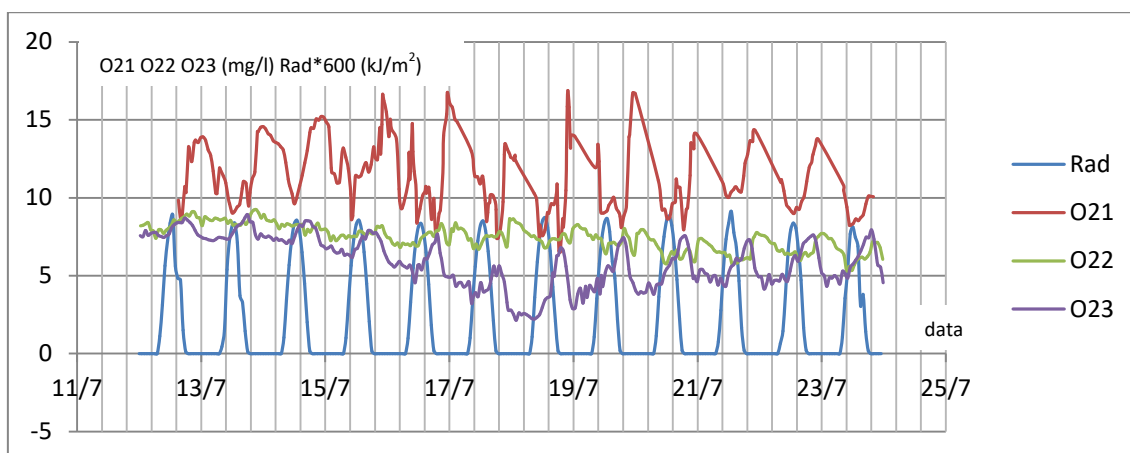
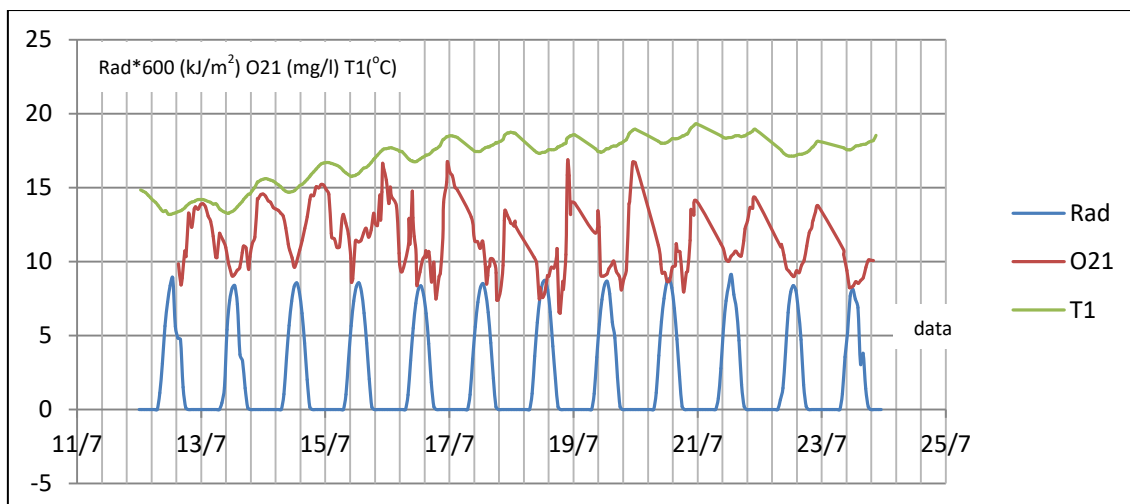
Gráfico 4-19 – Efeitos da radiação solar sobre níveis de O₂ dissolvido

Gráfico 4-20 – Influência da radiação sobre nível de O₂ dissolvido em um intervalo

Ao analisar os níveis de O₂ dissolvido no Ponto3, observamos uma característica diferente das anteriores. Os níveis de O₂ dissolvido nesse ponto começam a aumentar ainda no período da manhã, atingem seu pico no início da noite e começam a diminuir durante toda a noite, voltando a aumentar na manhã do dia seguinte. Essa característica indica a possibilidade de haver produtores de oxigênio na água com a radiação, como algas, a montante do ponto de medição, pois o efeito dessa produção só é medida pelo sensor após algumas horas em relação ao pico de radiação solar do dia.

Procurando entender melhor esse processo, foram analisadas as variações dos níveis de O₂ dissolvido na água com a influência da radiação solar e acrescentado os valores medidos da temperatura da água em cada um dos pontos de medição. Dessa forma, o Gráfico 4-21 ilustra variação dos níveis de O₂ dissolvido em relação à radiação solar e à temperatura da água no Ponto1.

Gráfico 4-21 – Níveis de O₂ dissolvido e temperatura em P1 e radiação solar

O Gráfico 4-22 ilustra os mesmos valores obtidos para o Ponto2, assim como o Gráfico 4-23 para o Ponto3.

Gráfico 4-22 - Níveis de O₂ dissolvido e temperatura em P2 e radiação solar

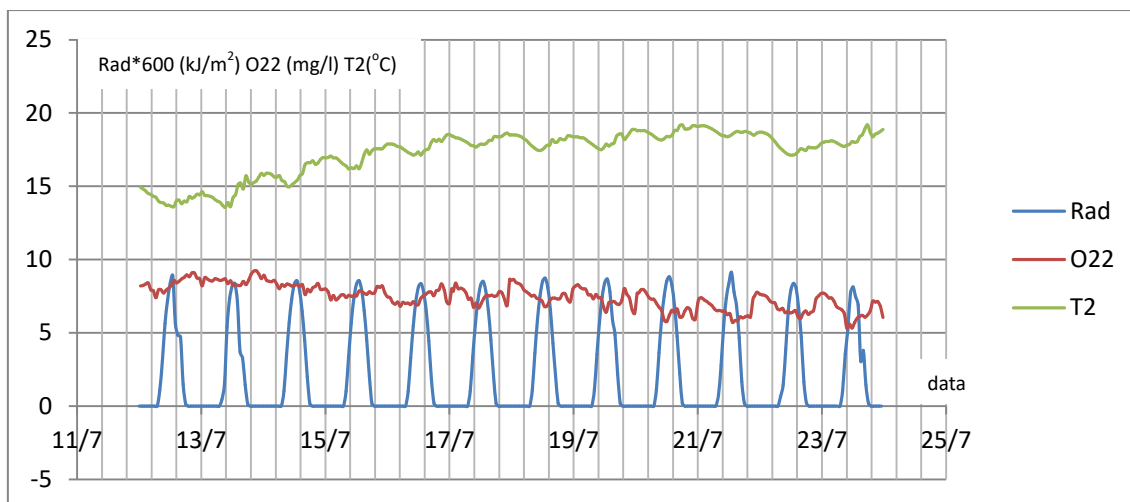
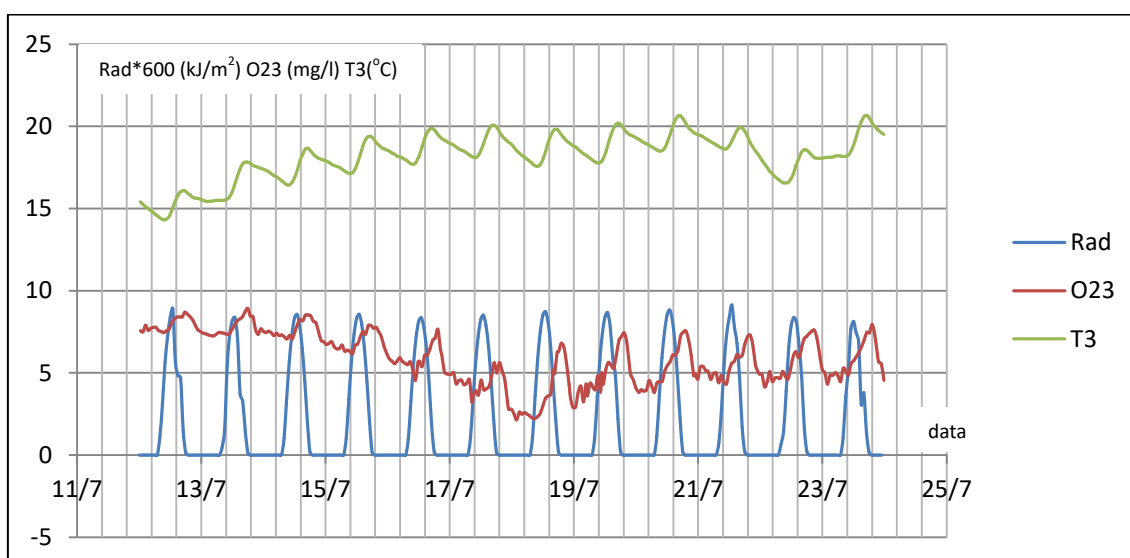


Gráfico 4-23 - Níveis de O₂ dissolvido e temperatura em P3 e radiação solar



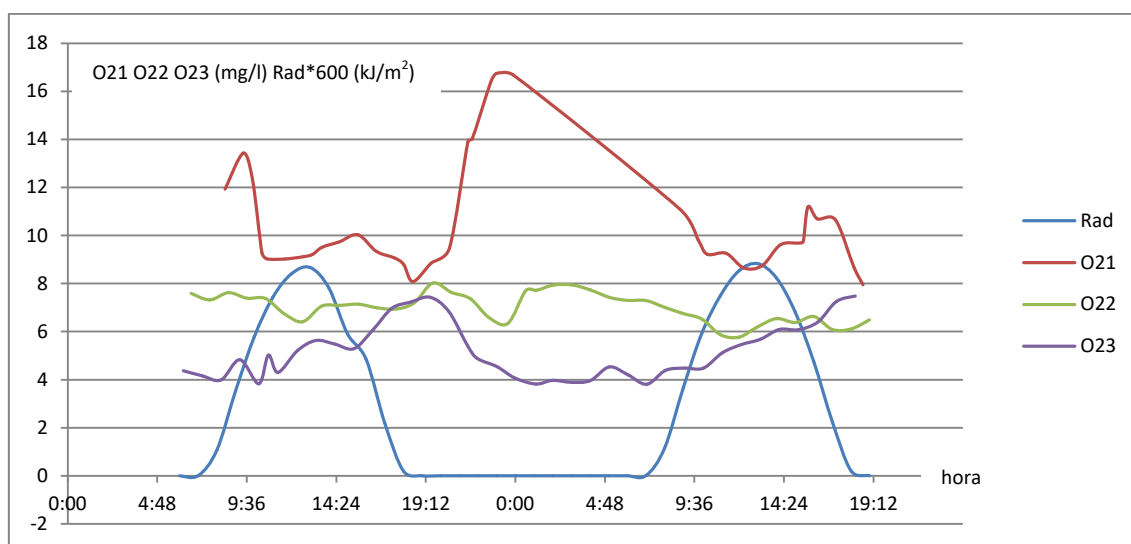
Com a inclusão da temperatura da água nos gráficos, observamos que os aumentos dos níveis de O₂ dissolvido na água são acompanhados pelo aumento da temperatura da água.

Analisando as variações de O₂ dissolvido no Ponto3 e considerando a dinâmica do córrego Sarandi, podemos concluir que o aumento da temperatura da água é consequência do aquecimento da água a montante do ponto de medição. O aquecimento

é decorrente da incidência da radiação solar incidente no curso do córrego, assim como sobre o lago do Parque Alfredo Werner Nyffeler, que podem conter microrganismos como algas, que produzem oxigênio através do processo da fotossíntese.

As variações de O_2 dissolvido no Ponto1 ocorrem pela mesma razão, ocorrendo o pico do nível de O_2 dissolvido em um intervalo maior do pico de radiação solar devido aos afluentes a montante do rio Pirapó estarem mais distantes do ponto de medição. Para uma melhor visualização desses tempos, ilustramos os níveis de O_2 dissolvido em P1, P2 e P3 em função da radiação solar no período compreendido entre 19/07/2018 – 6:00 a 20/07/2018 – 19:00, conforme o Gráfico 4-24. ocorrido em P1 com um intervalo de uma hora e quatorze minutos.

Gráfico 4-24 – Níveis de O_2 por radiação de 19/07 a 20/07



O pico de radiação solar ocorrida em 19/07/2018 foi às 13:00. O pico de nível de O_2 dissolvido em P3 ocorreu às 19:25, portanto 6:25 após o pico de radiação solar. O pico de nível de O_2 em P1 ocorreu às 23:54, ou 10:54 após o pico de radiação solar.

Em P2, tivemos dois picos nos níveis de O_2 dissolvido. O primeiro às 19:34 decorrente do pico ocorrido em P3 e o segundo às 1:08 do dia seguinte, decorrente do pico ocorrido em P1. Devido à localização de P1, P2 e P3, concluímos que o primeiro pico de nível de O_2 dissolvido ocorrido em P2 é decorrente do pico ocorrido em P3 com nove minutos de intervalo e o segundo pico ocorrido em P3 é decorrente do pico

Com a informação da velocidade média da água do córrego Sarandi, pode-se identificar a região onde ocorreu uma elevação do nível de O₂ dissolvido na água em função da radiação solar.

A realização desse levantamento no rio Pirapó é mais complexa, pois a montante do Ponto1 tem-se vários afluentes desembocando nele. A instalação de pontos de monitoramento na desembocadura de cada afluente do rio Pirapó, como o realizado no córrego Sarandi, poderá auxiliar na identificação na origem da causa de oscilações que ocorrem no nível de O₂ dissolvido na água do rio.

A partir da identificação dos locais que provocam a elevação do índice de O₂ dissolvido em função da radiação solar e estabelecendo um padrão de variação dos índices de O₂ ao longo de um período, é possível identificar situações de anormalidade ocorridas em lagos ou represas, assim como o lançamento de grandes quantidades de dejetos a montante do ponto de medição do rio Pirapó ou em seus afluentes.

Já no final do período de medição, mais precisamente em 25/10/2018, a Sanepar realizou a medição do nível de O₂ dissolvido em P1 e P2 utilizando um equipamento para medição *in loco* da marca Hach, modelo HQ40D. O Quadro 4-12 ilustra os valores medidos pela Sanepar com os valores medidos pelo nó sensor em horário próximo à medição realizada pela Sanepar.

Quadro 4-12 – Comparação das medições de O₂ com valores da Sanepar

Data / Hora	Ponto	Valor medido pela Sanepar	Valor medido pelo nó sensor
25/10/2018 09:52	2	7,7 mg/l	7,39 mg/l
25/10/2018 10:10	1	7,98 mg/l	11,86 mg/l

A diferença entre o sensor do Ponto2 com a medição efetuada pela Sanepar foi de apenas 0,31 mg/l. Já para o Ponto1 essa diferença foi de 3,88 mg/l. Apesar dessa diferença pontual e considerando que sensor nesse ponto apresentou comportamento semelhante aos sensores instalados nos outros pontos em relação à variação de temperatura da água e radiação solar, decidiu-se por utilizar os valores medidos por esse.

5 CONCLUSÕES

A plataforma desenvolvida neste projeto realiza a medição da concentração de oxigênio dissolvido em águas de uma microbacia hidrográfica utilizando uma rede de sensores sem fio, composta por três nós sensores e um nó central. Os nós sensores fazem a medição da concentração de oxigênio dissolvido em três locais distintos dessa microbacia hidrográfica e enviam os valores medidos para o nó central. O nó central, por sua vez, recebe os valores enviados pelos nós sensores, armazena em uma unidade de memória não volátil e transmite esses valores para um servidor de dados utilizando a rede de telefonia celular. Os dados armazenados nesse servidor estarão disponíveis para consultas online.

De acordo com o experimento realizado, mostrou-se que é viável a utilização da tecnologia de rede de sensores sem fio e da rede de telefonia celular para realização de monitoramento da concentração de oxigênio dissolvido em água de uma microbacia utilizada para o abastecimento da população. Apesar das falhas de comunicação registradas entre os nós sensores e o nó central, e do nó central com o servidor de dados, essas não ocorreram de forma contínua, sem prejuízos ao monitoramento.

Os módulos de rádio XBee® tiveram funcionamento satisfatórios nesta configuração. As antenas dos módulos tiveram que ser posicionadas de forma que tivessem visibilidade para proporcionar a comunicação. Testes ao nível do solo não permitiram o funcionamento, pois o conjunto de vegetação entre os módulos de rádio produziram atenuação no sinal, impossibilitando a viabilidade de comunicação. A utilização de antenas direcionais, com maior ganho, possibilita a utilização da plataforma para cobrir uma área maior de monitoramento.

As falhas de comunicação entre os módulos XBee® podem ser minimizadas com o aumento do valor do parâmetro MR (*Mesh Unicast Retries*) desses módulos. Este parâmetro define o número de tentativas que o transmissor deve executar para efetivar a transmissão da informação, após a falha na primeira tentativa. Esse parâmetro pode assumir valores entre 0 e 7 e durante o experimento foi utilizado o valor 1. Aumentando esse valor reduz-se a probabilidade de falhas de comunicação entre os módulos XBee®.

As falhas ocorridas entre o nó central com a ERB de telefonia celular podem ser diminuídas alterando-se o algoritmo utilizado que, após três tentativas aborta a operação de transferência de dados para o servidor. A criação de uma pilha para armazenar os

dados a serem enviados para o servidor e um algoritmo que realiza um número maior que três tentativas de transmissão tendem a minimizar essas falhas. A instalação de uma antena direcional, com maior ganho, também pode diminuir a quantidade de falhas pela melhora do nível de sinal entre o nó central e a ERB.

Para locais onde não há disponibilidade de comunicação com o sistema de telefonia celular, a plataforma deverá utilizar de comunicação via satélite ou de rádio enlace privado para a realização da transmissão das informações.

O sistema de alimentação da plataforma se mostrou eficiente, após as trocas dos conjuntos de baterias dos nós sensores e adição de uma bateria para o nó central, não causando interrupções de funcionamento mesmo em períodos de chuvas consecutivas ocorridas no mês de outubro de 2018. A busca pelo ponto de equilíbrio entre autonomia e custo não é uma tarefa tão simples por depender de fatores como o clima, mas os painéis solares utilizados foram suficientes para a recarga das baterias durante todo o período de medição.

Os níveis de oxigênio do rio Pirapó a jusante da desembocadura do córrego Sarandi (P2) sofre uma maior influência dos níveis de oxigênio desse córrego (P3), pelo fato do sensor instalado em P2 estar localizado na mesma margem de desembocadura do córrego, conforme visto no capítulo 4.7.

Foi possível detectar e identificar no monitoramento em P2 variações dos níveis de O_2 dissolvido consequentes das variações ocorridas em P1 e P3. Dessa forma, pode-se identificar a origem da variação do nível de O_2 dissolvido em P2, isto é, se as variações de O_2 dissolvido ocorridas em P2 são consequência da variação de O_2 dissolvido em P3 ou em P1.

No experimento realizado, a melhor posição para o sensor de oxigênio dissolvido foi a vertical. Este posicionamento foi possível em P2 e P3 devido a infraestrutura existente nesses locais. Em um dos pontos de monitoramento (P3), o sensor foi instalado com ângulo de 30° em relação a horizontal e este posicionamento acarretou em várias interrupções nas medições para se realizarem limpeza do sensor. Este posicionamento teve que ser adotado devido à falta de infraestrutura no local para o posicionamento na vertical.

Conclui-se que a plataforma idealizada cumpriu com os objetivos propostos para monitoramento remoto de O_2 dissolvido em águas de uma microbacia de abastecimento utilizando a tecnologia de redes de sensores sem fio e disponibilizando esses dados em um servidor para consulta pública.

5.1 Trabalhos futuros

A qualidade da água é medida por vários parâmetros além da concentração de O_2 dissolvido. Uma sugestão para trabalhos futuros é a implementação de sensores eletrônicos para medição de outros parâmetros da qualidade da água, como pH e turbidez, tornando a plataforma mais efetiva na análise da qualidade da água.

Experimentos com o posicionamento dos sensores no centro do leito do rio podem trazer resultados melhores que os sensores instalados na margem. Esse posicionamento possibilita também a medida da velocidade da água, que auxiliará em um mapeamento melhor das variações de O_2 dissolvido a montante do ponto de sensoriamento. Dependendo da velocidade da água do rio, também poderia ser aproveitada a energia cinética da água para geração de energia elétrica para alimentação do nó sensor.

A grande dificuldade para essa opção seria a ancoragem do nó sensor para permitir a navegabilidade do rio, caso esse seja navegável, e proteção contra objetos transportados pela água do rio que venha a colidir com o nó sensor.

A utilização de outro tipo de sensor de O_2 dissolvido é sugerida para o monitoramento de córregos e riachos que recebem muitos dejetos que sujam o sensor bloqueando seu contato com a água, causando medições errôneas e frequentes limpezas.

Com o advento da internet das coisas, novos padrões para redes de sensores sem fio estão sendo criados para comunicação em longo alcance e baixo consumo. Dessa forma, sugere-se a utilização de outra tecnologia como o LoRa com o protocolo LoRaWAN, assim como a utilização de módulos LoRa que utilizem o componente SX1280, da Semtech, que possibilita enlaces de até 144,5 dBm (SEMTECH, 2018).

Também acompanhando o advento da internet das coisas, sugere-se experimentos com a utilização da IoT Rural, que possui duas vertentes na faixa de operação, uma a 450 MHz e outra a 700 MHz (SANCHES, 2018), para a comunicação entre o nó central e o servidor de dados, que também poderá ser diferente do utilizado nesta tese.

6 REFERÊNCIAS

ABBA ARI, A.A., GUEROUI, A., LABRAOUI, N. and YENKE, B.O. Concepts and Evolution of Research in the Field of Wireless Sensor Networks. *International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC)*, 7, 81-98; 2015.

ALHMIEDAT, T. A survey on environmental monitoring systems using wireless sensor networks. *Journal of Networks*, vol. 10, no. 11, pp. 606–615, 2015.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Programa Nacional de Acreditação de Laboratórios em Análises da Qualidade da Água - PROLAB. Documento base maio/2004. Disponível em: <http://www.crq4.org.br/downloads/acreditacao_ana.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2016.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Portal da Qualidade das Águas. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/default.aspx>>. Acesso em: 15 mai. 2016.

ATKINSON, J. K.; CRANNY, A. W. J.; GLASSPOOL, W. V.; MIHELL, A. An investigation of the performance characteristics and operational lifetimes of multielement thick film sensor arrays used in determination of water quality parameters. *Sensors and Actuators B*, v. 54, p. 215-231, 1999.

BARONTI, Paolo et al. Wireless Sensor Networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards. *Computer Communications*, Vol. 30, No.7, pp. 1655-1695, 2007.

BASIN – Boulder Area Sustainability Information Network. Water Quality Index. Disponível em: <http://bcn.boulder.co.us/basin/watershed/wqi_info.html>. Acesso em: 14 abr. 2016.

BRAGA, Newton C. Conheça os microcontroladores PIC – parte 1. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/microcontroladores/103-microchip-pic/1243-mic001.html>>. Acesso em: 28 jan. 2016.

CANTON Electronics; CE019 datasheet; Disponível em: http://www.canton-electronics.com/power-converter-modules-c-4/buck-modules-c-4_6/output-dc33v-c-4_6_19/2a-dc-5v23v-to-33v-dcdc-stepdown-power-supply-buck-module-for-esp8266-wifi-p-82.html?cPath=4; Acesso em: 10 jan 2018.

CAPELA, M. V.; CAPELA, J. M. V. Elaboração de Gráficos Box-Plot em Planilhas de Cálculo. *In: Anais do I Congresso de Matemática Aplicada e Computacional*, 2011, Uberlândia, MG.

CETESB. Índices de Qualidade das Águas. Disponível em: <http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/informacoes-basicas/indices-de-qualidade-das-aguas/>. Acesso em: 12 jul. 2016.

CHARBONNEAU, J. P. Enciclopédia de ecologia. São Paulo: EPU/EDUSP, 1979. 380p.

CHEE, Gab-Joo. Biosensor for the Determination of Biochemical Oxygen Demand in Rivers. Environmental Biosensors. Rijeka: InTech, 2011.

CRESESB; Potencial Solar – Sundata; Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>; Acesso em: 06 mar 2018

DIGI. XBee®/XBee®-Pro ZB RF Modules. Minnetonka: Digi International Inc., 2012.

EVANS, M.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM J.; Arduino in Action. Shelter Island: Manning, 2013.

FALUDI, Robert. Building Wireless Sensor Networks. Sebastopol: O'Reilly, 2011.

FAMIELEC, S., MALINOWSKI, M., BRZYCHCZYK, B., SALAMON, J.. Present Used Methods for Measuring Dissolved Oxygen Concentration at Wastewater Treatment Plants. Infrastructure and Ecology of Rural Areas. Nr. II/2/2015, p 431-440.

INTERSIL. SPI Protocol and Bus Configuration of Multiple DCPs: Application Note. Intersil Americas Inc., 2007.

MAXIM; DS18B20 datasheet; Disponível em: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>. Acesso em: 12 out. 2017.

MCROBERTS, M.. Arduino Básico. São Paulo: Novatec, 2013.

MS - Ministério da Saúde. Vigilância e Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano. Disponível em: http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf. Acesso em: 25 jul 2016.

MOTOROLA. Serial Peripheral Interface: Technical Data. Motorola, s/d.

NAZRI, G. A., PISTOIA, G.; Lithium Batteries Science and Technology. Springer, 1ª edição, New York: 2009.

NXP. I2C-bus specification and user manual. NXP Semiconductors, 2014.

PATOLA, Gabinetes plásticos para equipamentos; Disponível em: http://www.patola.com.br/index.php?route=product/product&path=59_68&product_id=93; Acesso em 10 jun 2017.

PIAU, D. B.; CARRIJO, G. A.; Projeto de dimensionamento de enlace de rádio; Ciência & Engenharia, v. 23, n. 2, p. 81 – 90, jul. – dez. 2014. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/cieng/article/view/27371/16559>.

PIEDRA, A. de La, BENITEZ-CAPISTROS F., DOMINGUEZ, F, TOUHAFI, A. Wireless sensor networks for environmental research: A survey on limitations and challenges. EUROCON, Zagreb (Croacia): 2013.

PINHO, J. T., GALDINO, M. A.; Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos; CEPTEL – CRESESB; Rio de Janeiro: 2014.

RASIN, Z., ABDULLAH, M. R., HASAN, M. H. C. Application and Evaluation of High Power Zigbee Based Wireless Sensor Network in Water Quality Monitoring System. The 2nd International Conference on Engineering and ICT, February 2010, Melaka, Malaysia.

REBOUÇAS, A. C. Panorama da água doce no Brasil. In: REBOUÇAS, Aldo da Cunha (Org.). Panorama da degradação do ar, da água doce e da terra no Brasil. São Paulo: IEA/USP; Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1997. p. 59-107.

ROSOLEM, M. F. N. C., BECK, R. F., SANTOS, G. R., ARIOLI, V. T.; Bateria de lítio-íon: conceitos básicos e potencialidades; Cad. CPqD Tecnologia; jul/dez 2012; v. 8, n. 2, pp. 59-72.

RUIZ, L. B. et al. Redes de Sensores Sem Fio. Livro de Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. 1ed. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte/DIMAp/UnP, 2003, v. 1, p. 179-224.

SACCO, Francesco. Comunicação SPI – Parte 1. Disponível em: <<http://www.embarcados.com.br/spi-parte-1/>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

SAMSUNG, Datasheet bateria INR48650-25R; 2014; Disponível em <<https://datasheetspdf.com/pdf-file/839321/Samsung/INR18650-25R/1>>. Acesso em: 21 mar. 2018.

SANCHES, C.; Internet das Coisas: conheça o mercado e se apronte para a regulação; Disponível em: <https://www.ispblog.com.br/2018/12/05/internet-das-coisas-conheca-o-mercado-e-se-apronte-para-a-regulacao/>; Acesso em 01/06/2019.

SANTOS, Edval J. P. et al. Experimentos didáticos em rede sem fio ZigBee: monitoramento e instrumentação. Departamento de Eletrônica e Sistemas, Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

SEMA – Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná. Índice de Qualidade das Águas. Disponível em: <<http://www.meioambiente.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=88>>. Acesso em: 17 mai. 2016.

SEMTECH; SX1280 Wireless RF 2.4 GHz Transceivers; Disponível em: <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/24-ghz-transceivers/sx1280>; Acesso em: 18/07/2019.

SILVA, Renato A. Programando microcontroladores PIC: Linguagem “C”. São Paulo: Ensino Profissional, 2006.

SOUZA, David J. Desbravando o PIC: Ampliado e Atualizado para PIC16F628A. 12^a edição. São Paulo: Érica, 2011.

SOMANI, N. A., PATEL, Y.. ZigBee: A Low Power Wireless Technology for Industrial Applications. International Journal of Control Theory and Computer Modelling (IJCTCM), Vol.2, No.3, May 2012.

STECK, Caixas de passagem e distribuição; Disponível em: <https://www.steck.com.br/produtos/caixas-de-passagem-e-distribuicao/caixas-light>; Acesso em 25 jan. 2018.

TELEBRASIL; Mapa de ERBs Brasil (Antenas); Disponível em: <http://www.telebrasil.org.br/panorama-do-setor/mapa-de-erbs-antenas>; Acesso em: 18 mar 2018.

UNIPOWER, Bateria selada estacionária; 2018. Disponível em < <https://unipower.com.br/produto/bateria-estacionaria-vr1a-12v-7ah-mod-up1270e/>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

VALLADARES NETO, J., SANTOS, C. B., TORRES, E. M., ESTRELA, C.; *Boxplot*: Um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos; Revista Odontológica do Brasil Central; V.27, N76; p. 1-6; Goiânia: 2017.

VENDRAMEL, E., KÖHLER, V. B.; A história do abastecimento de água em Maringá, Estado do Paraná; Revista Acta Sientiarum; v.24 n.1 p. 253-260; Maringá: 2002.

WILLS, M., IRVINE, K.N.. Application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index in the Cazenovia Creek, NY, Pilot Watershed Management Project. Middle States Geographer, 1996, pp. 95-104.