

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO TÉCNICO INDUSTRIAL DE SANTA MARIA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM REDES DE
COMPUTADORES**

**MONITORAMENTO REMOTO DE PRESSÃO EM
ADUTORAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA TRATADA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Rinaldo Jorge Coelho

**Santa Maria, RS, Brasil
2014**

STRC/UFSM, RS

COELHO, Rinaldo Jorge

Tecnólogo em Redes de Computadores

2014

MONITORAMENTO REMOTO DE PRESSÃO EM ADUTORAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA TRATADA

Rinaldo Jorge Coelho

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Redes de Computadores do Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção de grau de

Tecnólogo em Redes de Computadores

Orientador: Prof. Dr. Claiton Pereira Colvero

**Santa Maria, RS, Brasil
2014**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO TÉCNICO INDUSTRIAL DE SANTA MARIA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM REDES DE
COMPUTADORES**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova o Trabalho de Conclusão de Curso

**MONITORAMENTO REMOTO DE PRESSÃO EM ADUTORAS DE
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA TRATADA**

elaborado por
Rinaldo Jorge Coelho

Como requisito parcial para a obtenção de grau de
Tecnólogo em Redes de Computadores

COMISSÃO EXAMINADORA:

Claiton Pereira Colvero, PhD.
(Orientador)

Murilo Cervi, PhD.
(UFSM)

Fabio Teixeira Franciscato, Msc.
(UFSM)

Santa Maria. 04 de julho de 2014

DEDICATÓRIA

Em especial a minha esposa Luciane e aos meus filhos Thauã e Filipe que sempre acreditaram e incentivaram a minha conquista e souberam compreender minha ausência em muitos momentos de nossas vidas.

Aos meus pais Adão e Marlene que proporcionaram minha educação, para que alcançasse esta conquista.

A professora e amiga Kirmá Mota que concedeu a sua sabedoria, conhecimento e dedicação para correção ortográfica deste projeto.

Ao meu orientador, prof. Dr. Claiton Colvero, quero expressar minha gratidão pela presença humana, pelo profissional que instiga o aprendiz; que acreditou em mim, compartilhou as suas ideias, seus conhecimentos e que sempre me motivou a superar meus limites e seguir em busca de meus objetivos.

Aos meus colegas de curso minha gratidão pelo apoio constante e dedicação, em especial Tiago Saidelles, Fabrício Bevilaqua Scariotti e Dalvane Janquiel Wehrmeier.

Agradeço a todos os professores do curso de Tecnologia em Redes de Computadores, que de uma forma ou outra, me auxiliaram na realização deste trabalho. Em especial agradeço ao Professor Msc. Fabio Teixeira Franciscato, pela ajuda no desenvolvimento das atividades complementares de elaboração do projeto, me auxiliando com muito profissionalismo e empenho.

RESUMO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
Colégio Técnico Industrial De Santa Maria
Curso Superior de Tecnologia em Redes de Computadores
Universidade Federal de Santa Maria

MONITORAMENTO REMOTO DE PRESSÃO EM ADUTORAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA TRATADA

AUTOR: RINALDO JORGE COELHO
ORIENTADOR: CLAITON PEREIRA COLVERO
DATA E LOCAL DA DEFESA: SANTA MARIA, 04 DE JULHO DE 2014.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de monitoramento de pressão de água em adutoras baseado em uma rede industrial sem fio e de tempo real, que visa diminuir os índices de perdas de água em sistemas de abastecimento de água potável. Estes vazamentos representam grandes prejuízos para as companhias de saneamento, tanto do ponto de vista socioambiental, quanto econômico-financeiro. Este sistema deve promover o controle remoto de possíveis pontos de rupturas de redes ou ramais, sendo estes os principais causadores de desabastecimento de água potável. Para que este controle seja centralizado e seguro, foi desenvolvida uma plataforma *web* que permite a visualização dos dados adquiridos nestas adutoras monitoradas, através de acesso remoto e certificado. Esta interface apresenta informações instantâneas sobre a operação da rede de abastecimento, auxiliando na tomada de decisões relativas ao atendimento de falhas e clientes em tempo hábil, contribuindo para a redução nos índices de perdas de água tratada.

Palavras-chave: Redes sem fio. *ZigBee*. Sensoriamento. Água tratada. Pressão.

ABSTRACT

Completion Of Course Work
Colégio Técnico Industrial De Santa Maria
Curso Superior de Tecnologia em Redes de Computadores
Universidade Federal de Santa Maria

REMOTE MONITORING OF PRESSURE IN PIPELINES OF TREATED WATER DISTRIBUTION

AUTHOR: RINALDO JORGE COELHO
SUPERVISOR: CLAITON PEREIRA COLVERO
Date and Place of Defense: Santa Maria, July 04, 2014.

The aim of this work is to develop a system of monitoring water pressure in pipelines based on a wireless industrial network operating in real time, where rates of water loss in supplying systems represent great loss for the companies from the socio-environmental point of view as well as from the financial one. This system should promote remote control of possible points of rupture of nets being those the main cause of lack of water. In order to control it safely, a web platform was developed; it allows viewing the data acquired at this monitored mains, through remote and certified access. This interface shows instant information about the operation, helping to take decisions related to faults on clients assistance in reasonable time, this way contributing to reduce the taxes of the water wasted.

Keywords: Wireless network. ZigBee. Sensing. Treated water. Pressure.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Atribuições dos dispositivos <i>ZigBee</i> de acordo com sua função na rede.....	19
Figura 2 – Camadas de protocolos dos dispositivos <i>ZigBee</i>	20
Figura 3 – Canais de operação dos dispositivos <i>ZigBee</i>	21
Figura 4 – Funcionalidade e classificação para operação dos dispositivos <i>ZigBee</i>	22
Figura 5 – Representação de uma rede em estrela com dispositivos <i>ZigBee</i>	24
Figura 6 – Representação de uma rede em árvore com dispositivos <i>ZigBee</i>	25
Figura 7 – Representação de uma rede em malha com dispositivos <i>ZigBee</i>	25
Figura 8 – Mensagem em modo <i>Unicast</i>	26
Figura 9 – Mensagem em modo <i>Multicast</i>	26
Figura 10 – Mensagem em modo <i>Broadcast</i>	27
Figura 11 – Estrutura de dados do <i>frame API</i> utilizado nos dispositivos <i>ZigBee</i>	28
Figura 12 – <i>Frame API</i>	29
Figura 13 – Exemplos de tipos de vazamentos mais frequentes em adutoras de água.....	30
Figura 14 – Serviços de reparo em uma adutora de distribuição de água potável	31
Figura 15 – Transdutor de pressão <i>Wika A-10</i>	32
Figura 16 – Características internas de um sensor de pressão piezoelétrico	33
Figura 17 – Simplificação do funcionamento de um transdutor de pressão piezoelétrico	34
Figura 18 – Circuito elétrico equivalente de um transdutor piezoelétrico	34
Figura 19 – Representação esquemática de um transdutor de pressão capacitivo	35
Figura 20 – Localização do resistor <i>shunt</i>	37
Figura 21 – Configuração dos parâmetros do <i>ZigBee</i> através do <i>Software X-CTU</i>	41
Figura 22 – Especificações mecânicas dos módulos <i>ZigBee</i>	42
Figura 23 – Descrição das funções atribuídas dos pinos do módulo <i>ZigBee</i>	43
Figura 24 – Organograma de funcionamento do sistema implementado	45
Figura 25 – Configuração dos Módulos <i>ZigBee</i> através do <i>software X-CTU</i>	46
Figura 26 – Configuração das portas I/O dos módulos <i>ZigBee</i> para operação como sensores	47
Figura 27 – Transdutor de pressão <i>Wika A-10</i> utilizado no projeto	50
Figura 28 – Placa de circuito impresso modelo universal	53
Figura 29 – Diagrama da montagem da fonte simétrica para o circuito.....	54
Figura 30 – Diagrama de ligação do <i>chip RCV420</i>	55
Figura 31 – <i>Hardware</i> de interface do transdutor de pressão montado.....	55
Figura 32 – Organograma de funcionamento do sistema de aquisição de dados das adutoras	56
Figura 33 – Programa em <i>Python</i> para monitoramento da porta serial	57

Figura 34 – Programação da interface de separação do <i>frame API</i> do módulo <i>ZigBee</i>	58
Figura 35 – <i>ER</i> do banco de dados da central de controle e monitoramento	59
Figura 36 – Tabelas do banco de dados.....	60
Figura 37 – Tabelas do banco de dados com informações de <i>login</i> do usuário	61
Figura 38 – Tabelas do banco de dados das cidades cadastrada	61
Figura 39 – Tabelas do banco de dados com as informações completas da adutora.....	62
Figura 40 – Tabelas do banco de dados com a respectiva pressão.....	63
Figura 41 – Interface gráfica <i>web</i> de cadastramento de novos dispositivos.....	65
Figura 42 – Interface gráfica <i>web</i> de cadastramento e consulta de dispositivos	65
Figura 43 – Interface gráfica <i>web</i> de visualização dos dispositivos cadastrados	66
Figura 44 – Interface gráfica <i>web</i> de consulta de pressão e histórico de dados adquiridos	67
Figura 44 – Ensaio com o módulo <i>RCV420</i> para especificação e calibração dos parâmetros	69
Figura 45 – Sistema de variação de pressão gradual através de derivação de água	71
Figura 46 – Curva de calibração dos resultados das conversões dos sinais amostrados	74
Figura 47 – Transdutor de pressão no ensaio em laboratório com pressão máxima.....	76
Figura 48 – Transdutor de pressão no ensaio em laboratório com pressão intermediária.....	77
Figura 49 – Transdutor de pressão no ensaio em laboratório com pressão mínima.....	78
Figura 50 – Arquivo de <i>log</i> contendo as informações relevantes do <i>frame API</i>	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D	Analógico/Digital
I/O	<i>Input/Output</i>
ADC	<i>Analog to Digital Converter</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CSMA-CA	<i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
m	Metros
mA	<i>MiliAmpère</i>
µA	<i>MicroAmpère</i>
mV	<i>MiliVolt</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
Mbps	Megabits por Segundo
MHz	MegaHertz
ms	Milisegundos
PAN	<i>Personal Area Network</i>
PAN ID	<i>Personal Area Network Identifier</i>
PHY	Camada Física
RFD	<i>Reduced Function Device</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
V	<i>Volts</i>
V_{CC}	Tensão Contínua
V_{CA}	Tensão Contínua
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WMAN	<i>Wireless Metropolitan Area Network</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Network</i>
WWAN	<i>Wireless Wide Area Network</i>
mca	Metros por Coluna de Água

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
1. OBJETIVOS	13
1.1. Objetivo geral	13
1.2. Objetivos específicos	13
2. METODOLOGIA	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1. Rede de comunicações sem fio - Padrão <i>ZigBee</i>	18
3.1.1. Atribuição dos dispositivos <i>ZigBee</i>	19
3.1.2. Camadas de rede do padrão <i>ZigBee</i>	20
3.1.2.1. Camada Física (<i>PHY</i>)	20
3.1.2.2. Camada de Acesso (<i>Media Access Control - MAC</i>).....	21
3.1.2.3. Camada de Rede (<i>NWK</i>).....	21
3.1.2.4. Camada de Aplicação (<i>APL</i>)	22
3.1.3. Funcionalidades e tipos de dispositivos do padrão <i>ZigBee</i>	22
3.1.4. Segurança das informações no padrão <i>ZigBee</i>	23
3.1.5. Topologia da rede padrão <i>ZigBee</i>	23
3.1.5.1. Topologia em Estrela.....	23
3.1.5.2. Topologia em Árvore	24
3.1.5.3. Topologia em Malha.....	25
3.1.6. Transmissão de dados no padrão <i>ZigBee</i>	26
3.1.6.1. Mensagens em <i>Unicast</i>	26
3.1.6.2. Mensagens em <i>Multicast</i>	26
3.1.6.3. Mensagens em <i>Broadcast</i>	27
3.1.7. Endereçamento dos módulos no padrão <i>ZigBee</i>	27
3.1.8. Modos de operação do <i>ZigBee</i>	28
3.1.9. Quadro de dados em modo <i>API</i>	28
3.2. Central de controle e monitoramento do sistema	29
3.3. Adutoras de distribuição de água potável.....	30
3.4. Transdutor de pressão <i>Wika A-10 Bar</i>	31
3.4.1. Transdutores de pressão piezoelétricos	32
3.4.2. Transdutor de pressão capacitivo	35
3.4.3. Medição através de <i>loop</i> de corrente	36
3.4.4. Considerações relacionadas à exatidão em um <i>loop</i> de corrente.....	37
3.5. Ferramentas utilizadas no projeto.....	38
3.5.1. Programação <i>Web</i>	38
3.5.2. Programação em linguagem <i>PHP</i>	39
3.5.3. Servidor <i>Apache</i>	39
3.5.4. Banco de dados	40
3.5.5. Linguagem de programação <i>Python</i>	40
3.5.6. <i>Software</i> comercial <i>X-CTU</i>	40
4. DESENVOLVIMENTO	42
4.1. Configuração dos módulos <i>ZigBee</i> para operação com os sensores	42
4.2. Configuração da rede de transdutores de pressão das adutoras.....	44
4.2.1. Configuração dos módulos <i>ZigBee</i> com o <i>X-CTU</i>	46

4.3. Montagem do <i>hardware</i> dos transdutores de pressão das adutoras.....	49
4.3.1. Transdutor de pressão <i>Wika A-10</i>	49
4.3.2. Projeto e montagem do <i>hardware</i> de interface:	52
4.4. Aquisição remota dos dados dos transdutores das adutoras	56
4.5. Decodificação do <i>frame API</i> de comunicação dos módulos <i>ZigBee</i>	58
4.6. Operação do banco de dados	59
4.7. Desenvolvimento da interface <i>web</i> de acesso remoto às informações	63
5. RESULTADOS OBTIDOS	68
5.1. Procedimentos de ensaios com as interfaces de aquisição e comunicação	68
5.2. Calibração dos resultados adquiridos pelos transdutores de pressão	72
5.3. Resultados obtidos nos ensaios.....	74
5.4. Trabalhos futuros	80
6. CONCLUSÕES	81
REFERÊNCIAS.....	82

INTRODUÇÃO

Nos sistemas públicos de abastecimento de água potável, do ponto de vista operacional, as perdas correspondem aos volumes de água não contabilizados, que englobam tanto as perdas físicas, que representam a parcela não considerada, como as perdas não físicas, que correspondem à água consumida e não registrada.

As perdas físicas representam a água que efetivamente não chega ao consumo, devido aos vazamentos no sistema ou à utilização na operação do mesmo. As perdas não físicas representam a água consumida que não é medida, devido à imprecisão e falhas nos hidrômetros, ligações clandestinas ou não cadastradas, fraudes em hidrômetros, entre outras. Não obstante, são também conhecidas como perdas de faturamento, uma vez que seu principal indicador é a relação entre o volume disponibilizado e o volume faturado.

O controle eficiente das perdas de água potável em sistemas de abastecimento constitui a principal atividade operacional que deve ser desenvolvida por uma empresa de saneamento básico, pois o seu monitoramento está diretamente relacionado com a receita e a despesa da empresa.

Além disso, se considerar que a água é um recurso finito, principalmente devido à poluição dos mananciais de abastecimento, o controle de perdas torna-se de fundamental importância.

A redução das perdas físicas permite diminuir os custos de produção, mediante a redução do consumo de energia elétrica, de produtos químicos, etc., utilizando as instalações existentes para aumentar a oferta de água, sem expansão do sistema produtor. A redução das perdas não físicas permite aumentar os lucros, melhorando a eficiência dos serviços prestados e o desempenho financeiro do prestador de serviços.

Neste trabalho é demonstrado o desenvolvimento e implantação de um sistema de monitoramento remoto de pressões em adutoras de água tratada, através da implantação de uma rede industrial de tempo real utilizando sensores diretamente integrados com um *software* de monitoramento. Este sistema envia os valores das pressões internas da adutora para um banco de dados em tempo real, que pode ser acessado através de uma página *web*. Estas informações adquiridas são utilizadas com o propósito de tomar decisões centralizadas em relação às manobras da rede. Adicionalmente está sendo desenvolvida uma interface gráfica baseada em geoposicionamento, com utilização de ferramentas como o *Google Maps*,

para localização visual do ponto de coleta dos dados. Os sensores de pressão desenvolvidos são instalados nas adutoras de água tratada e o *software* na central de monitoramento.

Desta forma, destaca-se o principal objetivo deste projeto, que é desenvolver este sistema de monitoramento de pressão de adutoras baseado em uma rede industrial sem fio de tempo real, com capacidade de promover o controle remoto de possíveis pontos de rupturas de redes ou ramais compostos de adutoras de água.

A realização destas atividades é elaborada com os recursos mínimos necessários de desenvolvimento, preservando um bom funcionamento e alta confiabilidade da rede de comunicação tornando o sistema de captação, tratamento e distribuição de água, maleável às estratégias de operação, definidas pelo CCO (Centro de controle Operacional).

As tecnologias de comunicação sem fio existentes no mercado demonstram muita fragilidade para operação em ambientes agressivos, desta forma sendo necessária a especificação de um padrão de rede industrial para atender aos requisitos do projeto. As redes no padrão *IEEE 802.15.4 (ZigBee)* oferecem uma excelente imunidade contra interferências, uma capacidade de hospedar mais de 65 mil dispositivos em uma única rede, e ainda possuem características de interconexão adaptativas (*mesh*), alcançando uma maior distância de comunicação sem investimentos em infraestrutura, sendo definida como mais adequada para este projeto.

Do ponto de vista gerencial, também são destacadas neste projeto as ferramentas que possibilitam a operação e monitoramento à distância, sem a necessidade de deslocamento de pessoal ao ponto monitorado e/ou comandado; desenvolvimento de uma ferramenta para elaboração de curvas de tendência de determinados parâmetros, a partir do banco de dados do sistema; determinação de possíveis pontos de rupturas de redes ou ramais, com o monitoramento da vazão e pressão nos setores; antecipar ao usuário, possíveis falhas no abastecimento, fazendo com que a empresa justifique as irregularidades, antes mesmo de o usuário perceber, evitando com isto o desgaste da sua imagem; e a criação de estratégias de abastecimento com pressões mínimas, fazendo com que haja diminuição do índice de perdas, manutenção de adutoras e conseqüentemente diminuição na quantidade de insumos, com energia elétrica, produtos químicos etc.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo geral

Desenvolver um sistema de monitoramento de pressão de adutoras de água potável baseado em uma rede industrial sem fio de tempo real, que promova o controle remoto de possíveis pontos de rupturas de redes ou ramais e desabastecimento de água potável.

1.2. Objetivos específicos

Através da análise dos índices de perdas de água tratada, e os problemas existentes no sistema de abastecimento do recurso hídrico da Companhia de Saneamento (Corsan), foi observada a importância da criação deste sistema de monitoramento de pressão em adutoras de água tratada, para que os seguintes objetivos também fossem atingidos e satisfeitos:

- Promover a comunicação dos sensores de pressão remotos com a central de monitoramento, utilizando uma rede industrial sem fio, possibilitando o controle das variações dos parâmetros das redes de água tratada nas adutoras;
- Descobrir os recursos mínimos necessários de desenvolvimento, preservando um bom funcionamento e alta confiabilidade da rede de comunicação;
- Desenvolver um fluxo de trabalho detalhado que supra as necessidades do projeto, observando os prazos máximos de execução e orçamento;
- Tornar o sistema de captação, tratamento e distribuição de água, maleável às estratégias de operação, definidas pelo CCO (Centro de controle Operacional);
- Possibilitar a operação e monitoramento à distância, sem a necessidade de deslocamento de pessoal ao ponto monitorado e/ou comandado;
- Desenvolver uma ferramenta de elaboração de curvas de tendência de determinadas grandezas, a partir do banco de dados do sistema;
- Determinar possíveis pontos de rupturas de redes ou ramais compostos por adutoras de água, através do monitoramento de vazão e pressão nos setores;
- Antecipar aos clientes possíveis falhas no abastecimento, inclusive antes do mesmo perceber, evitando com isto o desgaste da imagem da empresa de distribuição de água;
- Criar estratégias de abastecimento com pressões mínimas, fazendo com que haja diminuição do índice de perdas, manutenção de adutoras e conseqüentemente diminuição na quantidade de insumos (energia elétrica, produtos químicos etc.)

2. METODOLOGIA

Este projeto foi dividido em etapas de acordo com a natureza das atividades desenvolvidas, com objetivo de contemplar um melhor controle do cronograma proposto e a fluidez na execução das tarefas. Para início das atividades, foi avaliada a solução para um problema real proposto e mapeado pelas Companhias de Distribuição de Água Potável, onde através de pesquisas foram obtidos números alarmantes sobre perdas de água. Somente nos sistemas de abastecimento nacionais em 2008, foram levantados o índice médio de perda no Brasil, que foi de 37% a 42%, e o faturamento médio em torno de R\$ 7 bilhões. (Fonte: *Portal EBC*). Na sequência do desenvolvimento, a próxima etapa foi a busca por tecnologias que supriam a necessidade do projeto, onde se constatou que a melhor opção em termos de qualidade dos equipamentos, confiabilidade e principalmente custo seria a tecnologia *ZigBee* (até dez vezes mais barato em relação ao sistema de rádio frequência privado). Desta forma, foram adquiridos os componentes eletrônicos, transdutores de pressão e os dispositivos relativos aos transceptores sem fio compatíveis com os módulos *XBee*. Também foi utilizado um *gateway*, da marca *Digi*, para a integração com uma rede de comunicações com tecnologia 3G.

Com as tecnologias e ferramentas selecionadas, foi iniciada a etapa de projeto e implementação do *hardware* e *software* para a operação do sistema. Para a comunicação e interpretação dos dados obtidos, foi necessária a utilização de uma interface de monitoramento da rede industrial desenvolvida em linguagem de programação *Python*, na versão disponibilizada gratuitamente pelo fabricante dos módulos *ZigBee*. Esta etapa também foi baseada em pesquisas e referências bibliográficas nos *websites* dos desenvolvedores, da *Digi*, em monografias, dissertações, teses e demais materiais de documentação associada ao conteúdo do trabalho.

Para a coleta, visualização e organização dos dados obtidos a partir do transdutor de pressão, foi desenvolvida uma interface *web* que utiliza a linguagem de programação em *PHP* e o banco de dados *MySQL*. A operação do sistema foi realizada com a integração dos módulos sensores com tecnologia *ZigBee* se comunicando e as interfaces de *software* operando, para garantir o total funcionamento em condições reais do uso no monitoramento de pressão em adutoras de água tratada.

Os ensaios estão sendo realizados na *Estação de Tratamento de Água – ETA* da Corsan de Santa Maria – RS, com o sistema operando de forma controlada, garantindo a calibração de todos os eventos monitorados neste período.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Os recursos hídricos sempre foram vistos pelo homem como bem infinito, mas estudos da *ONU* (Organização das Nações Unidas) comprovam que estavam equivocados. Os acontecimentos recentes apresentam o contorno de uma realidade inusitada e alarmante, onde mesmo com a abundância de água no planeta Terra, 1,6 bilhão de pessoas vivem no mundo com escassez absoluta da mesma. Nem mesmo o Brasil, com toda a riqueza de recursos hídricos que possui, está excluído desta realidade que assombra a sobrevivência do ser humano.

Diante destes fatos, foram buscadas soluções envolvendo tecnologias de automação e de redes sem fio para auxiliar no processo de distribuição de água potável, com objetivo de minimizar o desperdício dos recursos hídricos disponíveis através do aumento da eficiência das empresas distribuidoras de água. Através do desenvolvimento de um projeto para monitoramento remoto de pressões em adutoras de distribuição de água tratada baseado em automação, pretende-se coletar as informações sobre o funcionamento das redes de saneamento, arquivar as mesmas de forma organizadas e criar uma ferramenta gráfica de visualização dos dados que foram enviados através de um transdutor de pressão, que está instalado nas adutoras da cidade. Estas informações, quando devidamente agrupadas e selecionadas, servirão de base para tomadas de decisão importantes como: diminuir a pressão em adutoras sem prejuízo no abastecimento; fechamento de registro imediato a detecção de vazamentos e etc. Todas estas variáveis serão utilizadas com o objetivo de diminuir o índice de perda de água tratada e realizar o atendimento ao usuário no menor tempo possível.

Como o projeto visa a instrumentação de diversas adutoras distribuídas pela cidade, e considerando as características geográficas de cada região, pode-se observar que principalmente devido as grandes distâncias envolvidas foi necessário a definição e a implementação de uma estrutura de rede confiável e de baixo custo para conectar estes sensores remotos com a central de controle. Dentre as diversas tecnologias existentes no mercado para a montagem desta rede de comunicações, a mais adequada para este projeto que envolve muitos nós com distâncias consideravelmente longas, é a tecnologia de redes sem fio, também chamada de *wireless*.

A história das comunicações sem fio começa entre 1893 e 1894, com o padre gaúcho *Roberto Landell de Moura*, realizando o seu primeiro experimento entre a Avenida Paulista e o Alto de Santana, em São Paulo – SP, com uma distância total do enlace de oito quilômetros, mas foi em 1897, através de uma transmissão oceânica realizada por *Guglielmo Marconi*, que

as tecnologias de comunicação sem fio ganharam destaque, com diálogo documentado entre dois navios no canal inglês. A partir deste ponto, com a evolução e a confiabilidade na fabricação dos *hardwares* em 1970, iniciou-se o processo de solidificação da tecnologia sem fio no mundo.

Diante do rápido progresso das comunicações sem fio, surge a preocupação e consequentemente a necessidade de um projeto de regulamentação dos canais de frequência do espectro. A partir desta especificação de bandas de comunicação, também surgiram técnicas de modulação específicas para utilização em sistemas sem fio, visando a confiabilidade na transmissão de dados e a otimização da utilização da banda de frequência. Com a necessidade de estabelecer estes parâmetros de utilização dos canais, criou-se o *IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)*, através de uma associação de profissionais da área de telecomunicações, para padronizar os protocolos de comunicação, visando o crescimento e a interoperabilidade de tecnologias existentes e aquelas que poderão existir.

Segundo Aurélio (SOARES, 2012) as redes de sensores sem fio constituem uma tecnologia emergente, que têm proporcionado um crescimento significativo das perspectivas industriais e científicas em todo o mundo. A capacidade de monitorar e controlar o ambiente, aliada a um baixo consumo de energia, permite a aplicação da tecnologia em diversas áreas.

Ao mesmo tempo em que a automação se apresenta como uma ferramenta de melhoria operacional dentro do planejamento estratégico das empresas, algumas preocupações se fazem presentes quando descemos até o nível de aplicação operacional dessa tecnologia. Uma destas preocupações diz respeito ao impacto que a automação ocasiona nas estruturas, processo e espaços organizacionais (PINHEIRO, 2003). As pesquisas desenvolvidas sobre os impactos da automação e da inovação tecnológica nas organizações mostram que estes projetos enfrentam grandes barreiras naturais dentro destas instituições (CARDOSO, 2004).

Estas barreiras, se não forem devidamente identificadas e superadas, fazem com que os resultados obtidos fiquem abaixo dos resultados esperados, e em muitos casos não atinjam sequer os objetivos de redução dos custos operacionais. As principais causas deste aparente fracasso para atingir os objetivos esperados pela automação residem exatamente no desequilíbrio que ocorre nas estruturas, processos e espaços organizacionais durante as fases de projeto, implantação e avaliação dos processos de automação (MARQUES, 2004).

A Teoria de Gestão do Conhecimento (GC) tem sido uma importante ferramenta de vantagem competitiva nas empresas modernas (PRAHALAD e HAMEL, 1998; SENGE, 2000; TERRA, 2002), considerando que a operação de um sistema de abastecimento de água exige conhecimentos teóricos e práticos de diversas áreas do conhecimento, e que a

automação de processos operacionais altera profundamente a estrutura das competências necessárias a este processo, cria-se desta forma o cenário onde se insere o treinamento de uma equipe como operadores de CCO. Os resultados obtidos atestam a importância de uma abordagem sistêmica na implantação de projetos de automação dentro de sistema de abastecimento de água, que não considere apenas aspectos de custos e melhoria no controle operacional, mas também os impactos desta tecnologia nas competências do binômio “estruturas/processos”, requerido para sua plena utilização.

Segundo (Saidelles, 2013) a tecnologia *ZigBee* é um padrão de comunicação *wireless* que tem por objetivo prover uma rede de monitoramento e controle com baixas taxas de dados, baixas taxas de processamento e com grande autonomia de operação. Ele foi desenvolvido especificamente para aplicações de baixo custo alimentado por baterias. Nesta categoria se aplicam sensores de diversos tipos para uso em automação industrial e comercial (SAIDELLES, 2013). Seu desenvolvimento serviu para ser uma alternativa de comunicação simples, usado onde não necessitem de soluções complexas, com isso torna-se viável para aplicações de baixo custo como sensoriamento. No protocolo *ZigBee* utiliza-se o padrão *IEEE 802.15.4*, cuja camada física foi desenvolvida em um elevado nível de integração permitindo simplicidade nos equipamentos (SANTOS, 204).

A partir destas informações apresentadas, torna-se mais clara a necessidade do desenvolvimento deste projeto do sistema de monitoramento de pressões internas em adutoras de água potável, utilizando uma interface composta por um *hardware* e um *software* capaz de monitorar estas as pressões, baseada em uma rede de sensores sem fio operando sobre as tecnologias e protocolos de comunicação *ZigBee* e *IEEE 802.15.4*.

Para melhor situar sobre os conceitos de comunicações sem fio, pode-se classificar, em termos de distância de comunicação, em duas técnicas de comunicação de baixo alcance: *WLAN* e *WPAN*.

- *WLAN (Wireless Local Area Network)*: É uma classe de rede sem fio de curto alcance, entre 100 e 300 metros, onde sua taxa de transmissão pode ser de até 11 Mbps. Um dos principais padrões definidos é o *IEEE 802.11*, que foi criado para substituir as redes de comunicação com fios (*LANS*) e operar nas frequências de 2,4 GHz.

- *WPAN (Wireless Personal Area Network)*: É o padrão definido para redes sem fio de menor alcance, em torno de 30 a 100 metros, podendo exceder esse limite. Um dos mais importantes padrões conhecidos é o *IEEE 802.15*, que utiliza uma classe de rede sem fio no qual o seu alcance é baixo e sua taxa de transmissão de dados suporta de 112 kbps até 11

Mbps, trabalhando na faixa de frequências de 2,4 GHz. Ela se divide basicamente em três subclasses distintas, conhecidas como sendo *HR-WPANS (IEEE 802.15.3)*, *MR-WPANS (IEEE 802.15.1)* e *LR-WPANS (IEEE 802.15.4)*.

Redes *HR-WPAN*, onde o *HR (High-Rate)* significa alta taxa de transferência de dados, ou seja, equipamentos com características de *WLAN*. São redes de pequeno alcance que buscam a substituição da ligação física dos fios de equipamentos pela ligação sem fio, garantidas as altas taxas de transmissão.

Redes *MR-WPAN*, onde *MR (Medium-Rate)* significa a transferência de dados em médias taxas de transmissão e de alcance moderado, onde o envio das informações pela rede deve ser realizado diretamente ao destinatário, como forma de comunicação mais eficiente. O exemplo mais conhecido deste tipo de rede é o *Bluetooth*.

Redes *LR-WPAN*, onde *LR (Low-Rate)* significa a transferência de dados com taxas de transmissão muito baixas. Nesta classificação, se encaixa a tecnologia *ZigBee*. Outras tecnologias de *WLAN* também vêm sendo utilizadas com o mesmo propósito desta rede.

Conforme comentado anteriormente, a tecnologia *ZigBee* é uma comunicação de rede sem fio, que utiliza de uma pilha de protocolo particular, com capacidade de prover uma rede de monitoramento e controle com baixo consumo de energia, baixa taxa de dados e processamento. O grande atrativo do uso de dispositivos do padrão *ZigBee* é o poder de criar redes com milhares de sensores de monitoramento com um custo de infraestrutura muito baixo, dentro dos padrões de aplicações em automação industrial e comercial.

3.1. Rede de comunicações sem fio - Padrão *ZigBee*

O padrão de comunicações baseado na tecnologia *ZigBee* foi criado com o objetivo de interligar vários dispositivos em uma rede de comunicação sem fio, através da camada física (*PHY*) e de acesso (*MAC*) pelo padrão *IEEE 802.15.4*. As camadas de rede (*NWK*) e aplicação (*APL*) são desenvolvidas pela *Alliance ZigBee*, onde suas principais características são o baixo consumo de energia, a atribuição que cada dispositivo pode assumir na rede, dependendo de seus recursos disponíveis, o tipo de dispositivo, que está intimamente ligado à quantidade de tarefas que uma pilha de instruções armazenada na memória interna do microcontrolador pode executar, e o modo de operação dos dispositivos, para preservar os recursos da fonte de energia.

3.1.1. Atribuição dos dispositivos *ZigBee*

Os dispositivos *ZigBee* recebem uma atribuição específica dentro da rede formada de acordo com a necessidade, podendo assumir as funções de coordenadores de rede, roteadores ou dispositivos finais, conforme demonstrado na Figura 1.

Coordenador (*Coordinator*): é o dispositivo responsável por formar uma rede adaptativa, selecionando um canal de comunicação e um endereço específico. É nele que ocorre a seleção de acesso aos roteadores e dispositivos finais para formar a rede.

Roteador (*Router*): tem o papel de oferecer rota de caminhos alternativos para transportar os pacotes de dados quando um destino possui certas barreiras físicas de propagação. Eles podem transmitir e receber dados.

Dispositivo Final (*End Device*): ele está localizado no final da rede, onde serão hospedados os sensores ou atuadores, e sua característica é definida por consumir menos energia, pois em geral permanecem no estado de *sleep* até que seja requisitado.

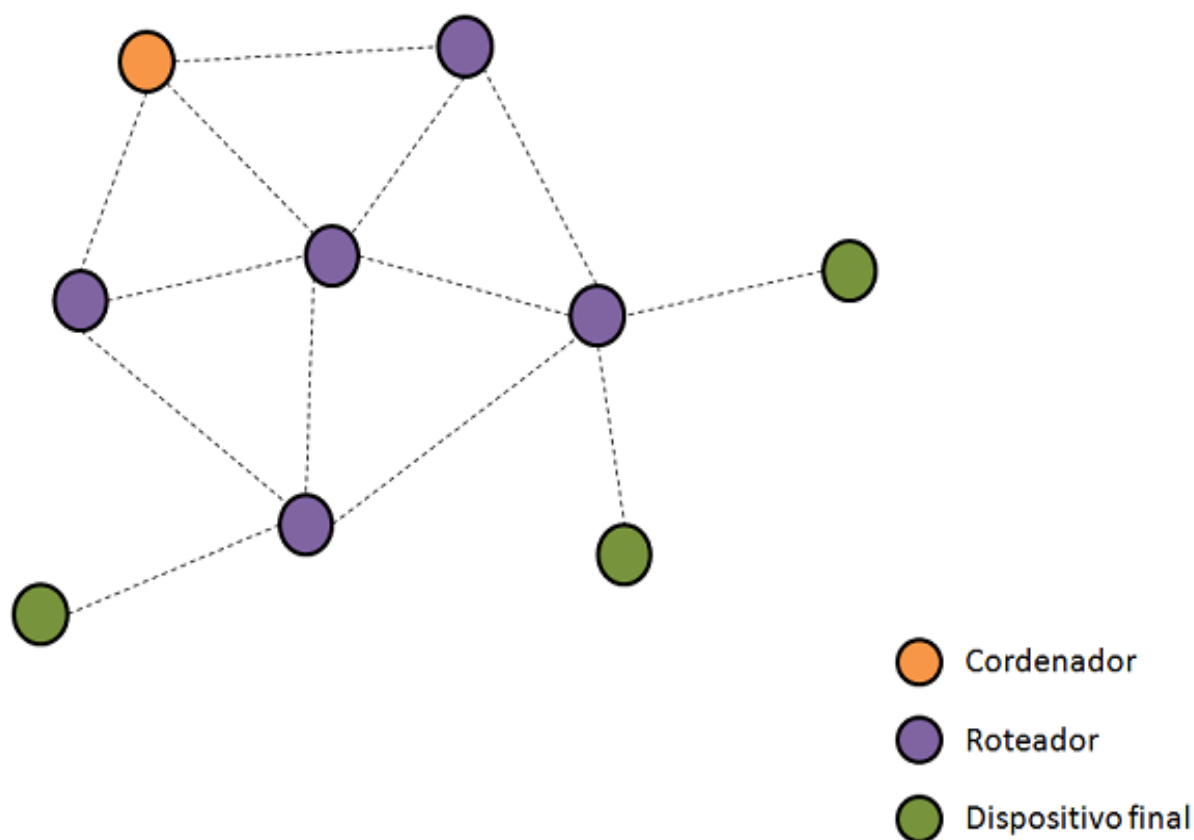


Figura 1 – Atribuições dos dispositivos *ZigBee* de acordo com sua função na rede.

Fonte: http://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/zigbee/style

3.1.2. Camadas de rede do padrão *ZigBee*

As redes de comunicação no padrão *ZigBee* seguem o modelo de referência *OSI-ISO*, no qual ocupa somente quatro camadas das sete existentes, demonstrado na Figura 2, que são elas: camada física, camada de acesso, camada de rede e camada de aplicação. As camadas mais baixas (*PHY* e *MAC*) são definidas pelo padrão *IEEE 802.15.4* e as duas mais altas (*NWK* e *APL*) são padronizadas pela *ZigBee*. (RAMOS, 2013)

Usuário	Aplicação
ZigBee Alliance	Suporte a Aplicação
	Rede (NWK) / Segurança (SSP)
IEEE 802.15.4	MAC
	PHY

Figura 2 – Camadas de protocolos dos dispositivos *ZigBee*.
Fonte: http://www.gta.ufrrj.br/grad/10_1/zigbee/padrao.html

3.1.2.1. Camada Física (*PHY*)

A camada física (*PHY*) do *ZigBee* segue o protocolo *802.15.4* e é responsável por permitir a transmissão das *PDU*s (*Protocol Data Units*), unidades de dados, através de ondas de rádio. A camada *PHY* utiliza a modulação *DSSS* (*Direct Sequence Spread Spectrum*), que incorpora em cada *bit* de dado um padrão de redundância e os espalha pela largura de banda utilizada. Essa redundância permite não só que o dado seja identificado como pertencente a um determinado nó, como é claro, facilita a detecção de erros (VASQUES, 2010).

A norma *IEEE 802.15.4-2003* tem duas camadas *PHY* que operam em duas faixas de frequências separadas: 868/915 MHz e 2,4 GHz. A camada *PHY* de menor frequência abrange tanto a banda de 868 MHz, utilizada na Europa, quanto à de 915 MHz, utilizada em países como os Estados Unidos e Austrália. A camada *PHY* de maior frequência é usada em todo o mundo. Para cada frequência um número de canais é disponibilizado: 2,4 GHz (16 canais) / 915 MHz (10 canais) / 868 MHz (1 canal) (ZIGBEE ALLIANCE, 2007). As faixas de frequências utilizadas são as frequências livres de 2,4 GHz (global), 915 MHz (Américas) e 868 MHz (Europa). Cada uma das faixas implica em uma taxa de transmissão, número de canais e espectros diferentes, conforme se pode visualizar na Figura 3.

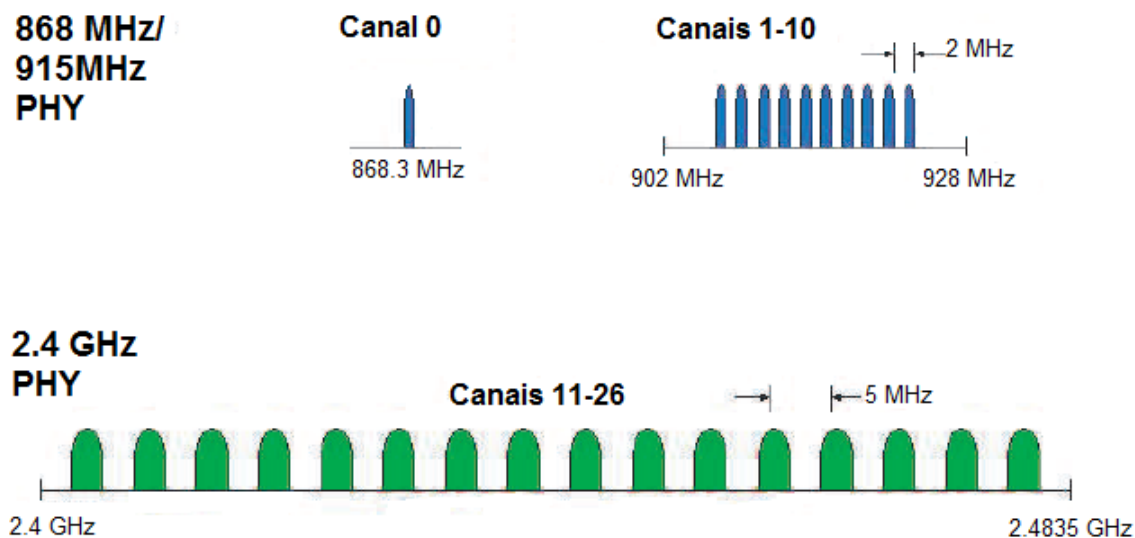


Figura 3 – Canais de operação dos dispositivos *ZigBee*.
 Fonte: http://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/zigbee/padrao.html

3.1.2.2. Camada de Acesso (*Media Access Control - MAC*)

A camada *MAC* utilizado no protocolo *ZigBee* é a responsável pelo processo de encapsulamento dos dados vindos das camadas superiores da pilha, preparando-os para serem transmitidos pela rede. Ela foi projetada para permitir a utilização de múltiplas topologias com baixa complexidade, onde destacam-se o seu consumo de energia muito pequeno, devido à baixa taxa de transmissão utilizada neste sistema.

3.1.2.3. Camada de Rede (*NWK*)

A camada de rede do padrão *ZigBee* oferece basicamente dois tipos de serviços, sendo eles dados e gerenciamento. O fluxo de dados que trafega na rede, a distribuição de endereços de 16 bits formada pelo coordenador, o controle da distância em que um *frame* pode ser transmitido na rede, a forma de comunicação do *frame* com os demais dispositivos (se vai operar através de comunicação *multicast*, *broadcast* ou *unicast*) são todas funções de responsabilidade da camada de rede. Possui presente em sua aplicação, um algoritmo que permite implementações das pilhas de protocolos, assim podendo otimizar os gastos das unidades que estão em aplicação específicas, o consumo de baterias, assim produzindo soluções com o perfil específico de custo-desempenho para as aplicações. As

responsabilidades da camada *NWK* do padrão *ZigBee* incluem iniciar uma rede, aderir e abandonar uma rede, configurar um novo dispositivo, endereçamento, sincronização dentro de uma rede, segurança e roteamento (SAIDELES, 2013).

3.1.2.4. Camada de Aplicação (*APL*)

É nesta camada que ocorre o nível mais alto do sistema de comunicação sem fio do padrão *ZigBee*. Portanto é nela que ocorre basicamente uma interface entre a camada *network* e a camada de aplicação, onde são desenvolvidas as aplicações do *ZigBee* para atuar em uma determinada área.

3.1.3. Funcionalidades e tipos de dispositivos do padrão *ZigBee*

Existem dois tipos de dispositivos que interagem entre si em uma rede ao qual estão intimamente ligados à quantidade de tarefas que uma pilha de instruções armazenada na memória do microcontrolador pode executar, conforme demonstrado na Figura 4. São eles *FFD* (*Full Feature Device*) e o *RFD* (*Reduce Feature Device*) (RAMOS, 2013).

O *FFD* é um dispositivo que possui a pilha de instruções completa em sua memória e a característica de incorporar qualquer função à rede descrita pelo padrão *IEEE 802.15.4*, além de poder se comunicar com qualquer dispositivo da rede. É considerado um dispositivo pai, pois permite a entrada dos módulos na rede formada. (RAMOS, 2013)

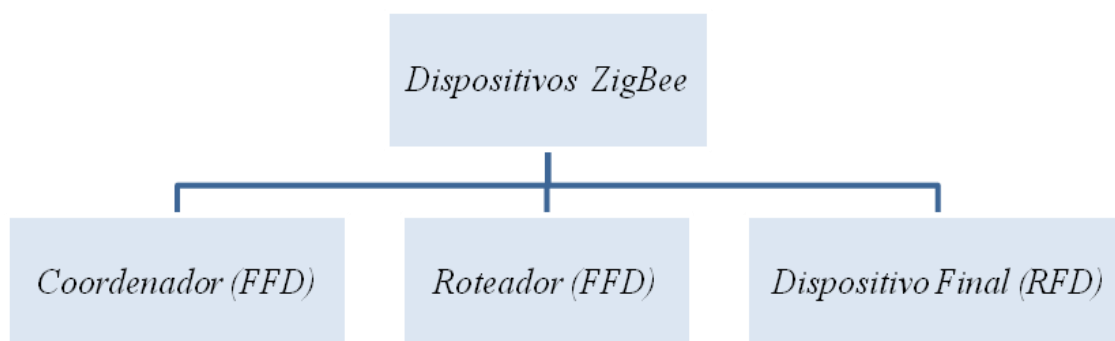


Figura 4 – Funcionalidade e classificação para operação dos dispositivos *ZigBee*.

Fonte: http://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/zigbee/padrao.html

O dispositivo *RFD* possui um reduzido conjunto de instruções carregadas em sua memória e está limitado a pequenas tarefas. Ele pode se comunicar apenas com outros dispositivos que estejam configurados como *FFD*, então é considerado dispositivo filho, pois precisa do dispositivo pai para poder entrar na rede. (RAMOS, 2013).

3.1.4. Segurança das informações no padrão *ZigBee*

A segurança das informações trafegadas na rede implementada com tecnologia *ZigBee* pode ser tratada na camada *MAC*, onde os *frames* são transmitidos em um único salto na rede. Para saltos múltiplos, a segurança é feita nas camadas superiores (*NWK* e Aplicações).

É utilizado o algoritmo chamado de *AES* (*Advanced Encryption Standard*) para criptografar e validar o dado que é enviado. A validação ou garantia de integridade do dado é feita pelo código *MIC* (*Message Integrity Code*).

Caso seja necessário utilizar a segurança, um *bit* do cabeçalho *MAC* será atribuído. Com isso, é anexado ao *frame* o cabeçalho auxiliar de segurança, que determina o tipo de proteção utilizada (*Security Control*). O contador de *frames* (*Frame Counter*) é quem garante a sequência e autenticação dos dados e guarda a referência da chave (*Key Identifier*) de 128 *bits* a ser utilizada para determinado nó. (VASQUES, 2010)

3.1.5. Topologia da rede padrão *ZigBee*

As diferentes funcionalidades que os dispositivos *ZigBee* podem assumir permitem uma variedade de forma de se implementar uma rede. De acordo com a necessidade da aplicação, uma rede pode ser mais robusta, mais econômica, centralizadora ou distribuída. Essas características determinam o tipo de topologia a ser empregada, dividida basicamente em topologias em estrela, em árvore ou em malha (VASQUES, 2010).

3.1.5.1. Topologia em Estrela

Na Figura 5 é demonstrada a topologia em estrela, onde a conexão é realizada somente entre os dispositivos roteadores ou dispositivos finais e um único coordenador central, que é chamado de coordenador *PAN*. Quando um dispositivo *FFD* for ativado pela primeira vez, ele

pode estabelecer sua própria rede e se tornar o coordenador *PAN*. Cada rede opera com apenas um identificador *PAN*, diferente dos utilizados por outras redes que estejam dentro da região de influência das ondas de rádio, permitindo que cada uma das redes opere individualmente (VASQUES, 2010).

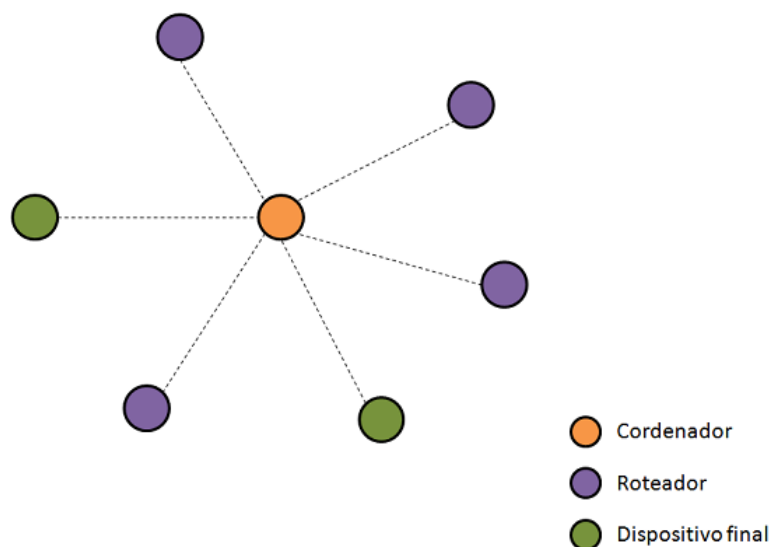


Figura 5 – Representação de uma rede em estrela com dispositivos *ZigBee*.

Fonte: http://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/zigbee/padrao.html

3.1.5.2. Topologia em Árvore

Essa topologia pode ser exemplificada na Figura 6 como um aglomerado de redes com topologia em malha, interligados através de um coordenador *PAN*, que ficará responsável pela rede. O coordenador *PAN* forma o primeiro *cluster* se estabelecendo como um coordenador do aglomerado (*CLH* - *Cluster Head*), estipulando um identificador para esse cluster (*CID* - *Cluster Identifier*), através da escolha de um identificador *PAN* (*PAN ID*) ocioso.

Este dispositivo emite um *broadcast do beacon frame*, anunciando a existência da rede. Algum dispositivo que tenham recebido este *beacon frame* podem requisitar sua entrada na rede, ou no *CLH* em questão. Se o coordenador *PAN* permitir a entrada do novo dispositivo, ele será adicionado como um novo dispositivo filho em sua listagem de vizinhos. Os dispositivos recém adicionados irão se estabelecer, e assim como seus “pais” enviarão *beacon frames* buscando novos candidatos a se juntarem a rede. O coordenador *PAN* pode instruir um dispositivo a se tornar o *CLH* de um novo aglomerado adjacente ao primeiro.

A principal vantagem dessa estrutura em árvore é aumentar a área de cobertura, pagando o custo de aumentar o atraso da mensagem (VASQUES, 2010).

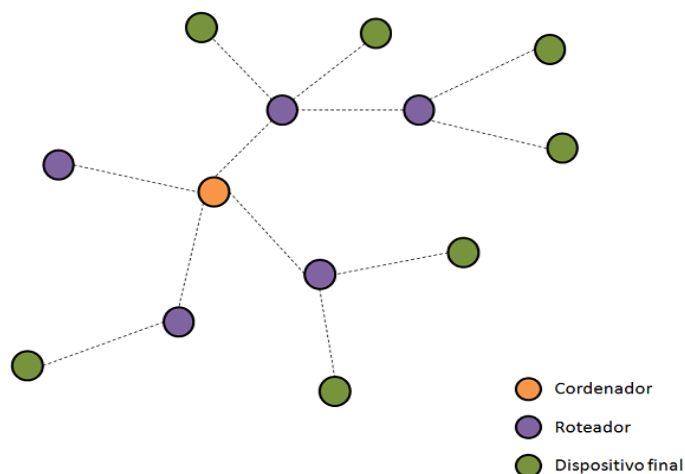


Figura 6 – Representação de uma rede em árvore com dispositivos *ZigBee*.

Fonte: http://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/zigbee/padrao.html

3.1.5.3. Topologia em Malha

A topologia em malha, também conhecida como *ad-hoc* ou *mesh*, também possui apenas um coordenador *PAN*. Nessa topologia todos os dispositivos podem se comunicar entre si desde que estejam dentro dos alcances dos mesmos. Essa topologia pode ser considerada uma rede adaptativa, com capacidade de se auto organizar (*self-organizing*) e de se auto estruturar (*self-healing*). Essa configuração permite também que múltiplos caminhos possam ser gerados para interligar um dispositivo aos outros dispositivos da rede, de forma a permitir uma maior robustez na rede e a garantia de entrega de um determinado pacote de dados (VASQUES, 2010), conforme demonstrado na Figura 7.

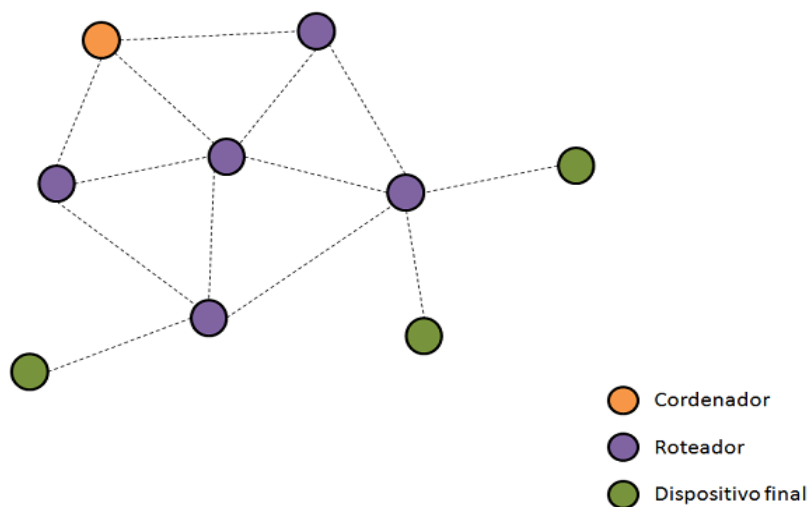


Figura 7 – Representação de uma rede em malha com dispositivos *ZigBee*.

Fonte: http://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/zigbee/padrao.html

3.1.6. Transmissão de dados no padrão *ZigBee*

A transmissão de dados na rede dentro do padrão *ZigBee* pode ser realizada no modo *unicast*, *multicast* ou *broadcast*, utilizando os endereços de 16 bits ou 64 bits dos dispositivos.

3.1.6.1. Mensagens em *Unicast*

É a comunicação onde um *frame* é enviado de um *host* e endereçado a um destino específico. Na transmissão *unicast*, há apenas um remetente e um receptor. A transmissão *unicast* é a forma predominante de transmissão em redes locais e na Internet. Entre os exemplos de protocolos que usam transmissões *unicast* estão *HTTP*, *SMTP*, *FTP* e *Telnet* (ROGÉRIO, 2008). A Figura 8 demonstra a transmissão de uma mensagem em *unicast*.

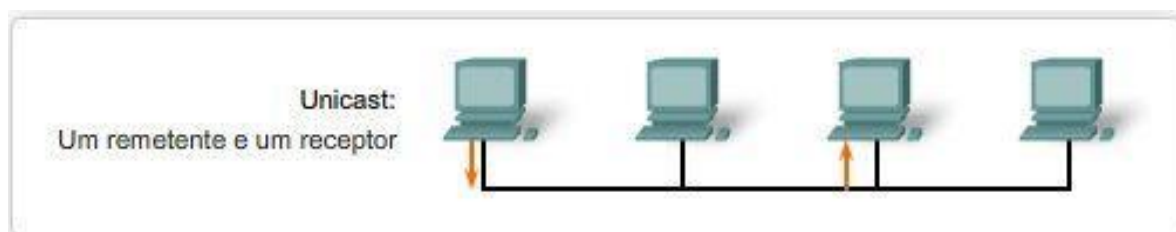


Figura 8 – Mensagem em modo *Unicast*

Fonte: <http://nomundodasredes.blogspot.com.br>

3.1.6.2. Mensagens em *Multicast*

É a comunicação onde um *frame* de dados é enviado para um grupo específico de dispositivos ou clientes. Os clientes da transmissão *multicast* devem ser membros de um grupo *multicast* lógico para receber as informações. Um exemplo de transmissão *multicast* é a transmissão de vídeo e de voz associada a uma reunião de negócios colaborativa, com base em rede, como demonstrado na Figura 9. (SAIDELLES, 2013)

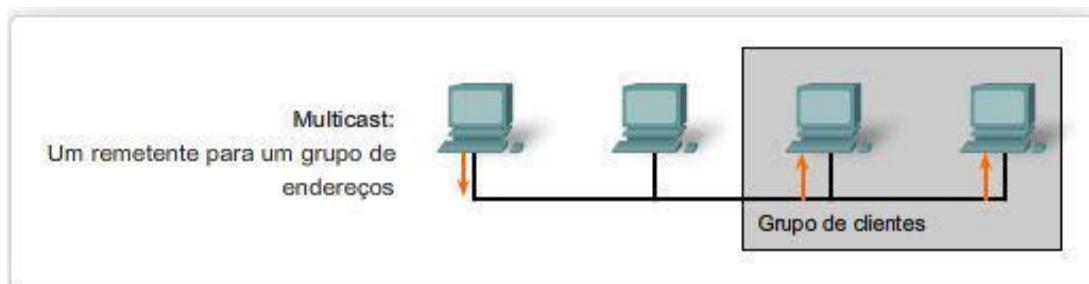


Figura 9 – Mensagem em modo *Multicast*

Fonte: <http://nomundodasredes.blogspot.com.br>

3.1.6.3. Mensagens em *Broadcast*

É a comunicação na qual um *frame* é enviado de um endereço para todos os outros endereços. Nesse caso, há apenas um remetente, mas as informações são enviadas para todos os receptores. A transmissão de *broadcast* é essencial durante o envio da mesma mensagem para todos os dispositivos na rede local. Um exemplo de transmissão de *broadcast* é a consulta de resolução de endereço que o protocolo de resolução de endereços (*ARP, Address Resolution Protocol*) envia para todos os computadores em uma rede local (SAIDELLES, 2013). Um exemplo de mensagem em *broadcast* está demonstrado na Figura 10.

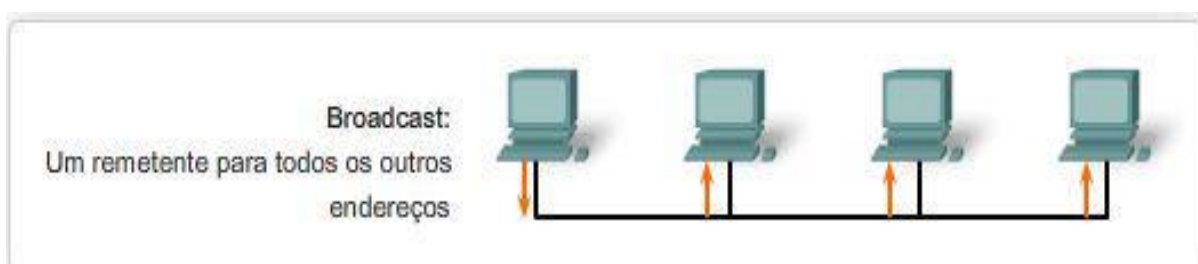


Figura 10 – Mensagem em modo *Broadcast*

Fonte: <http://nomundodasredes.blogspot.com.br>

3.1.7. Endereçamento dos módulos no padrão *ZigBee*

Segundo Saidelles, o protocolo 802.15.4 do qual o *ZigBee* faz parte específica possui dois tipos de endereçamento (SAIDELLES, 2013):

- a) O endereço de rede de 16 bits é atribuído a um nó quando se integra a rede distribuído pelo coordenador, por isso, também pode ser chamado de endereço de rede ou endereço curto, e é único para cada nó da rede.
- b) O endereço de 64 bits é definido na fabricação do dispositivo, por isto ele é único para cada equipamento, é também chamado de endereço estendido. Desta forma é um endereço permanente.

Os módulos no padrão *ZigBee* possuem registro livre em sua tabela de rota ou um registro correspondente ao endereço destino na tabela de rotas;

Se um dispositivo tem ambos, a capacidade de tabela de descoberta de rota e a capacidade de tabela de rota, então diz-se que ele possui capacidade de roteamento.

3.1.8. Modos de operação do ZigBee

Uma característica da tecnologia *ZigBee* é proporcionar dois modos distintos de operação, sendo o modo AT ou modo Transparente o mais básico: os dados e comandos podem ser enviados diretamente via terminal de modo serial (enfileirados) através da *UART* do dispositivo, ou o modo de operação *API* (*Application Programming Interface*) que é uma alternativa ao modo de operação transparente. A *API*, baseada em quadros (*frames*), estende o nível no qual a aplicação pode interagir com os recursos de rede do módulo. Nesse modo de operação, todos os dados enviados e recebidos pelo módulo *XBee* são organizados em pacotes (com formato especificado pelo fabricante) que definem as operações ou eventos dentro do módulo.

A estrutura geral de um pacote *API* é: O primeiro *byte* é o delimitador de início, que possui o valor 7E em hexadecimal. Qualquer dado recebido antes do delimitador de início é descartado. Os *bytes* 2 e 3 informam o tamanho do quadro que está sendo recebido. Os *bytes* 4 a n compõem o quadro de dados e definem a operação a ser realizada. O último *byte* contém a soma de verificação (*checksum*) do quadro de dados, calculado pela equação em hexadecimal: $0xFF - \text{Somatório dos bytes 4 a n do pacote}$. Caso o recebimento dos dados ou o valor do *checksum* esteja incorreto, um pacote de *status* indicando a natureza do erro é retornado.

3.1.9. Quadro de dados em modo API

Um Pacote *API* é constituído por quatro campos como ilustrado na Figura 11:

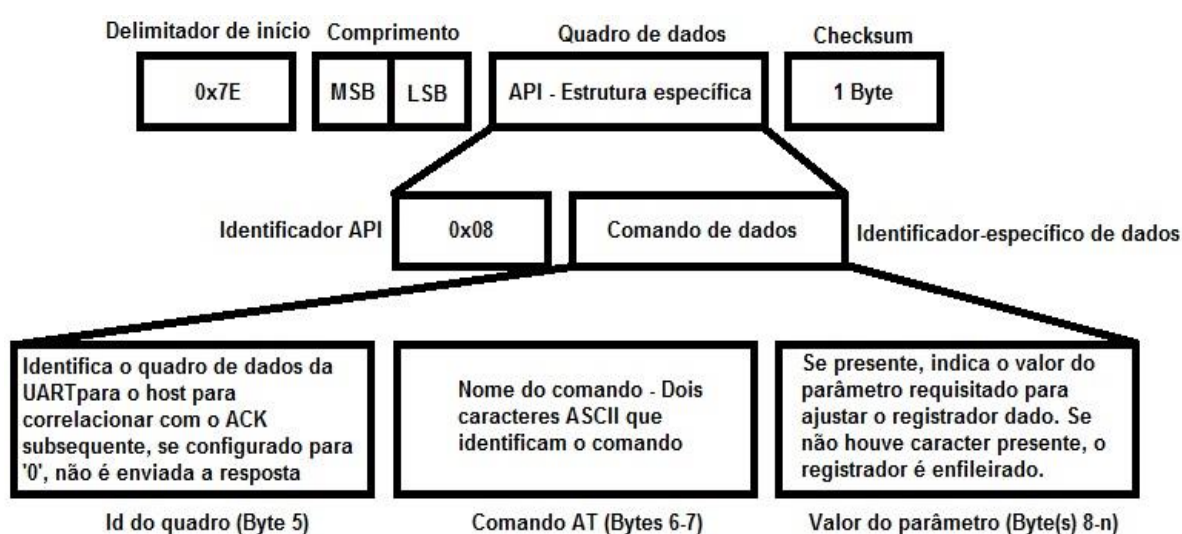


Figura 11 – Estrutura de dados do *frame API* utilizado nos dispositivos *ZigBee*
Fonte: Colvero (2012)

O modo de operação *API* é uma alternativa ao modo transparente, neste modo sempre as informações são transmitidas em pacotes que interagem com as funções de rede do módulo, permitindo a este uma interação maior com a rede, facilitando muitas operações. As informações podem ser transmitidas para múltiplos destinos sem a necessidade de alterar parâmetros internos do *firmware*, com recebimento de sucesso ou falha para cada pacote transmitido via *RF*, e ainda identifica de forma automática o endereço de origem de cada pacote recebido (SAIDELLES, 2013).

O *Start Delimiter* é o *byte* que indica o início de um pacote *API*. Possui as informações que deseja ser transmitida, é dividido em *API Identifier* que indica qual mensagem *API* está contida no segundo campo e *identifier-specific data* que possui os dados específico para a mensagem e por último o campo, campo *Checksum* é utilizado para verificar a integridade da mensagem através do cálculo da subtração de *0xFF* com os *8bits* menos significativos da soma de todos os bits do campo do *frame data* (DIGI, 2010). A estrutura de um *frame API* é demonstrada na Figura 12.

<i>Start Delimiter</i>	<i>Lenght</i>	<i>Frame Data (5 bytes)</i>	<i>Checksum</i>
0x7E	0x00 0x05	0x08 0x01 0x4E 0x4A 0xFF	0x5F

Figura 12 – *Frame API*
Fonte: Manual *XBee*

3.2. Central de controle e monitoramento do sistema

Na central de monitoramento e controle foi instalado um dispositivo *ZigBee* configurado na função de coordenador como *FFD*, com o objetivo de receber todas as informações de pressões enviadas pelos dispositivos finais e repassar as mesmas diretamente ao *software* de gerenciamento, para que ele possa converter este *frame* enviado em modo *API* para a integração com o banco de dados. Este coordenador foi programado para atuar em modo *broadcast*, no intuito de escutar todos os dispositivos sensores que estejam no mesmo *channel* e *Pan ID*. Foi também definida a utilização do modo *API* para todos os dispositivos *ZigBee*, pois automaticamente na geração de cada *frame* de dados são inseridos o endereço baixo, o endereço alto e o *NI* do dispositivo final ou sensor, evitando um alto fluxo de dados na rede através da desobrigação de interrogar individualmente cada sensor sobre seu status. O

modo *API* (*Application Programming Interface*) dos dispositivos *ZigBee* é um modo mais complexo de realizar a comunicação, onde ao invés de enviar comandos diretamente através da interface serial, eles são organizados em um quadro estruturado, ou seja, é efetuada a comunicação de dados em uma ordenação dos *frames* pré-definida.

3.3. Adutoras de distribuição de água potável

Este projeto trata do desenvolvimento de um sistema de controle e monitoramento de pressão de água em adutoras de distribuição de serviços de saneamento. Por definição, adutoras são canalizações dos sistemas de abastecimento e destinam-se a conduzir a água potável entre as unidades da companhia que a precedem e a rede distribuidora. Desta forma, elas não possuem derivações ou ramificações para alimentar os distribuidores de rua ou ramais prediais. Por outro lado, também podem existir casos em que da adutora principal partem ramificações, chamadas de subadutoras, e servem para levar a água para outros pontos fixos do sistema de abastecimento.

As adutoras tradicionais interligam as tomadas, as estações de tratamento de água e os reservatórios, geralmente na respectiva sequência indicada. São canalizações de importância vital para o abastecimento de cidades, sendo normalmente constituídas de uma só linha na maioria dos casos. É muito importante observar que qualquer interrupção que elas venham a sofrer afeta o abastecimento de água para a população, com consequências significativas. A Figura 13 exemplifica alguns tipos de vazamento de água nas tubulações.

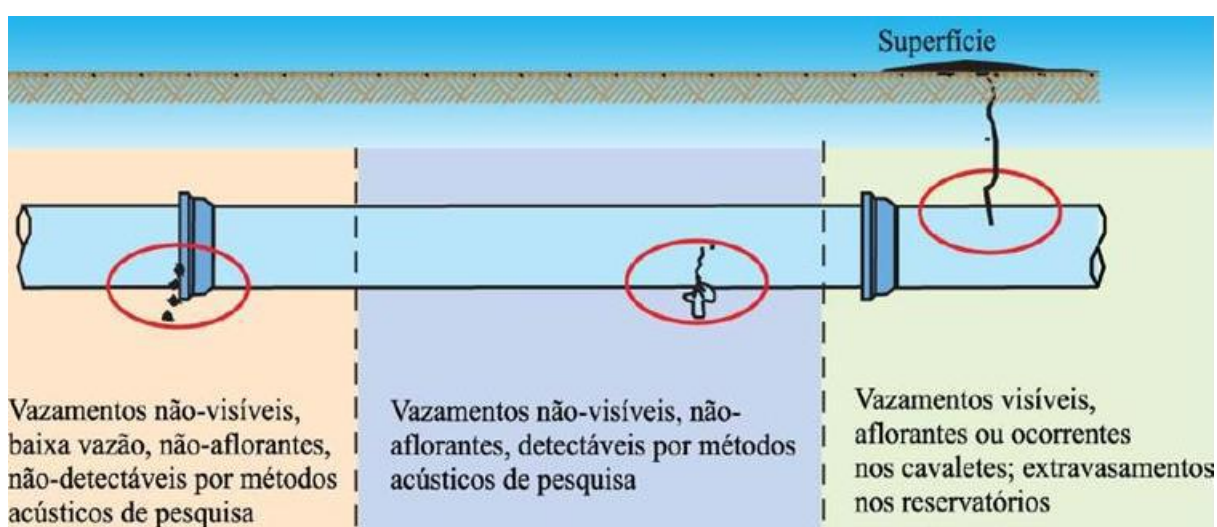


Figura 13 – Exemplos de tipos de vazamentos mais frequentes em adutoras de água
Fonte: Manual de redução e controle de perdas da Corsan – DOP/SUMOP/DEDOP

Aos engenheiros e responsáveis pelos serviços de distribuição de água, como aos mestres e operários, os acidentes em adutoras causam os maiores aborrecimentos, porque exigem um trabalho fora do comum para restabelecer em prazo curto a normalização do suprimento. Aos administradores públicos, as bruscas paralisações de fornecimento provocam acentuados impactos negativos e até implicações de caráter político (ODAIR, 2005). Na Figura 14 pode-se visualizar os trabalhos de manutenção sendo executados em uma adutora.



Figura 14 – Serviços de reparo em uma adutora de distribuição de água potável

Fonte: <http://www.clictribuna.com.br/noticias/corsan-conserta-adutora-e-gravatai-volta-a-ter-agua/>

3.4. Transdutor de pressão *Wika A-10 Bar*

Para a aquisição em campo e a conversão dos valores de pressão interna da água em adutoras para corrente elétrica, o projeto especificou e utilizou um transdutor comercial de alta pressão da marca *Wika* do Brasil. O transdutor selecionado de acordo com os requisitos do ambiente foi o modelo *A-10* da *Wika*, que possui a funcionalidade de medir a pressão mecânica sobre uma superfície e transformar esta informação em um sinal elétrico equivalente, disponibilizando esta informação na forma de um *loop* de corrente em

miliampères. Ele possui como característica principal a sensibilidade de perceber a variação de pressão entre 0 e 10 *bar*, com uma resposta em corrente no intervalo de 4 – 20 mA, e alimentação através do próprio circuito entre 8 V_{CC} e 30 V_{CC}. Na Figura 15 pode-se observar o transdutor modelo *A-10* da *Wika*. Este mesmo transdutor de pressão será fixado em adutoras de água tratada e interligado a placa do circuito elétrico através de um cabo de duas vias até o dispositivo *ZigBee*, de forma que o mesmo envie esta informação até a central de controle.



Figura 15 – Transdutor de pressão *Wika A-10*
Fonte: http://www.wika.com.br/A_10_pt_br.WIKA

3.4.1. Transdutores de pressão piezoelétricos

O material piezoelétrico é um cristal que produz uma tensão diferencial proporcional a pressão a ele aplicada. Este material acumula cargas elétricas em certas áreas de sua estrutura cristalina, quando sofrem uma deformação física, por ação de uma pressão. A piezoeletricidade foi descoberta por Pierre e Jacques Curie em 1880 (LABMETRO, 2014).

A medição de pressão utilizando este tipo de transdutor se baseia no fato dos cristais piezoelétricos ao sofrerem uma deformação elástica ao longo do seu eixo axial, produzirem internamente um potencial elétrico, causando um fluxo de carga elétrica em um circuito externo, estes transdutores são utilizados apenas na medição de pressões dinâmicas, não sendo possível sua utilização com pressões estáticas, devido a rápida queda do sinal elétrico gerado

pelo cristal após a deformação. Estes transdutores possuem ótimo tempo de resposta, assim como, resposta em alta frequência. Portanto são bastante indicados para medições onde a pressão varia rapidamente, como explosões, choques, pulsos de pressão (como em motores de foguetes e compressores), entre outros (LABMETRO, 2014).

A quantidade elétrica produzida é proporcional à pressão aplicada, sendo então essa relação linear o que facilita sua utilização. Algumas características importantes dos sensores de pressão piezoelétricos podem ser visualizadas na Figura 16.

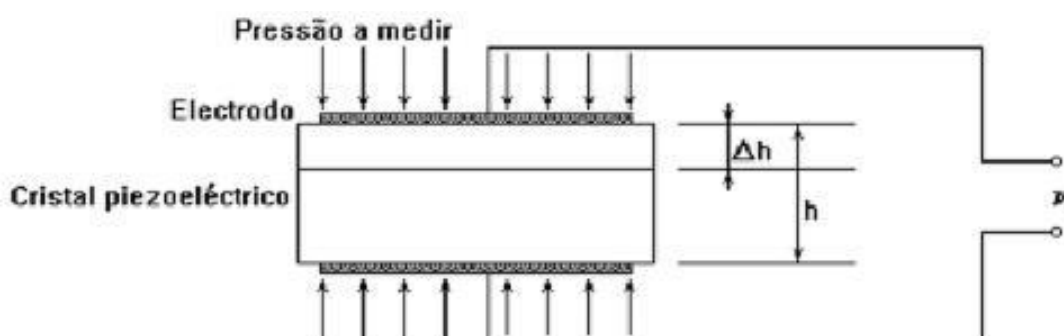


Figura 16 – Características internas de um sensor de pressão piezoelétrico
Fonte: <http://www.ebah.com.br/apostila-transdutores>

Nestes modelos de sensores pelo fato de se utilizar o efeito piezoelétrico de semicondutores, reduz-se o tamanho e peso do transdutor, sem perda de exatidão. Outras características são apresentadas neste modelo de transdutor (LABMETRO, 2014):

- Devido a sua alta impedância de saída circuitos condicionadores de sinal que ficam juntos do transdutor são necessários.
- Não necessita de fonte de alimentação externa (sensor auto-gerador) para o transdutor, apenas é necessária alimentação externa para o circuito condicionador de sinais;
- Possuem acelerômetros integradores e massas sísmicas construídos na pilha de cristais que compensam os sinais causados por vibrações ou choques, produzindo um sinal de polarização inversa ao sinal produzido pela pressão sobre o diafragma;
- Existem modelos onde não existe circuito condicionador junto ao transdutor, o que permite a sua utilização em temperaturas mais altas.
- Estes transdutores podem medir pressões que vão de 0,7 kPa até 70 MPa, incertezas típicas são da ordem de 1% do fundo de escala mais uma deriva térmica de 1% do fundo de escala a cada 540 °C (LABMETRO, 2014).

Cristais de turmalina, cerâmica policristalina sintética, quartzo e quartzo cultivado podem ser utilizados na sua fabricação, porém o quartzo cultivado é o mais empregado por apresentar características ideais de elasticidade e linearidade. Na Figura 17 pode-se observar a simplificação do funcionamento de um transdutor de pressão piezoelétrico.

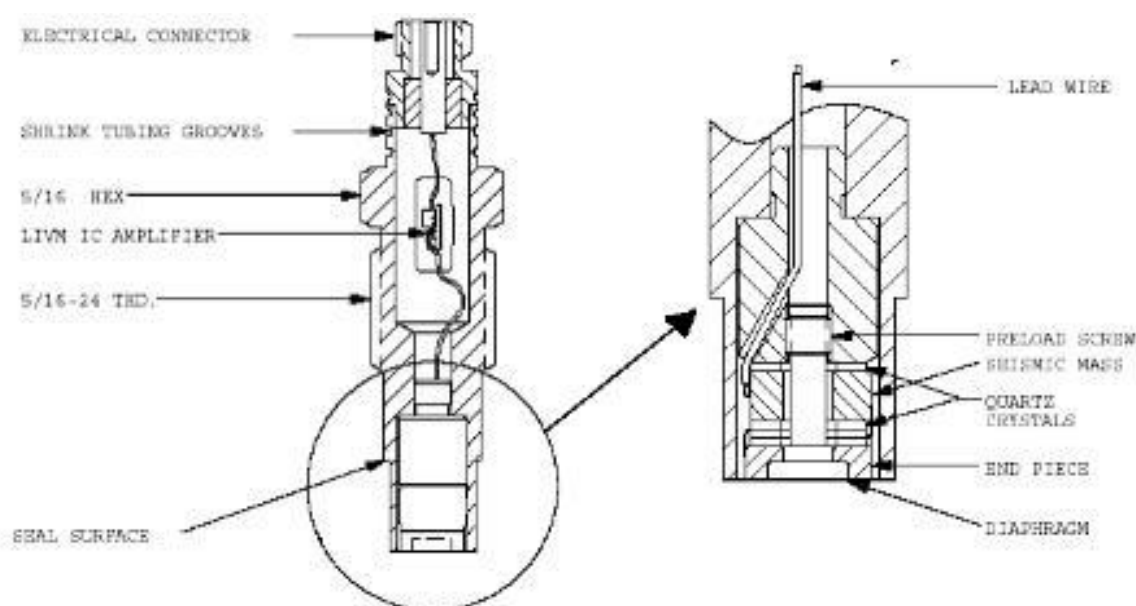


Figura 17 – Simplificação do funcionamento de um transdutor de pressão piezoelétrico
Fonte: <http://www.ebah.com.br/apostila-transdutores>

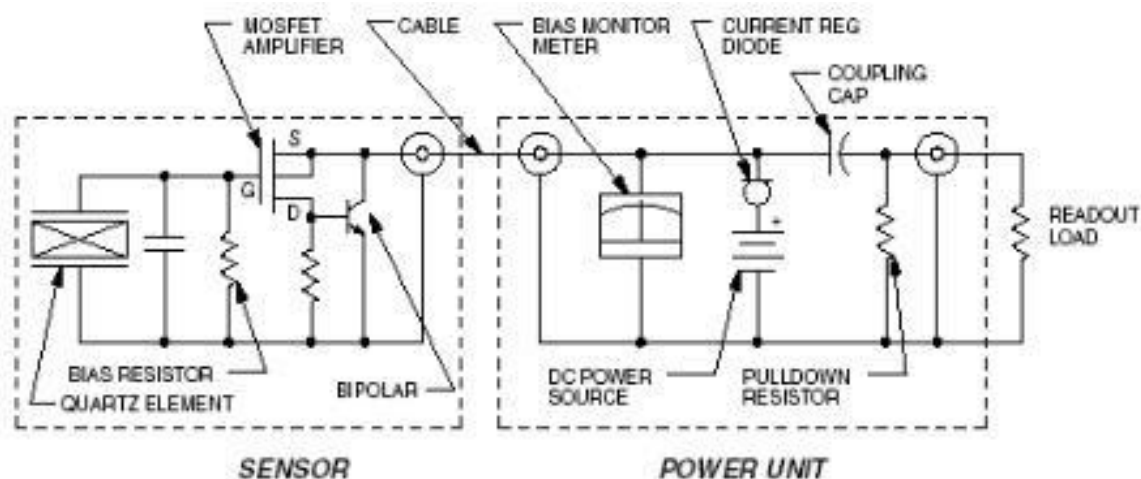


Figura 18 – Circuito elétrico equivalente de um transdutor piezoelétrico
Fonte: <http://www.ebah.com.br/apostila-transdutores>

Os transdutores de pressão piezorresistivos foram os primeiros dispositivos *MEMS* (Sistemas Microeletromecânicos) desenvolvidos. Nos últimos anos, a tecnologia de micro

fabricação evoluiu bastante e estes microdispositivos (*MEMS*) estão sendo integrados a circuitos integrados (*CI*). Uma dificuldade encontrada é que os parâmetros do piezorresistor são dependentes da temperatura. Para solucionar isto, os fabricantes fazem a compensação através de um circuito eletrônico condicionador de sinais (LABMETRO, 2014). Na Figura 18 pode-se observar o circuito equivalente de um transdutor piezoelétrico.

3.4.2. Transdutor de pressão capacitivo

São os transdutores mais utilizados na medição de pressão industrial. Entre os diafragmas fixos e o móvel, existe um líquido de enchimento que funciona como um capacitor, que é constituído por duas placas paralelas separadas por um meio dielétrico, ao sofrer o esforço de pressão, o diafragma móvel (placa do capacitor) tem sua distância em relação ao diafragma modificada. Isso provoca modificação na capacitância de um circuito de medição, e então se tem a medição de pressão (LABMETRO, 2014).

Para que ocorra a medição, o circuito eletrônico é alimentado com uma circulação de corrente alternada através de um oscilador, e então é modulada a frequência ou a amplitude do sinal em função da variação de pressão para assim, ter a saída como um sinal de corrente analógica ou digital. Como líquido de enchimento utiliza-se normalmente glicerina ou *fluor-oil* (LABMETRO, 2014). A Figura 19 apresenta uma representação esquemática de um transdutor de pressão capacitivo, onde pode-se visualizar o princípio de funcionamento.

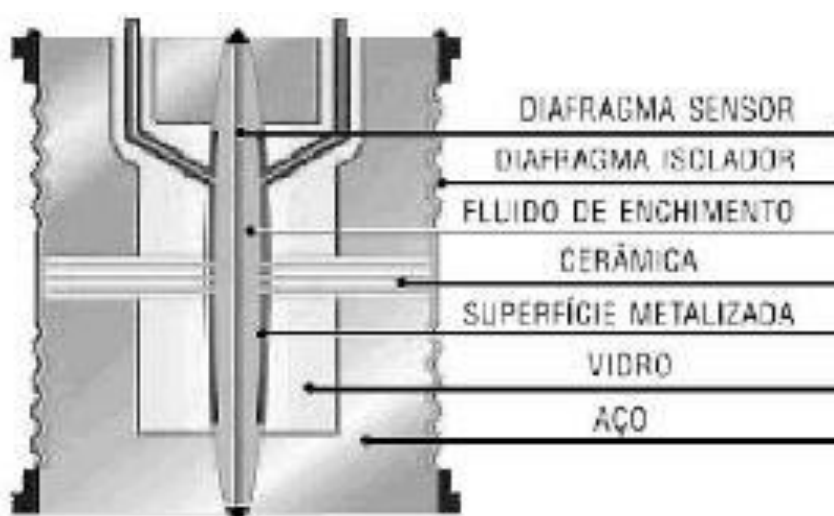


Figura 19 – Representação esquemática de um transdutor de pressão capacitivo
Fonte: <http://www.ebah.com.br/apostila-transdutores>

O transdutor de pressão capacitivo é formado pelos seguintes componentes:

- Armaduras fixas metalizadas sobre um isolante de vidro fundido;
- Dielétrico formado pelo óleo ou líquido de enchimento; e
- Armadura móvel (diafragma sensor).

Uma diferença de pressão entre as câmaras de alta (*High*) e de baixa (*Low*) produz uma força no diafragma isolador que é transmitida pelo líquido de enchimento, então este transdutor pode medir pressões diferenciais, relativas e absolutas, dependendo apenas de qual pressão é colocada na câmara de referência. A força atinge a armadura flexível (diafragma sensor) provocando sua deformação, alterando, portanto, o valor das capacitâncias formadas pelas armaduras fixas e a armadura móvel. Esta alteração é medida pelo circuito eletrônico que gera um sinal proporcional à variação de pressão aplicada à câmara da cápsula de pressão diferencial capacitiva (LABMETRO, 2014).

Transdutores capacitivos são muito utilizados, em parte, devido a sua grande faixa de medição, podendo medir desde pressões próximas do vácuo até pressões de cerca de 70 MPa. Incertezas que variam de 0,01 % a 0,1% do valor do fundo de escala, mais uma deriva térmica de 0,25 % do *FE*, podem ser encontradas. Estes transdutores possuem respostas lineares e praticamente insensíveis a variações de temperatura, sendo os mais indicados em instrumentação e controle de processos, já que possuem excelente desempenho em estabilidade, em temperatura e pressão estática (LABMETRO, 2014). Algumas de suas vantagens em relação as outras tecnologias existentes no mercado são:

- Sensores ideais para aplicações de baixa e alta pressão.
- Minimizam o Erro Total Provável e conseqüentemente a variabilidade do processo. •

Ideais para aplicações de vazão.

- Por sua resposta linear, permite alta faixa de medição com exatidão.

3.4.3. Medição através de *loop* de corrente

Os *loops* de corrente analógica são usados sempre que for necessário monitorar ou controlar remotamente um dispositivo através de um par de condutores. Em qualquer momento, apenas um nível de corrente pode estar presente. O *loop* de corrente de quatro a vinte miliampères, ou 4-20 mA, é um padrão de transmissão elétrica analógica para instrumentação e comunicação industriais. O sinal é um *loop* de corrente, onde 4 mA

representa o zero por cento de uma medição e os 20 mA representam os 100 por cento desta mesma medição (BOLTON, 2004).

O zero absoluto em 4 mA permite que a instrumentação que recebe o sinal distinga entre o sinal zero e um fio quebrado ou um instrumento desativado. Desenvolvido nos anos 50, esse padrão ainda é muito utilizado na indústria atualmente. Entre os benefícios da convenção 4-20 mA, estão o amplo uso pelos fabricantes, custos de implementação relativamente baixos e a sua capacidade de rejeitar muitas formas de ruído elétrico. Além disso, com o zero absoluto, pode-se alimentar diretamente instrumentos de baixa potência com o *loop*, economizando no custo de estruturas de alimentação com fios extras.

3.4.4. Considerações relacionadas à exatidão em um *loop* de corrente

Para a medição de uma corrente elétrica, é necessário que a mesma circule pelo circuito através de uma carga resistiva, em geral originada através de um resistor em série chamado de *shunt*. A localização deste resistor *shunt* no circuito é muito importante. Se o circuito externo compartilhar um ponto de aterramento comum com o computador que contém placa de aquisição de dados pelo *ZigBee*, deve-se colocar o resistor *shunt* o mais próximo possível da ligação de terra do circuito. Se não fizer isso, a tensão de modo comum produzida pelo resistor *shunt* pode ultrapassar a especificação do módulo *ZigBee*, o que pode provocar leituras incorretas ou até mesmo danificar este módulo. A figura 20 demonstra as posições correta e incorreta do resistor *shunt* no circuito de *loop* de corrente.

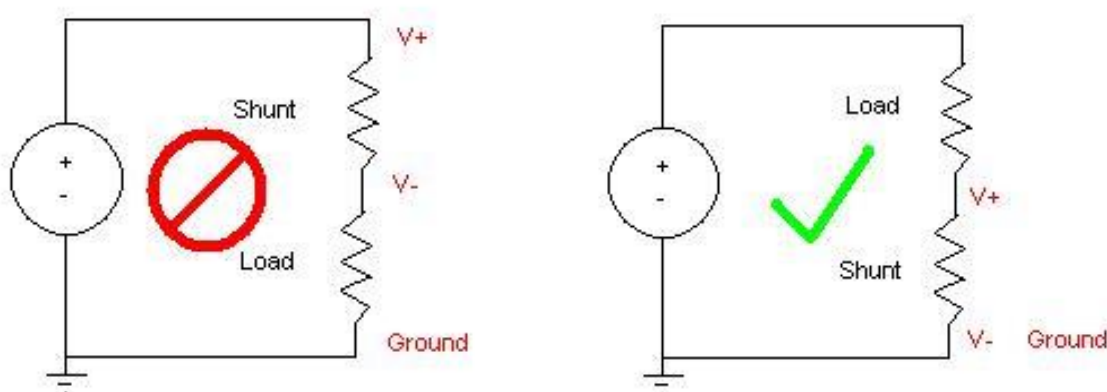


Figura 20 – Localização do resistor *shunt*

Fonte: <http://www.ni.com/white-paper/7114/pt/>

3.5. Ferramentas utilizadas no projeto

Durante o desenvolvimento deste projeto foi discutido até o momento a implementação de um sistema baseado em *hardware* que possui diversos dispositivos sensores de pressão de água em adutoras que operam sobre tecnologias de comunicação sem fio, montam redes adaptativas e enviam informações importantes sobre o funcionamento das redes de saneamento.

Estas informações para se tornarem utilizáveis, necessitam também do desenvolvimento de ferramentas computacionais dedicadas e com capacidades específicas, como armazenamento, tratamento, cadastramento ou decodificação destes dados adquiridos pelos sensores, além de geração de relatórios e gráficos estatísticos.

Foram realizados estudos para a seleção das linguagens de desenvolvimento de uma interface *web* amigável, para que os usuários possam monitorar as pressões em adutoras de água tratada, além de efetuar o cadastramento de novos dispositivos. As ferramentas que melhor supriram as demandas e limitações deste projeto foram o *WampServer*, o *PHP 5.4*, o *MySQL 5.5*, o Servidor *Apache 2.4* e o *Adobe Dreamweaver CC*.

3.5.1. Programação *Web*

A programação para *Web* ganha cada vez mais espaço nesse imenso mercado virtual, as linguagens de programação estão mais poderosas, ao mesmo tempo que produtivas e com excelente desempenho. A construção de sites e aplicações cresce de forma acelerada na internet e, por trás de grande parte desses projetos, o *PHP* e o *MySQL* são utilizados por serem tecnologias muito eficientes e terem sido criados visando este nicho de mercado: aplicações *web* (intranet e internet) com a capacidade de criar códigos de forma simples e rápida. O *PHP* é uma linguagem de programação extremamente funcional, com recursos voltados para *web* e em constante evolução.

Por ser uma das tecnologias mais utilizadas em aplicações de internet, diversas bibliotecas e módulos são criados e disponibilizados. Além disso, há outro fator importante: é gratuito e, ao ser integrado com o *MySQL*, gera um ambiente perfeito e completo para o desenvolvimento de aplicações (LOBO, 2012).

3.5.2. Programação em linguagem *PHP*

Um dos pontos mais fortes das páginas em *PHP* é a possibilidade de usar bases de dados mediante funções de destacada simplicidade e potência. Estas bases de dados podem servir ao site desenvolvido para armazenar conteúdo de uma forma sistemática que permita classificá-los, procurá-los e editá-los rápida e facilmente.

Uma base de dados é um conjunto de tabelas nas quais são armazenados diferentes registros. Estes registros são catalogados em função de diferentes parâmetros que os caracterizam e que tem uma utilidade específica na hora de classificá-los.

Uma das bases de dados mais difundida é o *MySQL*. Assim como acontece com o *Apache*, que possui disponível uma versão para *Windows* e pode ser obtida gratuitamente no *website* do desenvolvedor (ALECRIM, 2012).

3.5.3. Servidor *Apache*

O *Apache Server* é um *software* livre, o que significa que qualquer desenvolvedor pode estudar ou alterar seu código-fonte, além de poder utilizá-lo gratuitamente. É graças a essa característica que o *software* foi (e continua sendo) melhorado ao passar dos anos. Graças ao trabalho muitas vezes voluntário de vários desenvolvedores, o *Apache Server* continua como sendo um dos servidores *Web* mais utilizados no mundo.

Além de estar disponível para o *Linux* (e para outros sistemas operacionais baseados no *Unix*), o *Apache* também conta com versões para o *Windows*, para o *Novell Netware* e para o *OS/2*, o que o torna uma ótima opção para rodar em computadores obsoletos, desde que este atenda aos requisitos mínimos de *hardware*.

O servidor *Apache* é capaz de executar código em *PHP* erl, *Shell Script* e até em *ASP*, e pode atuar como servidor *FTP*, *HTTP*, entre outros. Sua utilização mais conhecida é a que combina o *Apache* com a linguagem *PHP* e o banco de dados *MySQL*.

A exigência de *hardware* do *Apache* depende de sua aplicação, mas um *PC Pentium* com 64 MB de memória *RAM* é capaz de executá-lo tranquilamente em um ambiente corporativo pequeno. No entanto, quando se trata de um site na internet, é interessante ter máquinas tão poderosas quanto o que exige o nível de acesso (ALECRIM, 2004).

3.5.4. Banco de dados

É basicamente um arquivo de grande capacidade de armazenamento, que através de ferramentas de pesquisa permite de maneira fácil e organizada, acessar as informações contidas nele. Atualmente, é estimado que se possua cerca de 5% das informações do *site* armazenadas em um banco de dados. Para este projeto está sendo utilizado um dos mais reconhecidos como melhor banco de dados gratuito do mercado, o *MySQL*.

Um sistema de banco de dados é um ambiente de *hardware* e de *software*, composto por dados armazenados em um banco de dados (*BD*), o *software* de gerência do banco de dados (*SGBD*) e os programas de aplicação. Dentro dos bancos de dados ficam as tabelas, como se fossem as categorias da estrutura dos dados, e nessas tabelas ficam as informações.

3.5.5. Linguagem de programação *Python*

O desenvolvimento inicial da linguagem de programação *Python* começou em um instituto de pesquisa em Amsterdam, chamado *CWI*, uma sigla holandesa para uma frase que se traduz em português como Centro para Matemática e Ciência da Computação. O *CWI* era um local interessante, sendo financiado pelo Departamento de Educação do governo holandês e outros fundos de pesquisa, onde se conduz pesquisas acadêmicas em ciência da computação e matemática (DRUMOND, 2009).

É uma linguagem orientada a objetos muito dinâmica, que pode ser usada para o desenvolvimento de tipos variados de *software*. Ela oferece um forte suporte para a integração com outras linguagens e ferramentas, é oferecida com extensivas bibliotecas padrões, e no geral pode ser aprendida em pouco tempo. Os módulos *ZigBee* da fabricante *Digi* oferecem amplo suporte e fóruns de desenvolvimento nesta linguagem.

3.5.6. *Software* comercial *X-CTU*

É um aplicativo baseado no *Windows* ou *Linux* fornecido pela *Digi*. Este programa foi concebido para interagir com os arquivos de *firmware* encontrados em produtos de *RF* da *Digi* e para fornecer uma interface gráfica simples de usar para eles. O *X-CTU* foi inicialmente projetado para funcionar exclusivamente com todos os computadores baseados

em *Windows* como o *Microsoft Windows 98* ou superior. Ele pode ser baixado diretamente do *site* da *Digi* ou um CD de instalação, e sua interface é demonstrada na Figura 21.

O *X-CTU* possui a capacidade de programar e realizar os primeiros ensaios de comunicação entre os dispositivos *ZigBee*, configurar as redes que cada nó pertencerá e enviar comandos de ação para outro dispositivo.

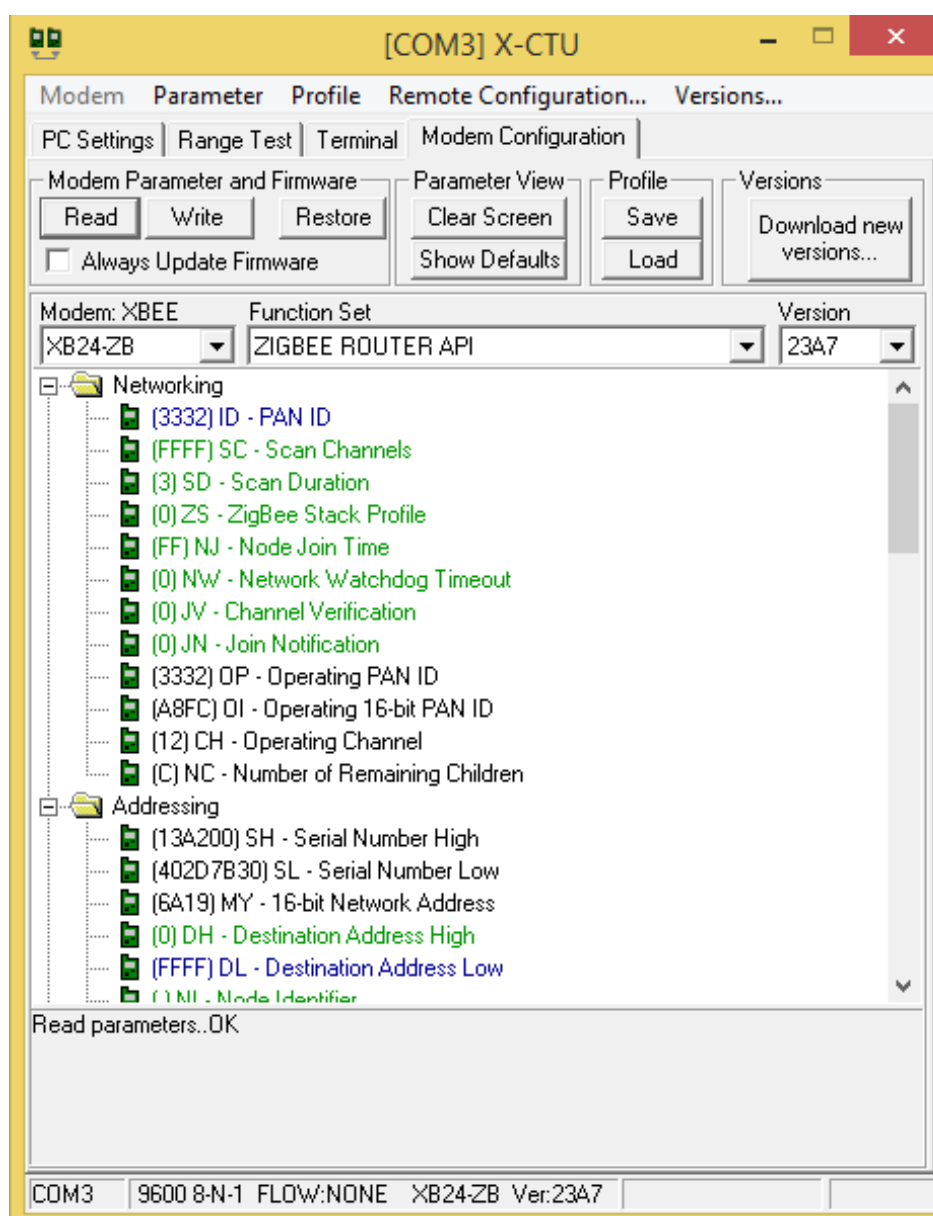


Figura 21 – Configuração dos parâmetros do *ZigBee* através do *Software X-CTU*

Fonte: <http://www.digi.com/x-ctu/>

4. DESENVOLVIMENTO

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos através da realização das atividades propostas no projeto, descrevendo a execução, montagem e ensaios preliminares com o sistema de controle e monitoramento de pressões em adutoras de distribuição de água potável. É importante lembrar que este projeto possui diversas áreas de desenvolvimento, compreendendo desde a especificação do problema e sua solução, os projetos de *hardware* de monitoramento, a montagem da estrutura de rede de comunicação, o tratamento destas informações e o desenvolvimento de um banco de dados com uma interface de consulta remota através de uma plataforma *web*. Desta forma, a apresentação dos resultados preliminares deste desenvolvimento foi dividida de acordo com a sua área de conhecimento.

4.1. Configuração dos módulos *ZigBee* para operação com os sensores

Os módulos *ZigBee* fabricados pela *Digi internacional*, que são chamados *XBee*, possuem diversos modelos que possuem diferentes distâncias de comunicação entre os dispositivos, a potência consumida, as opções de configuração, entre outros. Como exemplo, pode-se citar o *XBee serie 2*, que possui uma distância máxima de comunicação de 120 metros, e o *XBee Pro serie 2*, que é o modelo que foi especificado no projeto, possuindo uma distância máxima de operação de 3.200 metros. Na Figura 22 estão demonstradas as especificações mecânicas dos módulos *ZigBee*.

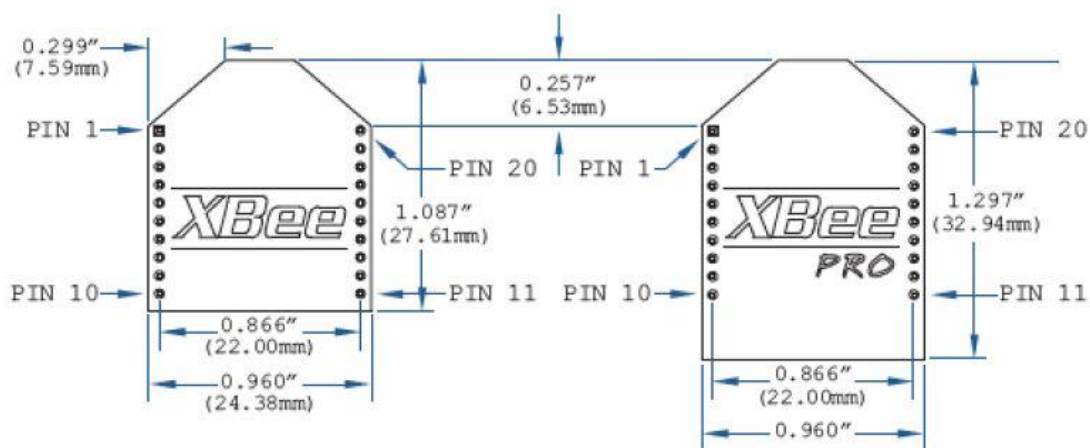


Figura 22 – Especificações mecânicas dos módulos *ZigBee*
Fonte: Manual *XBee*

Para a implementação dos dispositivos *ZigBee* como nós sensores da rede, estes necessitam ser conectados aos transdutores de pressão das adutoras. Estes dispositivos possuem no total 11 portas *I/O* de interfaceamento externo, sendo que as quatro primeiras, de *DIO0* à *DIO3*, possuem uma entrada de sinal analógico configurável, com características adequadas a utilização neste projeto. Na Figura 23 pode-se verificar a descrição das funcionalidades de cada pino dos módulos *XBee/XBee-pro* da *Digi*. Nota-se que existem pinos que podem exercer diferentes funções como, entrada analógica, entrada/saída digital e outros.

Tabela 2.2 Atribuições dos Pinos para os módulos XBee-PRO			
Pino	Nome	Tipo	Descrição
1	Vcc	-	Energia
2	Dout	Saída	UART Saída de dados
3	DIN / CONFIG	Entrada	UART Entrada de dados
4	DIO12	-	Digital I/O 12
5	RESET	Entrada	Módulo de reset (reset deve ser pelo menos 200 ns)
6	PWM0 / RSSI / DIO10	Saída / Entrada	Saída PWM 0 / RX Indicador do sinal / Digital IO
7	PWM / DIO11	Saída / Entrada	Digital I/O 11
8	[reservado]	-	Não conectado
9	DTR / SLEEP_RQ / DIO8	Saída / Entrada	Pino de controle para hibernar ou Digital IO 8
10	GND	-	Terra
11	DIO4	Saída / Entrada	Digital I/O 4
12	CTS / DIO7	Saída / Entrada	Fluxo de controle ou Digital I/O 7
13	ON / SLEEP / DIO9	Saída / Entrada	Limpa para enviar indica status ou Digital I/O 9
14	[reservado]	-	Não conectado
15	Associado / DIO5	Saída / Entrada	Indicador , Digital I/O 5
16	RTS / DIO6	Saída / Entrada	Solicita para enviar indica status, Digital I/O 6
17	AD3 / DIO3	Saída / Entrada	Entrada Analógica 3 ou Digital I/O 3
18	AD2 / DIO2	Saída / Entrada	Entrada Analógica 2 ou Digital I/O 2
19	AD1 / DIO1	Saída / Entrada	Entrada Analógica 1 ou Digital I/O 1
20	AD0 / DIO0 / chave	Saída / Entrada	Entrada Analógica 0, Digital IO 0, ou chave

Figura 23 – Descrição das funções atribuídas dos pinos do módulo *ZigBee*
 Fonte: Manual *XBee*

Para iniciar a configuração dos dispositivos de comunicação *ZigBee* foi definida a topologia de rede em malha e as funcionalidades específicas de cada um dos módulos de rede configuráveis, optando-se assim pela implantação de uma rede adaptativa do tipo *mesh*, com a configuração de maior economia de energia para os dispositivos definidos como sensores acoplados aos transdutores de pressão através da programação da função *RFD (Reduced Function Device)*, e os demais coordenadores e roteadores como *FFD (Full Function Device)*.

Caso seja necessário incrementar a distância de comunicação do dispositivo *ZigBee* sensor conectado ao transdutor de pressão, pois eventualmente por se tratar de adutoras na rua este pode estar instalado em algum local de difícil acesso ou no subsolo, utiliza-se o auxílio de um novo módulo *ZigBee* roteador. Desta forma, pode-se melhorar a dinâmica da rede entre os dispositivos finais que atuam como sensores de pressão, posicionando novos dispositivos *ZigBee* configuradores como roteadores autônomos, atuando somente como nós alternativos da rede *mesh* para garantir a entrega do *frame* de dados gerado pelo sensor, aumentando a confiabilidade da rede pela redundância de caminhos de entrega e roteamento.

Na central de monitoramento e controle foi instalado um dispositivo *ZigBee* configurado na função *FFD* como coordenador, com o objetivo de receber todas as informações de pressão enviadas pelos dispositivos finais conectados nos transdutores, e passar as mesmas diretamente ao *software* de gerenciamento. Desta forma, ele pode converter este *frame* enviado em modo *API* para um formato compatível com o banco de dados utilizado, para o armazenamento e análise posterior.

4.2. Configuração da rede de transdutores de pressão das adutoras

Para a implementação da rede de comunicação de dados, os módulos *ZigBee* foram configurados como coordenador para a utilização na central de controle e monitoramento, e dispositivos finais para atuarem como sensores conectados diretamente através de suas portas *I/O* com os transdutores de pressão. Os transdutores de pressão estão conectados aos módulos *ZigBee* através de suas portas analógicas de entrada de dados, mas por se tratarem de dispositivos de rede sem fio, podem assumir o funcionamento e operação através de fontes de energia reguladas flutuantes ou baterias, sendo a segunda opção uma excelente solução para a instalação em adutoras remotas, onde a instalação de uma rede de energia elétrica é inviável.

Utilizando os sensores configurados como roteadores, pode-se definir a operação em modo *sleep* cíclico com alimentação de uma bateria interna, aumentando a vida útil da mesma

para em torno de 5 anos de operação. Se a função de roteamento também não for necessária neste nó de rede, os dispositivos *ZigBee* ainda podem ser configurados para atuar como dispositivos finais com funções reduzidas (*RFD*) e desta forma são forçados para permanecerem modo *sleep* (dormindo) até que seja a hora de mandar uma informação, fazendo com que o *ZigBee* sensor acorde (*wake-up*) imediatamente e assim, de forma totalmente automática, envie um *frame* de dados ao coordenador da rede, que está instalado na central de controle e monitoramento. Este *frame* de dados originado no momento do *wake-up* pode ser configurado para conter as informações importantes de identificação do nó, bem como as amostras recebidas pelo transdutor naquele momento da transmissão.

No caso de um destes dispositivos finais configurados como sensores não conseguirem estabelecer a conexão direta com o coordenador por qualquer que seja o motivo, os demais dispositivos configurados como *Router* da rede terão a finalidade de apenas encaminhar este *frame* de comunicação através de seus nós de forma transparente, configurando assim uma rede adaptativa em malha (*mesh*).

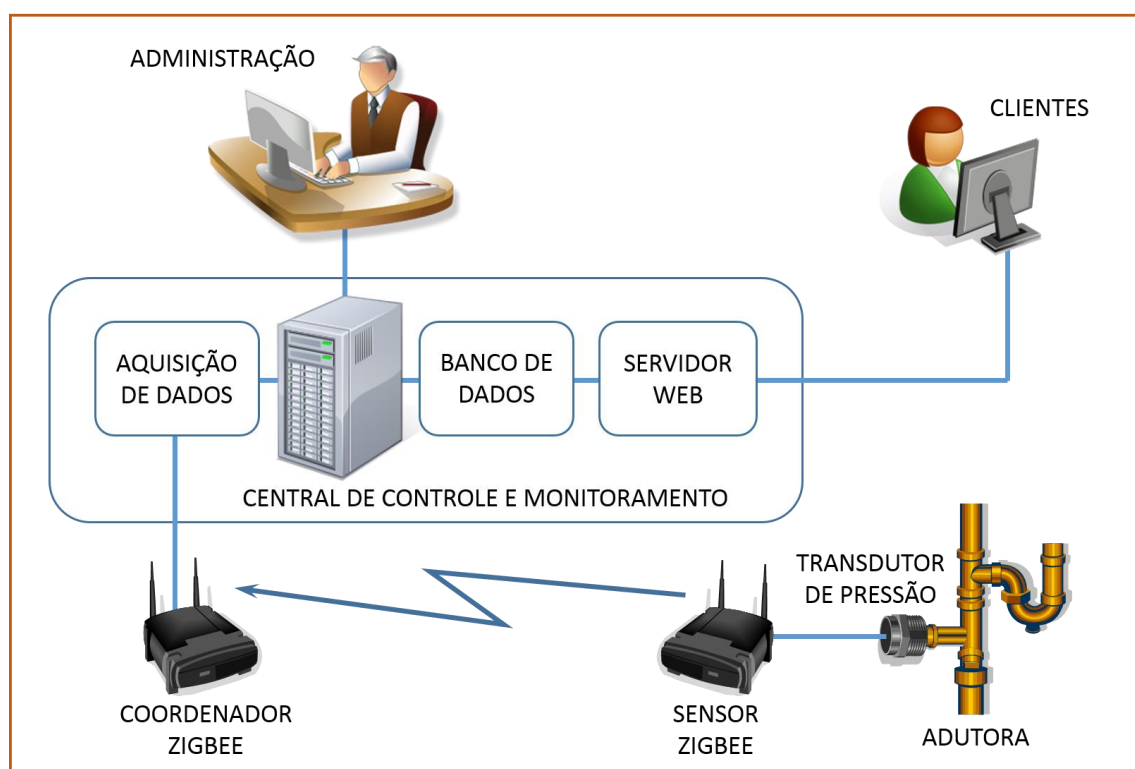


Figura 24 – Organograma de funcionamento do sistema implementado
Fonte: Próprio autor

Conforme demonstrado na Figura 24, na central de controle e monitoramento foi utilizado um dispositivo *ZigBee* configurado como coordenador, que atua como *FFD*, sendo

encarregado de receber o *frame* contendo as informações sobre a pressão da adutora detectada pelo transdutor e procedendo ao encaminhamento desta informação.

4.2.1. Configuração dos módulos *ZigBee* com o *X-CTU*

Após a definição das funcionalidades de cada nó da rede de dados, é necessário realizar a configuração dos dispositivos *ZigBee* de acordo com estas especificações. A primeira configuração necessária dos módulos é a sua atribuição na rede, como coordenador, roteador ou dispositivo final. Esta configuração é realizada através da escolha de opções em um menu do *software* disponibilizado gratuitamente pela *Digi*, chamado *X-CTU*.

Através do programa *X-CTU* é possível à realização dos testes de comunicação, bem como a configuração dos parâmetros para comunicação dos dois modos de operação ao nível de modificação do *firmware* interno de cada módulo (*API* e *AT*). A configuração do módulo *ZigBee* coordenador e uma busca por nós da rede estão exemplificados na Figura 25.

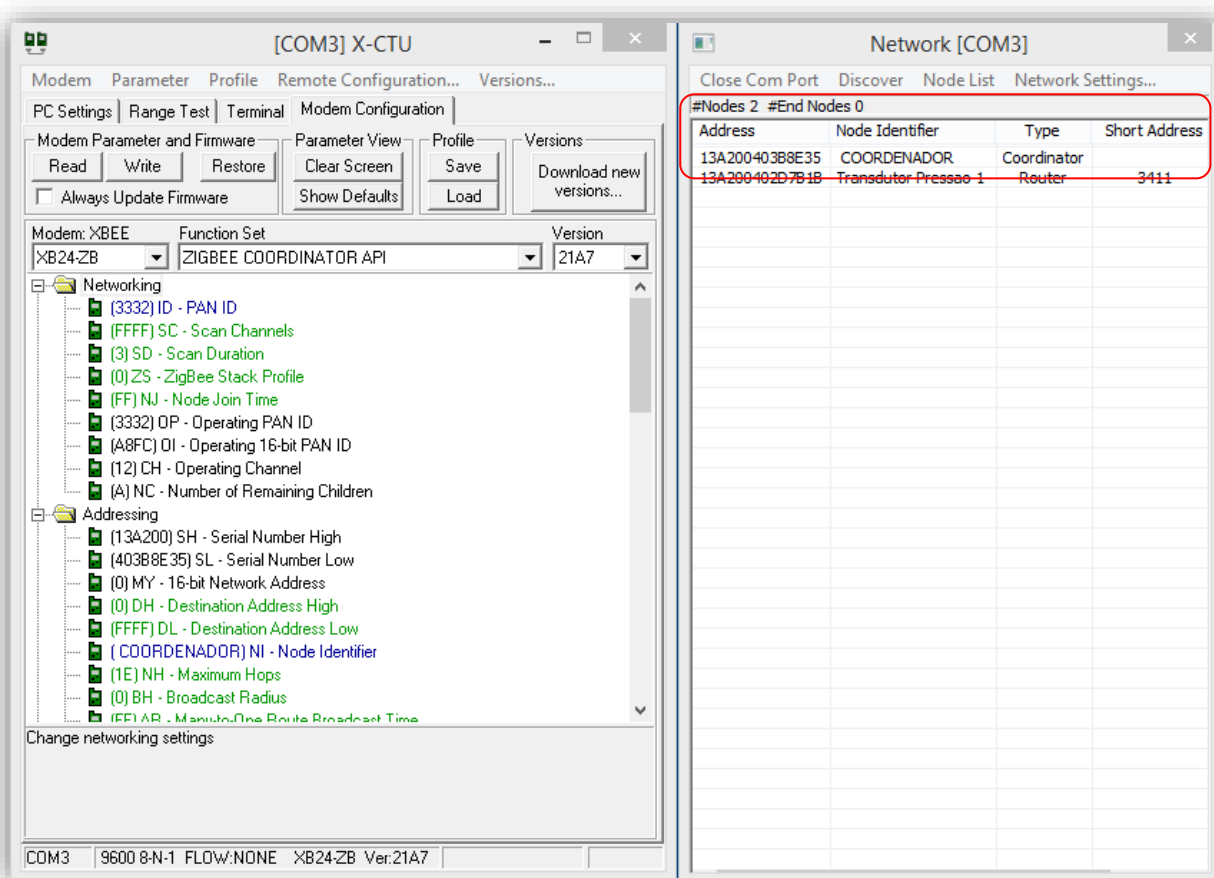


Figura 25 – Configuração dos Módulos *ZigBee* através do *software X-CTU*
Fonte: *Software X-CTU*

Para configuração dos módulos *ZigBee* é necessário que o *firmware* do dispositivo esteja atualizado, que pode ser realizado a partir do próprio *website* do fabricante. Como o transdutor de pressão possui a capacidade de medir valores analógicos da adutora de água, ou seja, valores contínuos de pressão de água, se torna necessária a configuração da porta de interface do módulo *ZigBee* como uma entrada de tensão analógica, chamada de *ADC*, muito embora ele faça uma posterior conversão desta informação para um formato digital, de 10 *bits* de resolução, resultando em uma saída de 1024 níveis diferentes de tensão no coordenador. Na Figura 26 pode-se visualizar a porta *D100* do módulo sensor configurada como 2 (*ADC*).

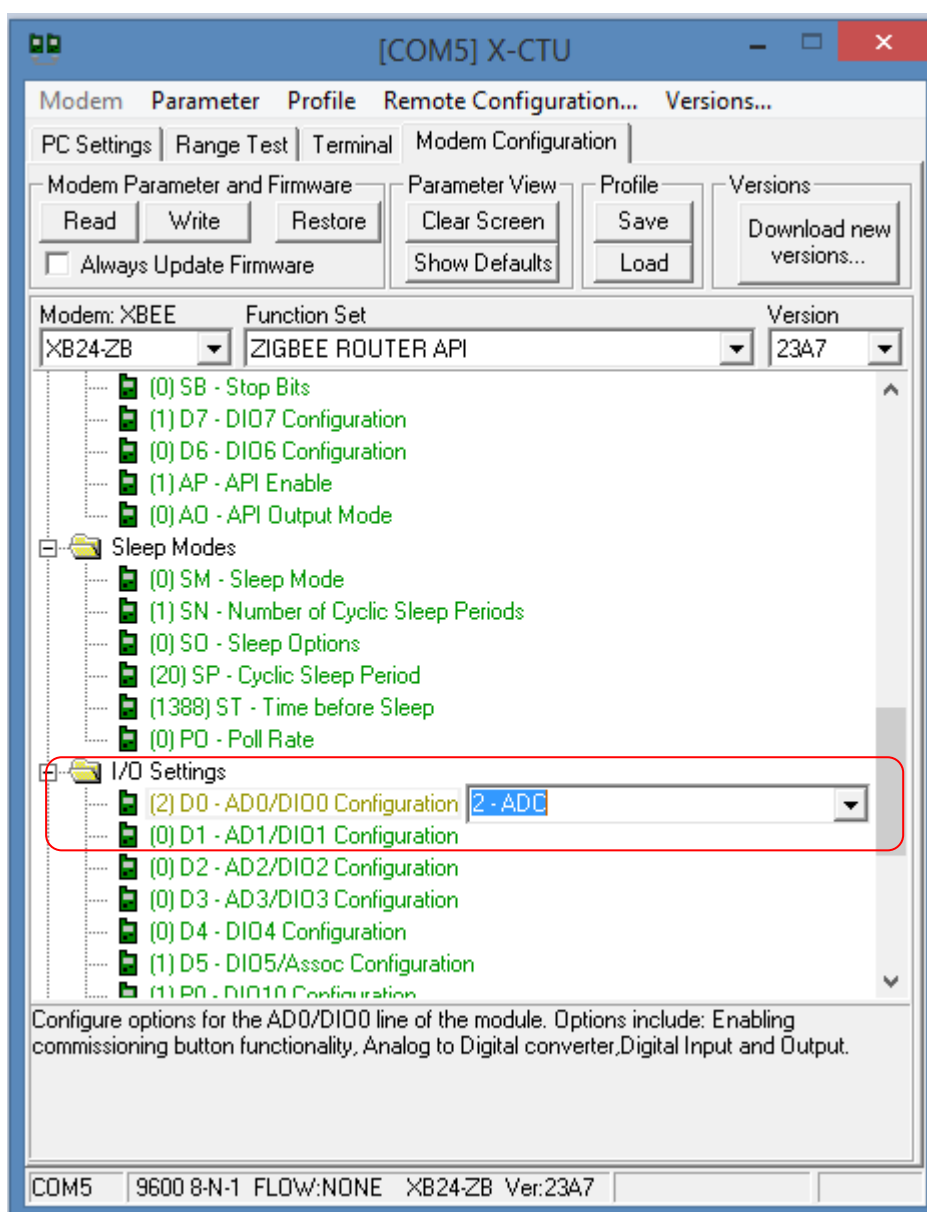


Figura 26 – Configuração das portas I/O dos módulos ZigBee para operação como sensores
Fonte: *Software X-CTU*

Para a utilização destes módulos no sistema de controle e monitoramento da pressão de água em adutoras é necessária a programação dos dispositivos *ZigBee* para que possam ser facilmente identificados cada vez que enviarem suas informações pela rede, desta forma simplificando a entrada de valores no banco de dados desenvolvido para esta aplicação. Neste projeto, foram configurados os seguintes parâmetros utilizando o *software X-CTU*:

- a) O campo de identificação da *Personal Address Network*, chamado de *PAN ID*, que é necessário para criar uma rede privada, onde somente *ZigBee's* com a mesma *PAN ID* conseguiram se enxergar na rede.
- b) O campo de endereço alto do destino, chamado de *DH* (mesmo *SH* do módulo coordenador), que tem a finalidade de estabelecer uma comunicação ponto a ponto com o coordenador, onde foi necessário preencher com o endereço *SH* do módulo conectado na Central de Controle e Monitoramento. Caso a conexão seja para múltiplos dispositivos na rede (*broadcast*), pode-se utilizar o valor 0x00.
- c) O campo de endereço baixo do destino, chamado de *DL* (mesmo *SL* do módulo coordenador), que tem a finalidade de estabelecer uma comunicação ponto a ponto com o coordenador, onde foi necessário preencher com o endereço *SL* do módulo conectado na Central de Controle e Monitoramento. Caso a conexão seja para múltiplos dispositivos na rede (*broadcast*), pode-se utilizar o valor 0xFFFF.
- d) O campo de identificação do nó, chamado de *NI (Node Identifier)*, que corresponde ao nome no qual o *ZigBee* será reconhecido na rede em caracteres *ASCII*, podendo ser atribuído um nome de até 10 caracteres com espaços.

No dispositivo sensor configurado como dispositivo final ou roteador, a configuração basicamente se diferencia da anterior na parte da configuração do modo *sleep*, que faz com que o dispositivo que está no ponto da rede onde se conecta diretamente com o transdutor, permaneça em estado *sleep*, ou seja, dormindo, até que esteja na hora de sua transmissão de dados cíclica. Neste momento, o dispositivo automaticamente acorda de seu repouso e imediatamente envia um *frame* de dados em modo *API* para o coordenador, contendo entre outras informações, sua identificação única na rede, o *NI* e os sinais da porta *I/O* analógica.

Após a configuração dos dispositivos começou-se um estudo das linguagens de banco de dados que seriam utilizadas no projeto, onde se chegou à conclusão de que o banco de dados *Mysql* e respectivamente sua linguagem *SQL* seriam as que mais supriam as necessidades e as características do banco de dados que o trabalho exigiria.

4.3. Montagem do *hardware* dos transdutores de pressão das adutoras

Para a aquisição dos valores de pressão instantânea de água em adutoras, foram montados dispositivos sensores baseados na tecnologia de comunicação sem fio. Sensores são dispositivos de medição de grandezas analógicas ou digitais, que mudam de estado conforme a interação com o ambiente. Seu *hardware* pode ser composto por diversos componentes eletrônicos, térmicos, mecânicos, entre outros, ou por apenas um componente. Estes dispositivos podem interagir com diversos tipos de grandezas físicas, tais como temperatura, movimento, pressão, entre outras, convertendo essas grandezas em sinais elétricos analógicos ou digitais. Os sensores que possuem as saídas analógicas têm seu valor oscilando conforme a variação da grandeza de entrada, já os sensores com saída digital, geralmente digital binários, assumem apenas dois valores discretos bem definidos.

Para este projeto foi selecionado um sensor de pressão, também chamado de transdutor de pressão, modelo *Wika A-10*, que converte pressões de até 10 *bar* em valores de corrente no intervalo de 4 – 20 mA. Existem diferentes tecnologias para o sensoriamento de pressões de fluídos no interior de tubulações, onde destacam-se os capacitivos e os piezoelétricos, principalmente em aplicações industriais ou de alta pressão.

4.3.1. Transdutor de pressão *Wika A-10*

O transdutor utilizado no projeto possui a finalidade de medir a pressão mecânica sobre uma superfície e transformar esta informação em um sinal elétrico equivalente, disponibilizando na forma de um *loop* de corrente em *miliampères*. Este transdutor apresenta como características a sensibilidade de perceber a variação de pressão entre 0 e 10 *bar*, com uma resposta em corrente no intervalo de 4 – 20 mA, e a alimentação é realizada através do próprio circuito entre +8 V_{CC} e +30 V_{CC}.

Como este transdutor opera através de uma variação de corrente entre 4 mA para zero de pressão e 20 mA para 10 *bar* de pressão de água, foi necessário o desenvolvimento de uma interface de conversão destes valores para uma variação de tensão compatível com as portas *I/O* do dispositivo *ZigBee*. Na Figura 27 está demonstrado este transdutor com o acoplamento hidráulico instalado para a realização dos ensaios em laboratório.

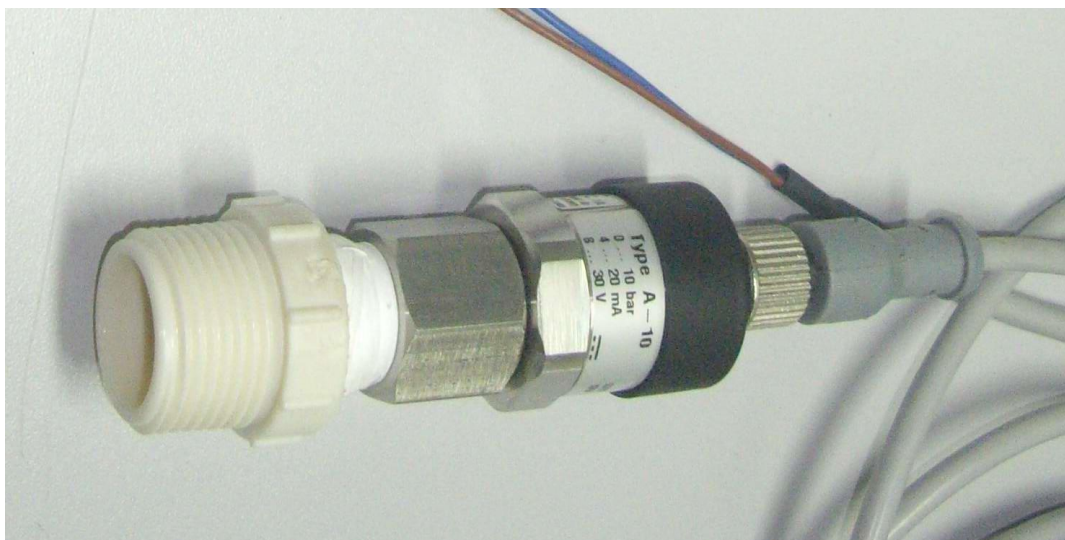


Figura 27 – Transdutor de pressão *Wika A-10* utilizado no projeto
Fonte: Próprio autor

Esta interface de conversão foi baseada no desenvolvimento de um circuito eletrônico com a finalidade de transformar o sinal elétrico enviado pelo transdutor de pressão, originalmente em um *loop* de corrente em miliampéres, para um sinal compatível com as portas *I/O* do *ZigBee*, que opera em milivolts. Os módulos da tecnologia *ZigBee* do fabricante *Digi* que estão sendo utilizados possuem como particularidade a condição de receber e transmitir o sinal dos módulos somente em escalas de milivolts, mais especificamente em variações de 0 – 1,2 V para sinais de entrada e de 0 – 3,3 V para sinais de saída.

Diante desta incompatibilidade foi desenvolvido um circuito de conversão que está descrito a seguir, com os principais componentes utilizados e suas respectivas características, além do detalhamento do processo de projeto e montagem do circuito:

- Transformador de Energia: é um componente de transformação de valores de tensão mantendo a potência constante. Em um dos lados é inserida uma tensão alternada, que ao circular pela bobina interna gera uma corrente equivalente. A multiplicação desta corrente pela tensão de entrada fornece a potência constante do transformador. Através da indução elétrica gerada por esta circulação de corrente através de um núcleo de ferro, é induzida uma corrente em outra bobina presente em volta do mesmo núcleo. Esta corrente é equivalente a relação do número de espiras das duas bobinas, que para manter a potência constante no transformador fornece uma tensão equivalente na saída de acordo com a sua corrente, satisfazendo a Lei de *Ohm*. Em transformadores pode-se utilizar derivações ou *taps*, tanto na entrada como na saída de tensão, desta forma dividindo as tensões de acordo com as relações de espiras de cada *tap*. Neste projeto foi necessária a utilização de uma fonte simétrica e mais

uma fonte auxiliar independente, desta forma, foi selecionado um transformador com tensão de entrada de $110 V_{CA}$ ou $220 V_{CA}$, e tensão de saída de $12 V_{CA} + 12 V_{CA}$.

- Diodo Retificador: é um componente eletrônico semiconductor que tem como sua característica conduzir a corrente elétrica em sentido único, mas para que ocorra o fluxo de elétrons é preciso uma alimentação mínima de $0,7 V$ sobre ele. Neste projeto os diodos do tipo 1N4007 foram utilizados com objetivo de retificar a tensão gerada na fonte de alimentação para a montagem de uma fonte simétrica de $+12 V_{CC}$ e $-12 V_{CC}$. Também foram utilizados para a retificação de uma sub fonte de alimentação do módulo *ZigBee*, posteriormente filtrada e regulada para a tensão de $+3,3 V_{CC}$.

- Capacitor Eletrolítico: são dispositivos que armazenam cargas elétricas sobre ação de um campo elétrico, e têm como função principal suprir o consumo instantâneo de energia de componentes do circuito e eliminar ruídos de *ripple* da fonte. Neste circuito foram utilizados como filtragem das fontes de energia depois de retificadas.

- Resistor Indutivo: são componentes eletrônicos que oferecem uma resistência de passagem de corrente elétrica, e têm como objetivo limitar a corrente ou a tensão do circuito. Neste projeto foram utilizados para regulagens de corrente nos acoplamentos dos componentes e para montar um divisor de tensão resistivo, adequando os níveis mais altos de tensão do transdutor para os valores compatíveis das portas *I/O* do *ZigBee*.

- Divisor de Tensão Resistivo: são arranjos de resistores em série para a redução de tensão no ponto central, quando comparado com a entrada. Neste projeto foram utilizados para adequar a saída de tensão do circuito de conversão de corrente de *loop* do transdutor, originalmente entre $0 - 5 V_{CC}$. Através da associação de dois resistores de 820 Ohms e 270 Ohms , foi possível regular a tensão de entrada na porta *I/O* do *ZigBee* entre $0 - 1,2 V_{CC}$.

- Fonte de Tensão Simétrica: são circuitos de alimentação de energia que oferecem tensões balanceadas e complementares, com ponto central único de referência. Neste projeto foi utilizado um circuito conversor de corrente em tensão baseado em um amplificador operacional. A alimentação deste circuito de conversão de níveis depende de uma fonte simétrica de $+12 V_{CC}$ e $-12 V_{CC}$ para manter a linearidade da resposta.

- Fonte de Tensão Auxiliar: são fontes de energia oriundas de derivações ou *taps* do transformador principal de alimentação do circuito. Neste projeto utilizamos a tecnologia *ZigBee* para a comunicação de dados entre os sensores e a central de controle e monitoramento, sendo que estes dispositivos utilizam uma tensão de entrada de $3,3 V_{CC}$.

- Regulador de Tensão *LM 1117*: são reguladores de tensão de baixa tensão de *dropout*, sendo disponíveis com saídas de $1,8 V_{CC}$, $2,5 V_{CC}$, $2,85 V_{CC}$, $3,3 V_{CC}$ e $5 V_{CC}$, além de versões de tensão de saída ajustáveis ente $1,2 V_{CC}$ e $5 V_{CC}$, com capacidade de suportar até 800 mA contínuos de corrente de carga. Neste projeto foi utilizado um componente *LM 1117* de $3,3 V_{CC}$ para a alimentação do módulo *ZigBee*.

- Conversor *RCV420*: o circuito integrado modelo *RCV420* é um receptor de *loop* de corrente de precisão projetado para converter um sinal de entrada de 4 - 20 mA para um sinal de saída de 0 - $5 V_{CC}$. É composto por um circuito monolítico, que oferece alta confiabilidade a um baixo custo. O circuito consiste de um amplificador operacional de baixo ganho, que confere uma precisão excelente sobre resistores de referência $10 V_{CC}$. O *RCV420* apresenta precisão geral de conversão de 0,1%, 86 dB CMR, e $\pm 40 V$ de faixa de entrada de modo comum. O circuito apresenta somente uma queda de 1,5 V em escala de utilização completa, que é extremamente importante e útil em *loops* de corrente contendo dispositivos extras ou aplicações intrinsecamente seguras, onde a tensão de alimentação do transmissor está no barramento. O *RCV420* é completamente autossuficiente e oferece uma aplicação altamente versátil. Devido a tensão de referência de $10 V_{CC}$, na saída não são necessários ajustes para o ganho, *offset*, ou CMR, apresentando uma variação de escorregamento de menos de 5 ppm/°C.

- Conectores: são utilizados para interligar dispositivos externos ao circuito desenvolvido com praticidade e rapidez. Neste projeto foi especificado circuito com todos os componentes incorporados, desta forma as interfaces com conectores forma limitadas a alimentação do *loop* do transdutor de pressão, a entrada dos sinais de pressão do transdutor e uma saída auxiliar de tensão do circuito, necessária apenas no protótipo de ensaios.

4.3.2. Projeto e montagem do *hardware* de interface:

Nesta primeira implementação do *hardware* da interface do sensor de pressão, foi utilizada uma placa de circuito impressa universal, semelhante no *layout* de um *pront-o-board* utilizado em laboratório, conforme pode ser visto na Figura 28. Com a utilização desta placa na montagem do protótipo foram possíveis realizar todos os testes necessários e as eventuais modificações no projeto, para a adequação dos sinais e tensões necessárias para a operação, tanto do módulo *ZigBee* sensor, como do transdutor de pressão utilizado. A montagem está dividida em três módulos na placa, sendo a fonte de alimentação AC, as conversões de tensão e corrente e por último o módulo de comunicação RF *ZigBee*.

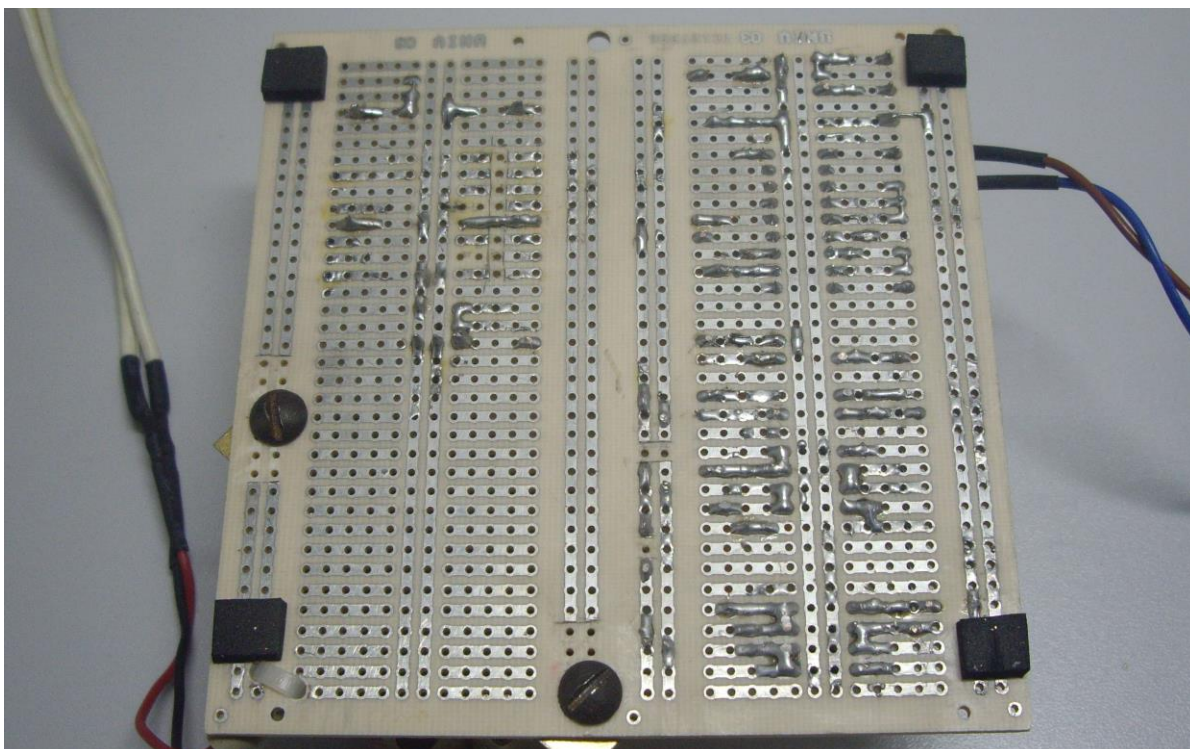


Figura 28 – Placa de circuito impresso modelo universal
Fonte: Próprio autor

A montagem dos componentes eletrônicos neste modelo de placa de circuito impresso funciona de forma semelhante às placas impressas, com a diferença apenas de ter que efetuar os *jumpers* de ligação entre as trilhas neste caso. Uma vez que os componentes e os *jumpers* estejam colocados no lado superior da placa, e as extremidades deles estejam passada através da furação para o lado inferior, basta realizar a soldagem com o auxílio de uma estação de solda e um carretel de estanho.

Com o transformador da fonte de energia devidamente fixado na placa de circuito impresso, o primeiro componente a ser inserido foi o *chip RCV420*, de conversão dos sinais do transceptor. Através das orientações do fabricante do componente foi possível estabelecer a melhor posição física do mesmo na placa, otimizando as ligações entre a fonte, a entrada e a saída dos sinais do transdutor.

Para realizar as interligações do *chip RCV420* foram seguidas rigorosamente as orientações do *datasheet* do fabricante, portanto as ligações realizadas foram da seguinte forma: o pino 3 de entrada do sinal no *chip (+In)* foi conectado na saída positiva do transdutor de pressão; o pino 2 (*-In*), 5 e 13 foram interligados entre si e conectados ao aterramento de referência da fonte simétrica. Esta ligação também foi estabelecida com a saída negativa do transdutor de pressão e com o pino 10 do módulo *ZigBee*.

Para alimentar o *chip RCV420* o pino 16 foi conectado nos + 12 V_{CC} da fonte e o pino 4 com os -12V_{CC} da mesma fonte, observando que foi utilizada uma fonte simétrica de 12V_{CC}. A simetria da fonte foi garantida através da ligação do *tap* central do transformado no centro do sistema. Adicionalmente também foram conectados na saída da fonte capacitores eletrolíticos para filtrar possíveis ruídos de *ripple*, que seriam muito prejudiciais para obtenção de resultados exatos que são enviados pelo transdutor de pressão.

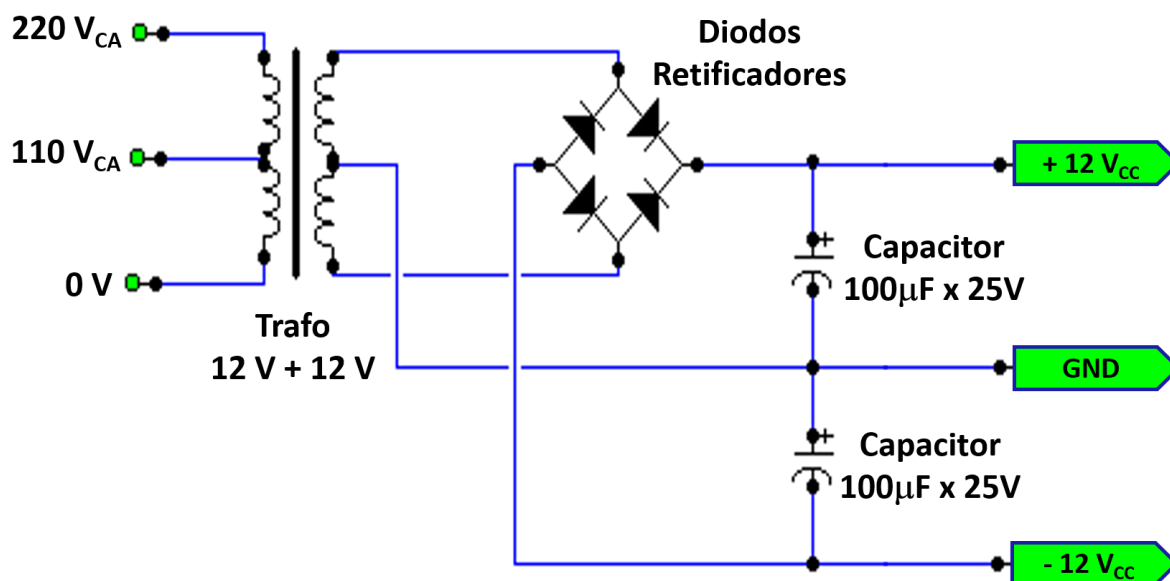


Figura 29 – Diagrama da montagem da fonte simétrica para o circuito
Fonte: *Datasheet* do *RCV420P*

Dando sequência na implementação do protótipo do *hardware*, os pinos 10, 11 e 12 do *chip RCV420* somente são interligados entre si para referência. Concluindo a montagem, foram realizadas as conexões com os pinos 14 e 15 no módulo *ZigBee*. Como a saída de tensão do *chip RCV420* utilizado é de 0 – 5 V_{CC}, também foi necessária a montagem de um divisor de tensão resistivo para diminuir este nível para a variação de 0 – 1,2 V_{CC}. Para esta redução, foram associados em série dois resistores nos valores de 820 Ohms e 270 Ohms, sendo alimentados na extremidade do maior resistor com os 5 V_{CC} da saída do *RCV420*, e na outra extremidade do menor resistor com o *GND*. Na Figura 30 é possível visualizar o diagrama de ligação deste componente sendo utilizado com um conversor direto de corrente para tensão, mantendo a referência de 10 V_{CC} para a linearidade da resposta da saída.

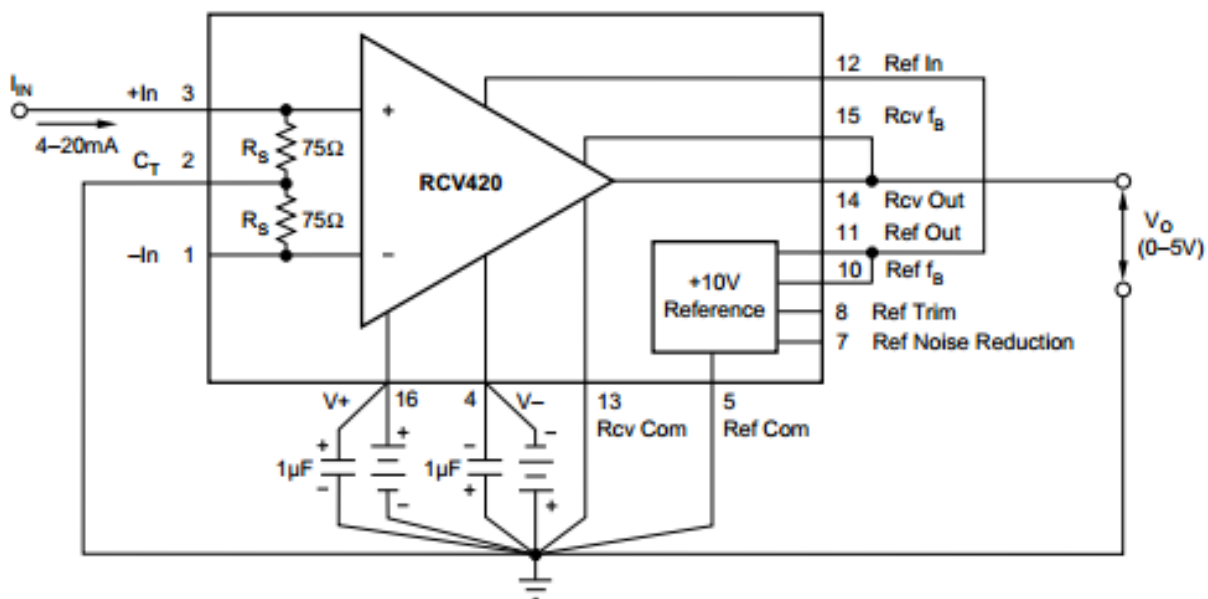


Figura 30 – Diagrama de ligação do *chip RCV420*
 Fonte: *Datasheet do RCV420P*

Na Figura 31 pode-se observar o circuito do protótipo devidamente montado e pronto para a operação em laboratório, sendo que o módulo *ZigBee* sensor e o transdutor de pressão já se encontram conectados.

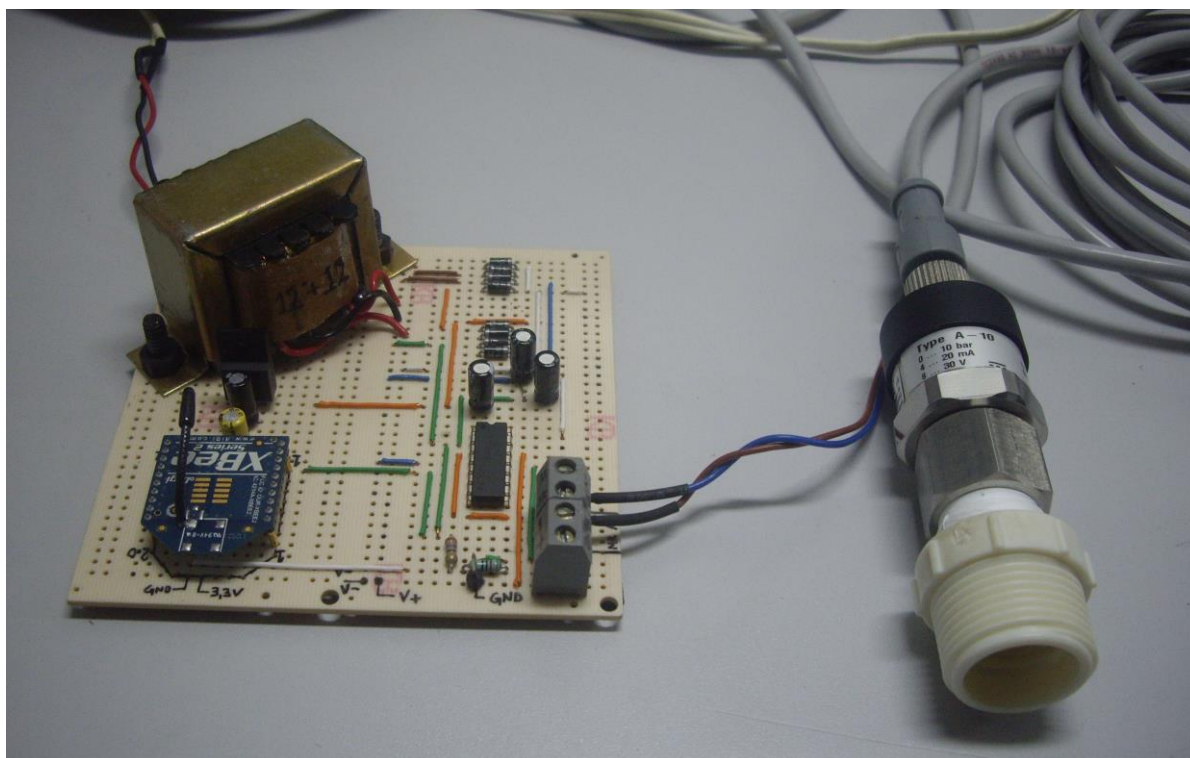


Figura 31 – *Hardware* de interface do transdutor de pressão montado
 Fonte: Próprio autor

4.4. Aquisição remota dos dados dos transdutores das adutoras

Para que os valores de pressão de água medidos pelo transdutor instalado nas adutoras sejam encaminhados à central de controle e monitoramento e armazenados no respectivo banco de dados, foi necessário implementar uma rede de comunicação com tecnologia *wireless*, utilizando as facilidades dos dispositivos *ZigBee* do fabricante *Digi International*. As informações coletadas na adutora pelo transdutor de pressão são convertidas em sinais elétricos, digitalizadas e então transmitidas através da rede de comunicações do *ZigBee*, que adéqua os dados na forma de um *frame* contendo todas as informações relevantes.

Com o quadro de dados que contém as informações de pressão enviado pelo módulo sensor *ZigBee*, se torna necessário o desempacotamento e seleção destas informações relevantes na chegada à central de controle e monitoramento. Para esta decodificação e fragmentação do *frame* de dados foi necessária uma ampla pesquisa em busca de uma linguagem de programação compatível para leitura e gravação dos dados nestes dispositivos. Estudos preliminares indicaram que a linguagem de programação *Python* apresenta uma série de vantagens na utilização para esta demanda, sendo uma variada biblioteca de interação com os sensores *ZigBee* onde a principal fornecedora de *hardwares*, chamada de *DigiESP for Python* disponibiliza esta ferramenta para implementação dos códigos necessários, mantém um grande fórum de desenvolvedores e ainda fornece uma versão própria do *Python* gratuita. Na figura 32 pode-se observar o organograma do sistema de aquisição de dados das adutoras.

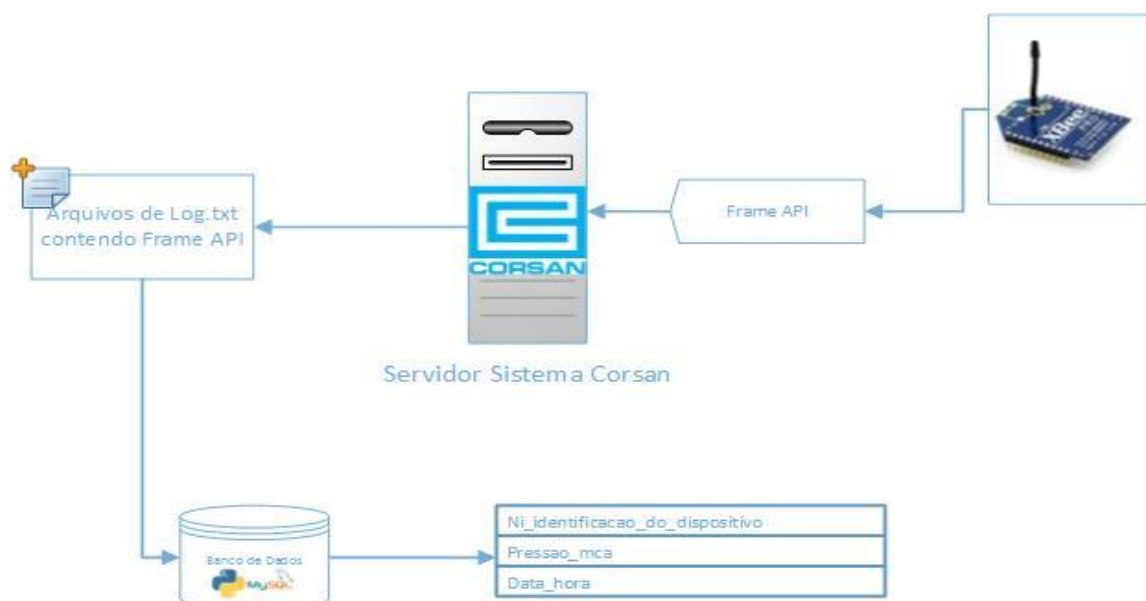
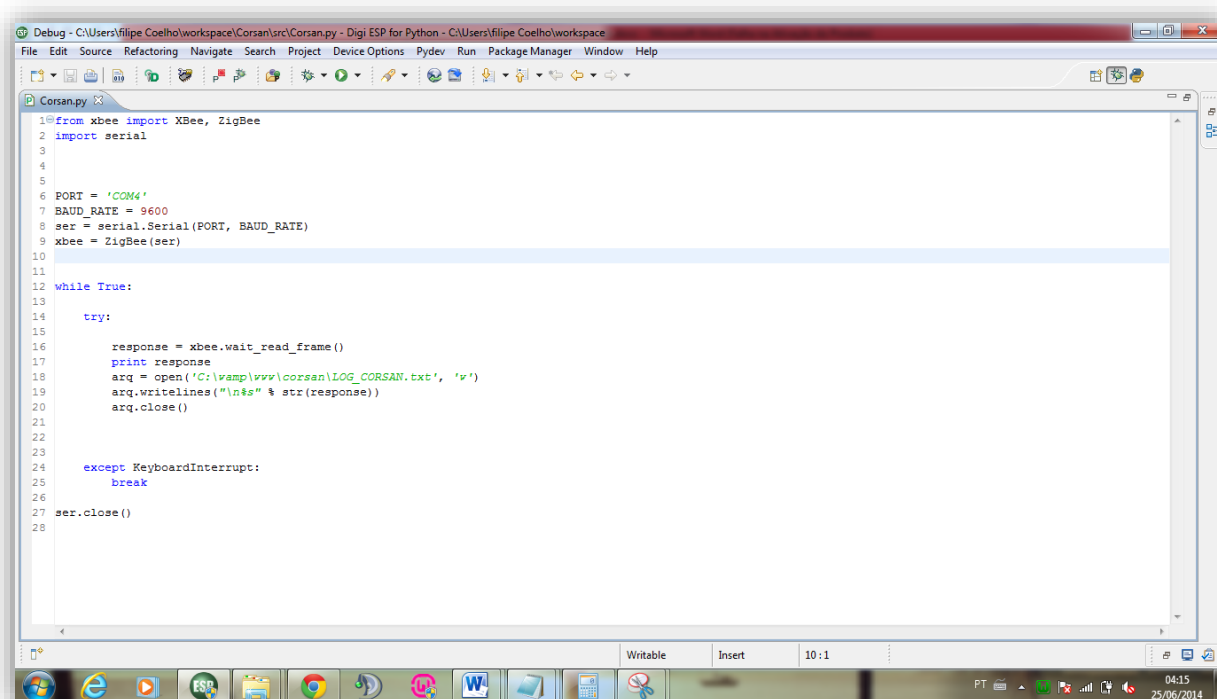


Figura 32 – Organograma de funcionamento do sistema de aquisição de dados das adutoras
Fonte: Próprio autor

Este *frame* de dados é gerado pelo próprio dispositivo sensor *ZigBee*, que está conectado ao transdutor de pressão. Através de uma entrada analógica habilitada como *ADC* referente ao pino 20 (entrada *DI00*) do módulo *ZigBee*, o sinal de corrente do transdutor de pressão após ser convertido em tensão, é codificado e empacotado no *frame* de dados gerado automaticamente pelo dispositivo. Este *frame* de dados é então transmitido via tecnologia *wireless* até o dispositivo *ZigBee* coordenador, instalado na central de controle e monitoramento. Esta central possui uma interface que monitora constantemente a porta serial do terminal em que está conectado o *ZigBee* coordenador, desta forma, ela recebe os *frames* em modo *API* enviados pelos módulos sensores em intervalos periódicos de tempo, pois os mesmos foram configurados para esta função de envio automático das pressões em intervalos de tempo contínuos. Este *frame* de dados contém, entre outras informações o endereço único dos módulos *ZigBee* de 64 bits (*SL* e *SH*), o nome do dispositivo em caracteres *ASCII* (*NI*), e o valor correspondente a pressão instantânea na adutora de água, através da porta *I/O DI00*.

Na Figura 33 é demonstrada uma tela da interface de monitoramento da porta serial desenvolvida em *Python* para a leitura no terminal onde o coordenador está conectado, sendo que ela permanece analisando o tráfego nesta porta até que perceber o recebimento de algum *frame* de dados, para então gerar um arquivo de *log* com os dados recebidos.



```
1 from xbee import XBee, ZigBee
2 import serial
3
4
5
6 PORT = 'COM4'
7 BAUD_RATE = 9600
8 ser = serial.Serial(PORT, BAUD_RATE)
9 xbee = ZigBee(ser)
10
11
12 while True:
13     try:
14
15         response = xbee.wait_read_frame()
16         print response
17         arq = open('C:\wamp\www\corsan\LOG_CORSAN.txt', 'w')
18         arq.writelines("\n%s" % str(response))
19         arq.close()
20
21
22
23     except KeyboardInterrupt:
24         break
25
26
27 ser.close()
28
```

Figura 33 – Programa em *Python* para monitoramento da porta serial

Fonte: Próprio autor

4.5. Decodificação do *frame API* de comunicação dos módulos *ZigBee*

Depois de devidamente arquivado o *frame* em um arquivo de *log*, foi necessário o desenvolvimento de um programa em linguagem *PHP* para separar os valores de *NI* e do valor da pressão adquirida na adutora, agora em formato hexadecimal. Uma vez que os dados estejam separados, eles podem ser registrados no banco de dados com suas respectivas data e hora do vinculadas pelo sistema automaticamente. Na Figura 34 é apresentado um exemplo da programação da interface de separação do *frame API* do *ZigBee* através da interface em *PHP*.

```
function cadastra_frame(){
    $var = file_get_contents('LOG_CORSAN.txt');
    $pressao = str_split(strstr($var, 'manufacturer_id'), 27);
    $pressao = str_split($pressao[0], 10);
    $pressao = explode('\\', $pressao[2]);
    $pressao = hexdec($pressao[0].$pressao[1]);

    $milivolt = ($pressao*1200)/1024;
    $mca = ($pressao*1)/10;
    //$comando = $comando[2];

    $node_id = str_split(strstr($var, 'node_id'), 25);
    $node_id = str_split($node_id[0], 12);
    $node_id = $node_id[1].$node_id[2];

    $sql_transdutor = "SELECT id_transdutores FROM transdutores WHERE nome_transdutor = '". $node_id. "'";
    $sql_transdutor = mysql_query($sql_transdutor);
    $sql_transdutor = mysql_fetch_array($sql_transdutor);
    $id_transdutor = $sql_transdutor["id_transdutores"];

    $sql = "INSERT INTO sensor_pressao VALUES ( NULL, ". $id_transdutor. ", ". $mca. ", NULL);";
    $sql = mysql_query($sql);
}
```

Figura 34 – Programação da interface de separação do *frame API* do módulo *ZigBee*

Fonte: Próprio autor

O fluxo de dados enviado pelos dispositivos sensores *ZigBee* através de um *frame API* em um determinado intervalo tempo, está constantemente sendo monitorado pela porta serial do terminal da central de controle e monitoramento, onde o *ZigBee* com a função de coordenador de rede está conectado. O *software* desenvolvido em *Python* faz com que este fluxo de informações da porta serial seja monitorado continuamente no tempo, tomando uma decisão sempre que encontrar um *frame* reconhecido como de um sensor da rede. No momento em que este quadro de dados entra pela porta serial e é identificado como um *frame API*, o programa automaticamente grava as informações relevantes dele em um arquivo com extensão *txt*, sendo que a próxima etapa será a separação dos mesmos de acordo com sua identificação e o valor de pressão coletada, para então serem gravados no banco de dados.

4.6. Operação do banco de dados

O banco de dados desenvolvido para este projeto possuía a funcionalidade de armazenar as informações referentes à identificação dos dispositivos *ZigBee*, os valores de pressão medidos em campo, o *login* e a senha dos usuários que possuem autorização de acesso ao cadastramento de novos dispositivos de monitoramento remoto, além de armazenar as próprias informações gravadas no sistema para consulta em posterior.

Devido a necessidade de um alto desempenho, confiabilidade e compatibilidade com as ferramentas de desenvolvimento utilizadas, o banco de dados *MySQL* foi selecionado para este projeto. A linguagem de programação *PHP* também foi selecionada nos mesmos parâmetros para o desenvolvimento da interface *web*, pois apresenta como uma de suas principais características a baixa exigência de processamento, em comparação com outros *SGBD*, apresentando os recursos como o *transactions* (transações), a conectividade segura, a indexação de campos texto e as replicações.

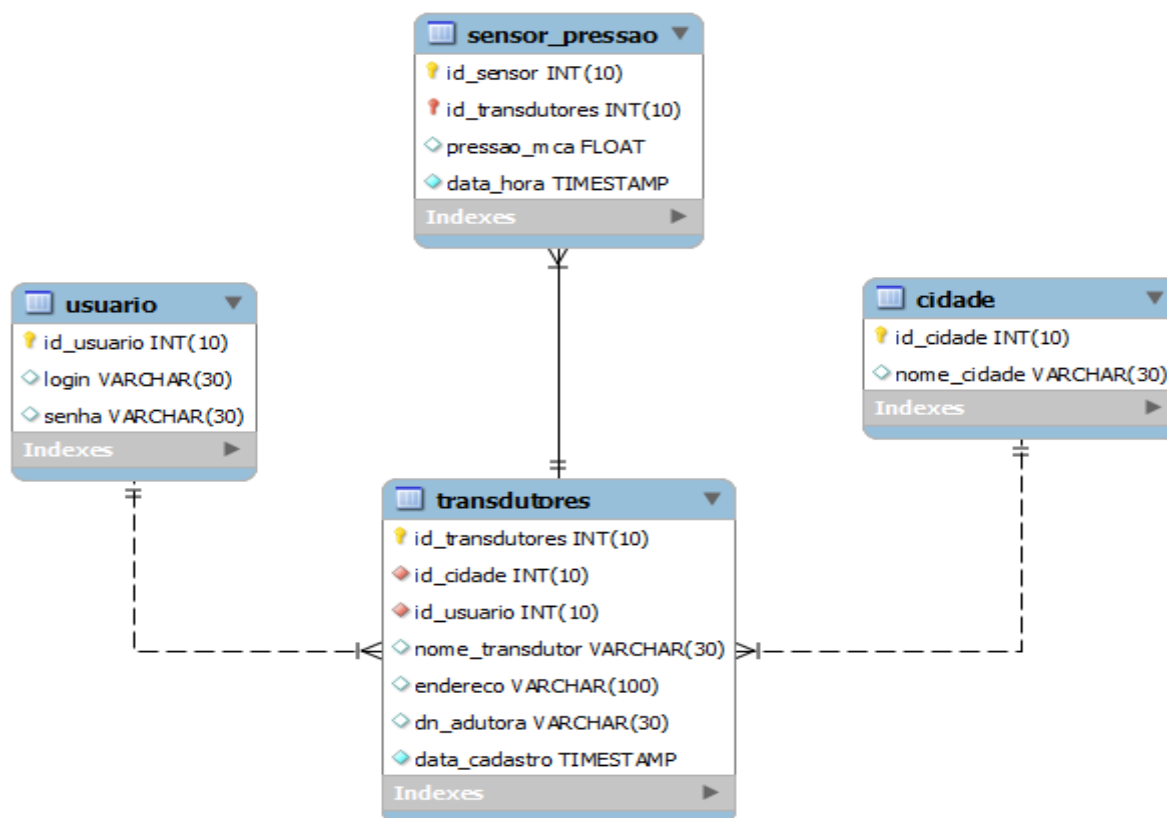


Figura 35 – ER do banco de dados da central de controle e monitoramento
Fonte: Próprio autor

Uma vez definida a linguagem mais apropriada para o desenvolvimento das atividades de arquivamento e interfaceamento das informações obtidas, foi desenvolvido o diagrama entidade-relacionamento (*DER*) do banco de dados, onde estão contidas todas as tabelas e relacionamentos que o banco de dados necessita e gera durante a operação. Na Figura 35 está exemplificada a estrutura de funcionamento do banco de dados.

Para a criação do banco de dados e a geração de suas respectivas tabelas, após a elaboração do diagrama entidade relacionamento (*DER*), utilizou-se o *phpMyAdmin*, onde na Figura 36 é possível observar um exemplo das tabelas iniciais do banco de dados.

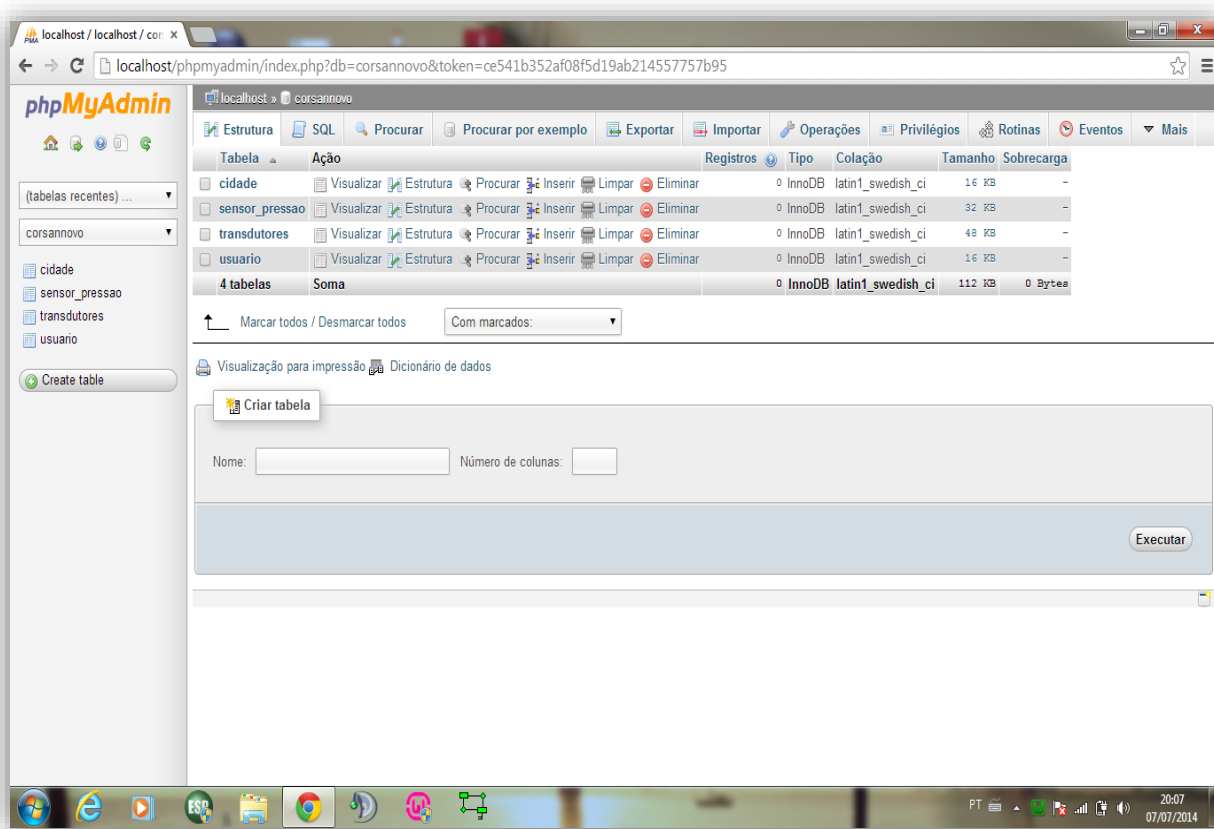


Figura 36 – Tabelas do banco de dados
Fonte: Próprio autor

Na tabela chamada “*usuário*”, conforme demonstrado na Figura 37, estão contidos os *logins* de acesso, com suas respectivas senhas, dos usuários com acesso para cadastramento de novos dispositivos instalados em adutoras de água tratada.

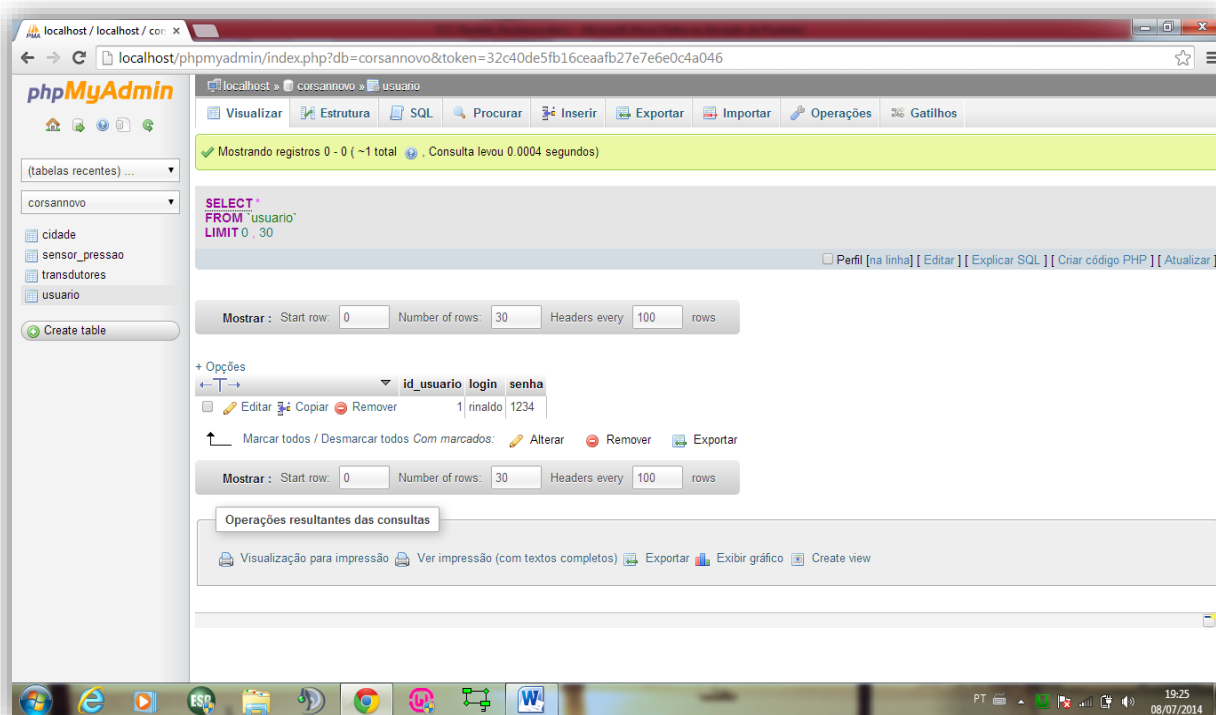


Figura 37 – Tabelas do banco de dados com informações de *login* do usuário
Fonte: Próprio autor

Na tabela “*cidade*”, demonstrada na Figura 38, estão cadastradas as cidades que contém os dispositivos de monitoramento em adutoras de água tratada.

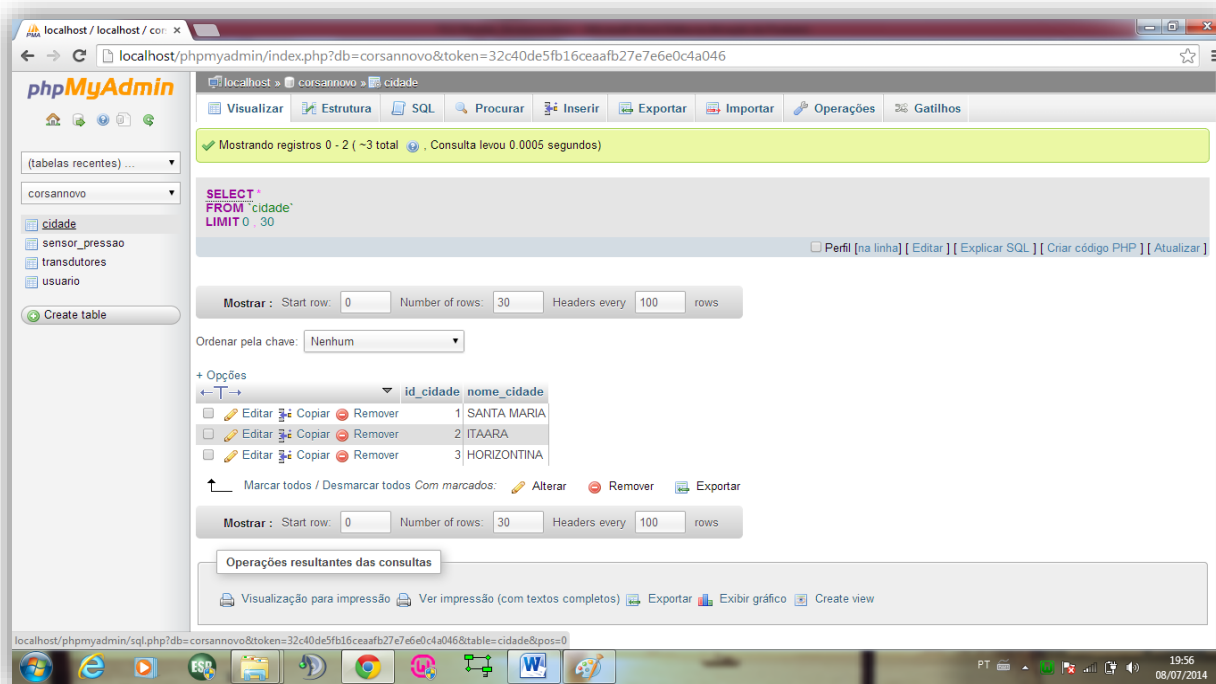


Figura 38 – Tabelas do banco de dados das cidades cadastrada
Fonte: Próprio autor

Na tabela chamada “*transdutores*”, apresentada na Figura 39, pode-se observar que estão contidas as informações de localização geográfica, com endereço situacional municipal, das adutoras de água potável instrumentadas com os módulos sensores *ZigBee*, bem como as outras informações relevantes para este projeto, como: a identificação do nó da rede, chamado de *NI*, “*id_usuario*” que cadastrou o dispositivo e o dimensionamento da tubulação de água correspondente, onde foram instalado os dispositivos de aquisição.

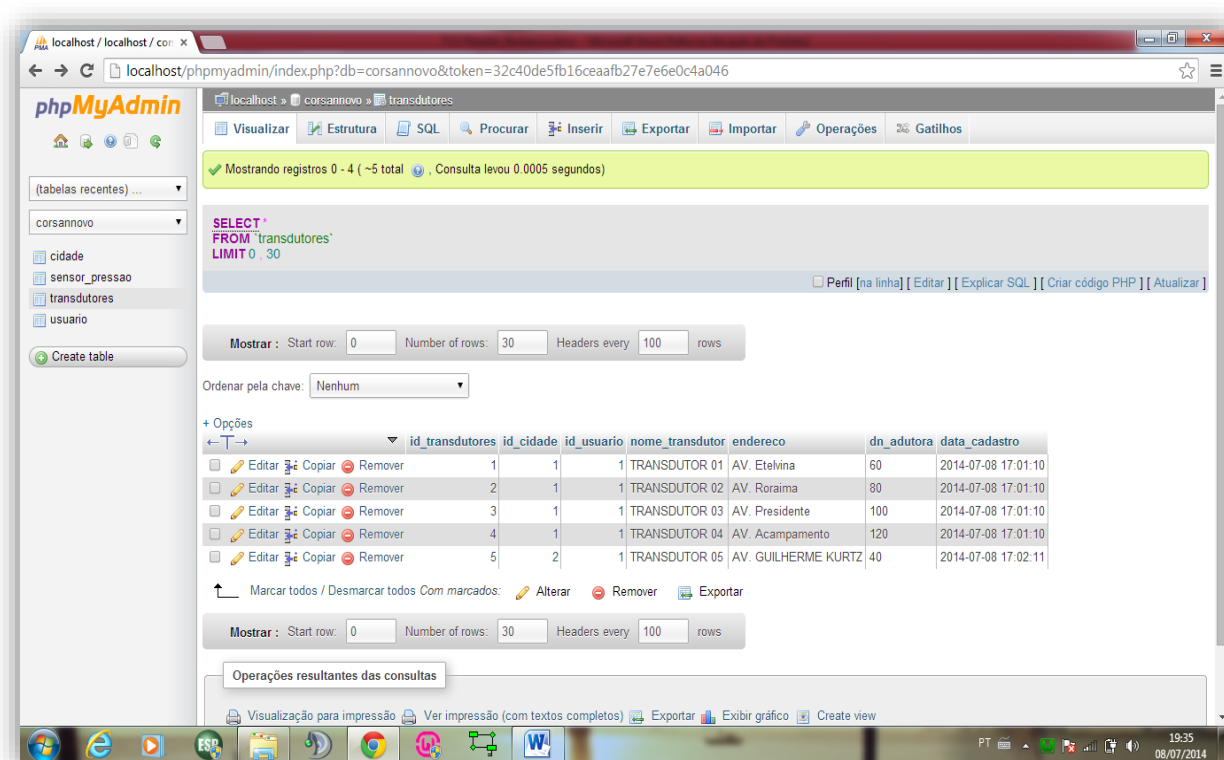


Figura 39 – Tabelas do banco de dados com as informações completas da adutora
Fonte: Próprio autor

Na tabela chamada “*sensor_pressao*”, apresentada na Figura 40, é demonstrada a funcionalidade de verificação das informações do *NI* de identificação do módulo sensor *ZigBee* em conjunto com os valores de pressão adquiridos na adutora e expressos na unidade *mca* (metro de coluna de água), sendo estes valores pré convertidos através de um código em *PHP* de hexadecimal do *frame* de comunicações original para *mca* através equação (1).

$$\text{Pressão (mca)} = \frac{\text{Valor Medido em Hexadecimal} \times 1200}{1024 \times 10} \quad (1)$$

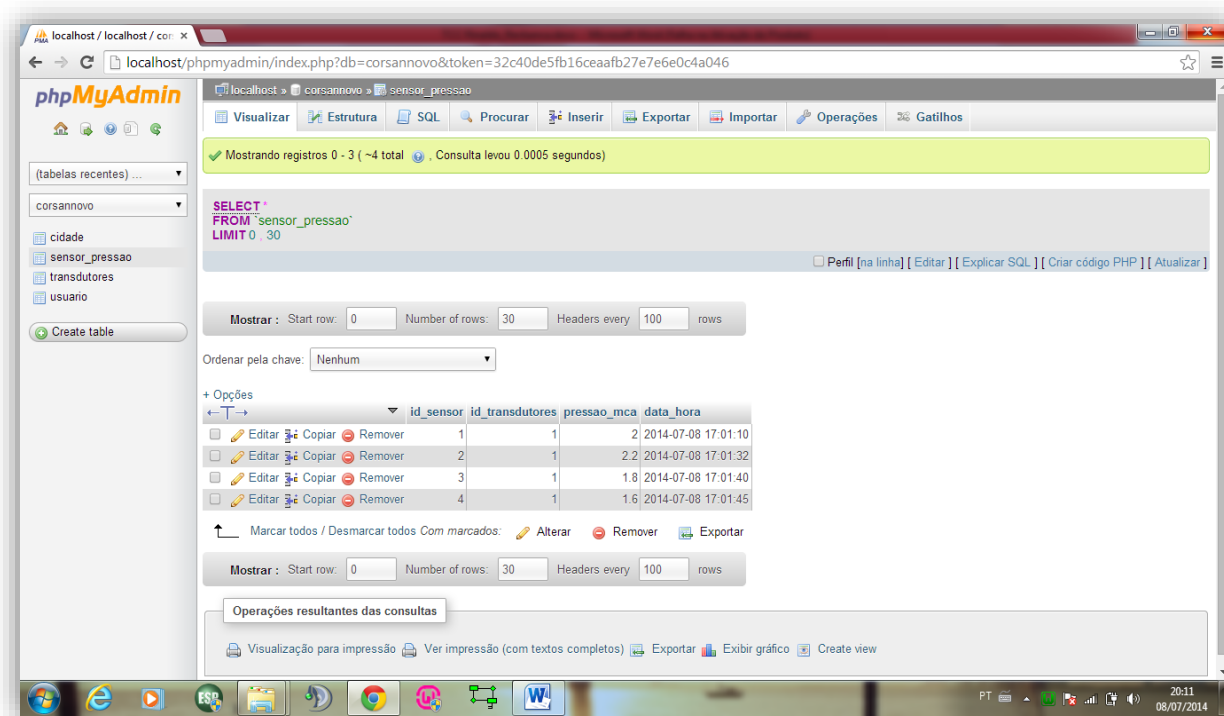


Figura 40 – Tabelas do banco de dados com a respectiva pressão
Fonte: Próprio autor

4.7. Desenvolvimento da interface *web* de acesso remoto às informações

Este projeto visa a leitura e transmissão dos valores de pressão em pontos específicos de adutoras de água potável, em geral localizadas em pontos distantes e de difícil acesso. Estas informações necessitam ser transportadas através de uma rede industrial de alta confiabilidade e robustez até uma central de controle e monitoramento, onde pode ser armazenada e tratada de acordo com as demandas existentes. Esta facilidade de monitorar os valores de pressão de forma remota é uma das grandes contribuições deste trabalho, mas não diferente, também foi detectada uma necessidade de acessar estes dados da central de controle e monitoramento de forma remota também. Equipes de gerenciamento, manutenção, operação e até mesmo os usuários finais devem poder consultar estas informações atualizadas a qualquer momento e de qualquer local que estejam. Para atender esta demanda, foram realizados estudos em busca de linguagens para desenvolvimento de uma interface *web* de fácil visualização destas informações, na qual através de uma página amigável seja possível para os clientes remotos monitorar as pressões em adutoras de água tratada, além de gerenciar a operação ou o cadastramento de novos dispositivos por usuários credenciados. Desta forma

foram encontradas no pacote *WampServer 2.2* as aplicações *PHP 5.4*, o *MySQL 5.5* e o Servidor *Apache 2.4*.

O *WampServer* é basicamente uma plataforma de um servidor local, onde esta ferramenta possui um pacote de *softwares* gratuitos, composto pelo *Apache 2.4*, o *MySQL 5.5* e o *PHP 5.4*. Com o *software Wampserver* ativo e os serviços do servidor *Apache* sendo executados, foi possível criar um *localhost* onde o usuário credenciado ou o cliente final pode acessar as páginas *web* criadas através da utilização das linguagens *HTML* e *PHP*.

Para criação das interfaces *web* foi utilizado o *software* comercial *Adobe Dreamweaver CC*, pois ele possui um conjunto de ferramentas que permitem o desenvolvimento rápido e simples de *websites*.

O banco de dados *MySQL* foi utilizado para armazenar e visualizar os valores de pressão de água tratada em adutoras que estão sendo enviados do transdutor de pressão até o *ZigBee*, vinculados diretamente com o seu respectivo nome de identificação *SL* (endereço baixo de rede), *SH* (endereço alto de rede) e *NI* (identificação do nó da rede), contendo ainda as informações pertinentes de data e hora da coleta de dados, adquiridas no servidor *Apache*. Esses dados servem para criação de gráficos com o intuito de manter o abastecimento utilizando a menor pressão e verificar possíveis vazamentos.

Inicialmente para a operação do sistema, é necessário o cadastramento dos dispositivos que estão instrumentando a rede de adutoras de água, através do acesso remoto a uma interface gráfica *web* especialmente desenvolvida para este propósito. A escolha por esse tipo de interface se deve à necessidade de flexibilidade de operação do sistema, que por ser altamente dinâmico devido ao curto tempo que os usuários devem permanecer sem abastecimento de água, deve ser acessado de forma remota pelas equipes de gerenciamento e operação ou manutenção, auxiliando nos procedimentos que estiverem sendo realizados.

Na Figura 41 pode-se observar o *layout* inicial da interface gráfica *web* desenvolvida para o cadastramento de novos dispositivos, sendo elaborada com ferramentas de desenvolvimento de interfaces em *PHP*, além da criação de um banco de dados em *MySQL*, onde ao clicar no botão enviar será gravado os dados informados como o *NI* (identificação do nó da rede em caracteres *ASCII*), os endereços alto (*SH*) e baixo (*SL*) que compõem o endereço único dos dispositivos *ZigBee* de 64 *bits*, cidade, endereço e o diâmetro da adutora no qual o dispositivo foi instalado.

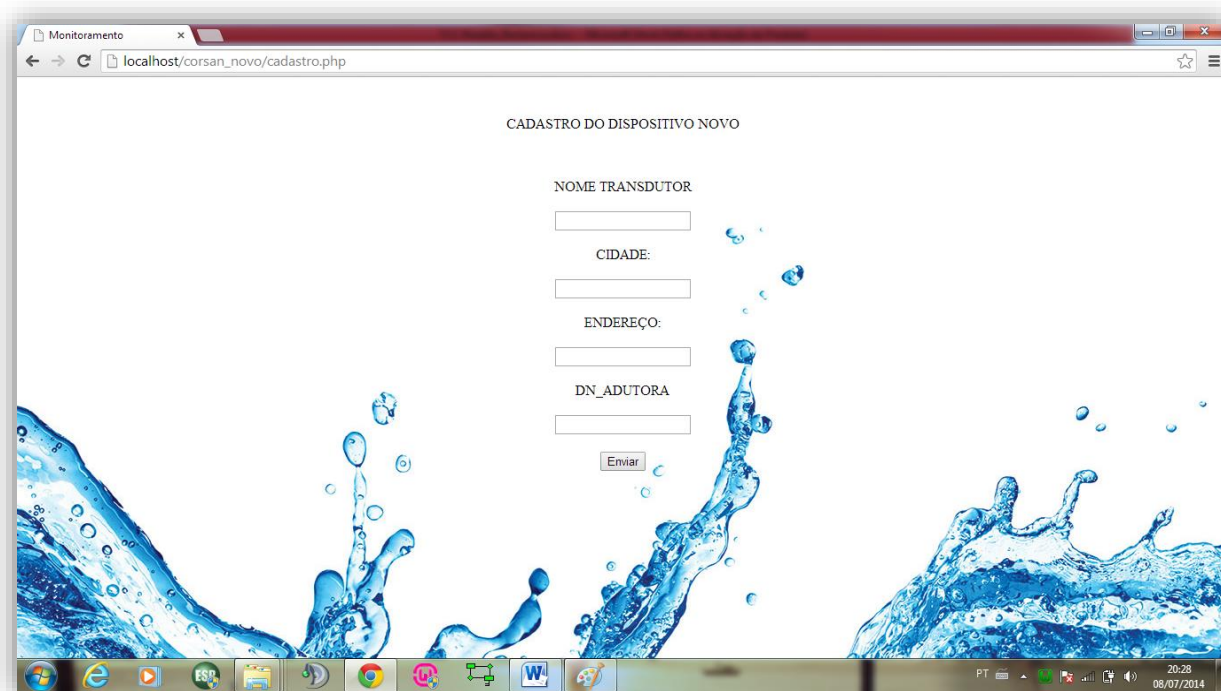


Figura 41 – Interface gráfica *web* de cadastramento de novos dispositivos
Fonte: Próprio autor

Uma vez cadastrados, os dispositivos podem ser visualizados através da interface *web* demonstrada na Figura 42, onde os usuários obter o acesso as informações contidas no banco de dados através da opção de consulta de pressão nas adutoras de água potável.

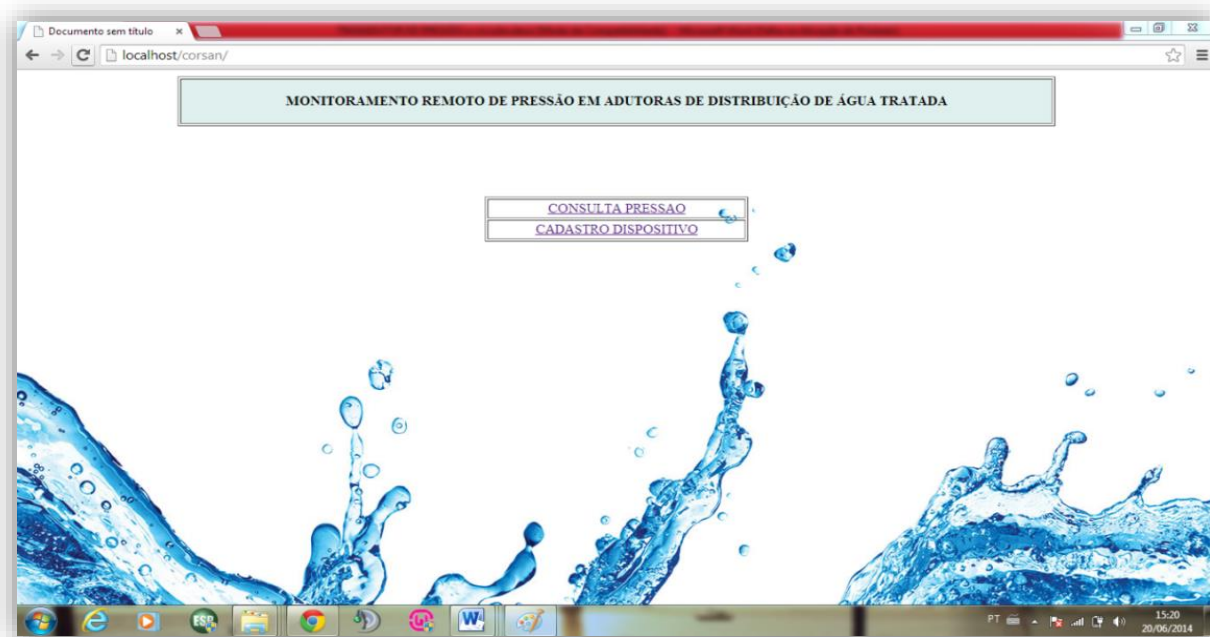
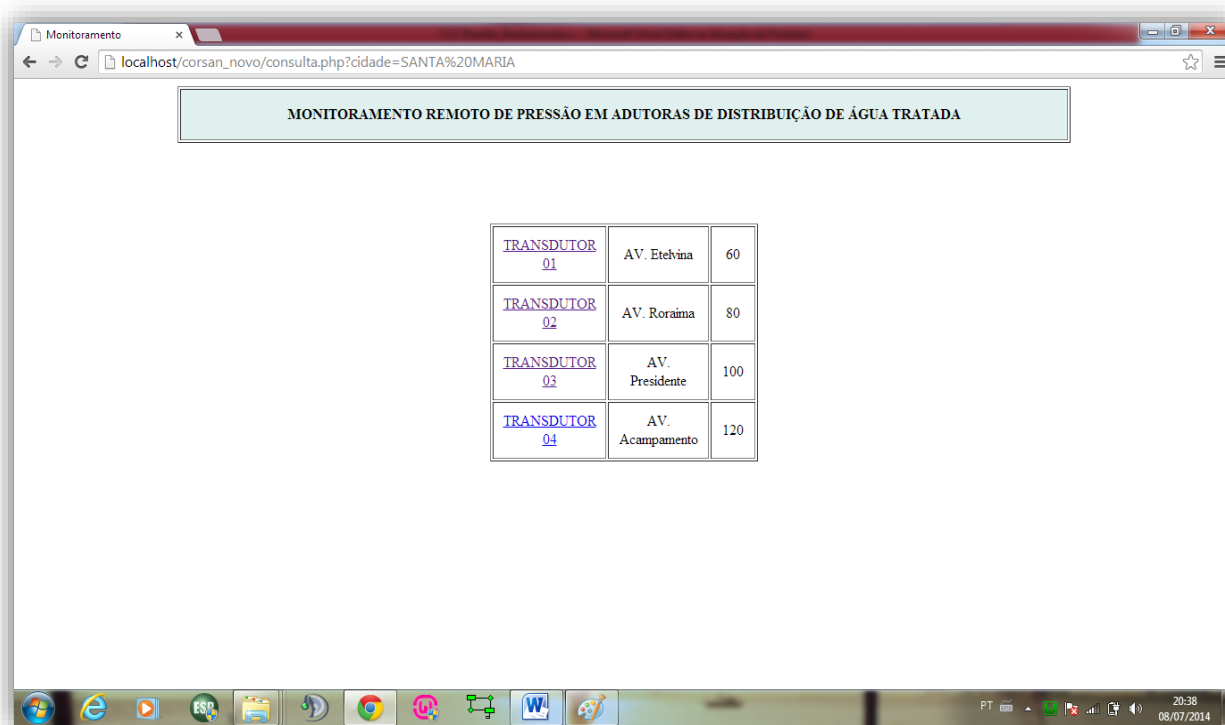


Figura 42 – Interface gráfica *web* de cadastramento e consulta de dispositivos
Fonte: Próprio autor

Acessando a próxima interface gráfica *web* ao clicar no botão de consulta pressão, são listados todos os módulos sensores com tecnologia *ZigBee* conectados aos transdutores de pressão instalados nas adutoras de água, com seus respectivos dados de identificação, conforme pode ser visualizado na Figura 43.

Nesta página são apresentados todos os dispositivos que estão em operação com seu respectivo NI para a fácil interpretação do usuário, pois demonstra a sua indentificação de nó de rede *ZigBee* através de caracteres *ASCII*. Da mesma forma, também são apresentados os outros dados inseridos no cadastramento de novos dispositivos, como o endereço da base de dados municipal em que está localizado aquele transdutor de pressão, a data da instalação do dispositivo em campo e seu respectivo cadastramento no sistema e o dimensionamento da adutora monitorada, na qual está instalado o transdutor de pressão.



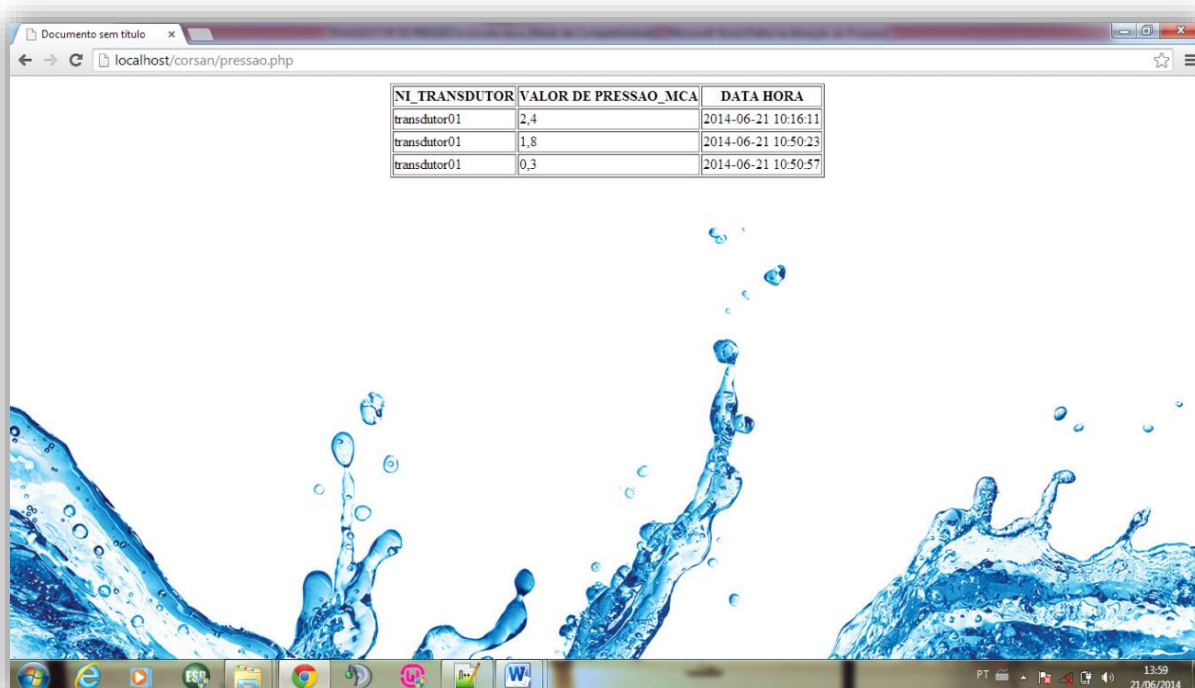
TRANSDUTOR	AV.	
01	Etelvina	60
02	Roraima	80
03	Presidente	100
04	Acampamento	120

Figura 43 – Interface gráfica *web* de visualização dos dispositivos cadastrados
Fonte: Próprio autor

Estas informações estão disponíveis para qualquer usuário devidamente cadastrado no sistema de controle e monitoramento, desta forma possibilitando a rápida identificação e localização de eventuais pontos de falha na rede de distribuição de água potável da cidade. As equipes de gerenciamento e manutenção também podem acessar estas informações em campo, regularizando situações de risco de falta de abastecimento momentâneo, evitando

rompimentos de tubulações por excesso de pressão em manobras e fornecendo dados mais preciso para a previsão de retorno de fornecimento em caso de falhas do sistema.

Para que os usuários finais ou clientes cadastrados possam ter acesso às informações do histórico de pressão de determinadas adutoras específicas, basta eles clicarem no endereço *NI* de identificação de cada dispositivo cadastrado apresentado na tela do seu terminal, que será demonstrada em uma nova página *web* na forma de uma tabela de *log*, conforme pode ser visualizado na Figura 44, para o acesso remoto ao histórico de pressão de uma determinada adutora de fornecimento de água potável cadastrada.



The image shows a screenshot of a web browser window. The address bar displays 'localhost/corsan/pressao.php'. The main content area contains a table with three columns: 'NI_TRANSDUTOR', 'VALOR DE PRESSAO_MCA', and 'DATA_HORA'. The table has three rows of data. Below the table is a decorative background image of water splashing. The Windows taskbar is visible at the bottom, showing the time as 13:59 on 21/06/2014.

NI_TRANSDUTOR	VALOR DE PRESSAO_MCA	DATA_HORA
transdutor01	2,4	2014-06-21 10:16:11
transdutor01	1,8	2014-06-21 10:50:23
transdutor01	0,3	2014-06-21 10:50:57

Figura 44 – Interface gráfica *web* de consulta de pressão e histórico de dados adquiridos
Fonte: Próprio autor

Os dados de controle e monitoramento da pressão de água tratada desta adutora estão sendo demonstrados nesta interface *web* com as seguintes informações relevantes: o *ni_transdutor*, que corresponde a identificação do transdutor com um nome em caracteres *ASCII*, o histórico dos valores de pressão adquiridos nesta adutora em *mca* (metro de coluna de água), e a data e hora da coleta dos respectivos dados. Este histórico de dados exibido na tabela apresentada é coletado diretamente no banco de dados desenvolvido no *MySQL*.

5. RESULTADOS OBTIDOS

Para a realização dos ensaios em laboratório foi definida uma sequência de testes preliminares em menor escala para eventuais correções no sistema de aquisição, rede de dados, coleta e armazenamento, tratamento e visualização dos mesmos. Resumidamente, para a comunicação e interpretação dos dados obtidos, além de uma interface de conversão dos níveis de sinal na saída do transdutor fornecida em *loop* de corrente elétrica. Também foi necessária a utilização de uma interface de coleta e tratamento dos dados adquiridos, desenvolvida em linguagem de programação *PHP*. Esta organização inicial dos dados obtidos com o transdutor de pressão é necessária para o posterior armazenamento destas informações no banco de dados, que também possui a capacidade de visualização da pressão em tempo real através de uma plataforma *web* especialmente desenvolvida para esta função.

A montagem e operação preliminar deste sistema de aquisição de dados de pressão em adutoras de água potável utilizada para os primeiros ensaios em laboratório foi realizada com a integração dos módulos sensores da tecnologia *ZigBee* comunicando diretamente com a central de controle, sendo que esta central iniciou o tratamento de forma manual destas informações. Estes ensaios foram realizados na Estação de Tratamento de Água - ETA da Corsan de Santa Maria – RS, garantindo a calibração de todos os eventos monitorados neste período, dentro de um ambiente controlado e com segurança.

5.1. Procedimentos de ensaios com as interfaces de aquisição e comunicação

Para o total aproveitamento dos dados obtidos nos ensaios em laboratório, bem como a correção de eventuais falhas em dispositivos ou processos desenvolvidos para este projeto, foi desenvolvido um procedimento de testes com base nas experiências das equipes de operações das redes de comunicação e de distribuição de água potável. Os procedimentos de ensaios foram definidos separadamente, realizando inicialmente um teste com cada módulo individualmente, e somente após é realizada a integração de todos eles, formando então o sistema de controle e monitoramento completo descrito neste projeto.

A interface de conversão dos sinais do transdutor de pressão foi a primeira etapa a ser testada neste projeto, pois diversas calibrações dependiam dos resultados da transformação dos sinais de entrada deste módulo. O transdutor utilizado no projeto disponibiliza os valores medidos de pressão das adutoras na forma de um *loop* de corrente em miliampères. Este

transdutor apresenta como características a sensibilidade de perceber a variação de pressão entre 0 e 10 *bar*, com uma resposta em corrente no intervalo de 4 – 20 mA, e a alimentação é realizada através do próprio circuito entre 8 V_{CC} e 30 V_{CC}. Esta saída de informações do transdutor em corrente não é compatível com os valores para uma variação de tensão de entrada das portas *I/O* dos dispositivos *ZigBee*. Na Figura 45 está sendo demonstrado o experimento em ambiente controlado do módulo *RCV420* para a avaliação da linearidade da conversão de valores desta interface, com a finalidade de gerar uma curva de calibração da transformação do sinal elétrico enviado pelo transdutor de pressão em um *loop* de corrente em miliampéres, para um sinal compatível com as portas *I/O* do *ZigBee*, que opera somente em escalas de milivolts, mais especificamente em variações de 0 – 1,2 V para sinais de entrada.

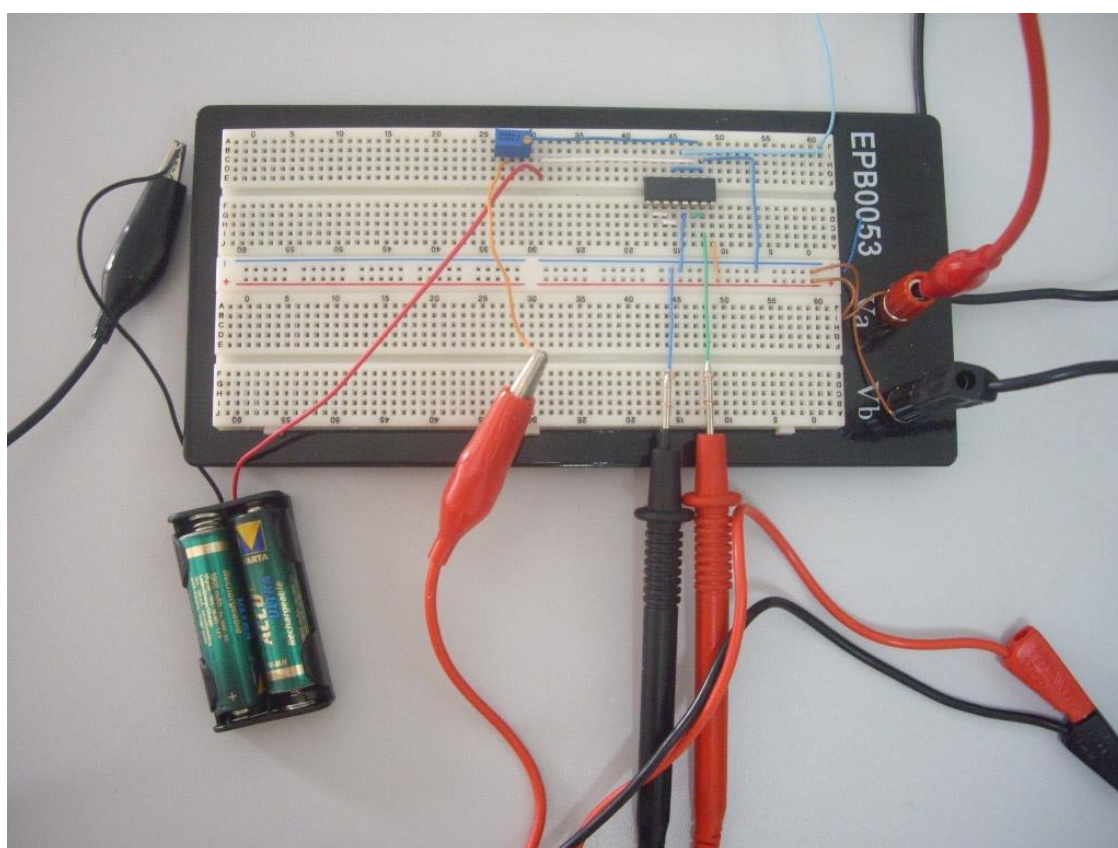


Figura 45 – Ensaios com o módulo *RCV420* para especificação e calibração dos parâmetros
Fonte: Próprio autor

Na sequência dos procedimentos de ensaios, foi iniciada a configuração e estabelecimento do enlace com os módulos *ZigBee*, utilizando as facilidades da rede adaptativa do sistema. Para iniciar os ensaios em laboratório foram definidas as configurações destes dispositivos de comunicação e a topologia de rede, assim como as funcionalidades específicas de cada um dos módulos sensores utilizados. Como se trata de uma rede sem fio

com possibilidade de operação com baterias em ambientes hostis, foi definida a configuração de maior economia de energia para os dispositivos definidos como sensores através da programação da função *RFD (Reduced Function Device)*, sendo que o coordenador da central de controle e monitoramento da rede definidos como *FFD (Full Function Device)*.

A comunicação de dados deste sistema depende das informações contidas em cada transmissão, onde a identificação do remetente somada com os dados dos transdutores de pressão, configuram o grande objetivo deste projeto. Desta forma, foi especificado que o envio das informações oriundas dos sensores deve ser realizado através de *frames* de dados gerados pelos dispositivos finais em modo *API*. Estes *frames* contém as informações requeridas em formato hexadecimal.

Como estes dispositivos podem originar e montar uma rede em malha adaptativa, também foram definidos procedimentos de ensaios com estas facilidades, no intuito de atestar a garantia de entrega de uma informação a partir de múltiplos caminhos ou redundância. Para estes ensaios foram utilizados de dispositivos *ZigBee* em modo autônomo e configurados como roteadores, posicionados estrategicamente em locais onde o sinal necessitava ser repetido, aumentando consideravelmente o alcance até as informações serem entregues na central de controle e monitoramento. Estes recursos foram utilizados no intuito de aproveitar as facilidades de criação de redes *mesh* que os dispositivos *ZigBee* possuem.

É evidente que não se pode utilizar roteadores indefinidamente até que os dados enviados sejam entregues na central de controle e monitoramento, isto geraria uma fragilidade muito grande do sistema de comunicação e sobrecarregaria toda a rede com informações trafegando através de muitos saltos. Utilizando estas premissas, foi analisada a possibilidade de utilizar concentradores em alguns pontos estratégicos em locais mais distantes, sendo estes dispositivos configurados com a função de *gateway*, que encaminham os *frames* de dados através de outra tecnologia de comunicação mais adequada para longas distâncias. Após um detalhado estudo sobre as tecnologias no mercado que atendem aos requisitos da rede de medição de pressão em adutoras de água, foi definida a utilização de um equipamento comercializado pelo mesmo fabricante dos módulos *ZigBee*. Estes equipamentos são *gateways* que servem de interface entre os módulos *ZigBee* utilizados nos sensores de pressão e outras tecnologias de comunicação, como *USB*, *Ethernet*, *Wi-Fi* e também a tecnologia *3G*, sendo esta última a mais indicada para utilização em campo.

Concluindo os procedimentos de ensaios em laboratório foi necessário desenvolver um sistema capaz de variar a pressão interna de uma tubulação de forma contínua e gradual.

Sistemas de bombeamento de água costumam apresentar variações bruscas de pressão interna na tubulação, sendo inclusive um dos principais motivos de rompimento ou vazamentos eventuais em sistema de distribuição, como por exemplo em manobras na rede. Variações bruscas de pressão no interior de uma tubulação acarretam em diferentes velocidades de escoamento do fluido dentro do mesmo, desta forma gerando fortes turbulências, cavitações e vórtices em pontos de retenção do fluxo. As ondas mecânicas produzidas no interior da tubulação se chocam durante a propagação de forma desordenada e constante, gerando novas frequências de batimento através da combinação das originais, que em casos extremos, podem oscilar na frequência de ressonância e destruir completamente a integridade da tubulação.

Observando este problema, foi desenvolvido um sistema simples de variação gradual da pressão na tubulação sem gerar grandes ondas mecânicas de choque, tornando a calibração mais precisa. A Figura 46 demonstra este sistema com duas pressões diferentes na mesma linha de alimentação, utilizando uma derivação em forma de “T” para controlar a vazão.

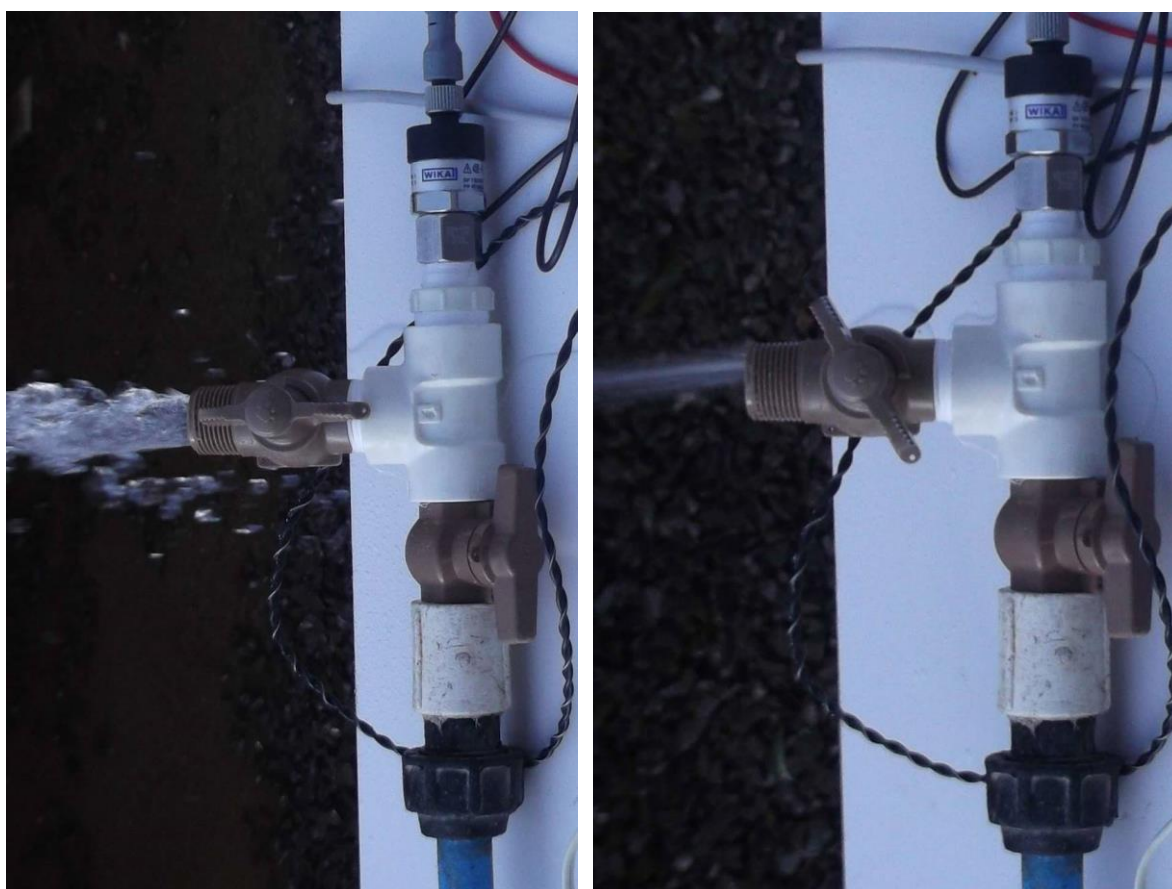


Figura 46 – Sistema de variação de pressão gradual através de derivação de água
Fonte: Próprio autor

5.2. Calibração dos resultados adquiridos pelos transdutores de pressão

Durante o projeto e execução deste sistema de controle e monitoramento de pressão em adutoras, foram necessárias diversas conversões de sinais e valores para a leitura final da pressão pelos usuários e os operadores. Estas conversões se devem a utilização de diferentes tecnologias de aquisição, comunicação e armazenamento de dados, bem como de áreas de atuação, desde hidráulica, mecânica, eletrônica, programação, análise de sinais até redes de comutadores. Para garantir a leitura com a exatidão necessária, ou seja, uma representação muito próxima do valor real obtido, foram necessários estes ensaios para a geração de uma curva de compensação dos valores, admitindo as sete conversões que foram utilizadas:

- 1) Conversão do Transdutor de Pressão: este dispositivo possui a capacidade de converter um valor de pressão de água em unidades relativas para esta grandeza, em geral em *bar*, para uma variação elétrica correspondente a uma variação na intensidade de uma corrente circulante em um *loop*, ou seja, através da variação de uma resistência interna equivalente de seu circuito elétrico, que corresponde a uma variação de pressão de água, uma corrente circulante possui maior ou menor resistência à circulação em um circuito elétrico fechado. Os valores de corrente de *loop* fornecidos pelo transdutor correspondem a 4 mA para 0 *bar* de pressão e 20 mA para uma pressão interna de água de 10 *bar*.
- 2) Conversão do Dispositivo *RCV420*: este circuito integrado é um receptor de *loop* de corrente de precisão projetado para converter um sinal de entrada de 4 - 20 mA para um sinal de saída no intervalo de 0 – 5 V_{CC} . Embora este circuito ofereça uma alta precisão e estabilidade na conversão, ele consiste em um amplificador operacional de baixo ganho operando sobre resistores de referência em uma tensão de 10 V_{CC} . Desta forma ele apresenta uma precisão geral de conversão de 0,1%, no sinal de entrada, devido a esta tensão de referência de 10 V_{CC} , onde na saída não são necessários ajustes para o ganho, *offset*, ou *CMR*, apresentando uma variação de escorregamento de menos de 5 ppm/°C.
- 3) Conversão do Divisor de Tensão Resistivo: este circuito é composto de arranjos de resistores em série para a redução de tensão no ponto central, quando comparado com a entrada. Neste projeto foram utilizados para adequar a saída de tensão do circuito de conversão de corrente de *loop* do transdutor, originalmente entre 0 – 5

V_{CC} para uma variação de tensão na entrada na porta *I/O* do *ZigBee* entre 0 – 1,2 V_{CC} , valor este como sendo o máximo suportado pelo módulo utilizado.

- 4) Conversão A/D (Analógico/Digital): é uma conversão de unidades de um intervalo contínuo de valores em um intervalo correspondente de amostras discretas com valores finitos, ou seja, é a representação de valores digitais equivalentes aos valores analógicos amostrados. Nos módulos *ZigBee*, a comunicação é totalmente digital, e por este motivo, os valores analógicos que são adquiridos do transdutor e convertidos no *RCV420*, necessitam ser amostrados a uma determinada taxa de digitalização correspondente a 10 *bits* de dois estados, ou seja 2^{10} , que é equivalente a 1024 amostras finitas e discretas para representar um intervalo de amostras contínuas de tensão entre 0 – 1,2 V_{CC} .
- 5) Conversão de Hexadecimal para Decimal: é a conversão de uma base de representação matemática por 16 símbolos para uma base mais comumente utilizada de 10 símbolos. Na conversão dos valores analógicos de entrada do módulo *ZigBee*, os 1024 níveis discretos são convertidos em hexadecimal para trafegar na rede, onde os valores do intervalo de 0 – 1023 níveis são transformados em valores entre 0 – 3FF em hexadecimal.
- 6) Conversão dos Valores em decimal para Tensão: na conversão dos valores analógicos pelo módulo *ZigBee*, foram na verdade vinculadas correspondências em tensão na saída do módulo *RCV420*, que converteu os valores de pressão adquiridos pelo transdutor de pressão. Desta forma, é necessária a conversão destes valores transportados pela rede de comunicações novamente para valores correspondentes em tensão, com objetivo de alimentar o banco de dados do sistema desenvolvido.
- 7) Conversão de Tensão em Pressão: concluindo os procedimentos de conversão, para a correta demonstração e arquivamento das informações de pressão do banco de dados do sistema, os valores de tensão correspondentes aos sinais do transdutor, são novamente convertidos em valores de pressão de água da adutora, em *mca* (metros por coluna de água).

Com base em todas estas conversões, foram realizados os devidos ensaios em laboratório para determinar a inclinação da curva de conversão de unidades, assim como para verificar se as respostas do sistema possuíam uma característica linear para toda a faixa de

operação desejada. Na Figura 47 pode-se observar Curva de calibração dos resultados das conversões dos sinais obtida através dos ensaios em laboratório.

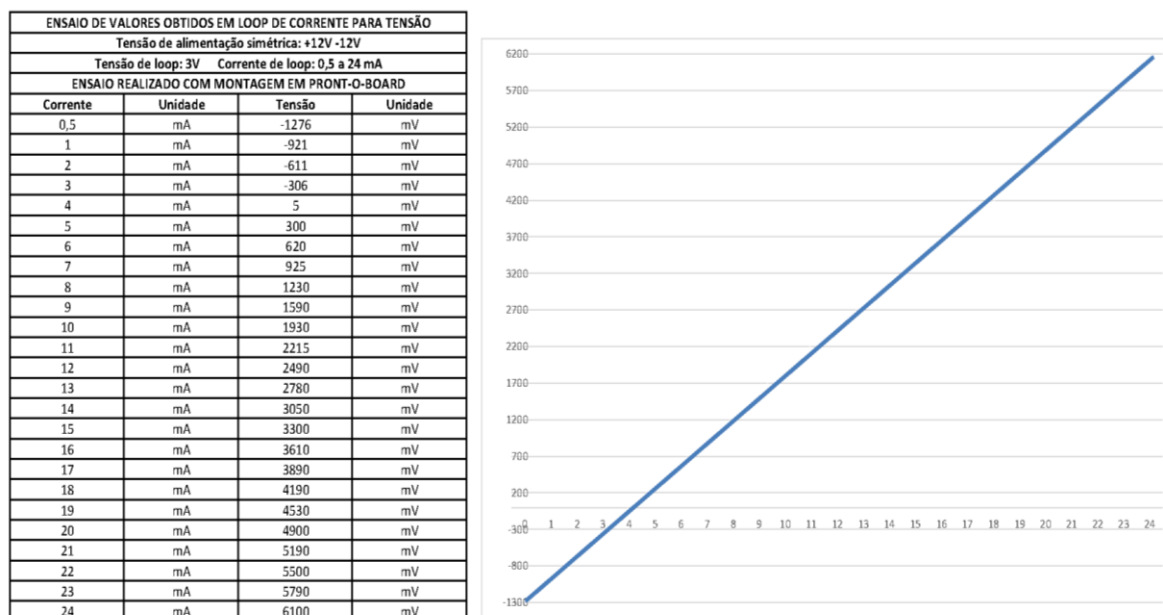


Figura 47 – Curva de calibração dos resultados das conversões dos sinais amostrados

Fonte: Próprio autor

Conforme pode-se notar neste gráfico, embora tenham sido necessárias diversas conversões de unidades, tecnologias, dispositivos e bases matemáticas, a exatidão e a precisão da resposta para os intervalos de medição estabelecidos foram totalmente satisfatórios, e devido a boa linearidade nas respostas das conversões, usou-se uma transformação direta no banco de dados do sistema, referente aos valores de corrente adquiridos em campo e os valores de pressão em *mca* apresentados na interface *web*, através da manipulação de uma fórmula de ajuste da inclinação da curva de resposta para todas as conversões utilizadas.

5.3. Resultados obtidos nos ensaios

Conforme proposto anteriormente, para minimizar os custos de um ensaio em larga escala em condições reais de utilização, monitorando as adutoras em operação das companhias de saneamento, foi definida a realização de ensaios preliminares na Estação de Tratamento de Água da Corsan de Santa Maria – RS, onde a pressão poderia ser variada de forma contínua e controlada através dos artifícios de utilização de uma derivação em “T” com regulagem de vazão. Do ponto de vista da aquisição e tratamento das informações, um ensaio

em escala reduzida e com as condições do ambiente controladas representa uma amostra significativa do sistema instalado em campo, observando que em primeiro lugar os procedimentos remotos podem ser monitorados de forma local com mais facilidade, proporcionando o maior controle de possíveis falhas nos dispositivos utilizados. De forma semelhante, a realização dos ensaios em campo utilizando as redes de adutoras que estejam em operação, fornece uma variação limitada dos valores de pressão por longos períodos de tempo, tornando o ensaio mais demorado e com amostras de extremos muito raros. Assumindo a possibilidade de variação rápida, porém controlada dos parâmetros da adutora em laboratório, é possível estressar as condições de operação do sistema para os valores de máximo e de mínimo sempre que for necessário realizar uma coleta de dados, além de fornecer uma amostra muito mais significativa de variações de pressão em intervalo de tempo bem reduzido, sem comprometer as características do experimento.

As interfaces de rede, responsáveis pela comunicação dos módulos sensor *ZigBee* em campo com a central de controle e monitoramento, foram testadas separadamente para a determinação das condições de níveis de sinal de *RF* e problemas de propagação, realizando estimativas de comunicação que podem sofrer modificações significativas quando expostas a interferências eletromagnéticas, como motores ou geradores muito próximos. A aquisição dos sinais pelas portas *I/O* dos módulos *ZigBee* independem da propagação de *RF* dos mesmos, sendo possível realizar os ensaios em campo próximo dentro do laboratório para certificar apenas as conversões de sinais na entrada, a digitalização dos mesmos através da amostragem de 10 *bits*, o armazenamento dos dados e as funcionalidades da interface de controle remoto desenvolvida em plataforma *web*.

Para a comunicação e interpretação dos dados obtidos, além de uma interface de conversão dos níveis de sinal na saída do transdutor descrita anteriormente, também foi necessária a avaliação do *software* em linguagem *PHP* para a coleta e separação dos dados do *frame API* originado pelo módulo sensor *ZigBee*. A operação do sistema e ferramentas de *software* utilizadas nos primeiros ensaios em laboratório foi realizada com a integração dos módulos sensores a interface de *hardware* de conversão, que se comunica através de uma rede industrial sem fio com a interface de *RF* da central de controle e monitoramento.

Para este primeiro ensaio, foi utilizado o transdutor de pressão *Wika* modelo *A-10*, com a finalidade de medir a pressão mecânica da água no interior de um ramal e transmitir essa informação, através de um *loop* de corrente em miliampères, até a interface de *hardware* de conversão desenvolvida. O transdutor de pressão deste projeto possui como características

a sensibilidade de perceber a variação de pressão entre 0 e 10 *bar*, com uma resposta em corrente no intervalo de 4 – 20 mA, sendo que sua alimentação é realizada pela própria energia do *loop* de corrente com 24 V_{CC}. Na Figura 48 pode-se observar o transdutor modelo A-10 da Wika conectado na interface de comunicação e realizando a coleta de dados de acordo com o vazamento simulado. Este mesmo transdutor de pressão será fixado em adutoras de água tratada e interligado à placa do circuito elétrico através de um cabo de duas vias até o dispositivo *ZigBee*, de forma que o mesmo envie esta informação até a central de controle. Nesta imagem pode-se observar também que o registro em “T” de alívio de pressão do ramal de água está totalmente fechado, desta forma disponibilizando o valor máximo de pressão interna na tubulação, e por consequência a medição de um valor máximo de corrente (20 mA) pelo transdutor, que corresponde a 10 *bar* de pressão. O multímetro está monitorando a tensão de saída da interface de conversão de sinais, sendo este o valor de tensão para ser enviado a central de controle e monitoramento através da rede de comunicações com o *ZigBee*.

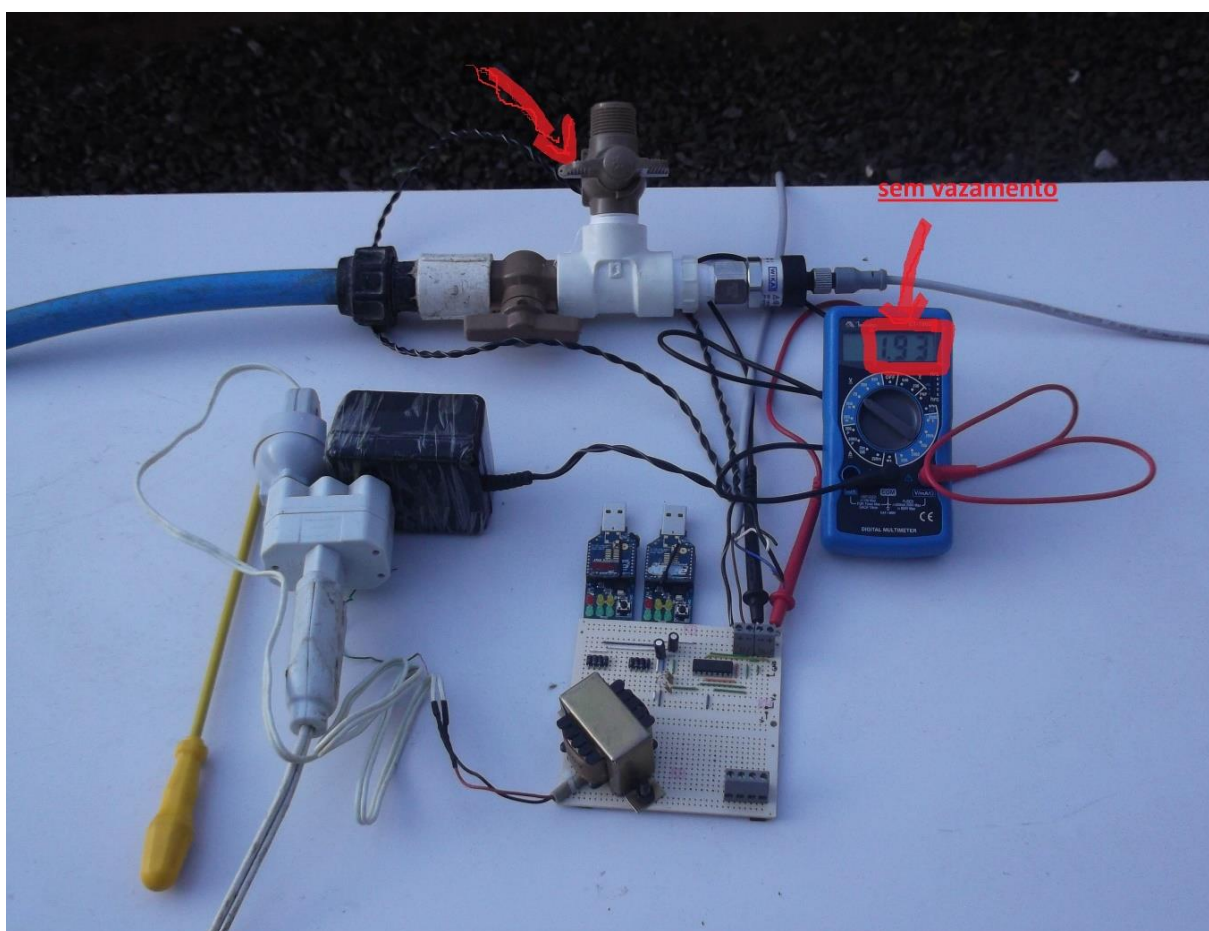


Figura 48 – Transdutor de pressão no ensaio em laboratório com pressão máxima
Fonte: Próprio autor

Com o valor máximo de pressão adquirido pelo transdutor *Wika A-10*, pode-se determinar o limite superior de trabalho dos componentes e dispositivos utilizados, e desta forma, iniciar a variação da pressão da tubulação de forma gradual, com o objetivo de evitar rápidas flutuações de valores de pressão por ondas mecânicas de turbulência geradas pela interferência à passagem do fluxo de água, sendo que estas se propagam em diferentes direções dentro da tubulação. Através da variação de posição do registro em “T” para o alívio de pressão do ramal de água, é possível simular um vazamento controlado, desta forma diminuindo a pressão interna da tubulação. Esta variação de pressão é verificada no transdutor instalado na extremidade do ramal de água, que fornece um valor correspondente de corrente elétrica analógica ao circuito de detecção e conversão *RCV420*. Este circuito converte os valores de corrente no intervalo de 4 – 20 mA para valores de tensão no intervalo de 0 – 1,2 V_{CC} , compatíveis com a entrada de sinal analógica dos módulos *ZigBee* sensores das adutoras. Na Figura 49 pode-se observar o registro de alívio de pressão interna da tubulação na metade do curso de abertura, diminuindo proporcionalmente o valor detectado pelo transdutor de pressão *Wika A-20* da extremidade do ramal de água.

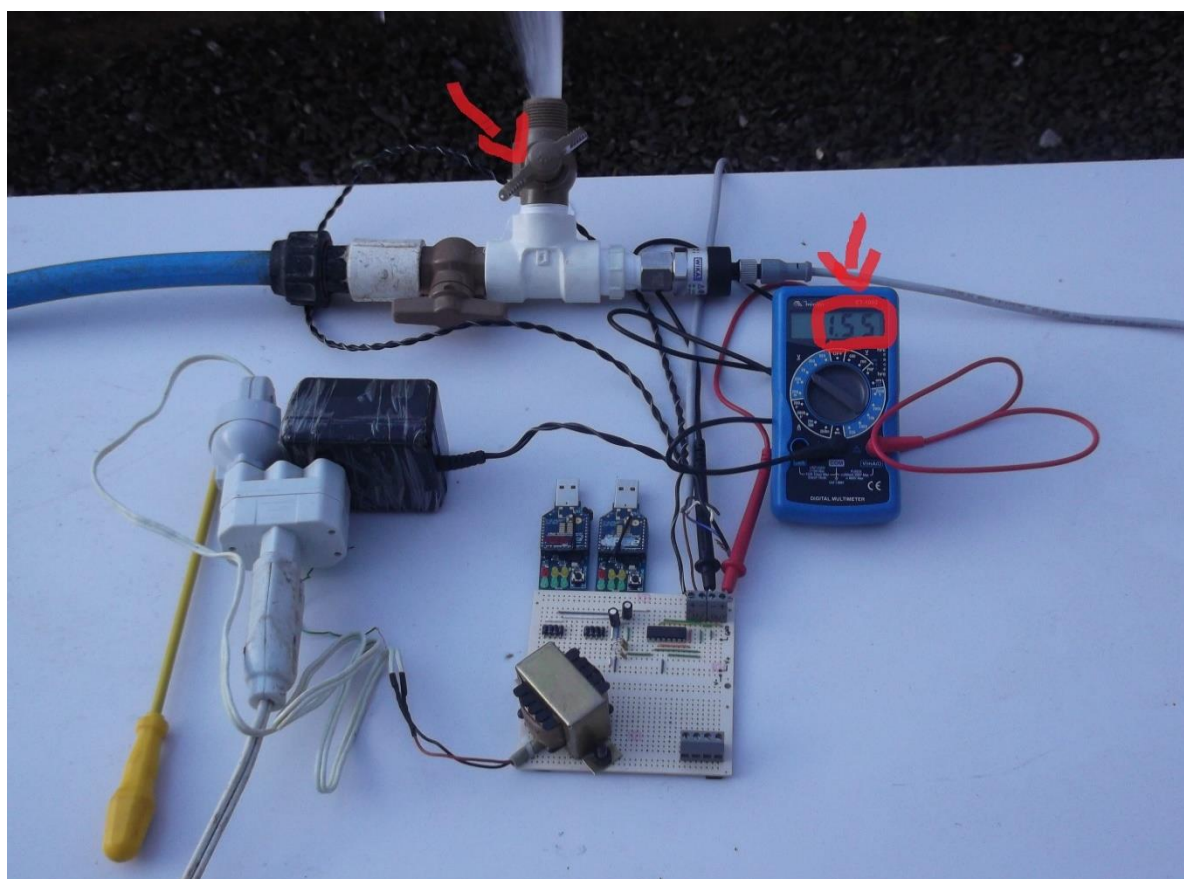


Figura 49 – Transdutor de pressão no ensaio em laboratório com pressão intermediária
Fonte: Próprio autor

Concluindo os ensaios com a interface de conversão desenvolvida neste projeto, foi determinado o valor de mínimo de pressão da tubulação, que representa neste projeto uma informação de igual importância ao valor máximo admitido pelo sistema de aquisição de sinais. É importante observar que o zero absoluto em um sistema de *loop* de corrente não representa uma pressão de zero *bar*, mas sim, uma ruptura do enlace de medição ou falha de comunicação com o sensor, motivo pelo qual é utilizado o intervalo de 4 – 20 mA em redes industriais de automação. Com base nestas informações, foi verificado o valor de tensão correspondente na saída do módulo que fosse equivalente a 0 *bar* de pressão, admitindo que o transdutor ofereceu 4 mA para a rede. Na Figura 50 pode-se observar o transdutor de pressão realizando a medição de um valor de 0 *bar* de pressão quando o registro de alívio em “T” está totalmente aberto, diminuído a pressão interna de água através do escoamento total do fluxo.

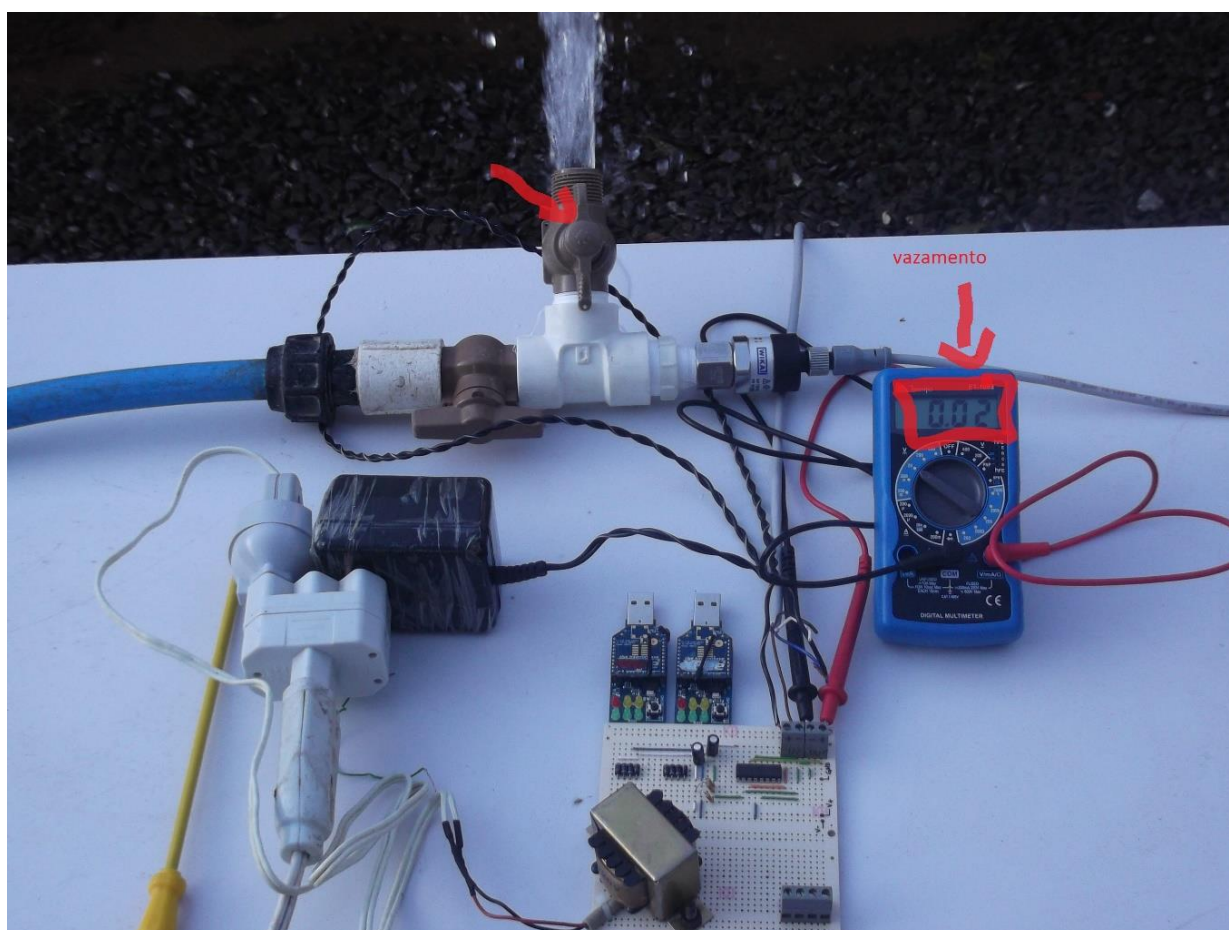
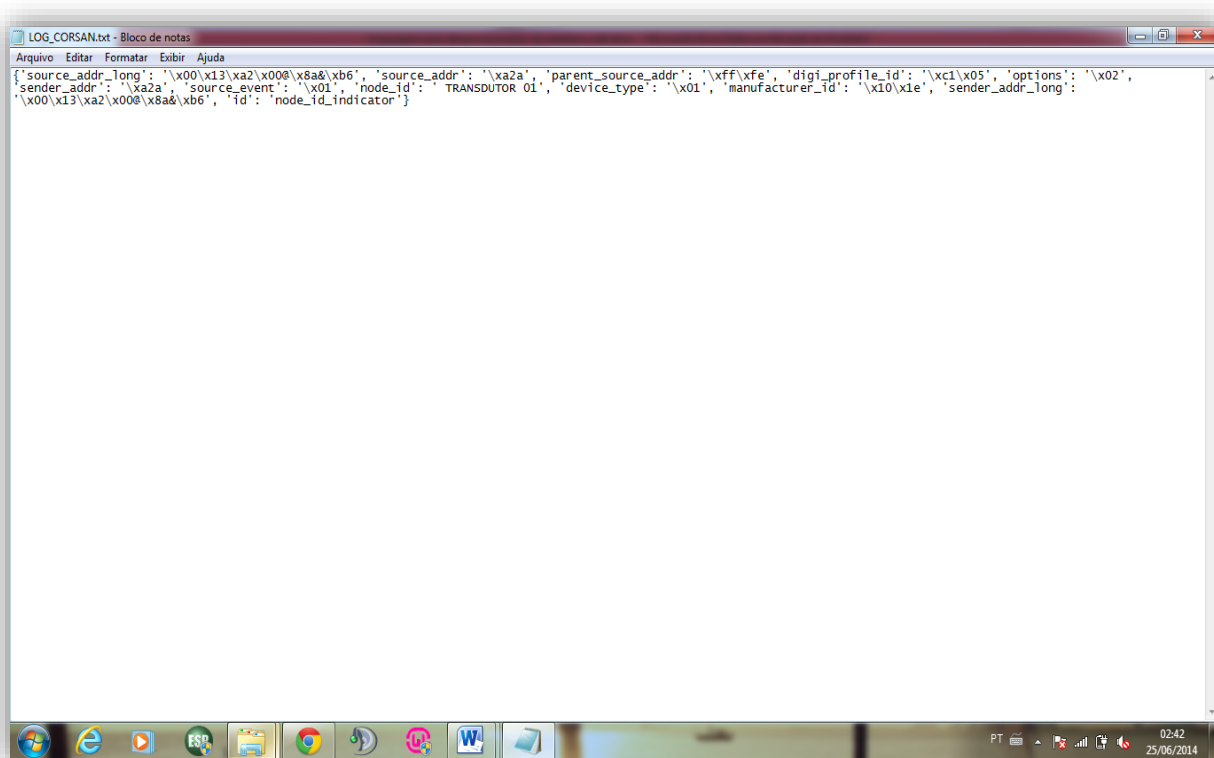


Figura 50 – Transdutor de pressão no ensaio em laboratório com pressão mínima
Fonte: Próprio autor

Um *log* de eventos é gerado sempre que um sensor for ativado e este enviar um *frame* de dados contendo informações relevantes como sua identificação e o valor da pressão instantânea da água na adutora monitorada. Este arquivo é chamado de *LOG_CORSAN.txt*,

que contém as informações mencionadas anteriormente, já decodificadas pelo programa desenvolvido em *Python*. Com base nestas informações da situação da adutora em tempo real, é possível identificar a origem da mensagem através de seus endereços alto (*SH*) e baixo (*SL*), além de vincular com a data e o horário de aquisição de cada evento. Desta forma, através da leitura deste arquivo pelo programa desenvolvido em *PHP* é possível realizar a comparação destes dados, juntamente com os campos responsáveis por esta identificação no banco de dados, possibilitando gerar um arquivo de *log* com os dados de localização deste determinado dispositivo que foi acionado. Após esta comparação, as informações de geoposicionamento, se existirem, poderão ser cadastradas em uma tabela nos *SGBD*, gerando no futuro ordens de serviço automáticas para a gerência, administração ou equipes de manutenção e operação da rede de saneamento mais próximas ao local.

Na Figura 51 é demonstrado um exemplo deste arquivo de *log* em formato *txt*, onde pode-se visualizar a análise e a separação dos dados relevantes contidos no *frame API* gerado automaticamente pelo módulo sensor *ZigBee*. Este arquivo é uma saída de dados organizada de forma a disponibilizar a integração futura com as interfaces de processamento e do próprio banco de dados desenvolvido para esta aplicação.



```
LOG_CORSAN.txt - Bloco de notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
{"source_addr_long": "\x00\x13\xa2\x00\x8a\xb6", "source_addr": "\xa2a", "parent_source_addr": "\xff\xfe", "digi_profile_id": "\xc1\x05", "options": "\x02",
"sender_addr": "\xa2a", "source_event": "\x01", "node_id": " TRANSDUTOR 01", "device_type": "\x01", "manufacturer_id": "\x10\x1e", "sender_addr_long":
"\x00\x13\xa2\x00\x8a\xb6", "id": "node_id_indicator"}
```

Figura 51 – Arquivo de *log* contendo as informações relevantes do *frame API*

Fonte: Próprio autor

5.4. Trabalhos futuros

Como trabalho futuro, está sendo implementado um projeto piloto nas redes de distribuição de água potável da *Corsan* de Santa Maria para a avaliação de dados em condições reais de utilização, além da geração automática de análises e de gráficos organizados por eventos ou filtros predefinidos, com objetivo de fornecer uma ferramenta de gestão e manutenção futura, baseada no histórico da operação destas redes e suas adutoras.

Da mesma forma, pode-se desenvolver um sistema paralelo de autoatendimento de solicitações de manutenção ou manobras da rede, com indicação de necessidade, geração de ordens de serviço eletrônicas automatizadas através de *e-mail* e *SMS*, alocação de equipes de trabalho e recursos materiais, além de poder implementar um sistema de cálculo de rota para melhor distribuição das ordens para as equipes de manutenção, fazendo com que se obtenha uma maior agilidade na manutenção destes pontos de falhas ou manobra, inclusive utilizando ferramentas de orientação espacial e georreferenciamento situacional.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema remoto de controle para o monitoramento de pressão em adutoras de água tratada baseado em redes de comunicação sem fio (*wireless*), utilizando a tecnologia e as facilidades dos dispositivos no padrão *ZigBee*. Para o desenvolvimento destas atividades foram utilizados transdutores de pressão de água, interfaces de *hardware* de conversão e adequação de sinais, módulos transceptores de comunicação sem fio como tecnologia *ZigBee* e uma central de controle e monitoramento com acesso remoto das informações através de uma interface *web*.

Foram desenvolvidas atividades em diversas áreas de conhecimento para a execução deste projeto, gerando a necessidade de uma profunda pesquisa bibliográfica, com a implementação dividida em etapas de acordo com os recursos disponíveis. Como atividade mais complexa, ao final dos projetos e implementação, foi realizada a integração dos diferentes sistemas desenvolvidos para a operação em conjunto. Os primeiros ensaios práticos do sistema demonstraram grande aplicabilidade para as empresas de saneamento público, sendo que os resultados obtidos foram totalmente satisfatórios e dentro do previsto no projeto.

Para a realização dos ensaios preliminares com o protótipo desenvolvido foi definida uma aplicação em escala reduzida, com objetivo de reduzir os custos iniciais e manter o controle sobre o ambiente de operação. Os testes foram realizados nos laboratórios da Estação de Tratamento de Água da Corsan de Santa Maria - *ETA* e na Universidade Federal de Santa Maria - *UFSM*, onde foram constatadas a simplicidade e eficiência de operação deste sistema. Embora a aplicação comercial dos sistemas desenvolvidos neste projeto proporcione ganhos financeiros imediatos para as empresas distribuidoras de água, este trabalho também manteve como objetivo principal a preservação e a utilização consciente dos recursos hídricos do país.

Para trabalhos futuros recomenda-se utilizar os dados adquiridos de pressão das adutoras de água para a geração automática de análises e de gráficos organizados por eventos ou filtros predefinidos, com objetivo de fornecer uma ferramenta de gestão e manutenção futura, baseada no histórico da operação destas redes e suas adutoras. Não obstante, também pode-se realizar o desenvolvimento de um sistema paralelo de manutenção preventiva ou manobras de emergência da rede de distribuição de água de forma automática, alocando equipes de trabalho para os locais necessários de forma eficiente ou por acionamento remoto.

REFERÊNCIAS

ALECRIM, Emerson, **Conhecendo o Servidor Apache HTTP Server Project**. Unidavi, 2012. Disponível em: <http://www.infowester.com>. Acesso em junho de 2014.

BOLTON, W. **Instrumentation and Control Systems**. Elsevier, 2004 - ISBN 0750664320.

CARDOSO, F. R. M.; SOARES, J. C. T. M. **Método para Implementação de Redes Sem Fio**. 2005. Projeto Final de Engenharia Elétrica – Universidade de Brasília, Brasília, 2005. Disponível em: <http://bdm.bce.unb.br/handle/10483/875>. Acesso em junho de 2014.

COLVERO, A. P., **Implantação de Rede Industrial Wireless para o Monitoramento e Controle Automático de Movimentação de Aeronaves em Aeroportos**, Trabalho de Conclusão de Curso do CTISM, UFSM, Tecnologia em Redes de Computadores, 2012.

DALL'OGGIO, Pablo, **Usando o SQLite**. 2007. Disponível em: <http://www.htmlstaff.org>. Acesso em junho de 2014.

DIGI, website do fabricante, **Connect Wan Family**. Digi International Inc., 2010. Disponível em: <http://www.digi.com>. Acesso em junho de 2014.

DIGI, website do fabricante, **Manual of XBee/XBee-Pro OEM RF Modules**. Disponível em: ftp://ftp1.digi.com/support/documentation/90000982_A.pdf. Acesso em junho de 2014.

DRUMOND, Douglas, **A História do Python**. Unidavi, 2009, Disponível em: <http://python-history-pt-br.blogspot.com.br>. Acesso em junho de 2014.

EBC - Empresa Brasil de Comunicação – EBC, **Portal da EBC**. Disponível em: <http://www.Ebc.com.br/tags/portal-ebc>. Acesso em junho de 2014.

ELCODIS – **Representante Comercial da Texas Instruments Inc.**: Datasheet de conversor de precisão rcv420jp - 4mA a 20mA de corrente de loop. Disponível em: <http://elcodis.com/parts/5882734/RCV420.html>. Acesso em junho de 2014.

GERENCIADOR phpMyAdmin, **Notícias**. 2009. Disponível em: <http://blog.rede2.com.br>. Acesso em junho de 2014.

IEEE 802.15, **IEEE 802.15 WPAN™ Task Group 4 (TG4)**, WPAN Home Page. Disponível em: <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>. Acesso em junho de 2014.

LABMETRO, UFSC. **Transdutores**. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfBIkAK/apostila-transdutores-incluindo-pessao?part=3>. Acesso em junho de 2014.

LOBO, M., **Programação Orientada a Objetos com estilo para Web em Python**. devmedia, 2012. Disponível em: <http://www.devmedia.com.br>. Acesso em junho de 2014.

MARQUES, T. M. **COMPETECH: Uma abordagem para Integração de Tecnologias de Automação através do Desenvolvimento das competências Operacionais das Empresas**. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUC-PR. Curitiba. 2004.

MYSQL, **Banco de Dados: Documentação oficial sobre o Banco de Dados Mysql**. Disponível em: http://www.php.net/manual/pt_BR/ref.mysql.php. Acesso em junho de 2014.

ODAIR, A., **Artigo Sobre a Previsão de Consumo de Água**, Unesp, 2005. Disponível em: <http://www.feg.unesp.br/~caec/antigo/quarto/aula8.doc>. Acesso em junho de 2014.

PINHEIRO, E. L. **Uma Modelagem Organizacional Baseada em Elementos de Natureza Comportamental**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis. 2002.

PRAHALAD, C. K. e HAMEL, G. **A Competência Essencial da Corporação**. In: Montgomery, C.; Porter. M. **Estratégia: A Busca da Vantagem Competitiva**. Rio de Janeiro: Campus, 3. ed., 1998.

PYTHON: **Documentação oficial sobre a linguagem de programação**. Disponível em: <http://www.python.org.br/wiki>. Acesso em junho de 2014.

RAMOS, J. de S. B., **Instrumentação eletrônica sem fio: transmitindo dados com módulos Xbee/ZigBee e PIC16F877A**, 1ª edição, São Paulo: Editora Érica, 2012.

ROGÉRIO, A. M., **ZigBee**. Rogercom, 2008, Disponível em: <http://www.rogercom.com/ZigBee>. Acesso em junho de 2014.

SAIDELLES, T., **Rede de Monitoramento de Falhas Temporárias e/ou Permanentes em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**, Trabalho de Conclusão de Curso do CTISM, UFSM, Tecnologia em Redes de Computadores, 2013.

SANTOS, J. M., **As Redes com Tecnologia ZigBee**. Unidavi, 2004. Disponível em: <http://www.projetoederedes.com.br>. Acesso em junho de 2014.

SENGE, Peter M. **A Quinta Disciplina**. 7 ed. São Paulo: Editora Best Seller, 2000.

SOARES, S. A. F., **Rede de Sensores Sem Fio Para Localização e Monitoramento de Pequenos Ruminantes**, Trabalho de Conclusão de Curso da Universidade Federal do Vale do São Francisco, Graduação em Engenharia de Computação, Juazeiro – BA, 2012.

TANENBAUM, A. S.: **Redes de Computadores**. 4ª Ed., Editora Campus (Elsevier), 2003.

TERRA, J. C. C., **Gestão do Conhecimento: o grande desafio empresarial: uma abordagem baseada no aprendizado e na criatividade**. São Paulo: Negócio Editora, 2001.

UNESP - Acervo da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus de Guaratinguetá - SP, **Material de aula nº 8**, Disponível em: <http://www.feg.unesp.br/~caec/antigo/quarto/aula8.doc>. Acesso em junho de 2014.

VASQUES, B.L.R.P; Coutinho, I.B.A; Lima, M.F.; Carneval, V.P.O. **ZigBee**. Engenharia de Controle e de Computação. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2010. Disponível em: http://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/zigbee/. Acesso em junho de 2014.

WIKA DO BRASIL: **Transmissor de pressão para aplicações industriais gerais**. Disponível em: http://www.wika.com.br/home_pt_br.WIKA. Acesso em junho de 2014.

ZIGBEE ALLIANCE: **ZigBee Technical Documents – XBee Modules**. Disponível em: <http://www.zigbee.org>. Acesso em junho de 2014.