

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

**REDE DE MONITORAMENTO DE FALHAS
TEMPORÁRIAS E/OU PERMANENTES EM
SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Tiago Saidelles

**Santa Maria, RS, Brasil
2013**

**REDE DE MONITORAMENTO DE FALHAS TEMPORÁRIAS
E/OU PERMANENTES EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO
DE ENERGIA ELÉTRICA**

Tiago Saidelles

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

2013

**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

**REDE DE MONITORAMENTO DE FALHAS TEMPORÁRIAS E/OU
PERMANENTES EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA**

elaborado por
Tiago Saidelles

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

Claiton Pereira Colvero, PhD.
(Orientador)

Eugênio de Oliveira Simonetto, PhD.
(UFSM)

Renato Preigschadt de Azevedo, Msc.
(UFSM)

Santa Maria. 08 de janeiro de 2014

DEDICATÓRIA

Primeiramente agradeço a Deus, o centro e o fundamento de tudo em minha vida, por renovar a cada momento a minha força e disposição e pelo discernimento concedido ao longo dessa jornada.

A minha namorada Lizandra Teixeira da Rocha que de forma especial e carinhosa me deu força e coragem, me apoiando nos momentos de dificuldades pelas quais passei durante esse período de construção do TCC. Obrigado por contribuir com tantas palavras de força e ajuda.

Aos meus pais, Rubens Flores Saidelles e Rita de Cássia Saidelles, pela vida, amor e dedicação e por terem me proporcionado essa oportunidade de um futuro promissor.

A meu orientador, prof. Dr. Claiton Colvero, que acreditou em mim; que ouviu pacientemente as minhas considerações compartilhando comigo as suas ideias, conhecimento e experiências e que sempre me motivou. Quero expressar o meu reconhecimento e admiração pela sua competência profissional e minha gratidão pela sua amizade, por ser um profissional extremamente qualificado e pela forma humana que conduziu minha orientação.

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 e em especial aos Professores Msc. Célio Trois, Msc. Renato Preigschadt e Msc. Tiago Antonio Rizzetti pela ajuda no desenvolvimento das atividades de elaboração do projeto, me auxiliando com muito Profissionalismo e empenho.

E por último, mas não com menos importância meu avô que infelizmente não se encontra mais entre nós José Garibaldi Saidelles merece um agradecimento especial. Pois com sua experiência e caráter irretocável, me passou diversas lições de vida e que foram fundamentais na minha formação como pessoa.

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

REDE DE MONITORAMENTO DE FALHAS TEMPORÁRIAS E/OU PERMANENTES EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

AUTOR: TIAGO SAIDELLES

ORIENTADOR: CLAITON PEREIRA COLVERO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 08 de janeiro de 2014.

Uma nova tendência mundial de tecnologia de redes está surgindo no mercado, conhecida como rede inteligente ou *smart-grid*. Atualmente a forma como a distribuição de energia é realizada e a sua tarifação pode ser considerada arcaica na visão de muitos especialistas, pois em geral o sistema depende muito de uma única fonte geradora e de controle, sendo que em caso de falha, toda rede fica sem serviço até a devida correção.

Motivados para atender uma demanda crescente das companhias de distribuição de energia elétrica, oriunda de um grande número de reclamações de interrupção do fornecimento de energia juntamente com a interface oferecida pelo Serviço de Atendimento ao Cliente (SAC), definido como ineficiente pela grande maioria dos consumidores que estão sem energia e que cada vez mais dependem deste recurso, desenvolveu-se um sistema completo de monitoramento, sensoriamento e atuação em tempo real para minimizar os prejuízos causados por falhas em transformadores de distribuição de energia elétrica. Este sistema também contempla a criação de um *Website* para visualização de forma remota dos dados gerados pelo monitoramento. Assim, o projeto visa tornar mais eficiente o atendimento ao cliente, oferecendo a abertura do chamado e a emissão da ordem de serviço para o restabelecimento da energia elétrica, através de uma rede de tempo real entre os dispositivos de monitoramento da rede e de uma Central de Controle e Atendimento Automática.

O desenvolvimento do sistema juntamente com a interface intuitiva e direta do *website* visa aumentar significativamente a qualidade do serviço prestado ao cliente e a satisfação do mesmo com a empresa.

ABSTRACT

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

MONITORING NETWORK OF TEMPORARY AND/OR PERMANENT FAULTS IN ELECTRICAL ENERGY DISTRIBUTION SYSTEMS

AUTHOR: TIAGO SAIDELLES

SUPERVISOR: CLAITON PEREIRA COLVERO

Date and Place of Defense: Santa Maria, January 08, 2014.

A new global trend of network technology is appearing, called smart grid. Currently, the method of the energy distribution and its control has been considered archaic in point of the view of many experts, mainly based on a single source generating and control. In case of fault, all network is out of service until fix the problem.

Motivated by a growing demand from Energy Companies, originated from a large number of complaints of interruption of electricity supply, and with the interface offered by the Customer Service (SAC), defined as inefficient by most consumers, who are without energy and that increasingly depend on this resource, we developed a complete system of monitoring, sensing and action in real time to minimize losses caused by faults of the energy distribution transformers. This system also includes the creation of a website for viewing remotely generated data for monitoring. This project has the objective to make more efficient customer service, automatically offering the service request and the order service for the turn on the energy, through a real-time network of monitoring between sensor devices and a Central Control and Monitoring.

The development of the system together with the simple and intuitive interface of the website to increase significantly the quality of customer service and satisfaction with the company.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Canais de Operação do <i>ZigBee</i>	19
Figura 2 - Dispositivo de uma Rede <i>ZigBee</i>	20
Figura 3 - Camadas de Protocolos.....	21
Figura 4 - Topologia <i>ZigBee</i>	23
Figura 5 - Estrutura do <i>Superframe</i>	25
Figura 6 - Mensagem <i>Broadcast</i>	25
Figura 7 - Mensagem <i>Multicast</i>	26
Figura 8 - Mensagem <i>Unicast</i>	26
Figura 9 - Página Inicial em <i>PhpMyAdmin</i>	29
Figura 10 - Estrutura de um <i>FrameAPI</i>	31
Figura 11 - <i>FrameAPI</i>	32
Figura 12 - Organograma de Funcionamento do Dispositivo Final	35
Figura 13 - Organograma de Funcionamento do Coordenador	36
Figura 14 - Configuração dos Módulos do Sensor <i>ZigBee</i>	37
Figura 15 - Configuração dos Módulos <i>ZigBee</i> dos Sensores	37
Figura 16 - Organograma Banco de dados da Central de Monitoramento	39
Figura 17 - Organograma do Banco de dados - Interface de Interação com o Cliente	40
Figura 18 – Tela de <i>Login</i> dos Clientes.....	41
Figura 19 – Tela de Visualização das Informações da Empresa	41
Figura 20 – Tela de Contato com a Ouvidoria	41
Figura 21 – Tela de Visualização dos Dispositivos da Rede de Sensores	42
Figura 22 – Tela de <i>Login</i> dos Funcionários da Companhia de Energia.....	42
Figura 23 – Tela de Cadastro de Novos Sensores Instalados na Rede Elétrica.....	42
Figura 24 – Tela com Funcionalidades de Impressão das Ordens de Serviço	43
Figura 25 – Tela de Visualização de Chamados para Reestabelecimento da Energia	43
Figura 26 – Tela de Consulta e Visualização dos Chamados para a Ouvidoria	43
Figura 27 – Implementação do Banco de Dados	44
Figura 28 - Sistema Desenvolvido em Linguagem <i>Python</i>	45
Figura 29 - Sistema para Leitura da Porta Serial	46
Figura 30 - Organograma de Funcionamento do Sistema.....	46
Figura 31 - Arquivos de <i>Log</i> do Sistema.....	47
Figura 32 - Dispositivos com Falha de Energia Sinalizados	48
Figura 33 - Tabela de <i>Log</i> do Sistema	48
Figura 34 - Tabela Ordem de Serviço	48
Figura 35 - Tabela de Dispositivos Cadastrados	49
Figura 36 - Circuito do Sensor Implementado	50
Figura 37 – Protótipo do Sensor Implementado	52
Figura 38 – Especificações do Módulo <i>ZigBee</i>	53
Figura 39 – Descrição das Funções Atribuídas dos Pinos do Módulo <i>ZigBee</i>	53
Figura 40 - <i>Gateway</i> da Digi Utilizado no Projeto	54
Figura 41 - Servidor <i>WampServerWeb</i>	55
Figura 42 - Página Inicial da Interface da Central de Monitoramento.....	56
Figura 43 - Menu de Opções da Interface da Central Monitoramento.....	57
Figura 44 - Ordem de Serviço da Central de Monitoramento	57
Figura 45 – Tela de Exemplo do Serviço de Ouvidoria.....	58
Figura 46 - Cadastro de Novos Dispositivos Sensores na Rede	58
Figura 47 - Manutenção Preventiva das Redes de Distribuição de Energia Elétrica	60
Figura 48 - Pesquisa de Satisfação dos Clientes.....	61

Figura 49 - Gráfico das Pesquisas de Satisfação dos Clientes.....	62
Figura 50 - Página Inicial da Interface de Interação com os Clientes.....	63
Figura 51 - Página de <i>Login</i> da <i>Interface</i> de Interação com os Clientes	63
Figura 52 - Tela de Consulta de Ordem de Serviço pelo Cliente	64
Figura 53 – Informações Sobre a Empresa Distribuidora de Energia Elétrica.....	64
Figura 54 – Tela do Cliente na Central de Ouvidoria.....	65
Figura 55 – Ensaios Realizados com o Protótipo em Escala Reduzida	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D	Analógico/Digital
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	MiliAmpère
μA	MicroAmpère
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	Volts
Vcc	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>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivo Geral	15
2.2. Objetivos específicos	15
3. METODOLOGIA	16
4. DESENVOLVIMENTO	18
4.1. Principais características do padrão <i>ZigBee</i>	19
4.2. Configurações de perfil dos dispositivos no padrão <i>ZigBee</i>	20
4.3. Camadas de protocolos do padrão <i>ZigBee</i>	20
4.3.1. Camada Física (PHY)	21
4.3.2. Camada <i>Media Access Control</i> (MAC)	21
4.3.3. Camada de Rede (NWK)	22
4.4. Funções dos Dispositivos <i>ZigBee</i>	22
4.5. Segurança das informações no padrão <i>ZigBee</i>	22
4.6. Topologia de rede do padrão <i>ZigBee</i>	23
4.7. Montagem de uma rede no padrão <i>ZigBee</i>	24
4.8. Modos de operação do padrão <i>ZigBee</i>	24
4.8.1. Modo <i>Non-Beaconing</i>	24
4.8.2. Modo <i>Beaconing</i>	24
4.9. Tipos de mensagens nas redes <i>ZigBee</i>	25
4.9.1. Mensagens em <i>Broadcast</i>	25
4.9.2. Mensagens <i>Multicast</i>	25
4.9.3. Mensagens <i>Unicast</i>	26
4.10. Endereçamento dos módulos no padrão <i>ZigBee</i>	26
5. FERRAMENTAS UTILIZADAS NO PROJETO	27
5.1. Programação <i>Web</i>	27
5.2. Programação em linguagem PHP	27
5.3. Servidor <i>Apache</i>	28
5.4. Banco de dados	28
5.5. <i>PhpMyAdmin</i>	28
5.6. <i>Python</i>	29
5.7. <i>SQLite</i>	29
5.8. <i>JavaScript</i>	30
5.9. Software comercial X-CTU	30
6. MODOS DE OPERAÇÃO DO ZIGBEE	31
6.1. Quadro de dados em modo <i>API</i>	31
7. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	33
7.1. Configuração dos Sensores	34
7.2. Configuração dos módulos <i>ZigBee</i> com o X-CTU	36
7.3. Operação do Banco de Dados	39
7.4. Operação da Interface de Relacionamento com os Clientes	40

7.5. Operação da Interface da Central de Monitoramento	41
7.6. Acionamento dos Sensores e Identificação do <i>Software</i>	44
7.7. Decodificação e Monitoramento dos Dados Recebidos	45
7.8. Operação da Interface em <i>Python</i>	46
7.9. Tabelas de <i>Log</i> do Sistema.....	47
7.10. Teste de Integração em Escala Reduzida.....	49
8. CONSTRUÇÃO DO MÓDULO SENSOR.....	50
8.1. Interfaces de Usuários e Controle	54
8.2. Manutenção Preventiva da Rede	59
9. ENSAIOS DE LABORATÓRIO:.....	66
10. CONCLUSÕES	68
11. REFERÊNCIAS	69

1. INTRODUÇÃO

A energia, nas suas mais diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana. E mais do que sobreviver, o homem procurou sempre evoluir, descobrindo fontes e formas alternativas de adaptação ao ambiente em que vive e de atendimento às suas necessidades. Em termos de suprimento energético, a eletricidade se tornou uma das formas mais versáteis e convenientes de energia, passando a ser recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento socioeconômico de muitos países e regiões.

Mas na atualidade em que vivemos cada dia mais nos deparamos com situações de grandes apagões gerados muitas vezes por fenômenos climáticos ou até mesmo por desgastes de equipamentos com o passar dos anos, proporcionando assim uma grande catástrofe tanto na economia quanto na vida da população, por falta deste recurso tão precioso.

Com base nos dados relativos as últimas adversidades climáticas que vem castigando o País, cada dia mais a população vem constatando uma grande demora no atendimento e solução dos devidos problemas relacionados à falta de energia elétrica.

Em função desta dificuldade e demora do restabelecimento da energia decorrente destes intempéries, os clientes das companhias de energia elétrica estão reivindicando melhorias nos setores que dizem respeito à segurança, atendimento e também na agilidade no restabelecimento deste bem tão importante que é a energia elétrica.

Embora seja possível calcular precisamente os prejuízos para a economia tanto na zona urbana quanto rural, os incômodos pessoais gerados pela falta de energia elétrica são significativamente muito impactantes também, como por exemplo, o consumidor ficar diversas horas consecutivas na escuridão, começar a se preocupar em perder alimentos ou medicamentos que necessitam de refrigeração, equipamentos elétricos danificados por oscilações na energia, etc.

Visando diminuir o impacto social da falta de energia agilizando o canal de reclamações para proporcionar uma melhor solução para as tantas reivindicações dos clientes, especialmente notado pelos mesmos como demora no atendimento nos *Call Centers* e também no deslocamento da equipe de manutenção, está sendo desenvolvido um sistema automático de monitoramento das redes de distribuição de energia elétrica. Este sistema possibilita uma maior rapidez no atendimento, não necessitando que os clientes entrem em contato, via *Call Center*, para gerar sua ordem de serviço, deixando assim de ter a

necessidades aguardar por longos períodos de tempo para apenas registrar sua interrupção de energia elétrica.

O presente Projeto apresenta o desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento Automático de Falhas em Transformadores de Redes de Distribuição de Energia Elétrica, que concentra os dados coletados e as estatísticas de interrupções de fornecimento permanentes e temporárias em de um servidor *Web*. Estas informações permitem a verificação e auditoria destas informações de forma remota. Este sistema está sendo implementado junto as empresas de distribuição de energia elétrica com o objetivo de gerar a emissão de ordens de serviço automaticamente, sem a necessidade de o cliente entrar em contato com a empresa correspondente, dispensando a emissão manual da mesma.

Como ferramenta mais importante deste projeto, também é apresentada uma base de dados vital para as distribuidoras de energia elétrica, possibilitando o monitoramento em tempo real de interrupções temporárias de fornecimento. Estas interrupções temporárias, que são caracterizadas pela queda momentânea de energia e reestabelecimento automático, conhecido popularmente como “pico de luz”, funcionam como um termômetro de aviso de problemas futuros na rede. Problemas temporários frequentes nos mesmos pontos, devidamente analisados estatisticamente, indicam a necessidade de incursões de manutenção preventiva necessária, que pode ser realizada com agendamento prévio em condições de tempo bom. Esta informação agrega para as distribuidoras de energia uma grande vantagem comercial, pois evita em grande parte a manutenção corretiva emergencial sob condições adversas do tempo, como chuvas, temporais, granizo, tempestades, ventos, períodos noturnos, entre outros. A programação de manutenção preventiva, além de proporcionar uma economia de horas extras e adicionais noturnos, também evita que as equipes de campo sejam expostas a condições de alto risco oferecidos em geral pelos chamados de emergência, como assaltos e roubos, perigos de choques elétricos, raios, cargas de ventos, etc.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Este trabalho está sendo desenvolvido com o objetivo de implementar uma rede industrial de tempo real e adaptativa, montada em topologia *mesh*, com capacidade de fornecer o monitoramento e controle automático de falhas em transformadores de redes de distribuição de energia elétrica, utilizando dispositivos baseados na tecnologia *ZigBee*.

2.2. Objetivos específicos

Observando o alto índice de ligações aos *Call Centers* referente a interrupções de energia e a grande demora relativa das Companhias de Distribuição de Energia Elétrica em atender as ligações e solucionar os problemas após a emissão da ordem de serviço, e motivados por esse processo descrito anteriormente, desenvolveu-se um sistema completo de monitoramento, sensoriamento e atuação em tempo real para minimizar os prejuízos causados por falhas em transformadores de distribuição de energia elétrica, com armazenamento e disponibilização dos dados em uma página *web*. Desta forma destacam-se então:

- Criação de uma sistema de monitoramento e controle de falhas de distribuição de energia elétrica em tempo real;
- Desenvolvimento de um protótipo de sensor de campo;
- Criação de um banco de dados com eventos selecionados e organizados;
- Desenvolvimento de uma plataforma *web* de acesso remoto;
- Criação de uma interface simplificada para clientes e administradores;
- Integração do sistema com as redes de distribuição de energia elétrica.

3. METODOLOGIA

Com o objetivo de otimizar o desenvolvimento das atividades propostas deste projeto, que contempla diversas áreas de conhecimento, o trabalho está sendo realizado segundo a seguinte divisão:

a) Pesquisa de mercado por demandas das companhias distribuidoras de energia:

Estudo dos diferentes condições em que o projeto iria atuar no mercado, em que setor as distribuidoras de energia elétrica teriam maior necessidade de inovação. Para isso ficar de maneira clara foi feito um estudo baseado no relatório de sustentabilidade da empresa *AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S/A*. Desta forma utilizando os dados destas pesquisas chegamos ao consentimento que o maior problema está se dando no setor de atendimento ao cliente, para suprir estas necessidade foi implementado um sistema completo de monitoramento de falhas em Transformadores de rede de distribuição elétrica baseada em uma rede sem fio.

b) Pesquisa por tecnologias que suprissem a necessidade do projeto:

Após uma detalhada pesquisa de mercado, não foi encontrada nenhuma solução comercial que atendesse completamente a demanda do projeto. Desta forma foi estruturado um conjunto de elementos que pudessem suprir as necessidades de cada etapa do desenvolvimento, e definido a utilização da tecnologia *ZigBee* como melhor opção em termos de qualidade dos equipamentos, confiabilidade e principalmente custo final.

c) Montagem dos protótipos:

Foi realizada a aquisição dos equipamentos necessários para a implementação do projeto e do seu cenário de testes. Foram comprados componentes eletrônicos e também os dispositivos relativos aos comunicadores sem fio com módulos *ZigBee*. Também foi utilizado um *Gateway*, da marca *Digi* para o interfaceamento com uma rede de comunicações com tecnologia 3G. A partir deste estágio foi executada a montagem dos módulos sensores.

d) Desenvolvimento das interfaces de software e montagem da rede sem fio:

Para a comunicação e interpretação dos dados obtidos, foi necessária a adaptação de alguns programas em linguagem *Python*, disponibilizados pelo fabricante dos módulos *ZigBee*, e o estudo teórico baseado em pesquisas no site da *Digi*, monografias, dissertações, teses e sites que tratam de documentação associada ao conteúdo do trabalho, detalhados no capítulo de referências bibliográficas deste relatório. Para a organização e seleção dos dados obtidos com os dispositivos sensores de falta de energia, foi desenvolvido e utilizado um banco de dados com

capacidade de visualização dos eventos ocorridos por data, horário, local, reincidência, gravidade, tempo de falha, entre outros. Também foi desenvolvido um ambiente online de cadastro e consulta das informações adquiridas de forma remota, oferecendo uma interface simplificada para usuários da rede e operadores.

e) Integração dos sistemas desenvolvidos para a operação:

Com os módulos sensores com tecnologia *ZigBee* se comunicando e as interfaces de software operando, foi realizada a integração de todos os sistemas e a correção de eventuais falhas de análise ou importação de informações, para garantir o total funcionamento em condições reais de uso no monitoramento de uma rede de distribuição de energia elétrica.

f) Ensaios em laboratório e análise dos dados obtidos:

Para encerrar este projeto, estão sendo realizados ensaios em laboratório com o sistema operando de forma controlada, garantindo a calibração de todos os eventos monitorados neste período. Com os dados recolhidos e armazenados, foram realizados diversos testes de eficiência e compatibilidade de operação em diferentes condições de utilização. Estes resultados estão descritos no desenvolvimento deste relatório.

4. DESENVOLVIMENTO

A comunicação sem fio popularmente chamada de *wireless* está presente algum tempo na vida das pessoas, desde as primeiras transmissões de rádio no início do Século até nos dias atuais com a enorme expansão dos padrões.

As recomendações do IEEE (*Institute of Electrical and Eletronics Engineers*), particularmente as recomendações da série IEEE 802.11, são os exemplos mais conhecidos para os padrões de redes sem fio e que nos permitem considerar a existência de quatro grandes grupos:

- WPAN (*Wireless Personal Area Network*) Onde estão as tecnologias *wireless* de pequeno alcance (entre 10 e 100 metros). É um padrão para redes locais, definido pelo IEEE 802.15, para o endereçamento de redes sem fio que utilizam dispositivos portáteis ou móveis tais como PC's, PDA's, periféricos, celulares, *pager's*, etc;

- WLAN (*Wireless Local Area Network*): Onde estão as tecnologias sem fio destinadas à interligação de redes locais com alcance entre 100 e 300 metros. Trata-se de padrão implementado como extensão ou alternativa para as redes com cabeamento convencional (par metálico ou fibra óptica);

- WMAN (*Wireless Metropolitan Area Network*): Neste grupo temos as tecnologias que tratam dos acessos de banda larga para última milha para redes em áreas metropolitanas, com alcance em torno de 6km;

- WWAN (*Wireless Wide Area Network*): Neste grupo estão as tecnologias voltadas para redes de longa distância em telecomunicações, atendendo aos serviços de voz e alguns serviços de dados.

Essa expansão das redes sem fio aconteceu com o avanço da tecnologia. Mas essas redes sem fio têm como objetivo principal transportar altas taxas de transferência para voz, dados e imagem, o que torna caros para aplicações mais simples como sensoriamento. As redes de sensores sem fio são baseadas em uma tecnologia que surgiu recentemente com o intuito de monitorar e controlar remotamente. Ela consiste de um grande número de sensores distribuídos numa região de interesse, e são tipicamente alimentados por baterias chegando a operar por períodos longos de tempo. Dentre as tecnologias de comunicação sem fio para sensoriamento que se destaca atualmente é o *ZigBee* (STUHLER, 2012).

Segundo Carissimi uma rede sem fio é um sistema de comunicação ponto-a-ponto também chamado radio-enlace que utiliza uma portadora eletromagnética que se propaga pela atmosfera como meio de comunicação entre dois pontos).

(CARISSIMI,2009-p119)

A tecnologia *ZigBee* na verdade 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.

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 802.15.4, cuja a camada física foi desenvolvida em um elevado nível de integração permitindo simplicidade nos equipamentos (SANTOS, 204).

A camada física, que é baseada o padrão 802.15.4, pode operar em duas faixas de frequências livres. Essas frequências operam na banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), não requerendo licença para funcionamento, desde que atendam satisfatoriamente as restrições de emissão de radiação não ionizante, conforme demonstrado na Figura 1.

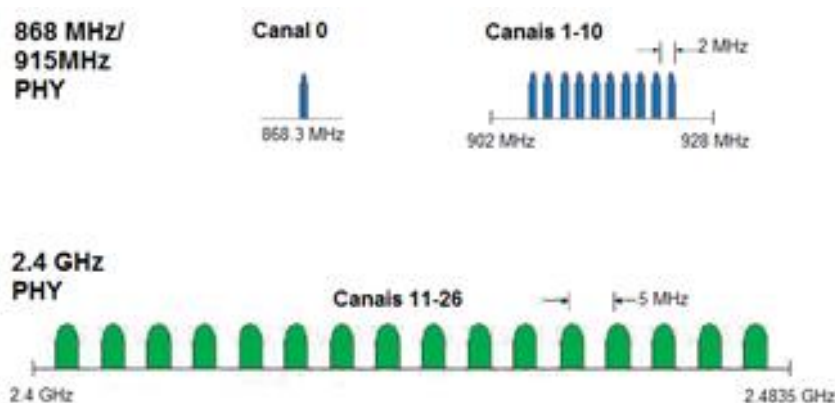


Figura 1 - Canais de Operação do *ZigBee*.

Fonte: <http://www.gta.ufrj.br>

4.1. Principais características do padrão *ZigBee*

O padrão *ZigBee* (IEEE 802.15.4) foi projetado objetivando apresentar as seguintes características:

Consumo de potência baixo e implementação simples, com interfaces de baixo custo, dois estados principais de funcionamento: "*active*" para transmissão e recepção e "*sleep*", quando não está transmitindo, simplicidade de configuração e redundância de dispositivos (operação segura), densidade elevada dos nós pôr a rede. As camadas PHY e MAC permitem que as redes funcionem com grande número de dispositivos ativos. Este atributo é crítico para aplicações com sensores e redes de controle, protocolo simples que permite a transferência confiável de dados com níveis apropriados de segurança.

4.2. Configurações de perfil dos dispositivos no padrão *ZigBee*

Os dispositivos podem ser configurados como coordenadores, roteadores ou dispositivos finais, de acordo com sua aplicação na rede que será implementada.

- a) Coordenador (*Coordinator*): Ele é o responsável por iniciar uma rede *ZigBee*, sempre permanece em estado ativo para efetuar o roteamento dos dados e o controle.
- b) Roteador (*Router*): ele é o responsável por rotear os dados, mais complexos eletronicamente que os dispositivos finais, possuem tabelas de roteamento que auxiliam para encontrar o menor caminho para os dados chegar ao destinatário.
- c) Dispositivo Final (*EndDevice*): Como o próprio nome o sugere é o último nó da rede, eletronicamente mais simples que os demais e, portanto mais baratos, passam a maior parte do tempo inativo economizando energia. Na Figura 2 pode-se observar os tipos de dispositivos de uma rede *ZigBee*.

Coordenador da Rede - FFD	Nó da Rede - RFD
Ajustes de parâmetros da rede	Função passiva na rede
Transmite informações pela rede	Efetua buscas por redes disponíveis
Gerencia os nós da rede	Transferência de dados da aplicação
Armazena informações dos nós de rede	Determina o status dos dados
Distribui mensagens entre nós de rede	Solicita dados ao coordenador da rede
Opera tipicamente no estado "active"	Pode permanecer no estado "sleep" por longos períodos

Figura 2 - Dispositivos de uma Rede *ZigBee*

Fonte: <http://www.projetoderedes.com.br>

4.3. Camadas de protocolos do padrão *ZigBee*

A publicação do padrão IEEE 802.15.4 definiu interfaces com baixas taxas de transmissão (menores que 250kbps) e estabeleceu uma estrutura de rede que incorpora os conceitos de redes ad-hoc, características de conexão em malha e em *multi-hop* (múltiplos saltos).

Adicionalmente, novos algoritmos de segurança e perfis de aplicação foram definidos objetivando garantir a segurança e a perfeita interação entre os diversos equipamentos, na Figura 3 observam-se as camadas de Protocolos usadas na tecnologia *ZigBee*.

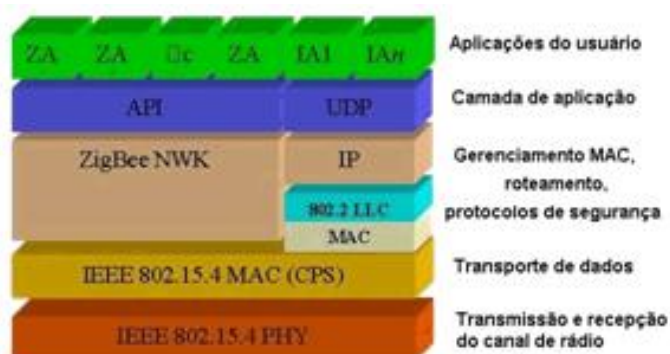


Figura 3 - Camadas de Protocolos

Fonte: <http://www.projetoederedes.com.br>

A camada física (PHY) foi projetada para acomodar as necessidades de interfaces de baixo custo, permitindo níveis elevados de integração. O uso da técnica de transmissão de Sequência Direta (DSS) permite que os equipamentos sejam muito simples, possibilitando implementações mais baratas. A camada PHY oferece a interface com o meio físico onde as comunicações realmente ocorrem. A camada PHY é a menor camada do modelo ISO / OSI (GUTIÉRREZ, 2007).

4.3.1. Camada Física (PHY)

A camada PHY é responsável pela ativação e desativação do transmissor/receptor de rádio (*transceiver*), detecção de energia (*Energy Detection - ED*) dentro do canal atual, indicação de qualidade do link (*Link Quality Indication - LQI*) para os pacotes recebidos, avaliação de canal livre (*Clear Channel Assessment - CCA*) para o (*CSMA/CA*) e a seleção da frequência do canal.

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).

4.3.2. Camada *Media Access Control* (MAC)

Foi projetada para permitir topologias múltiplas com baixa complexidade, onde o gerenciamento de energia, por exemplo, não requer modos de operação complexos. O MAC também permite que um dispositivo com funcionalidade reduzida (RFD) opere na rede sem a necessidade de grandes quantidades de memória disponíveis, podendo controlar também um grande número de dispositivos sem a necessidade de colocá-los "em espera", como ocorre em algumas tecnologias sem fio.

4.3.3. Camada de Rede (NWK)

Foi projetada para possibilitar o crescimento da rede sem a necessidade de equipamentos de transmissão de potência mais elevada. A camada de rede também pode operar quantidades grandes de nós de rede com latências relativamente baixas.

Utiliza um algoritmo que permite implementações da pilha de protocolos visando balancear os custos das unidades em aplicações específicas, o consumo das baterias, buscando produzir soluções com o perfil específico de custo-desempenho para a aplicação.

As responsabilidades da camada NWK *ZigBee* incluem em iniciar uma rede, aderir e abandonar uma rede, configurar um novo dispositivo, endereçamento, sincronização dentro de uma rede, segurança e roteamento.

4.4. Funções dos Dispositivos *ZigBee*

Dispositivo de função completa (*FFD – Full – Function Device*): Está apto a funcionar como coordenador, roteador ou dispositivo final, com maior complexidade e poder computacional, pode se comunicar tanto com os *FFDs* quanto com os *RFDs*.

Dispositivos de função reduzida (*RFD – Reduced – Function Device*): São equipamentos de função reduzida, são mais simples eletronicamente e atuam apenas como dispositivo final (*end-pointings*) comunicando somente com os *FFDs*, sua simplicidade tem como vantagem um consumo de energia e custo menor.

Devemos observar que em topologias com configuração estrela, uma rede *ZigBee* requer pelo menos um dispositivo *FFD* atuando como coordenador da rede e os demais dispositivos podem ser do tipo *RFD* para reduzir o custo do sistema. Para topologias ponto-a-ponto (*Peer-to-Peer*) e em árvore, todos os dispositivos devem ser *FFD*.

4.5. Segurança das informações no padrão *ZigBee*

O padrão *ZigBee* adotou a proposta de um novo algoritmo de segurança, baseado na simplificação do algoritmo de roteamento *AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector)*. Esta proposta foi adotada como parte da especificação IEEE 802.15.4.

A camada MAC utiliza o padrão *AES (Advanced Encryption Standard)* como seu algoritmo de criptografia, descrevendo uma variedade de rotinas de segurança. Estas rotinas têm como objetivo prover a confidencialidade, a integridade e a autenticidade dos frames da camada MAC.

O padrão suporta diferentes tipos de tráfego de dados que exigem atributos diferentes da camada MAC. O MAC IEEE 802.15.4 é flexível o bastante para assegurar o transporte de cada um dos tipos de tráfego como, dados periódicos, provenientes de sensores, dados

intermitentes, provenientes de interruptores e chaves e dados provenientes de dispositivos repetitivos de baixa latência como, por exemplo, um mouse.

4.6. Topologia de rede do padrão *ZigBee*

A camada de rede do *ZigBee* pode possuir três topologias que usualmente são empregadas: Árvore, estrela ou malha. Essas características determinarão se a rede pode ser mais robusta, mais econômica, centralizadora ou distribuída.

Nas redes de topologia estrela existe apenas um único coordenador central, tem como vantagem a simplicidade e proporciona uma vida mais longa da bateria em tempos de operação, e como desvantagem tem o menor alcance e a dependência da rede sobre um único coordenador. Já nas redes de topologia em Malha (*mesh*) existe maior flexibilidade, segurança e escalabilidade, pois tem como vantagem a possibilidade de mais de um caminho de acesso entre os nós desde que estejam dentro do alcance, mas continua existindo apenas um coordenador. E por último na topologia árvore tem-se como vantagem mais de um centralizador, é uma configuração híbrida que combina o melhor das topologias estrela e malha. Com a presença de mais de um centralizador e vários roteadores há um aumento da segurança do alcance da rede. A Figura 4 demonstra alguns exemplos de topologia.

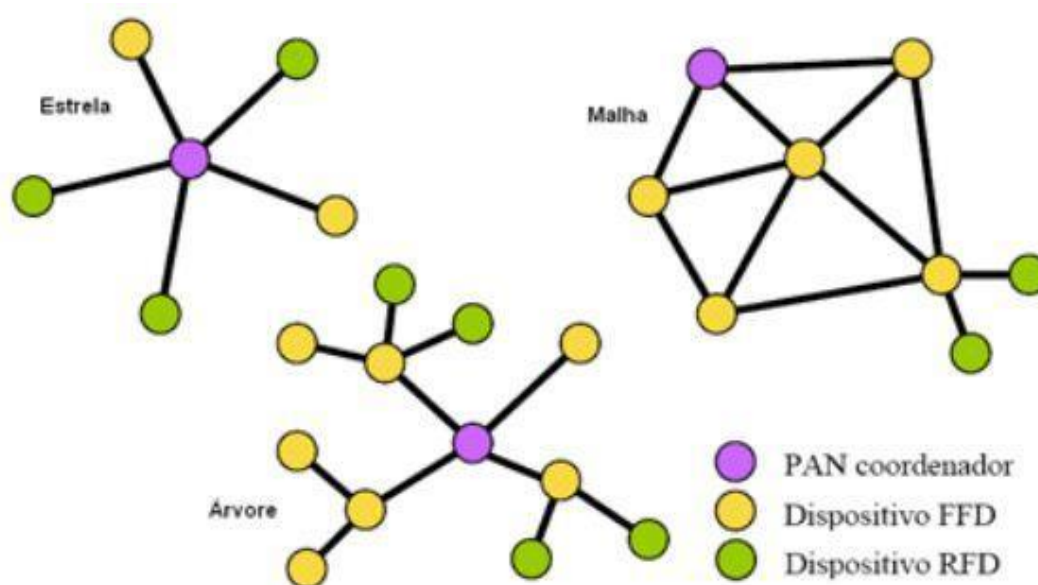


Figura 4 - Topologia *ZigBee*

Fonte: *ZigBee Wireless Technology*

4.7. Montagem de uma rede no padrão *ZigBee*

A formação de uma nova rede *ZigBee* é dada e iniciada através de uma primitiva restrita apenas ao coordenador que não pertence a nenhuma rede, para inicializar uma rede o coordenador procura por um conjunto de canais, e quando esta procura se completa os canais são organizados em ordem decrescente de níveis de energia. O coordenador então procura em cada canal por dispositivos ou redes *ZigBee*.

Baseado neste resultado, o coordenador escolhe o melhor canal para criar uma nova rede, dando preferência para canais nos quais não foram encontradas outras redes. Então o coordenador escolhe um identificador de rede lógico (um número) que será atribuído a todo dispositivo que ingressar na rede. Finalmente o coordenador permite outros dispositivos ingressarem na rede. (AZEVEDO, 2006, p. 2).

Para o escaneamento dos canais e enviado um *beacon* em *broadcast* para cada canal, se o canal já estiver em uso é recebido pelo coordenador uma resposta com *Personal Area Network Identifier (PAN ID)* do canal este escaneamento e denominado *PAN Scan*. O tempo decorrente da entrada de um nó na rede é de um intervalo de 30 *ms*.

4.8. Modos de operação do padrão *ZigBee*

4.8.1. Modo *Non-Beaconing*

Nesse modo a maioria dos nós da rede permanecem sempre com seus receptores ativos, consumindo mais energia. É importante notar, que nesse modo, os dispositivos devem ser alimentados com fontes de energia mais potentes e duradouras que pilhas ou baterias comuns.

4.8.2. Modo *Beaconing*

O tempo todo os dispositivos com funções de roteador, transmitem de tempos em tempos, sinalização (*beaconing*) para tentar confirmar sua presença aos outros roteadores da mesma rede. Já os outros nós da rede só precisam estar ativos no momento da sinalização, mas esses dispositivos devem ser configurados para perceber o período em que ocorrerá esta sinalização, pois no modo *beaconing* a maioria dos dispositivos permanecem dormindo (*Sleep*). Nesse modo, o consumo de energia é o mínimo possível (ROGÉRIO, 2008). A Figura 5 demonstra a estruturas de um *frame API*.

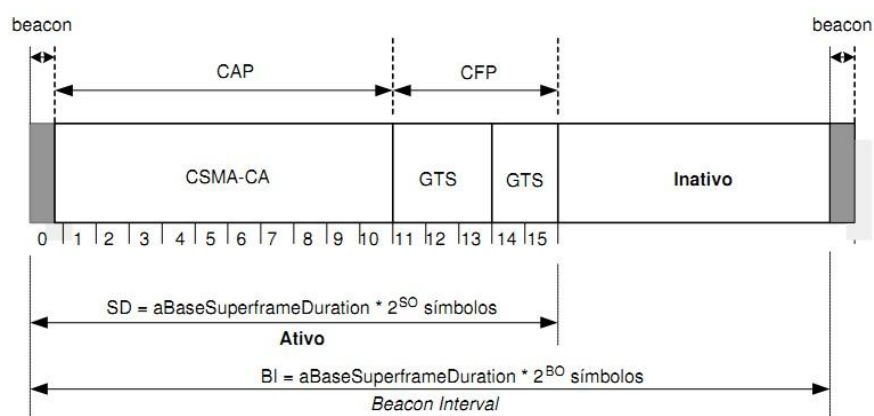


Figura 5 - Estrutura do *Superframe*

Fonte: Manual *XBee*

4.9. Tipos de mensagens nas redes *ZigBee*

4.9.1. Mensagens em *Broadcast*

Comunicação na qual um quadro 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 conectados. 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. Um exemplo de mensagem em *broadcast* está demonstrado na Figura 6.

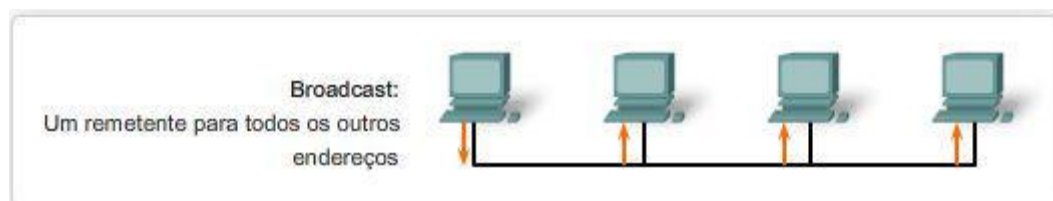


Figura 6 - Mensagem *Broadcast*

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

4.9.2. Mensagens *Multicast*

Comunicação na qual um quadro 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 7.

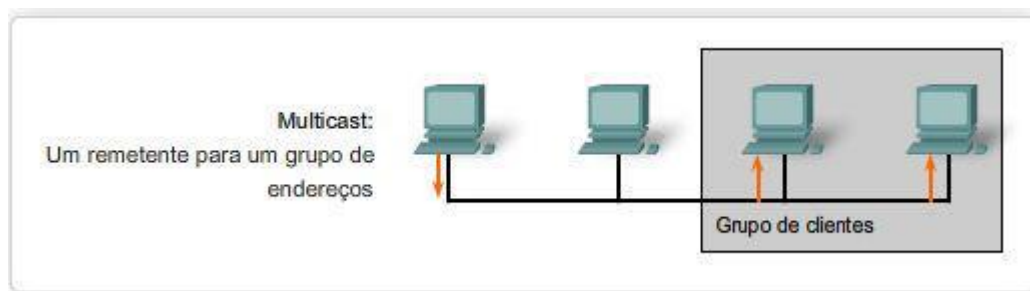


Figura 7 - Mensagem *Multicast*

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

4.9.3. Mensagens *Unicast*

Comunicação na qual um quadro 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*.

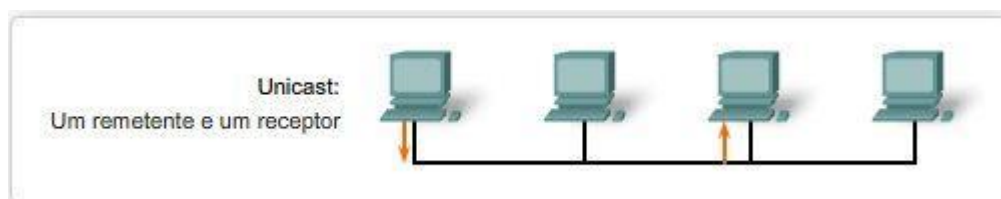


Figura 8 - Mensagem *Unicast*

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

4.10. Endereçamento dos módulos no padrão *ZigBee*

O protocolo 802.15.4 o qual o *ZigBee* faz parte especifica dois tipos de endereçamento:

- 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.
- 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.

5. FERRAMENTAS UTILIZADAS NO PROJETO

Neste projeto foi discutido até o momento o desenvolvimento e a criação de dispositivos sensores que operam com tecnologia sem fio, montam redes adaptativas e enviam informações importantes sobre o funcionamento da rede de distribuição de energia elétrica. Estas informações para se tornarem utilizáveis, necessitam também do desenvolvimento de ferramentas computacionais com capacidades específicas, como armazenamento, tratamento, cadastramento ou decodificação destes dados adquiridos pelos sensores.

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).

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 armazenamos 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 (ALECRIM, 2012).

5.3. Servidor Apache

O *Apache Server* é um software livre, o que significa que qualquer um 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 sendo o servidor *Web* mais utilizado 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, Perl, *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).

5.4. Banco de dados

É um arquivo, que 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 o reconhecido 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.

5.5. PhpMyAdmin

PhpMyAdmin é uma aplicação de fácil utilização que serve para controlar seu banco de dados *MySQL*. Pode-se utilizá-lo para criar, copiar, deletar, renomear e alterar tabelas, fazer a manutenção de tabelas, deletar, editar e adicionar campos, exportar ou importar um banco de dados, e muito mais. A Figura 9 demonstra uma tela inicial do *PhpMyAdmin*.

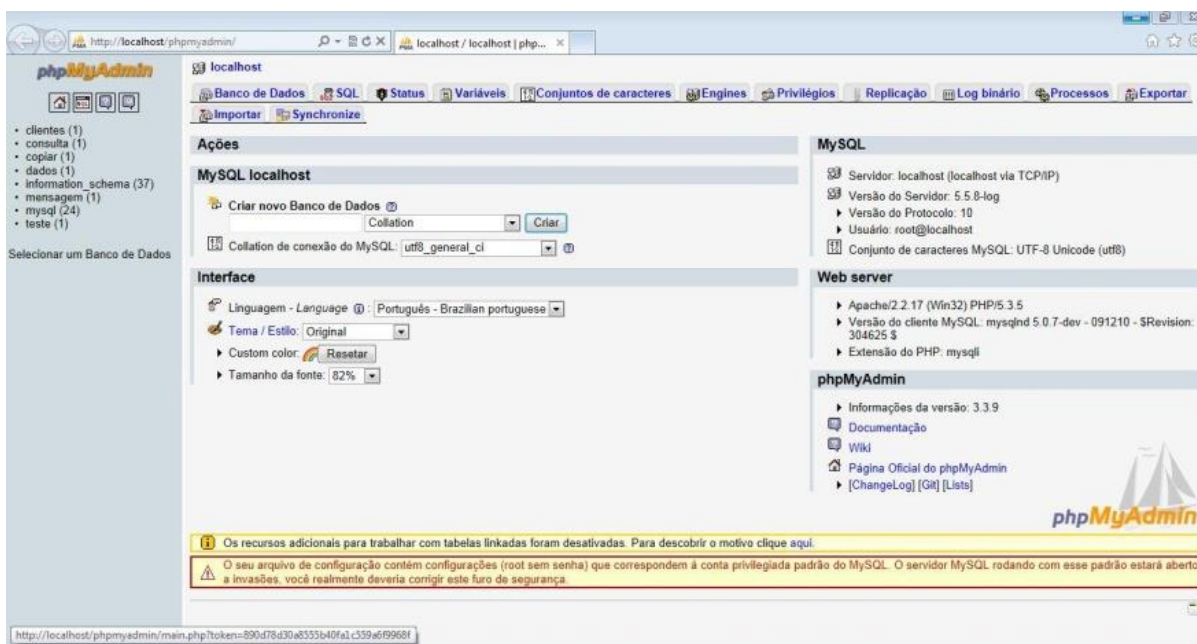


Figura 9 - Página Inicial em *PhpMyAdmin*

5.6. Python

O desenvolvimento inicial da linguagem *Python* começou em 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. CWI era um local interessante; financiado pelo Departamento de Educação do governo holandês e outros fundos de pesquisa, que 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 poucos dias.

5.7. SQLite

O *SQLite* é um banco de dados relacional cuja estrutura (tabelas, índices, dados) está contida em um único arquivo no sistema. O acesso aos dados é implementado por uma biblioteca de funções escritas em C por *Richard Hipp* e a manipulação dos dados é realizada através da linguagem *SQL*.

É uma ferramenta que permite com que desenvolvedores possam armazenar os dados de suas aplicações em tabelas e manipular esses dados através de comandos. A diferença é que tudo isso pode ser feito sem que seja preciso acessar um SGBD. Devido a sua simplicidade e

eficiência, o *SQLite* está se tornando cada vez mais popular, especialmente entre as pessoas que programam nas linguagens PHP, C / C++ e *Python* (DALL'OGGLIO, 2009).

5.8. JavaScript

É uma linguagem de *script* incorporada a um documento HTML. Historicamente, trata-se da primeira linguagem de *scripts* para a *web*. Esta linguagem é uma linguagem de programação que traz melhorias para a linguagem HTML, permitindo a execução de comandos do cliente, ou seja, em termos do navegador e não do servidor *web*.

Assim, a linguagem *Java Script* é altamente dependente do navegador que chama a página *web* onde o *script* está incorporado, mas por outro lado, não requer nenhum compilador, ao contrário da linguagem *Java*, com a qual ela tem sido confundida há muito tempo.

O *JavaScript* foi desenvolvido pela *Netscape* em 1995. Originalmente, era chamado *LiveScript* e fornecia a uma linguagem de *script* simples para o navegador *Netscape Navigator*. Ele foi criticado durante muito tempo pela sua falta de segurança, seu desenvolvimento pouco elaborado e pela ausência de alertas de erro explícitos, tornando seu uso difícil. Em 4 de dezembro de 1995, após uma associação com o fabricante *Sun*, *Netscape* renomeou sua linguagem *Java script*.

Na mesma época, a *Microsoft* desenvolveu a linguagem *Java Script*, uma linguagem de *script* muito semelhante. Assim, para evitar excessos de ambos os lados, uma norma foi definida para padronizar as linguagens de *script*, trata-se da ECMA 262, criada pela organização de mesmo nome (*ECMA European Computer Manufacturers Association*) (NOUIRA, 2013).

5.9. 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. X-CTU foi inicialmente projetado para funcionar exclusivamente com todos os computadores baseados em *Windows* como o *Microsoft Windows 98 SE* ou superior. O X-CTU pode ser baixado diretamente do *site* da *Digi* ou um CD de instalação.

6. 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.

O modo de operação *API* e uma 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.

6.1. Quadro de dados em modo *API*

Um Pacote *API* é constituído por quatro campos como ilustrado na Figura 10:

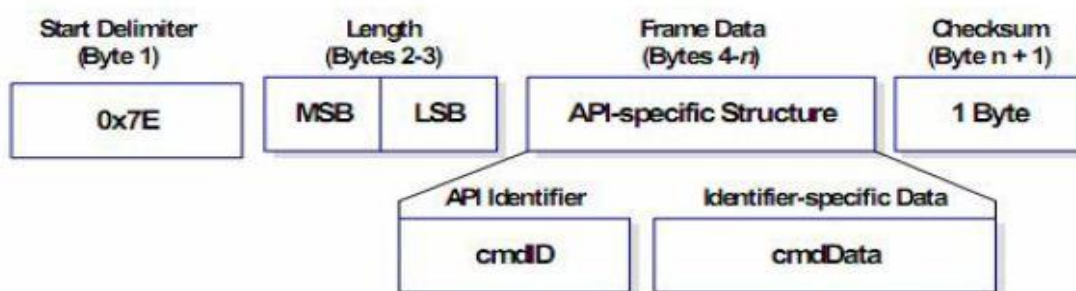


Figura 10 - Estrutura de um *Frame API*

Fonte: Manual *XBee*

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 demonstrado na Figura 11.

<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 11 – *Frame API*

Fonte: Manual *XBee*

O endereço de *16-bits* é um endereço de rede única atribuído a cada nó quando se une a uma *PAN*. No entanto, os endereços de rede não são estáticos e podem alterar. Uma das duas condições seguintes validará um nó a receber um novo endereço de rede:

- a) Se um dispositivo final não pode se comunicar com seu pai ele pode precisar sair da rede e voltar para encontrar um novo pai;
- b) Se houver alterações do tipo roteador para dispositivos final ou vice versa, o dispositivo irá deixar a rede e voltar como um dispositivo novo.

O protocolo que requer que os dados sejam enviados para um destino através de seu endereço de *16-bits*. Para tanto o endereço precisa ser descoberto antes de transmitir os dados. No endereço de *64-bits* cada nó contém um endereço único de *64-bits*. Este identifica um nó e é nativo do dispositivo.

7. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Este projeto está sendo desenvolvido em etapas para melhor adequação do sistema com as reais demandas das companhias de distribuição de energia elétrica, resumidamente dividido como uma análise de caso e referência bibliográfica, análise das necessidades e problemas de atendimento das companhias, montagem de um protótipo em escala para prova de conceito dos sensores e funcionalidades da rede, e o desenvolvimento do software de controle e monitoramento de falhas.

Utilizando como premissa alguns requisitos básicos avaliados como obrigatórios para o bom funcionamento do sistema e a viabilidade técnica e econômica do projeto, foi iniciada uma pesquisa detalhada sobre as tecnologias atuais disponíveis no mercado de sensoriamento e rede que suprissem as demandas do projeto. Dentre estas necessidades, observamos o baixo consumo de energia, a possibilidade de comunicação entre dispositivos com alta confiabilidade, o grande alcance, a capacidade de suportar vários dispositivos conectados na mesma rede e não menos importante, o custo de implementação e manutenção.

Após uma detalhada avaliação das tecnologias de redes industriais comerciais de tempo real, optou-se pela utilização da tecnologia conhecida como *ZigBee*, que foi criada em 2002, quando algumas empresas, (*Honeywell, Invensys, Philips e a Mitsubishi Electric*), uniram seus esforços para criar um consórcio, a *ZigBee Alliance*, com o intuito de desenvolver um padrão que atendesse a diversos requisitos, entre eles, confiabilidade na entrega dos dados, baixo consumo de energia, baixo custo de produção, baixa irradiação de espúrios no meio, padrão global aberto.

Observando as tendências de mercado das redes industriais com comunicação sem fio, em 2003, a IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) estabeleceu o novo padrão 802.15.4, que serve como base para as camadas física (PHY) e de enlace (MAC) do *ZigBee*. Esta tecnologia é dotada ainda das camadas de rede e de aplicação (subdividida), o que faz dela uma categoria singular e com propósitos específicos de WPAN (*Wireless Personal Area Network*). Diferente das redes de comunicação sem fio dos padrões 802.11 e 802.16, que também compartilham faixas de frequências de operação similares ISM (livres de licença), o padrão 802.15.4 foi especialmente desenvolvido para comunicações de longo alcance com consumo reduzido utilizando baixa potência de transmissão, sem a necessidade de altas taxas de transmissão de dados no enlace.

7.1. Configuração dos Sensores

Para iniciar a configuração dos dispositivos de comunicação *ZigBee* foi definida a topologia de rede 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 através da programação da função *RFD* (*Reduced Function Device*) e os demais coordenadores e roteadores como *FFD* (*Full Function Device*).

Na prova de conceito, realizada através de um modelo em escala reduzida, foram utilizados dispositivos de rede *ZigBee*, relés de corrente, chaves de operação binárias (*On-Off*), *LEDs* e demais componentes eletrônicos de interfaceamento, simulando a situação real de uma rede elétrica com dois transformadores operando em regime constante, sendo que cada um possuía um dispositivo *ZigBee* de sensoriamento atuando configurado como *End Device* (dispositivo final) na função *RFD*, para economia de energia, e as chaves de operação binária simulavam uma situação de falha por desarme de fusível de um determinado transformador escolhido. Quando o sensor instalado em cada transformador percebe esta queda de energia elétrica da rede de distribuição, o dispositivo final envia imediatamente uma requisição de verificação e manutenção para a central de monitoramento e controle, já informando os seus endereços de 16 bits e 64 bits e o nome de rede em *ASCII*, chamado de NI, que contém além de uma chave de banco de dados, as informações de endereço do transformador e do ponto de falha.

Para melhorar a dinâmica da rede e proporcionar um maior alcance, entre os dispositivos finais que atuam como sensores de falhas, foram posicionados novos dispositivos *ZigBee* configurados 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 falhas enviadas pelos dispositivos finais e passar as mesmas diretamente ao *software* de gerenciamento, para que assim ele possa converter este *frame* enviado em modo *API* para um formato de melhor visualização e emissão de uma ordem de serviço automática para as equipes de manutenção.

Os módulos *ZigBee* configurados como dispositivos finais para atuarem como sensores, devem ser instalados diretamente nos postes de transformadores de distribuição de

energia elétrica, de baixa e médias tensões de corrente alternada, porém eles operam com tensões de corrente contínua de no máximo 3,4V. Como solução mais segura e eficiente do ponto de vista da fonte de alimentação do sensor, optamos por utilizar nestes dispositivos uma bateria interna, e para aumentar a vida útil da mesma para pelo menos 5 anos de operação, os dispositivos *ZigBee* atuam configurados como dispositivos finais com funções reduzidas (*RFD*) e são forçados para permanecerem modo *sleep* (dormindo) até que algum problema seja detectado no transformador, 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, informando em qual transformador ocorreu a falha e gerando uma ordem de serviço para a equipe de manutenção mais próxima, conforme pode ser visto no fluxograma da Figura 12.



Figura 12 - Organograma de Funcionamento do Dispositivo Final

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 requisição de atendimento através de seus nós, Configurando assim uma rede *mesh*.

Na central de controle e monitoramento está sendo utilizado um dispositivo configurado como *Coordinator* (coordenador) que atua como *FFD*, sendo este encarregado de receber o *frame* contendo as informações sobre o problema detectado e procedendo ao encaminhamento da tomada de decisão, conforme demonstrado na Figura 13.

Para o sensoriamento das falhas nos transformadores foram utilizadas as facilidades das portas de comunicação *I/O* dos dispositivos *ZigBee* configurados com perfil de *Router/End Device*, fazendo com que os mesmos permanecessem em modo *sleep* até que fosse detectado algum problema de interrupção de energia no transformador, desta forma acordando (*Wake-up*) o dispositivo, que está programado para enviar imediatamente um frame de dados ao coordenador da rede informando exatamente em qual transformador ocorreu o problema, com respectivas data e hora do evento. Os demais dispositivos *ZigBee* da rede, que também são configurados como *Router/End Device* possuem a função adicional de rotear o sinal quando for necessário para garantir a entrega do dado, formando assim uma rede adaptativa (*mesh*).

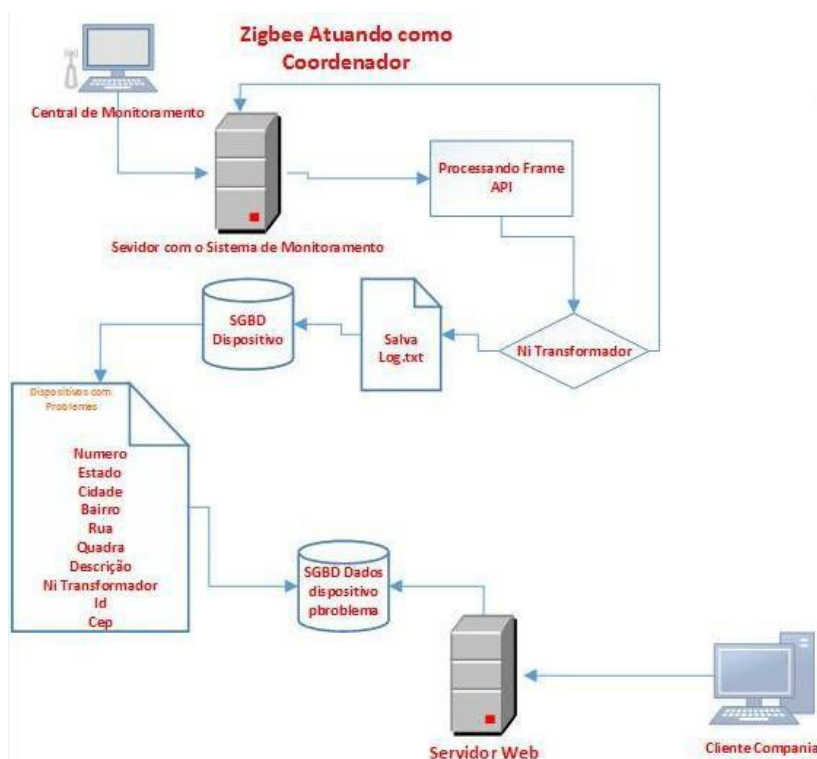


Figura 13- Organograma de Funcionamento do Coordenador

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

Ao utilizar-se um módulo *Xbee* pela primeira vez é necessária a realização de uma configuração por meio de um computador, através 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 à nível de modificação do *firmware* interno de cada módulo (*API* e *AT*). A configuração do módulo do sensor *ZigBee* esta exemplificada na Figura 14.

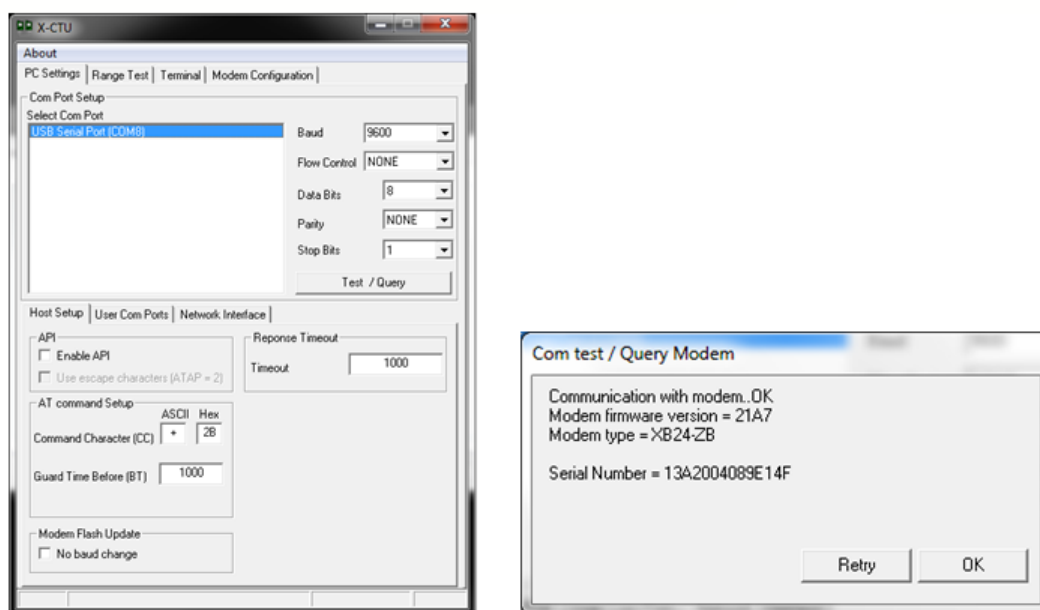


Figura 14 - Configuração dos Módulos do Sensor *ZigBee*

Para configuração dos módulos *ZigBee* é necessário que o *firmware* do dispositivo esteja atualizado. Além da atualização é necessária a modificação de alguns parâmetros para que os módulos se comuniquem e se comportem de acordo com suas funcionalidades (coordenador, roteador e dispositivo final).

Os procedimentos de configuração para o módulo coordenador são descritos abaixo e a impressão da tela de configuração pode ser observada na Figura 15.

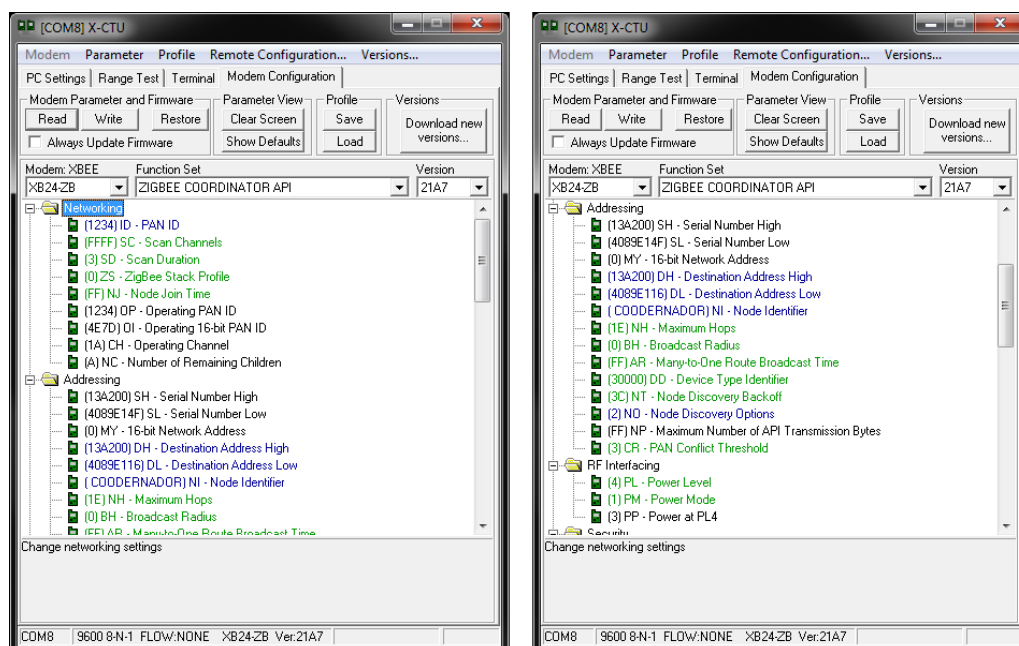


Figura 15 - Configuração dos Módulos *ZigBee* dos Sensores

Para a programação dos módulos *ZigBee* foram configurados os seguintes pontos utilizando o *software X-CTU*:

- a) O campo *PAN ID*, que é necessário para se criar uma rede privada, somente *ZigBee's* com a mesma *PAN ID* conseguiram se enxergar na rede.
- b) *DH* (SH do módulo roteador), que tem a finalidade para a comunicação ponto a ponto, onde é necessário preencher com o endereço SH do módulo roteador. Caso a conexão seja para múltiplos dispositivos na rede, utilizar o valor em zero.
- c) *NI* (*Node Identifier*) é o nome no qual o *ZigBee* será reconhecido na rede, no qual está livre sua escolha, para um melhor entendimento o nome coordenador foi escolhido.

No dispositivo configurado como dispositivo final, a configuração diferencia somente na parte da configuração do modo *sleep*, que fará com que o dispositivo que estará no ponto da rede, permaneça em estado *sleep*, ou seja, dormindo até que aja alguma anomalia na rede e imediatamente ele acorde mandando um *frame API* para o coordenador.

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

O banco de dados é o responsável por armazenar as informações dos dispositivos e também dados de geoposicionamento do sensor em campo, e manter todas as informações do sistema gravadas para consulta em qualquer tempo.

Este banco de dados foi escolhido devido seu alto desempenho, confiabilidade, compatibilidade com ferramentas de desenvolvimento. A linguagem de programação *web* usada no projeto que é o PHP, que oferece entre outras vantagens já discutidas anteriormente, a baixa exigência de processamento (em comparação com outros SGBD), os recursos como *transactions* (transações), a conectividade segura, a indexação de campos texto e replicações.

Após ser definida a linguagem mais adequada para as atividades de interfaceamento e arquivamento das informações obtidas, foi desenvolvido o diagrama de funcionamento do banco de dados, onde estão contidas todas as tabelas e relacionamentos que o banco de dados necessita e gera durante a operação.

7.3. Operação do Banco de Dados

Na Tabela usuários estão contidos todos os *logins* de acesso dos colaboradores que trabalham na Central de Monitoramento da Distribuidora de Energia Elétrica. O colaborador só pode acessar as demais tabelas se a situação do sistema de autenticação for satisfeita. Na Figura 16 está exemplificada a estrutura de funcionamento do banco de dados.

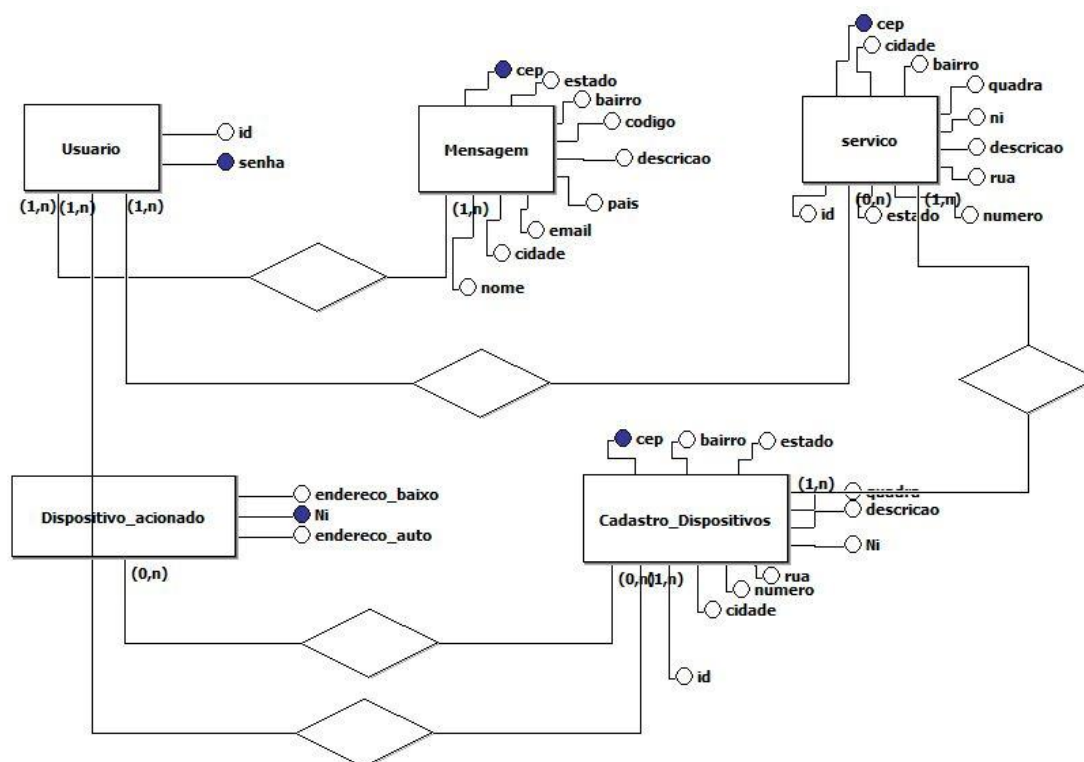


Figura 16 - ER do Banco de dados da Central de Monitoramento

Na Tabela “Serviço” estão todas as ordens de serviços que foram emitidas automaticamente após o acionamento do sensor, juntamente com seus respectivos dados de localização.

Na tabela “Mensagens” estão contidas todas as mensagens enviadas pelos cliente através do serviço de ouvidoria, com fim de interagir de forma eficiente para assim contribuir com o crescimento da empresa.

Na Tabela “Cadastro_Dispositivos” estão contidas as informações de localização de todos os novos dispositivos que irão integrar algum ponto da rede de distribuição de energia elétrica da concessionária monitorada.

A Tabela “Dispositivo_Acionado” tem a finalidade de receber as informações de endereço auto e baixo dos dispositivos que foram acionados nos determinados pontos da rede

elétrica em que houve a falha. Estes endereços são comparados com os Campos “Ni transformador” da Tabela “Cadastro_Dispositivo”, e caso seja igual ele irá realizar um *select* nos dados daquele determinado dispositivo, e assim gerar a Tabela Serviços.

Na Figura 17 observa-se a interface de interação com o cliente. A tabela “Cliente” consta os dados de identificação dos clientes, como código do cliente e nome. O cliente só poderá ter acesso as demais tabelas se a situação do sistema de autenticação for satisfeita.

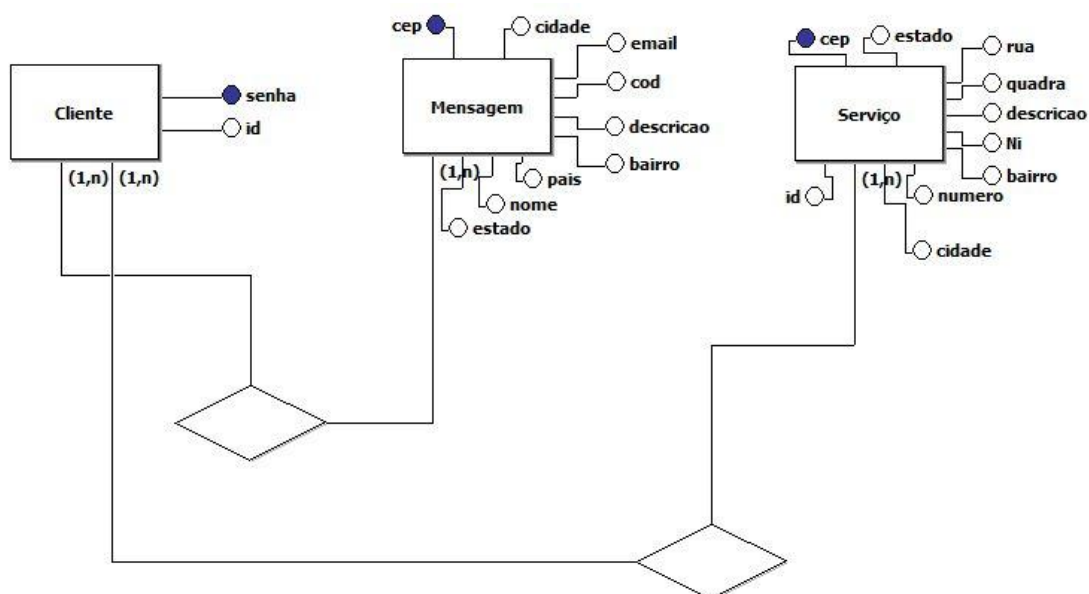


Figura 17 - ER do Banco de dados - Interface de Interação com o Cliente

Na tabela “Mensagens” ficam armazenadas as mensagens enviadas pelo clientes através do serviço de ouvidoria, com finalidade específica de interagir de forma eficiente com os mesmos, para assim contribuir com o crescimento da empresa.

Na tabela “Serviço” estão todas as ordens de serviços que foram emitidas atômica e após o acionamento do sensor juntamente com seus respectivos dados de localização, levando em consideração a hierarquia de atendimento.

7.4. Operação da Interface de Relacionamento com os Clientes

Com o intuito de oferecer aos clientes uma maior transparência e uma sensação de atendimento semelhante ao *Call Center*, foram desenvolvidas diversas telas de interface remota com a Central de Monitoramento e Controle, conforme observado nas Figuras 18, 19 e 20, que demonstram o funcionamento do sistema de maneira completa:

Efetuar Login		
Identificação do Caso	Efetuar Login	
Atores Envolvidos	Usuário	
Pré Condições		
Descrição Geral	Usuário efetua login no site através de HTTP	
Cenário	Usuario efetua login no site	
Passo	Ação do Autor	Ação do Sistema
1	Acessa o site HTTP hospedado no servidor	
2		Exibe Pagina de Login
3	Informa login e senha	
4		Valida as informações
5		Libera o Acesso as demais paginas do site
Observação:		
Os dados do usuários ficam armazenados na base de dados do servidor web		

Figura 18 – Tela de *Login* dos Clientes

Visualizar informações da Empresa		
Identificação do Caso	Visualizar informações da Companhia de Distribuição de Energia Elétrica	
Atores Envolvidos	Usuário	
Pré Condições	Usuario ter efetuado o login no sistema	
Descrição Geral	Usuário visualiza os informação da Companhia de Distribuição de Energia Elétrica através do site HTTP	
Cenário	visualizar ordem de serviço expedida Automaticamente pelo sistema.	
Passo	Ação do Autor	Ação do Sistema
1	Acessa a pagina de consulta de ordem de serviço expedida	
2		Exibe informações referente a ordem
3	Informa login e senha	
4		Valida as informações
5		Libera o Acesso as demais paginas do site
Observação:		
Os dados do usuários ficam armazenados na base de dados do servidor web		

Figura 19 – Tela de Visualização das Informações da Empresa

Mandar mensagem Setor Ouvidoria		
Identificação do Caso	Visualizar pagina de contato do site da Companhia de Distribuição de Energia Elétrica	
Atores Envolvidos	Usuário	
Pré Condições	Usuario ter efetuado o login no sistema	
Descrição Geral	Usuário visualiza a pagina e efetuar o encaminhamento da mensagem para a central de Ouvidoria da Companhia de Distribuição de Energia Elétrica através do site HTTP	
Cenário	Enviar a mensagem para o setor de ouvidoria.	
Passo	Ação do Autor	Ação do Sistema
1	Acessa a página do setor de ouvidoria	
2		Exibe informações do formulario para o envio da mensagem
3	Informa login e senha	
4		Valida as informações
5		Libera o Acesso as demais paginas do site
Observação:		
Os dados do usuários ficam armazenados na base de dados do servidor web		

Figura 20 – Tela de Contato com a Ouvidoria

7.5. Operação da Interface da Central de Monitoramento

De forma análoga a interface do cliente, também são oferecidas telas de operação interna da Central de Controle e Monitoramento das falhas de distribuição de energia, conforme demonstrado nas Figuras 21a 26:

Visualizar Dispositivos cadastrados e atuando na rede		
Identificação do Caso	Visualizar dispositivos cadastrado e que estão atuando	
Atores Envolvidos	Funcionario	
Pré Condições	Funcionario ter efetuado o login no sistema	
Descrição Geral	Funcionario Visualizar dispositivos cadastrado e que estão atuando através do site HTTP	
Cenário	Visualizar Dispositivos que já estão atuando na redes de energia elétrica	
Passo	Ação do Autor	Ação do Sistema
1	Acessa a pagina de Dispositivos que estao atuando	
2		Exibe informações referente aos dispositivos que já estao atuando em determinados pontos da rede
3	Informa login e senha	
4		Valida as informações
5		Libera o Acesso as demais paginas do site
Observação:		
Os dados do Funcionario ficam armazenados na base de dados do servidor web		

Figura 21 – Tela de Visualização dos Dispositivos da Rede de Sensores

Efetuar Login Funcionario da Central de Monitoramento da Companhia de Distribuição de Energia		
Identificação do Caso	Efetuar Login	
Atores Envolvidos	Funcionario	
Pré Condições		
Descrição Geral	Funcionario efetua login no site através de HTTP	
Cenário	Funcionario efetua login no site	
Passo	Ação do Autor	Ação do Sistema
1	Acessa o site HTTP hospedado no servidor	
2		Exibe Pagina de Login
3	Informa login e senha	
4		Valida as informações
5		Libera o Acesso as demais paginas do site
Observação:		
Os dados do Funcionario ficam armazenados na base de dados do servidor web		

Figura 22 – Tela de *Login* dos Funcionários da Companhia de Energia

Cadastrar sensores Novos que estaram atuar na rede		
Identificação do Caso	Visualizar formulario de cadastro de dispositivo novos que iram para os pontos a serem monitorados da rede	
Atores Envolvidos	Funcionario	
Pré Condições	Funcionario ter efetuado o login no sistema	
Descrição Geral	Funcionario Visualizar formulario de cadastro de dispositivo novos através do site HTTP	
Cenário	Visualizar formulario de cadastro de dispositivo novos	
Passo	Ação do Autor	Ação do Sistema
1	Acessa a pagina de Cadastro de dispositivos	
2		Exibe informações referente a ordens de Serviço e o mapa do ponto exato
3	Informa login e senha	
4		Valida as informações
5		Libera o Acesso as demais paginas do site
Observação:		
Os dados do Funcionario ficam armazenados na base de dados do servidor web		

Figura 23 – Tela de Cadastro de Novos Sensores Instalados na Rede Elétrica

Impressão de Ordens de Serviço e seus respectivos Chamados		
Identificação do Caso	Imprimir Ordens de Serviços que foram gerados pelo sistema e seu respectivos chamados em Ordem de Prioridade	
Atores Envolvidos	Funcionario	
Pré Condições	Funcionario ter efetuado o login no sistema	
Descrição Geral	Funcionario irá imprimir através do site HTTP	
Cenário	Visualização e impressão dos dados da ordens de serviço	
Passo	Ação do Autor	Ação do Sistema
1	Acessa o recurso de impressão do sistema	
2		imprime ordens de serviço em ordem de prioridade
3	Informa login e senha	
4		Valida as informações
5		Libera o Acesso as demais paginas do site
Observação:		
Os dados do Funcionario ficam armazenados na base de dados do servidor web		

Figura 24 – Tela com Funcionalidades de Impressão das Ordens de Serviço

Visualizar Chamados e ordem de Restabelecimento de Energia Elétrica		
Identificação do Caso	Visualizar Chamados e Ordens de Serviço Expedidas Pelo Sistema da Companhia de Distribuição de Energia Elétrica	
Atores Envolvidos	Funcionario	
Pré Condições	Funcionario ter efetuado o login no sistema	
Descrição Geral	Funcionario visualiza Chamados e Ordens de Serviço Expedidas através do site HTTP	
Cenário	visualizar ordem de serviço	
Passo	Ação do Autor	Ação do Sistema
1	Acessa a pagina de consulta de ordem de serviço expedida	
2		Exibe informações referente a ordens de Serviço e o mapa do ponto exato da falha com interação com o Google Maps
3	Informa login e senha	
4		Valida as informações
5		Libera o Acesso as demais paginas do site
Observação:		
Os dados do Funcionario ficam armazenados na base de dados do servidor web		

Figura 25 – Tela de Visualização de Chamados para Reestabelecimento da Energia

Central de Ouvidoria		
Identificação do Caso	Visualizar pagina de mensagem enviadas pelos clientes da Companhia de Distribuição de Energia Elétrica	
Atores Envolvidos	Funcionario	
Pré Condições	Funcionario ter efetuado o login no sistema	
Descrição Geral	Funcionario visualiza as mensagens encaminhamento pelos clientes para a central de Ouvidoria da Companhia de Distribuição de Energia Elétrica através do site HTTP	
Cenário	Visualiza as mensagens enviadas pelos clientes	
Passo	Ação do Autor	Ação do Sistema
1	Acessa a pagina do setor de ouvidoria	
2		Exibe as mensagem que foram enviadas
3	Informa login e senha	
4		Valida as informações
5		Libera o Acesso as demais paginas do site
Observação:		
Os dados do usuários ficam armazenados na base de dados do servidor web		

Figura 26 – Tela de Consulta e Visualização dos Chamados para a Ouvidoria

Após o desenvolvimento do diagrama de atendimento, foi iniciada a implementação propriamente dita do banco de dados, onde utilizou-se o *phpMyAdim*, que gerou as tabelas com seu respectivos campos, exemplificada na Figura 27.

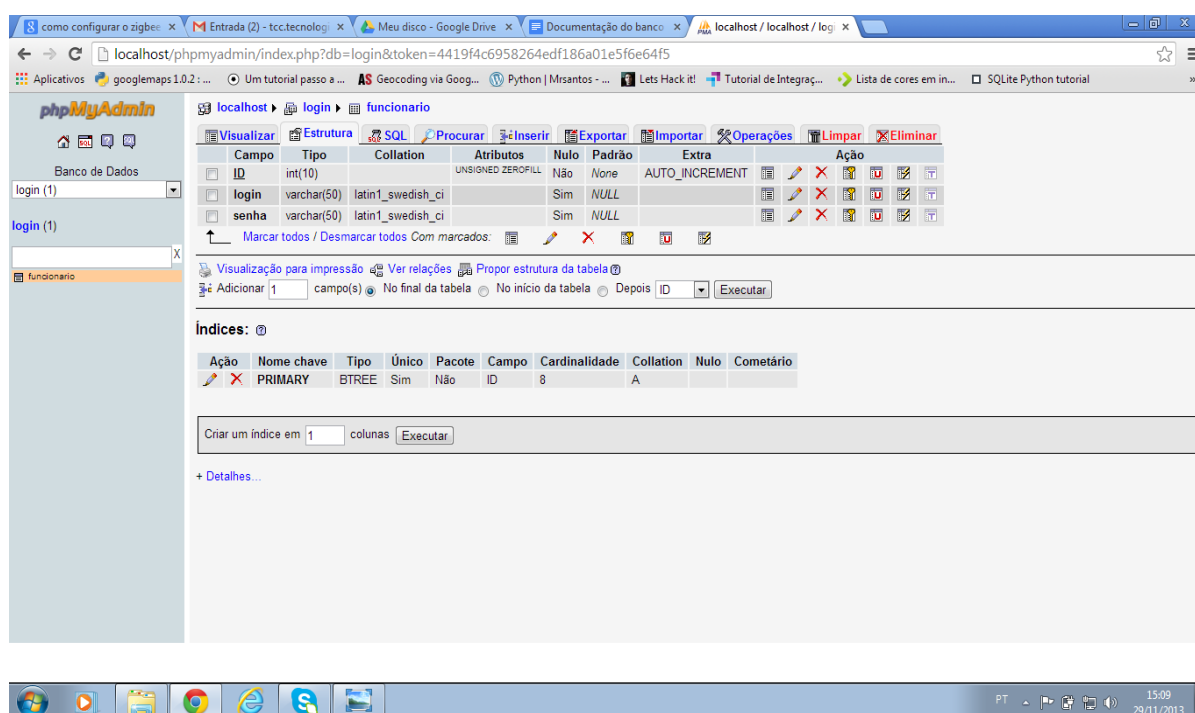


Figura 27 – Implementação do Banco de Dados

7.6. Acionamento dos Sensores e Identificação do Software

Após o término do banco de dados foram iniciados os processos de criação do *software* de controle e a interação com os sensores. Foi realizado um estudo relacionado as linguagem de programação existente no mercado e chegou-se a uma conclusão que a linguagem que se adaptava melhor com os sensores *ZigBee* era a linguagem *Python*, por ser uma linguagem orientada a objeto e que faz uso de várias bibliotecas de interação com os sensores, utilizando uma ferramenta disponibilizada pela *Digi ESP for Python*.

O funcionamento do *software* segue a seguinte sequência: no momento que o sensor é ativado pelo acionamento da relé, ele faz o aterramento do pino 20 do sensor, que por sua vez faz com que ele saia do modo *sleep* e envie automaticamente para a central um *Frame API* contendo o endereço alto e baixo do dispositivo. O sistema de interface que foi programado usando a linguagem *Python* gera um arquivo de *log* com os dados recebidos por este *frame* e posteriormente compara estes dados de *log* com o campo da tabela do banco de dados. Após isto, se a condição for satisfeita é gerada uma outra tabela no banco de dados contendo o endereço de localização daquele determinado ponto de falha em que o sensor foi acionado. Estes dados serão gerados automaticamente para a central de monitoramento, que também integra nesta tabela o mapa do ponto exato da falha, mapa este gerado por meio de uma interação com a ferramenta de geoposicionamento do *Google Maps*.

7.7. Decodificação e Monitoramento dos Dados Recebidos

Para leitura da porta serial do computador localizado na Central de Controle e Monitoramento, onde o *ZigBee* coordenador está conectado, foi elaborado um programa para checagem desta porta COM, que é o caminho por onde os dados gerados pelos dispositivos finais utilizados como sensores enviam o *frame* quando são acionados no momento da falha no transformador. O programa necessita permanecer monitorando o fluxo de dados nesta porta serial de forma contínua. Cada vez que alguma informação é trafegada por esta porta o software desenvolvido em *Python* analisa o *frame* e realiza uma tentativa de decodificação para verificar se não se trata de um falso positivo. Uma vez que este dado é realmente originado de um dispositivo sensor em campo, o *frame* é separado através de uma função de *Parse* para que as informações necessárias sejam extraídas, como o endereço alto e baixo e o NI para a identificação do ponto de falha. Estes dados separados são armazenados em arquivos de *log* vinculados as datas e horários da interrupção de energia e a volta ao estado normal. Foi utilizada esta opção de monitoramento da porta serial ao invés de interrogar os sensores em intervalos de tempo pré-determinados para facilitar a leitura dos dados e também para conseguir um maior desempenho no sistema, pois o mesmo apenas gera os dados de localização dos dispositivos que tenham sido atuados por falta de energia ou pelo retorno da mesma. As Figuras 28 e 29 demonstram a programação do sistema em Linguagem *Python*.

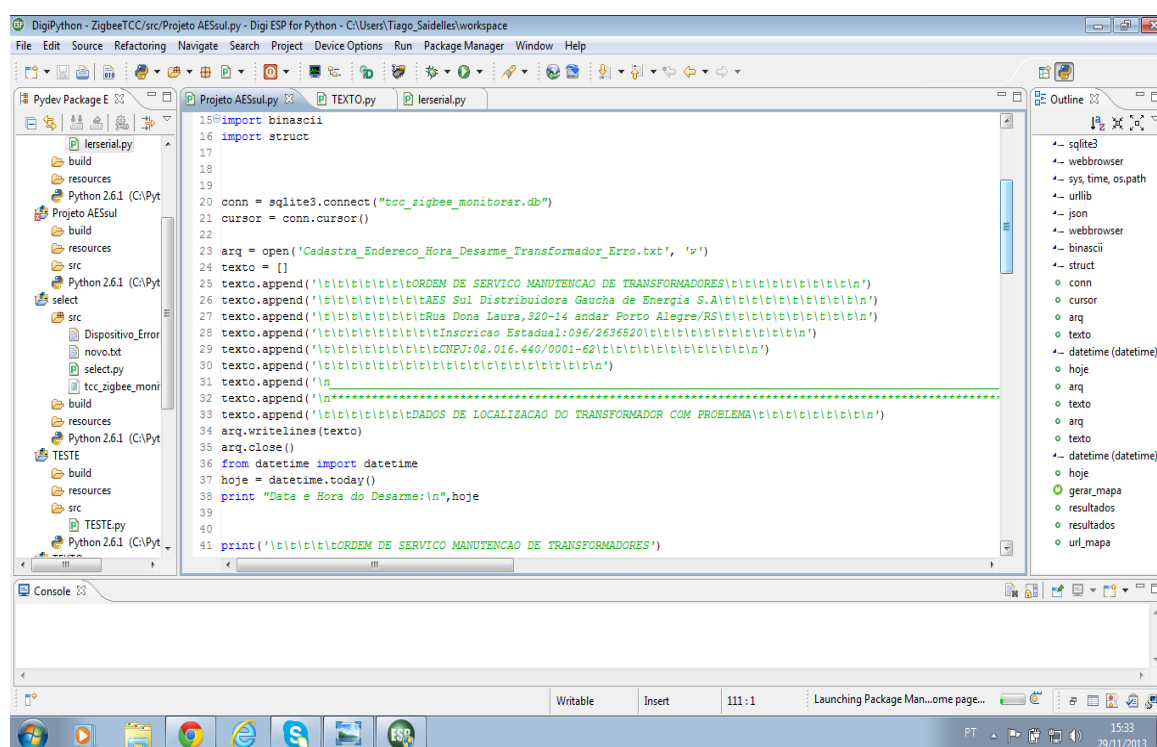


Figura 28 - Sistema Desenvolvido em Linguagem *Python*

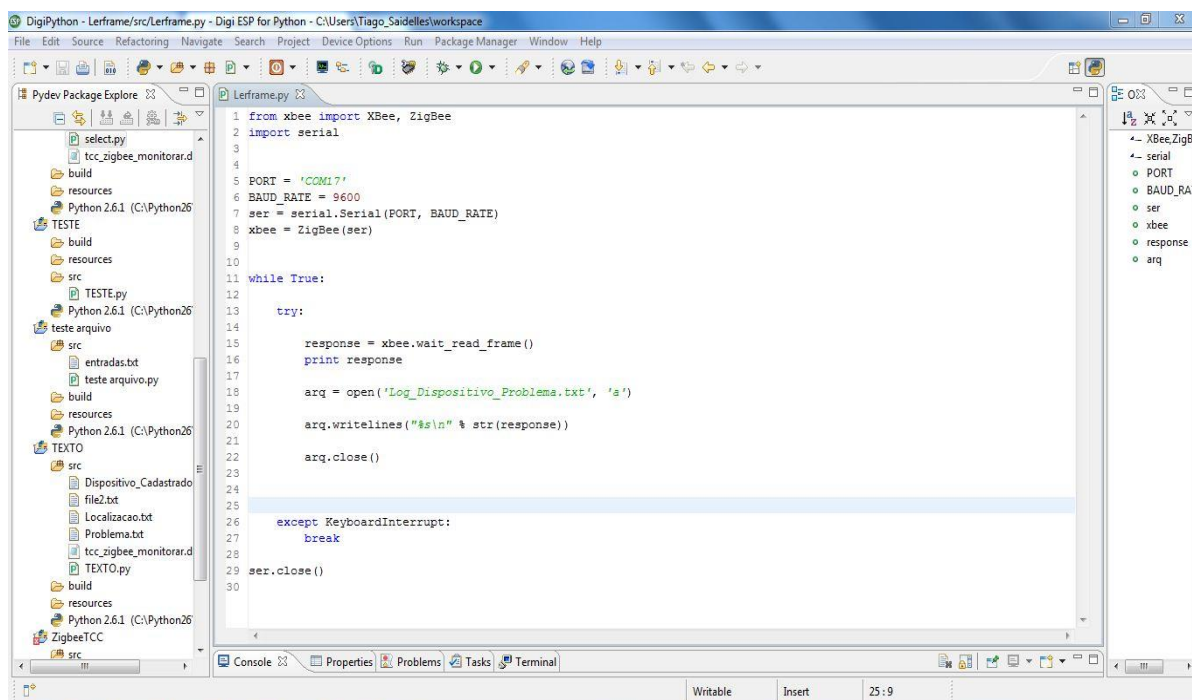


Figura 29 - Sistema para Leitura da Porta Serial

7.8. Operação da Interface em *Python*

Conforme comentado anteriormente, o programa desenvolvido monitora a porta serial em busca de tráfego, e em caso positivo, realiza a tentativa de decodificação deste pacote para a separação do endereço de instalação do sensor de falha de distribuição de energia. Estas informações são agrupadas com sua respectiva data e hora em um banco de dados, conforme demonstrado na Figura 30:

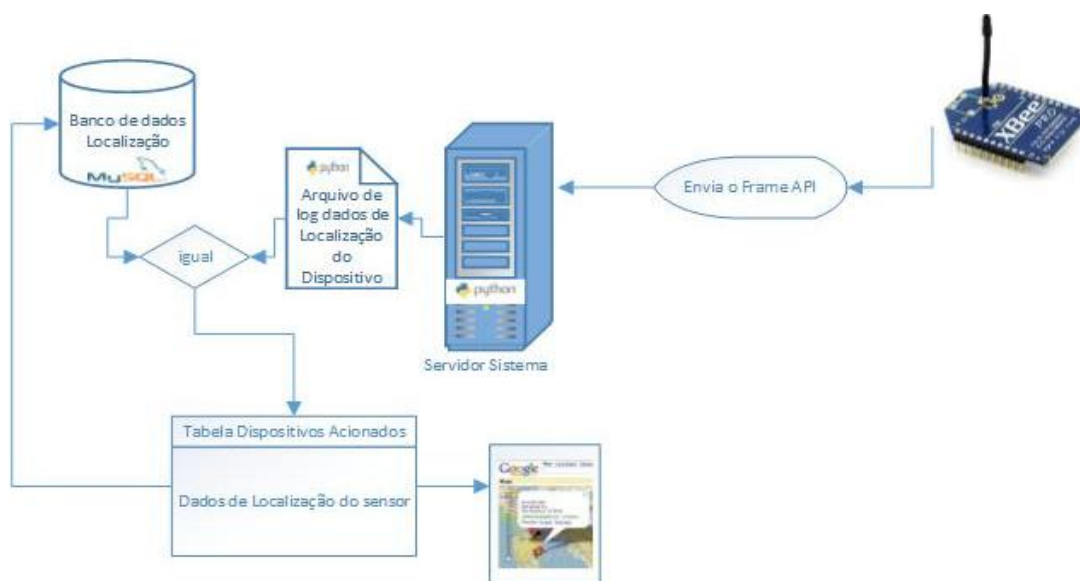


Figura 30 - Organograma de Funcionamento do Sistema

7.9. Tabelas de *Log* do Sistema

Um *log* de eventos é gerado sempre que um sensor for ativado, e este arquivo é chamado de *Dispositivos_Problemas.txt*, onde o sistema adiciona informações contendo os dados individuais de localização de cada dispositivo, ou seja, o seu endereço alto e baixo, que é uma identificação única de cada sensor. Desta forma, através da leitura deste arquivo 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 são cadastradas em uma tabela nos SGBD, gerando assim uma ordem de serviço automática pela Central de Monitoramento e Controle.

Neste projeto foi utilizada a gravação de arquivos de *log* para análise posterior devido as seguintes vantagens de operação:

- a) Os arquivos permitem gravar os dados de um programa de forma permanente em mídia digital;
- b) Armazenamento permanente de dados: As informações permanecem disponíveis mesmo que o programa que as gravou tenha sido encerrado, ou seja, podem ser consultadas a qualquer momento.
- c) Grande quantidade dados pode ser armazenada: A quantidade de dados que pode ser armazenada depende apenas da capacidade disponível da mídia de armazenamento. Normalmente a capacidade da mídia é muito maior do que a capacidade disponível na memória RAM.
- d) Acesso concorrente: Vários programas podem acessar um arquivo de forma concorrente. Na Figura 31 é demonstrado o arquivo gerado pelo sistema (*Dispositivo_problema.txt*). Este arquivo apresenta todos os dispositivos que foram acionados, armazenando os endereços MAC de 64 bits de identificação, sendo estes dados únicos, pois são fornecidos pelo fabricante dos módulos.



Figura 31 - Arquivos de *Log* do Sistema

Após a comparação dos dados do arquivo *Dispositivo_problema.txt* com os dados dos respectivos campos do banco de dados, se a condição for satisfatória é gerado um arquivo de *log* chamado *Aquivo_de_Log.txt*, onde são armazenados todos os dados de localização dos sensores que foram acionados, conforme demonstrado na Figura 32:

```

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

{source_addr_long: '\x00\x13\xa2\x00@\x8a&\xb7', source_addr: '\x89\xdb', parent_source_addr: '\x01', 'digi_profile_id': '\xc1\x05', 'options': '\x02', 'sender_addr: '\x89\xdb', 'source_event': '\x01', 'node_id': 'SENSOR DO TRAF0 01',
{source_addr_long: '\x00\x13\xa2\x00@\x8a&\xb7', source_addr: '\x89\xdb', id: '\x_0_data_long_addr', 'samples': [{'dio-0': False}], 'options': '\x01'}
{source_addr_long: '\x00\x13\xa2\x00@\x8a&\xb7', source_addr: '\x89\xdb', id: '\x_0_data_long_addr', 'samples': [{'dio-0': True}], 'options': '\x01'}
{source_addr_long: '\x00\x13\xa2\x00@\x8a&\xb7', source_addr: '\x89\xdb', parent_source_addr: '\x01', 'digi_profile_id': '\xc1\x05', 'options': '\x02', 'sender_addr: '\x89\xdb', 'source_event': '\x01', 'node_id': 'SENSOR DO TRAF0 01',

```

Figura 32- Dispositivos com Falha de Energia Sinalizados

No momento da criação do arquivo de *log* pelo sistema, os dados são cadastrados em uma tabela no banco de dados, sendo que nesta constam os nomes dos dispositivos que foram acionados de acordo com o campo NI dos módulos, conforme demonstrado nas Figuras 33 e 34:

+ Opções			
← T →	Endereco_zigbee	Numero	id
<input type="checkbox"/>	source_addr_long	SENSOR DO TRAF0 01	689
<input type="checkbox"/>	source_addr_long		690

Figura 33 - Tabela de *Log* do Sistema

+ Opções										
← T →	Numero	Estado	Cidade	Bairro	Rua	Quadra	Extra_Descricao_Local	Ni_Transformador	Cep	
<input type="checkbox"/>	SENSOR DO TRAF0 01	RS	SANTA MARIA	TANCREDO NEVES	AVENIDA PAULO LAUDA	106	PERTO DO TERMINAL DE ONIBUS	01	97032-000	

Figura 34 - Tabela Ordem de Serviço

Estes dados são comparados com os respectivos campos da tabela, onde estão contidos todos os dispositivos que estão dispostos na rede. Desta forma a consulta só retorna os dados de localização dos dispositivos onde o campo “Número” corresponder, conforme demonstrado na Figura 35.

Numero	Estado	Cidade	Bairro	Rua	Quadra	Extra_Descricao_Local	Ni_Transformador	Cep
SENSOR DO TRAF01	RS	SANTA MARIA	TANCREDO NEVES	AVENIDA PAULO LAUDA	106	PERTO DO TERMINAL DE ONIBUS	01	97032-000

Figura 35 - Tabela de Dispositivos Cadastrados

Após esta etapa de comparação os dados são armazenados em uma tabela no banco de dados chamada “Serviços”.

7.10. Teste de Integração em Escala Reduzida

Para os primeiros ensaios de funcionamento da integração das interfaces com os sensores foi desenvolvido um protótipo em escala reduzida, onde foram utilizados três dispositivos *ZigBee*, relés de comutação à seco, chaves de comutação binárias (*on-off*), fontes de alimentação, *Leds* de sinalização, resistores, entre outros componentes. Foi montada uma maquete simulando a situação real de uma rede elétrica com dois transformadores, sendo que cada transformador possuía um dispositivo *ZigBee* atuando como sensor de falta de energia, configurado em modo *sleep* e *End device* (dispositivo final). As chaves binárias simulavam uma situação de queda de fusível de um determinado transformador. Com esta queda, o dispositivo final enviava um sinal para a central de monitoramento informando o endereço auto e baixo do sensor que estava atuado naquele momento. Entre os dispositivos finais foram colocados *ZigBee* atuando somente como roteadores para estender o alcance de comunicação, formando uma rede *mesh* com maior confiabilidade. Estes dispositivos posteriormente foram substituídos por *gateway* com interface de comunicação 3G para ter um maior dinamismo na operação e uma entrega mais segura dos dados na Central de Monitoramento.

Os módulos de comunicação *XBee* foram escolhidos para todas as comunicação RF do projeto, por se tratar de um dispositivo pequeno, de baixo consumo e por possuir diversas funções embarcadas.

8. CONSTRUÇÃO DO MÓDULO SENSOR

Sensores são dispositivos que mudam de estado conforme a interação com o ambiente. Seu *hardware* pode ser composto por diversos componentes eletrônicos 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 saídas analógicas tem 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.

Este talvez tenha sido o desafio mais complexo do projeto, pois como pode ser visto anteriormente, cada tipo de sensor tem as suas especificidades e são eficazes para algumas situações, mas não para outras. O ambiente externo das redes elétricas é agressivo e necessita de um maior cuidado com o aspecto relacionado a desgastes físicos causado por chuva, sujeira, vento e demais fatores, dificultando muito a instalação de um dispositivo que atenda bem aos requisitos com tantas variáveis.

O sensor utilizado no projeto foi construído usando vários componentes eletrônicos, para que assim se desenvolvesse um sensor resistente e que suprisse a necessidade real do projeto, levando em consideração os pré-requisitos da rede de comunicação, conforme diagrama demonstrado na Figura 36.

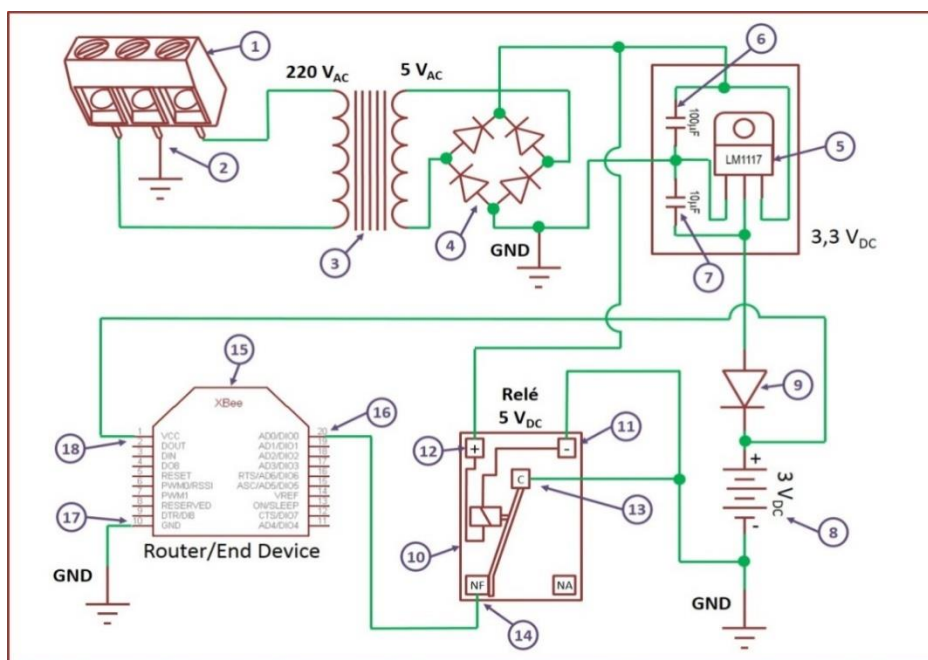


Figura 36- Circuito do Sensor Implementado

Para confecção do sensor foram utilizados os seguintes dispositivos:

1 - Entrada de energia geral - Alimenta o circuito todo, carrega as baterias e aciona o relé para indicar que tem energia na rede elétrica.

2 - Pino de aterramento do sistema e entrada de energia - Serve de proteção contra eventuais descargas elétricas e segurança dos operadores e equipamentos.

3 - Transformador de energia - É um transformador de potência constante, onde é alimentado com 220V de corrente alternada (ou a tensão que for necessária) e rebaixa esta tensão para 5V também em corrente alternada, com o objetivo de acionar o relé de detecção de energia e alimentar o resto do circuito.

4 - Ponte retificadora - Serve para transformar a tensão de 5V de corrente alternada para 5V de corrente contínua.

5 - Regulador de tensão LM 1117 3,3V - Serve para regular a tensão de 5VDC em 3,3VDC.

6 - Capacitor eletrolítico de 100uF x 16V - Serve como um filtro de *ripple* para a tensão de entrada oriunda da ponte retificadora.

7 - Capacitor eletrolítico de 10uF x 16V - Serve como um filtro para eliminação de ruído para a tensão de saída de 3,3V que foi regulada pelo LM 1117.

8 - Bateria recarregável - Estas baterias recarregáveis tem o objetivo de manter o módulo *ZigBee* alimentado durante uma falta de energia, transmitindo o sinal necessário para a central de controle. Estas baterias na atual configuração tem a capacidade de manter o *ZigBee* operando por mais de 72 horas ininterruptas após o término da energia, e necessita em torno de 1 hora após a volta da energia para estar totalmente recarregada.

9 - Diodo 1N4007 - Semicondutor responsável pelo bloqueio da tensão das baterias para o resto do circuito em caso de falta de energia, onde somente o *ZigBee* será capaz de utilizar sua carga para operar.

10 - Relé de 5V de dois estados com contatos secos - Este dispositivo tem a função de chavear o funcionamento do circuito de detecção de energia. Em condições normais da rede elétrica monitorada, o circuito está alimentado e o relé por sua vez está acionado pelos 5V de corrente contínua. Nesta condição o contato normalmente aberto do relé está fechado e não está alimentando a entrada D0 do pino 20 do *ZigBee*. Quando a energia elétrica é interrompida, o relé é desenergizado e o contato normalmente fechado aterra o pino 20 (entrada D0) do *ZigBee*, fazendo com que ele envie um *frame* de dados para a central de

controle com suas informações. Neste caso de falta de energia, o relé não consome energia das baterias porque está desligado e bloqueado através do diodo 9.

11 - Contato de alimentação do polo negativo do relé de 5V de corrente contínua.

12 - Contato de alimentação do polo positivo do relé de 5V de corrente contínua.

13 - Contato comum do relé - Conexão do relé que será responsável pelo aterramento do pino 20 do *ZigBee* em caso de falha de energia elétrica.

14 - Contato normalmente fechado do relé - Este contato está sempre conectado quando o relé não estiver energizado.

15 - Módulo *ZigBee* - Módulo configurado como *Router/End Device*.

16 - Entrada D0 do *ZigBee* - Pino 20 do *ZigBee*.

17 - Entrada GND do *ZigBee* - Pino 10 do *ZigBee* - Alimentação do polo de tensão negativa de 3,3V de corrente contínua.

18 - Entrada VCC do *ZigBee* - Pino 1 do *ZigBee* - Alimentação do polo de tensão positiva de 3,3V de corrente contínua.

A última etapa de montagem e a versão final podem ser visualizadas na Figura 37, com o sensor devidamente instalado e todos os módulos ligados.

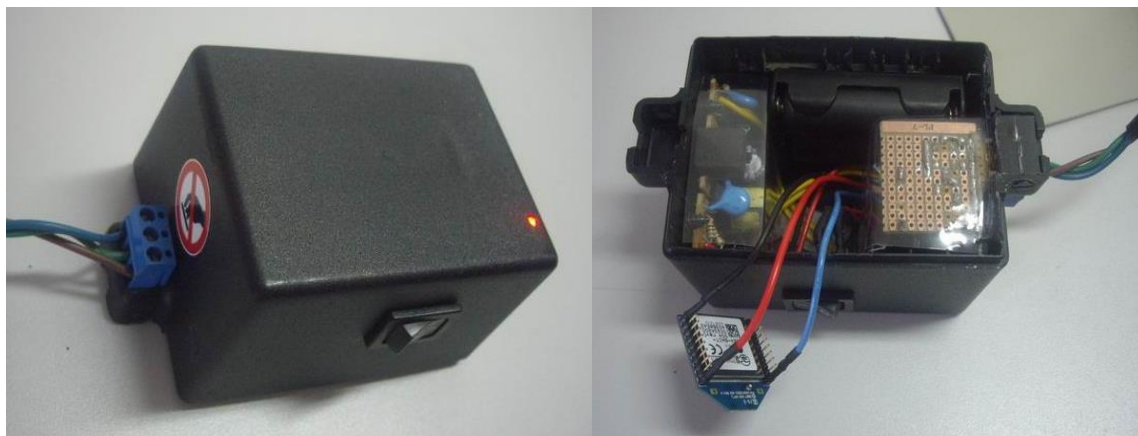


Figura 37 – Protótipo do Sensor Implementado

O módulo fabricado pela *Digi* internacional, que é o módulo *XBee*, possui diversos modelos que alteram a distância máxima de comunicação do dispositivo, a potência consumida, as opções de configuração, entre outros, como por exemplo, podemos 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 utilizado no projeto e possui uma distância máxima de comunicação de 1.600 metros. Na figura 38 estão demonstradas as especificações dos módulos *ZigBee*.

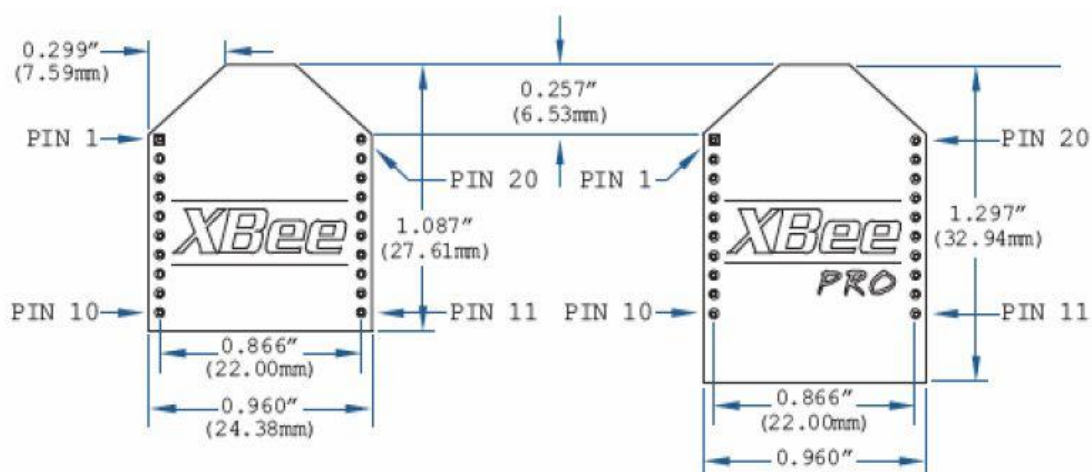


Figura 38 – Especificações do Módulo *ZigBee*
 Fonte: Manual *XBee*

Na Figura 39 está descrito o significado de cada pino dos módulos *XBee/XBee-pro*. Como pode-se observar, existem pinos que podem exercer diferentes funções como, entrada analógica, entrada/saída digital e outros.

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 39 – Descrição das Funções Atribuídas dos Pinos do Módulo *ZigBee*
 Fonte: Manual *XBee*

Quando ocorrer uma queda de fusível em algum transformador o pino 20 do *ZigBee* é aterrado através do relé, e desta forma o dispositivo sai do modo *sleep* e envia um *frame* de dados em modo *API* para o coordenador.

Os módulos *XBee* podem ser configurados para dormir em determinados momentos para que o seu consumo seja reduzido significativamente, permitindo que seja alimentado por pilhas comuns durante um período de tempo prolongado.

O Módulo *XBee* tem seu consumo normal de aproximadamente de 40 *mA*, mas quando está em modo *sleep* seu consumo cai para menos de 1 μA .

O dispositivo que atuará como concentrador das informações e transmissor de longa distância será um *gateway3G* do fornecedor *Digi*.

Gateways Digi com conexão *WAN* no padrão celular e *WiMAX* podem fornecer boa conectividade sem fio e com alta taxa de dados, para aplicações online e dispositivos remotos. Estes produtos podem ser utilizados em redes que exijam alta confiabilidade na conexão para interligar equipamentos em locais remotos. (DIGI, 2010), na Figura 40 contém informações do *Gateway* usado no Projeto.

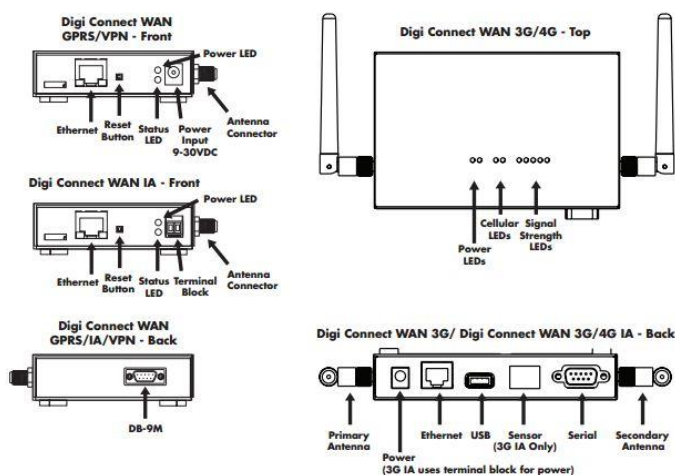


Figura 40 - *Gateway* da *Digi* Utilizado no Projeto
Fonte: Digi.com

8.1. Interfaces de Usuários e Controle

Com o desenvolvimento dos sensores em fase avançada, iniciou-se a programação da interface *web* que automatiza a Central de Monitoramento e Controle.

No primeiro estágio do desenvolvimento da página *web* foi realizado um estudo das linguagens de programação *web* que melhor se enquadravam nas necessidades do projeto. Com o decorrer do estudo optou-se por um conjunto de linguagens que supria estas necessidade, com

a implementação de PHP, HTML, *JavaScript* e CSS. Após a escolha das linguagens foi realizada uma análise de quais pontos seriam mais importantes no desenvolvimento e que necessitavam de maior cuidado, já que o sistema trabalha com dados confidenciais da empresa e dos clientes. O crescimento das redes abertas fez com que surgissem vários problemas de segurança, que vão desde o roubo de senhas e interrupção de serviços até problemas de personificação, onde uma pessoa faz-se passar por outra para obter acesso privilegiado. Com isso, surgiu a necessidade de autenticação, que consiste na verificação da identidade dos e funcionários da empresa e usuários.

Primeiramente foi criado um servidor *web Apache* por meio de um pacote completo chamado *WampServer*, que possibilita a instalação e a configuração de maneira fácil das versões mais recentes do servidor *web Apache*, da linguagem de programação PHP e do servidor de base de dados *MySQL*. As versões que foram instaladas para a elaboração do projeto foram a *Apache 2.2*, *PHP 5.3* e *MySQL 5.5*.

Uma das vantagens de usar o *WampServer* é que a instalação modifica os arquivos de configuração (*.conf*) direto no diretório onde os programas se localizam. Ela também cria um diretório chamado "*www*" que será a raiz de todos os seus documentos.

Mas o *WampServer* não é só um pacote de *software*. Esta aplicação instala um interface que reside na barra de tarefas e que lhe permite lançar, supervisionar e parar os diferentes serviços. Na Figura 41 pode-se verificar a tela inicial do Servidor *WampServer*.



Figura 41 - Servidor *WampServerWeb*

Para a elaboração das páginas *web* foi utilizado um *software* chamado *Adobe Dreamweaver CS6*, que é uma ferramenta inteligente para desenvolvimento de *websites*. Nela, o usuário dispõe de uma série de aplicativos intuitivos para criação/edição de páginas HTML.

Na elaboração da página de *Login* dos funcionários que atuam na central de monitoramento foi levada em consideração a segurança destes dados, que seriam lançados no banco de dados. Uma das maneiras de atribuir segurança nestas informações seria com auxílio de uma ferramenta de criptografia de dados chamada MD5.

O MD5 (*Message - Digest Algorithm 5*) é um algoritmo de *hash* de 128 bits unidirecional desenvolvido pela *RSA Data Security, Inc.*, descrito na RFC 1321, e muito utilizado por *softwares* com protocolo ponto-a-ponto (*P2P*, ou *Peer-to-Peer*, em inglês), com verificação de integridade e *logins*.

Nesta página de *login* o usuário digita os dados de usuário e senha para que possa acessar os demais recursos do sistema de monitoramento, caso o mesmo seja um funcionário que foi admitido, ele irá cadastrar-se no sistema através de um campo de *login* e senha, desta forma poderá acessar o sistema normalmente.

Nas Figuras 42 e 43 são demonstrados exemplos da tela inicial do sistema de monitoramento automático de falhas em transformadores de redes de distribuição de energia elétrica, observando que é o sistema de administração e não dos clientes da rede de energia.

Após clicar no ícone de *login* o usuário poderá inserir seu usuário e senha para ter acesso as demais ferramentas de monitoramento incluídas no sistema.



Figura 42 - Página Inicial da Interface da Central de Monitoramento



Figura 43 - Menu de Opções da Interface da Central Monitoramento

Realizada a autenticação de maneira correta pode-se navegar no sistema e ter acesso as ordens de serviço que são geradas automaticamente pelo desarme dos dispositivos sensores que atuam nos pontos da rede de distribuição de energia elétrica. Nesta informações da tabela do banco de dados, que é responsável por armazenar as informações de localização dos dispositivos que foram acionados, é aplicado um *select*. Esta tabela contém os dados de geoposicionamento e Número, Estado, Cidade, Bairro, Rua, Quadra, CEP, além dos dados físicos do dispositivo, como seu endereço alto e baixo. Concluindo a busca, existe um *link* de interação com a ferramenta de geoposicionamento *Google Maps* para dar maior agilidade as equipes de manutenção na localização exata deste ponto de falha. A Figura 44 demonstra a ordem de serviço.

Ordem de Retabelecimento de Energia Eletrica

AES Sul - Ordens Virtual de Serviços Prioridade no Atendimento [210]	
Endereço_Alto	00:13:a2:00:40:3b:8e:45
Numero	100
Estado	RS
Cidade	Santa Maria
Bairro	Tancredo Neves
Rua	Avenida Paulo Lauda
Quadra	106
Cep	97035-080
Mapa do Ponto Falha	Mapa do Local

Figura 44 - Ordem de Serviço da Central de Monitoramento

O colaborador também tem acesso a outras funções do sistema, dentre elas as mensagens enviadas para central de ouvidoria. A central de ouvidoria tem por objetivo aperfeiçoar os serviços prestados em busca da satisfação dos seus clientes. Ela possui um campo aberto para sugestões, reclamações, elogios e críticas, visando o crescimento social da empresa, conforme demonstrado na Figura 45.

Consulta Ordem de Mensagem de Cliente

Serviço de Ouvidoria

Ordem Envio	49
Nome	tiago Saidelles
Sobrenome	Avenida Paulo Lauda
Codigo	12345677-1
Estado	RS
Cidade	Santa Maria
Email	tcc.tecnologia.redes@gmail.com
Mensagem	Venho Por esta mensagem Parabenizar a eficiência do sistema de Monitoramento automático de falhas.

Figura 45 – Tela de Exemplo do Serviço de Ouvidoria

Outro fator importante no sistema é o fato de que podemos cadastrar os dispositivos sensores novos, que irão integrar na rede de distribuição de energia elétrica. Estes sensores são cadastrados no banco de dados através de um formulário como demonstrado na Figura 46. Neste formulário contém os dados de localização deste sensor e seu endereço alto e baixo fornecido pelo fabricante do módulo.

Sistema de Cadastro de Dispositivo de Monitoramento

Numero:	<input type="text"/>
Estado:	Selecione... ▾
Cidade:	<input type="text"/>
Bairro:	<input type="text"/>
Rua:	<input type="text"/>
Quadra:	<input type="text"/>
Descrição do Local:	<input type="text"/>
Ni_Transformador:	<input type="text"/>
Cep:	<input type="text"/>
<input type="button" value="Concluir meu Cadastro"/> <input type="button" value="Limpar Campos preenchidos!"/>	

Figura 46 - Cadastro de Novos Dispositivos Sensores na Rede

Durante a navegação pelas funcionalidades do sistema, o funcionário da Central de Monitoramento vai se deparar com ferramentas de uso simples, mas muito úteis, como a impressão de ordem de serviço ou a consulta por dispositivos já cadastrados, desta forma podendo ter uma maior visão da área de cobertura do sistema.

Com o desenvolvimento deste sistema de monitoramento de redes de distribuição elétrica baseado na informação de sinal recebido, a equipe de manutenção terá uma maior agilidade em chegar no ponto exato da falha pois terá uma ferramenta potente em mãos, para assim suprir as necessidades da distribuidora de energia elétrica neste quesito.

Através da utilização destas ferramentas a empresa pode melhorar o atendimento ao cliente, possibilitando uma maior agilidade no restabelecimento da energia elétrica naquele determinado ponto, proporcionando assim para o cliente uma maior confiança para com a empresa prestadora de serviço.

Outro ponto favorável na elaboração deste sistema é a prevenção, pois nos dias de hoje as distribuidoras de energia elétrica não têm em seus dados estatísticos uma relação das falhas temporárias, falhas estas que geram uma interrupção por minutos ou até mesmos segundos, mas que não são levados em conta nem mesmo pelos clientes por se tratar de uma interrupção muito rápida. Sem possuir este dados as empresas não podem fazer um plano de manutenção preventiva, o que seria de extremo valor, pois desta forma poderiam diminuir em grande parte as falhas permanentes, falhas estas que geram um transtorno muito grande tanto para o cliente quanto para a empresa.

Sem contar que quando se tem uma falha permanente, em grande parte ela foi gerada por um conjunto de falhas temporárias que não foi levado em consideração pelas empresas, gerando assim um grande desgaste da equipe de manutenção para chegar muitas vezes neste ponto em que houve a anomalia, por se tratar de situações climáticas desfavoráveis ou trânsito intenso no local.

8.2. Manutenção Preventiva da Rede

Tratam a manutenção preventiva como uma atuação realizada que visa reduzir ou evitar, tanto a falha quanto a queda de desempenho, obedecendo a um plano estratégico previamente elaborado, e baseado em intervalos de tempo definidos. Ratificando a definição anterior, define manutenção preventiva como sendo a ação efetuada segundo critérios predeterminados, com a intenção de se reduzir a probabilidade de falha de um bem. (KARDEC e NASCIF, 1999)

Nela a intervenção é feita em intervalos fixos, baseada em uma expectativa de vida mínima dos componentes. Estes intervalos são frequentemente determinados pela estatística e pela teoria da Probabilidade (BALDESSAR, 2006).

A manutenção preventiva será mais conveniente quanto maior for a simplicidade na reposição; quanto mais altos forem os custos de falhas; quanto mais as falhas prejudicarem a produção e quanto maiores forem as implicações das falhas na segurança das pessoas e no sistema operacional (KARDEC e NASCIF, 1999).

A manutenção preventiva é uma tarefa que projeta e aumenta a confiabilidade do equipamento. Sua programação deve ser designada ao engenheiro de produção, mantendo um alto nível de flexibilidade em blocos de tempo ou nos finais de caso não haja uma manutenção preventiva eficiente, tais como, perder tempo da produção devido a quebras de equipamento, redução da vida útil do equipamento, acidentes relacionados com segurança devido ao mau funcionamento do equipamento ou variação da qualidade do produto. Na Figura 47 são demonstrados procedimentos de manutenção na rede elétrica.



Figura 47 - Manutenção Preventiva das Redes de Distribuição de Energia Elétrica.

Com base na ANEEL (*Agência Nacional de Energia Elétrica*) as atividades de operação e manutenção em redes ou subestações, de forma a atender os níveis de qualidade exigidos no contrato de concessão e outras normas aplicáveis as atividades são classificadas conforme segue:

- a) Operação: atuação sobre a rede em situações programadas ou situações de emergência ou imprevistas. As operações incluem as ações que permitem a execução de manutenção nas instalações ou as ações que garantem a recomposição do serviço após as intervenções.
- b) Manutenção Preventiva e Preditiva: compreendem as tarefas de revisão periódica das instalações e incluem ações corretivas decorrentes dessas revisões, desde que estejam ao alcance das equipes que realizam essas tarefas.

Outro ponto favorável para a implementação do sistema de monitoramento automático de falhas em transformadores de rede de distribuição energia elétrica é o que diz respeito ao índice de satisfação do cliente referente ao atendimento, confiança e satisfação para com as concessionárias, levando em consideração os dados obtidos em pesquisas de satisfação realizadas demonstrado na Figura 48. Foi verificado que em alguns pontos as empresas distribuidoras de energia elétrica deixam muito a desejar perante os clientes, conforme demonstra a pesquisa de satisfação.

DIMENSÕES	1	2	3	4	5	Índice	Desvio-padrão
Atendimento							
1. Os atendentes são gentis e cordiais?	75	110	63	12	22	0,31	0,40
2. Existe facilidade de contato telefônico com a companhia?	16	19	37	104	106	0,71	0,45
3. Existe facilidade contato pessoalmente nas agências de atendimento?	25	129	85	28	15	0,38	0,49
4. Existe clareza nas informações prestadas?	51	110	88	15	18	0,35	0,42
Tempo							
5. O atendimento telefônico é rápido?	15	31	134	63	39	0,55	0,47
6. O atendimento de campo é imediato?	23	25	113	67	54	0,57	0,37
7. O tempo de espera pela realização do serviço é extenso?	16	34	101	59	72	0,60	0,33
8. O tempo de espera para o retorno de informações é extenso?	32	68	71	47	64	0,52	0,17
Fornecimento de energia elétrica							
9. A duração das interrupções de fornecimento de energia elétrica é longa?	22	15	55	81	109	0,69	0,40
10. As oscilações de energia elétrica em sua residência são frequentes?	16	74	77	66	49	0,53	0,25
11. As interrupções de fornecimento de energia elétrica são frequentes?	18	19	44	88	113	0,70	0,43
12. A energia elétrica está disponibilizada adequadamente em sua residência?	75	90	63	31	23	0,34	0,29

Figura 48 - Pesquisa de Satisfação dos Clientes

Fonte: <http://revista.grupointegrado.br>

A análise dos índices baseou-se nas seguintes escalas de referência: de 0,00 a 0,39 - grau baixo de insatisfação, de 0,40 a 0,69 - grau médio insatisfação, e de 0,70 a 1,00 - grau alto de insatisfação. Diante dos resultados da Análise de Distribuição de Frequência observaram-se índices de grau médio em cada uma das três dimensões utilizadas no estudo.

Entretanto, quando se verificam os questionamentos que compõem cada dimensão, constata-se que o item que trata a respeito da “facilidade de contato telefônico com a concessionária” registra um grau alto de insatisfação (0,71), seguido do item “frequência nas interrupções de fornecimento de eletricidade” (0,70). As interrupções no fornecimento de eletricidade são frequentes, o que ocasiona um aumento substancial no número de ligações na intenção de solucionar o problema. Assim, a insatisfação cresce severamente durante períodos de interrupções.

Sobre a “facilidade de contato telefônico com a concessionária” que registra uma alta insatisfação por parte dos consumidores, identifica-se como um polo extremo de insatisfação junto à amostra analisada.

O menor grau de insatisfação foi registrado no item “atendentes são gentis e cordiais” (0,31), o que revela um preparo por parte dos profissionais de atendimento, que independe das dificuldades enfrentadas pelas concessionárias em normalizar problemas referentes aos serviços prestados de energia elétrica.

No tocante aos resultados dos índices médios de insatisfação em cada uma das três dimensões analisadas, verificou-se que as dimensões “fornecimento de energia” (0,57) e “tempo” (0,56) são as dimensões com maior índice de insatisfação, o que indica a necessidade de revisão dos procedimentos operacionais por parte das concessionárias.

Através do gráfico podemos observar Índices médios de insatisfação dos consumidores nas dimensões de análise dos serviços prestados por concessionárias de energia elétrica. (QUADROS, 2013), conforme demonstrado na Figura 49.

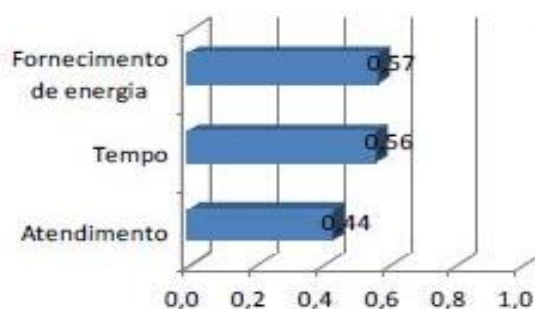


Figura 49 - Gráfico das Pesquisas de Satisfação dos Clientes
Fonte: <http://revista.grupointegrado.br>

Para sanar esta dificuldade citada na pesquisa foi elaborada uma interface de interação para o cliente ter acesso total a estes dados que foram gerados automaticamente pelo sistema. Esta interface foi desenvolvida com intuito de fazer com que os clientes das concessionárias de energia elétrica tivesse um maior índice de satisfação perante os serviços prestados pela empresa, tornando assim um vínculo mais fidelizado para ambos os lados.

A interface *web* foi desenvolvida usando linguagem PHP, *JavaScript* e CSS. Primeiramente foi desenvolvido um sistema de *login* para que o cliente pudesse fazer uso dos recursos. O *login* é feito usando como senha seu código do cliente e usuário seu nome propriamente dito, desta forma podendo oferecer um sistema mais fácil de autenticação para o cliente. Foi utilizado também o recurso de criptografia de dados para maior segurança dos dados referente aos clientes, e para isso usou-se a ferramenta de criptografia de dados chamada MD5. As Figuras 50 e 51 demonstram a interface *web*.

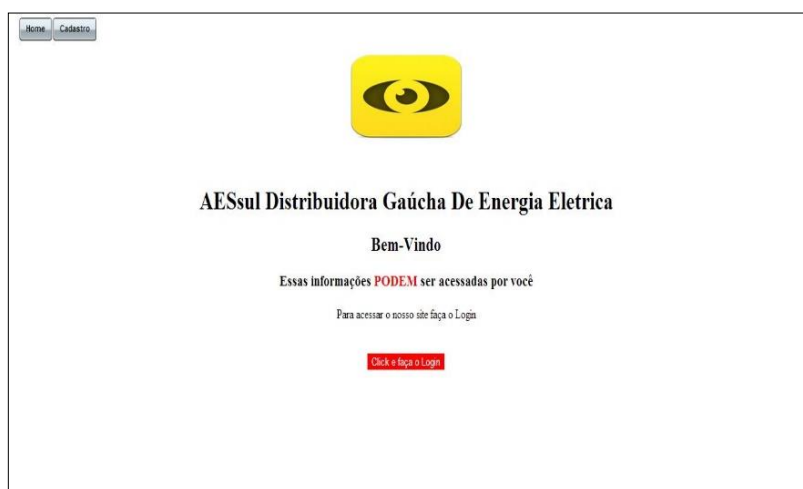
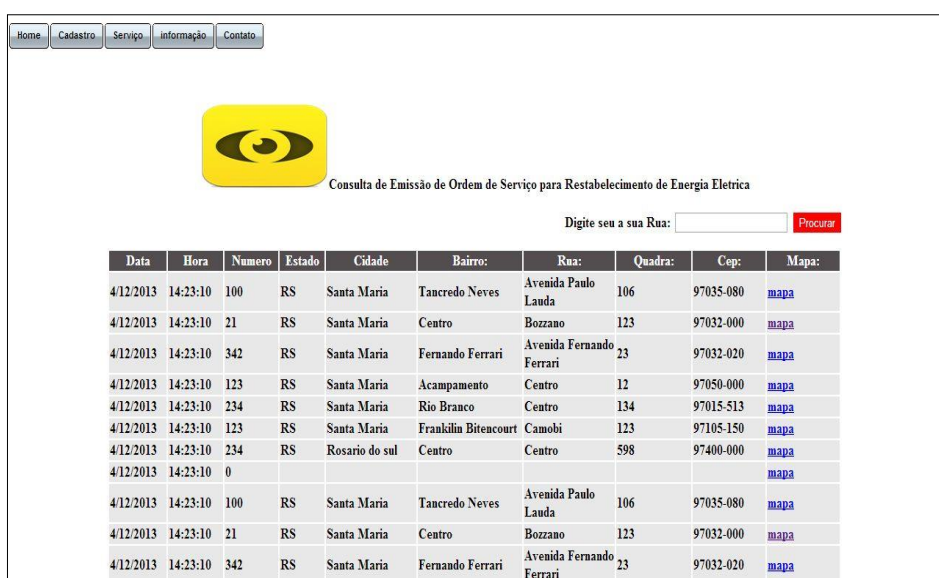


Figura 50 - Página Inicial da Interface de Interação com os Clientes



Figura 51 - Página de *Login* da *Interface* de Interação com os Clientes

Após efetuar o *login* o cliente pode acessar os recursos para visualizar a sua ordem de serviço, realizando assim a busca utilizando o nome da sua rua ou o seu CEP, e desta forma ter um visão do determinado local que houve o problema, fazendo o uso da ferramenta de interação com o *Google maps*. O Cliente também pode visualizar o horário de quando houve a interrupção e qual a estimativa de tempo que levará para a energia ser restabelecida no local, possibilitando ao cliente uma maior organização durante o período de falta de energia, por estar falando deste bem tão precioso e indispensável que é a energia elétrica, conforme pode ser visualizado na Figura 52.



Data	Hora	Numero	Estado	Cidade	Bairro:	Rua:	Quadra:	Cep:	Mapa:
4/12/2013	14:23:10	100	RS	Santa Maria	Tancredo Neves	Avenida Paulo Lauda	106	97035-080	mapa
4/12/2013	14:23:10	21	RS	Santa Maria	Centro	Bozzano	123	97032-000	mapa
4/12/2013	14:23:10	342	RS	Santa Maria	Fernando Ferrari	Avenida Fernando Ferrari	23	97032-020	mapa
4/12/2013	14:23:10	123	RS	Santa Maria	Acampamento	Centro	12	97050-000	mapa
4/12/2013	14:23:10	234	RS	Santa Maria	Rio Branco	Centro	134	97015-513	mapa
4/12/2013	14:23:10	123	RS	Santa Maria	Franklin Bitecourt	Camobi	123	97105-150	mapa
4/12/2013	14:23:10	234	RS	Rosario do sul	Centro	Centro	598	97400-000	mapa
4/12/2013	14:23:10	0							mapa
4/12/2013	14:23:10	100	RS	Santa Maria	Tancredo Neves	Avenida Paulo Lauda	106	97035-080	mapa
4/12/2013	14:23:10	21	RS	Santa Maria	Centro	Bozzano	123	97032-000	mapa
4/12/2013	14:23:10	342	RS	Santa Maria	Fernando Ferrari	Avenida Fernando Ferrari	23	97032-020	mapa

Figura 52 - Tela de Consulta de Ordem de Serviço pelo Cliente

Com o auxílio do sistema o cliente também poderá conhecer mais a empresa, podendo acessar o a guia de informações e ficar sabendo mais sobre quem presta o serviço para ele, conforme demonstrado na Figura 53.



Home Cadastro Serviço informação Contato Imprimir



Monitoramento Automático de Falha em Transformadores de Redes de Distribuição de Energia Elétrica:
É um Sistema foi desenvolvido Para melhorar o Atendimento ao Cliente podendo fazer com que sua energia seja restabelecida o mais rapido.

AESsul Distribuidora Gaucha de Energia S.A
Rua Dona Laura, 320 -14° Andar Porto Alegre /RS
CNEJ:02.016.440/0001-62
Inscrição Estadual: 096/2636525

Site www.aessul.com.br
central de Relacionamento
08007077272

Figura 53 – Informações Sobre a Empresa Distribuidora de Energia Elétrica

No decorrer da navegação o cliente poderá fazer uso da comunicação com a empresa através do setor de ouvidoria. O objetivo geral desta interface com a ouvidoria é a criação de mais um canal de entrada das opiniões, sugestões, reclamações e problemas da sociedade e dos respectivos clientes que fazem uso da eletricidade. Este canal de entrada também formaliza o compromisso de bom atendimento da empresa perante seus clientes, originando um maior índice de satisfação e a sensação de um relacionamento mais pessoal entre ambos os lados. Desta forma, visando garantir os direitos dos cidadãos, concretizando assim, o princípio da eficiência, os princípios da ética e da transparência nas relações cliente e empresa, demonstrado na Figura 54.

Home Cadastro Serviço Informação Contato Imprimir

 Bem Vindo a Central de Ouvidoria !

A Ouvidoria da Companhia de Distribuição de Energia Elétrica é um canal de comunicação direta com os seus clientes e usuários, sua atribuição é receber manifestações, elogios, críticas, sugestões e denúncias, avaliando-as para soluções que contribuam na consolidação dos valores da empresa e, especialmente, agregando valores à relação com os nossos clientes.

Nome: Endereço: Código: Estado: Cidade: E-mail:

Mensagem:

Cadastrar

Informações Técnicas Responsabilidade Socioambiental Satisfação do cliente

Figura 54 – Tela do Cliente na Central de Ouvidoria

Após a conclusão da programação das interfaces do sistema proposto, foi realizada a integração de todos os equipamentos e *softwares* desenvolvidos, para que fossem realizados os ensaios de laboratório em protótipos de escala reduzida e posteriormente a operação em condições reais de utilização em uma distribuidora de energia elétrica comercial.

9. ENSAIOS DE LABORATÓRIO:

A primeira fase de testes foi realizada com o auxílio de uma maquete em escala reduzida onde era simulada uma situação de queda de fusível em um transformador de uma rede de distribuição elétrica. Através deste ensaio foi possível testar um protótipo simplificado do sensor e o envio das informações por meio dos dispositivos *ZigBee*. A Figura 55 demonstra os primeiros passos para a realização dos ensaios com os protótipos.



Figura 55 – Ensaio Realizados com o Protótipo em Escala Reduzida

O envio das informações oriundas dos sensores é realizado através de *frames* de dados gerados pelos dispositivos finais em modo *API*, estes *frames* carregam as informações em hexadecimal. Uma primeira dificuldade encontrada na fase de testes foi decodificar estas informações recebidas em hexadecimal para uma linguagem que fosse possível interpretar de forma simples. Desta forma, foi realizado um estudo sobre uma linguagem de programação que possibilitasse a implementação de um *software* para leitura e interpretação destes dados.

Como resultado deste estudo foi selecionada a linguagem *Python*. O sistema de decodificação foi implementado de forma que possibilitasse a leitura dos dados de forma simplificada por qualquer operador. O *software* executa uma função de “*parse*” deste *frame* recebido, e com estes dados separados é realizada uma comparação com uma tabela do banco de dados, o seja, seu endereço alto e baixo, que foi enviado automaticamente pelo dispositivo sensor, é separado pelo “*parse*” e comparado no banco de dados para definir a localização da falha da distribuição de energia, onde estes dispositivos foram previamente cadastrados.

Na segunda fase de testes foi detectado mais um desafio, que era como transmitir este sinal gerado pelo sensor por uma distância maior do que o próprio alcance do *ZigBee*. A opção encontrada foi de utilização de dispositivos autônomos configurados como roteadores posicionados estrategicamente em locais onde o sinal necessita ser repetido, aumentando consideravelmente o alcance até as informações chegarem nos concentradores. Estes recursos foram utilizados no intuito de aproveitar a facilidade de criação de redes *mesh* que os dispositivos *ZigBee* possuem. Na sequência dos testes foi concluído que os roteadores deveriam ser colocados nos postes da rede de distribuição elétrica onde não haviam transformadores, desta forma os dispositivos podem ser alimentados pela rede elétrica e ficariam sempre “acordados” ou seja, fora do modo *sleep* para que pudesse retransmitir os pacotes sempre que necessário. Já nos transformadores monitorados os dispositivos devem permanecer somente em modo *sleep*, para que no momento que um evento de falha ocorra, este seja acordado (*wake-up*) e automaticamente envie um *frame* de dados ao coordenador.

É evidente que não podemos 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 utilizarmos concentradores em alguns pontos estratégicos da área monitorada, e estes com função de *gateway* 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 monitoramento de transformadores, 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 falha e outras tecnologia de comunicação, como USB, *Ethernet*, Wi-Fi e também a tecnologia 3G, sendo esta última a mais indicada para utilização em campo.

10. CONCLUSÕES

Os sistemas elétricos de potência estão passando por profundas mudanças em nível mundial por diversos motivos diferentes. Existe a necessidade de se atender demandas ambientais e de conservação de energia por meio de uma rede mais confiável, que necessita aumentar sua eficiência operacional e melhorar a qualidade para o consumidor. As mudanças que estão acontecendo são particularmente significativas para as redes de distribuição de energia elétrica, em que as operações manuais, juntamente com componentes eletromecânicos, precisam se transformar em uma RI – Rede Inteligente (*Smart Grid*). Essa transformação é necessária para se alcançar objetivos ambientais, acomodar a resposta pelo lado da demanda, suportar veículos elétricos e híbridos plugáveis, bem como a geração distribuída em baixa tensão e dispositivos com capacidade de armazenamento de energia elétrica.

Este projeto tem como objetivo oferecer uma ferramenta baseada em comunicação de redes de computadores, que atenda a muitas destas demandas antes apresentadas. Ele foi idealizado e desenvolvido com o objetivo de automatizar um processo das companhias de distribuição de energia elétrica, tendo como base os conhecimentos adquiridos no curso. O maior incentivo, foi a possibilidade de buscar uma solução que possa proporcionar maior segurança e eficiência no atendimento ao cliente, podendo preservar tanto o aspecto físico como também financeiro quando corretamente aplicada.

As atividades propostas no cronograma do projeto foram totalmente desenvolvidas, apesar do tempo reduzido para concretizar todos os objetivos apresentados.

O aprendizado e a dedicação permitiu o contato direto com profissionais que atuam com modernas técnicas de trabalho, e a experiência permitiu uma visão maior desta área de tecnologia. O projeto de monitoramento de transformadores de redes de distribuição de energia elétrica mostrou ser viável e com uma interação de alto nível para com a Distribuidora de energia e seu respectivos clientes.

A montagem dos equipamentos foi determinada e executada de forma a atender aos objetivos de recursos mínimos necessários para a implementação do sistema, por meio não guiado, trabalhando na faixas de frequências *ISM*.

A análise dos dados obtidos permitiu mostrar que o padrão *ZigBee* funciona dentro de uma hierarquia similar aos conceitos adquiridos em aula, no que se refere a topologias e estrutura dos protocolos conhecidos. É possível determinar com mais clareza que, no momento em que é estabelecida a comunicação, não existem limites de distância e cobertura para o sensoriamento remoto de qualquer dispositivo.

Para trabalhos futuros será implementado um sistema de cálculo de rota para melhor distribuição das ordens para as equipes de manutenção, fazendo com que desta forma se obtenha uma maior agilidade na manutenção destes pontos de falhas.

11. REFERÊNCIAS

ALECRIM, Emerson, **Conhecendo o Servidor Apache HTTP Server Project**. Unidavi, 2012, <<http://www.infowester.com>>. Acessado em 2013.

ANEEL, **Metodologia para determinação dos custos operacionais eficientes**. ANEEL, 2006, <http://www.gov.br/cedoc/aren2006234_2.pdf>. Acessado em 2013.

BALDESSAR, Maria, **Utilização e estudo para a implantação de um plano de manutenção preventiva nos transformadores da rede de distribuição elétrica**. UDESC, 2006, <http://www.joinville.udesc.br/portal/departamentos/deps/arquivos/tcc/2006_2_tcc07.pdf>. Acessado em 2013.

CCNA Exploration, **Diferença entre Unicast, Multicast e Broadcast**, 2011, <<http://nomundodasredes.blogspot.com.br/2011/12>>. Acessado em 2013.

DALL'OGGIO, Pablo, **Usando o SQLite**. 2007, <<http://www.htmlstaff.org>>. Acessado em 2013.

DIGI, website do fabricante, **Connect Wan Family**. Digi International Inc., 2010, <<http://www.digi.com>>. Acessado em 2013.

DIGI, website do fabricante, **Manual of XBee/XBee-Pro OEM RF Modules**. Disponível em: <ftp://ftp1.digi.com/support/documentation/90000982_A.pdf>. Acessado em 2013.

DRUMOND, Douglas, **A História do Python**. Unidavi, 2009, <<http://python-history-pt.br.blogspot.com.br>>. Acessado em 2013.

FLORIDO, I. R. **Redes de sensores sem fio em ambientes veiculares baseada no padrão ZigBee**. 2008. 136 f., Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

GERENCIADOR phpMyAdmin, **notícias**. 2009, <<http://blog.rede2.com.br>>. Acessado em 2013.

JACOB, Otto, **Automações de estufas agrícolas Utilizando sensoriamento Remoto e Protocolo ZigBee**. Universidade Federal de São Paulo USP - SP, 2009, <http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450>. Acessado em 2013.

LOBO, Marcelo, **Programação Orientada a Objetos com estilo para Web em Python**. devmedia, 2012, <<http://www.devmedia.com.br>>. Acessado em 2013.

LUNARD, Fábio, **Rede de sensores de vazamento de gás para tubulações subterrâneas com tecnologia de comunicação sem fio**. Universidade Federal de Santa Maria, 2012, <http://www.redes.ufsm.br/docs/tccs/Fabio_Lunardi_Antunes.pdf>Acessado em 2013.

MONSIGNORE, Ferdinando. **Sensoriamento de Ambiente Utilizando o Padrão ZigBee**. 2007, 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18152/tde-27042007-102640/pt-br.php>>. Acessado em 2013.

NOUIRA, Lúcia, **Utilização da Introdução à linguagem Javascript**. Kioskea, 2013, <<http://pt.kioskea.net/faq/2680-javascript-introducao-a-linguagem-javascript>>. Acessado em 2013.

QUADROS, Borges Fabricio, **Insatisfação do consumidor: uma análise nos serviços prestados por concessionárias de energia elétrica**. UNAMA/PA, 2013, <<http://revista.grupointegrado.br/revista/index.php/perspectivascontemporaneas>>. Acessado em 2013.

ROGÉRIO, Messias Antonio, **ZigBee**. 2008, <<http://www.rogercom.com/ZigBee>>. Acessado em 2013.

SANTOS, José Mauricio, **As Redes com Tecnologia ZigBee**. Unidavi, 2004, <<http://www.projetoderedes.com.br>>. Acessado em 2013.

STUHLER, Jackson Alessandro, **Utilização da Tecnologia ZigBee para Sensoriamento de Nível de Rio para Monitoramento de Cheias**. Unidavi, 2012, <<http://www.aedb.br>>. Acessado em 2013.

ZIGBEE Alliance. Disponível em: <<http://www.zigbee.org>>. Acessado em 2013.