

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELETRÔNICA

ANDRÉ LUIZ CHAIBEN MADALAZZO
JONAS KENZO HAMASAKI
JOSÉ CARLOS DE OLIVEIRA JUNIOR

Medidor Eletrônico de Consumo Inteligente de Energia Elétrica

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Curitiba
2013

ANDRÉ LUIZ CHAIBEN MADALAZZO
JONAS KENZO HAMASAKI
JOSÉ CARLOS DE OLIVEIRA JUNIOR

Medidor Eletrônico de Consumo Inteligente de Energia Elétrica

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica com Ênfase em Eletrônica e Telecomunicações do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro.

Orientador: Prof. Dr. Rubens Alexandre Faria

Curitiba
2013

TERMO DE APROVAÇÃO

ANDRÉ LUIZ CHAIBEN MADALOZZO
JONAS KENZO HAMASAKI
JOSÉ CARLOS DE OLIVEIRA JUNIOR

Medidor Eletrônico de Consumo Inteligente de Energia Elétrica

Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito à obtenção do grau de Engenheiro, do Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica com Ênfase em Eletrônica e Telecomunicações do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

Prof. Dr. Rubens Alexandre de Faria
Professor orientador

Prof. Dr. Kleber Horikawa Nabas
Professor convidado

Prof. Tasso Graeff Arnold
Professor convidado

Curitiba, 30 de setembro de 2013.

RESUMO

MADALOZZO, André Luiz Chaiben; JUNIOR, José Carlos de Oliveira; HAMASAKI, Jonas Kenzo. Medidor Eletrônico de Consumo Inteligente de Energia Elétrica. 2013. 86f. Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia Industrial Elétrica com Ênfase em Eletrônica e Telecomunicações da Universidade Federal Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

Este documento apresenta o desenvolvimento de um medidor eletrônico inteligente de consumo e qualidade de energia elétrica, que tem como finalidade, ser implantado no novo modelo de distribuição de Redes inteligentes que vem crescendo nos últimos anos. Discute-se a importância do projeto, as estratégias de viabilização do produto e as tendências deste mercado. Descreve detalhadamente o desenvolvimento do medidor eletrônico, desde o *hardware* ao *software*. Apresenta os conceitos teóricos utilizados, fórmulas, cálculos, conceitos de eletrônica e soluções de algoritmos, complementado por uma demonstração de resultados práticos, nos quais são analisados o desempenho do medidor, seus benefícios e praticidades tanto para seus clientes e seus usuários.

Palavras-chave: Medidor eletrônico Inteligente de Energia Elétrica. Qualidade de Energia. Redes Inteligentes.

ABSTRACT

MADALOZZO, André Luiz Chaiben; JUNIOR, José Carlos de Oliveira; HAMASAKI, Jonas Kenzo. Digital Smart Meter of Consumption of Electrical Energy. 2013. 86p. Graduation Project of Industrial Electronics Engineering of the Technological Federal University of Parana. Curitiba, 2013.

It`s presents the development of a digital smart meter consumption and power quality, which aims to be deployed on the new distribution model of Smart grid which has increased in recent years. Discusses the importance of the project, the feasibility product strategy and the trends of the market. Describes the development of the digital meter, from hardware to software. Presents the theoretical concepts used calculations, mathematical formulas and concepts of electronic and algorithmic solutions. Complemented by a demonstration of practical results, which analyzes the performance of the meter, its benefits and practicalities for customers and users.

Keywords: Smart Meter of Electric Energy. Energy Quality. Smart Grid.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – DIAGRAMA SIMPLIFICADO DO SISTEMA	12
FIGURA 2 – DIAGRAMA SIMPLIFICADO DO SISTEMA	13
FIGURA 3 – MEDIDOR ELETROMECAÂNICO	18
FIGURA 4 – MODELO DE MEDIDOR ELETRÔNICO	19
FIGURA 5 – MODELO DE REDES INTELIGENTES.	21
FIGURA 6 – MODELO DE RESIDENCIAS INTELIGENTES	22
FIGURA 7 – TENSÃO, CORRENTE E POTÊNCIA INSTANTÂNEAS EM UMA CARGA	24
FIGURA 8 – LIGAÇÃO DO MEC A GARGA A SER TARIFADA	25
FIGURA 9 – DIAGRAMA MODULAR MEC	26
FIGURA 10 – DIAGRAMA MODULAR MEC.	27
FIGURA 11 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO	28
FIGURA 12 – SENSOR DE CORRENTE ACS712	29
FIGURA 13 – GRÁFICO TENSÃO DE SAÍDA X CORRENTE MEDIDA	30
FIGURA 14 – CIRCUITO DO SENSOR DE CORRENTE ACS712	30
FIGURA 15 – KIT DE DESENVOLVIMENTO STM32DISCOVERY	31
FIGURA 16 – KIT DE DESENVOLVIMENTO STM32DISCOVERY	33
FIGURA 17 – PSEUDO CÓDIGO 1	34
FIGURA 18 – PSEUDO CÓDIGO 2	35
FIGURA 19 – MÓDULO DE COMUNICAÇÃO	36
FIGURA 20 – DISPOSIÇÃO DOS MÓDULOS MESH	38
FIGURA 21 – PROTOCOLO RS232	39
FIGURA 22 – FUNCIONALIDADES DOS MODOS DE OPERAÇÃO	40
FIGURA 23 – XBEE EXPLORER USB.	41
FIGURA 24 – CONFIGURAÇÕES DO COORDENADOR	42

FIGURA 25 – TRANSMISSÃO ZIGBEE.....	43
FIGURA 26 – SOQUETE XBEE.....	44
FIGURA 27 – CONEXÃO AO MICROCONTROLADOR.....	44
FIGURA 28 – CONFIGURAÇÕES DO RECEPTOR.....	45
FIGURA 29 – MÓDULO DE INTERFACE.....	46
FIGURA 30 – APLICATIVO CLIENTE.....	48
FIGURA 31 – BANCADA DE TESTE DE CARGAS.....	50
FIGURA 32 – BANCADA DE TESTE DE CARGAS 2.....	51
FIGURA 33 – INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO.....	51
FIGURA 34 – PLACA DESENVOLVIDA.....	54
FIGURA 35 – PROTÓTIPO FINAL 1.....	55
FIGURA 36 – PROTÓTIPO FINAL 2.....	55
FIGURA 37 – REPRESENTAÇÃO DO PRODUTO.....	60
FIGURA 38 – REPRESENTAÇÃO DA SOLUÇÃO.....	65
FIGURA 39 – MODELO DE COMUNICAÇÃO DA SOLUÇÃO.....	66
FIGURA 40 – ESTRUTURA ORGANIZACIONAL.....	69

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ESCALAS DO SENSOR ACS712	29
TABELA 2 – MAPEAMENTO DA ARQUITETURA ZIGBEE.....	39
TABELA 3 – RELATÓRIO DE MEDIÇÃO E TARIFAÇÃO 1 CARGA.....	52
TABELA 4 – RELATÓRIO DE MEDIÇÃO E TARIFAÇÃO 2 CARGAS	52
TABELA 5 – RELATÓRIO DE MEDIÇÃO E TARIFAÇÃO 3 CARGAS.	53
TABELA 6 – ANÁLISE DE MERCADO FUTURO	61
TABELA 7 – EXPECTATIVA DE VENDAS	68
TABELA 8 – QUADRO DE PESSOAL	71
TABELA 9 – INVESTIMENTO INICIAL	72
TABELA 10 – CUSTO UNITÁRIO	72
TABELA 11 – CUSTO POR PEÇA E VENDA.....	73
TABELA 12 – DRE	74

LISTA DE SÍMBOLOS

P	Potência real consumida. Adotada pela ABNT em quilowatts/hora, unidade kWh
I	Corrente elétrica. Medida em ampére (A)
U	Tensão elétrica. Medida em volt (V)
ΔT	Varição de tempo de consumo. Medida adotada pela ABNT, unidade h
e	Erro máximo de medição
M	Incerteza Padrão do Medidor
Uc	Incerteza do Sensor de corrente
Up	Incerteza do Sensor de Tensão

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ICMS	Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
PIS	Programa de Integração Social
PASEP	Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público
COSIP	Contribuição Social de Iluminação Pública
ECE	Encargo de Capacidade Emergencial
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
TX	Transmissor
RX	Receptor
AD	Conversor Analógico Digital
USART	<i>Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter</i>
DIN	<i>Data in</i>
DOUT	<i>Data out</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVA	11
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 Objetivo Geral	12
1.2.2 Objetivos Específicos	13
1.2.3 Diagrama.....	13
1.3 EMBASAMENTO TEÓRICO	14
1.4 METODOLOGIA.....	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.2 MEDIDOR ELETRÔNICO	19
2.3 FUTURO DA MEDIÇÃO ELÉTRICA	20
2.4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA PARA OBTENÇÃO DE VALORES DE ENERGIA	23
3. DESENVOLVIMENTO	25
3.1 DESCRIÇÃO GERAL.....	25
3.2 MÓDULO DE AQUISIÇÃO DE SINAL	26
3.2.1 Aspectos gerais	26
3.2.2 Circuito de alimentação	27
3.2.3 Circuito de aquisição de sinal	28
3.2.4 Módulo de condicionamento do sinal	31
3.2.5 <i>Firmware</i>	33
3.3 MÓDULO DE COMUNICAÇÃO.....	36
3.3.1 Aspectos gerais	36
3.3.2 ZigBee	36
3.3.3 Configuração do Transmissor.....	41
3.4 MÓDULO DE INTERFACE	46
3.4.1 Aspectos Gerais	46
3.4.2 NetBeans.....	46
3.4.5 Interface do Usuário	48
4. TESTES E ANÁLISES	50

4.1 ASPECTOS GERAIS	50
4.2 OBTENÇÃO DE AMOSTRAS DE VALORES DE TENSÃO E CORRENTE	52
4.3 PROTÓTIPO MEC	54
5 PLANO DE NEGÓCIO	56
5.1 SUMÁRIO EXECUTIVO	56
5.2 DEFINIÇÃO DO NEGÓCIO.....	56
5.2.1 Visão	56
5.2.2 Missão	56
5.2.4 Valores	56
5.2.4 Descrição do Negócio	56
5.3 OBJETIVOS	57
5.3.1 Objetivo Principal	57
5.3.2 Objetivos Intermediários.....	57
5.4 PRODUTOS E SERVIÇOS	58
5.4.1 Descrição do Produto e Serviço	58
5.4.2 Produtos e Serviços Futuros	60
5.5 ANÁLISE DE MERCADO	60
5.5.1 Segmentação de Mercado	61
5.5.2 Segmento Alvo de Mercado	61
5.6 PROPOSTA DE VALOR	64
5.7 ESTRATÉGIA E IMPLANTAÇÃO.....	66
5.7.1 Diferenciais Competitivos e Proposta de Valor	66
5.7.2 Estratégia de Marketing.....	67
5.7.3 Estratégia de Vendas	68
5.8 GESTÃO	69
5.8.1 Estrutura Organizacional	69
5.8.2 Equipe	70
5.8.3 Quadro de Pessoal.....	70
5.9 PLANO FINANCEIRO	71
5.9.1 Considerações	71
5.9.2 Preços de Custo e Venda.....	73
5.9.3 Projeção do Resultado	73

5.9.4 Análise do Break-even	74
6. CONCLUSÃO	75
REFERÊNCIAS.....	76

1 INTRODUÇÃO

Embalados pelas novas oportunidades de negócios, inseridos pela renovação da indústria de energia no Brasil e no mundo, mais conhecida como *Smart Grid*, ou redes inteligentes, este projeto propõe o desenvolvimento de um medidor eletrônico inteligente de consumo e qualidade de energia elétrica, o qual é, um dos pilares para a criação de uma rede integralmente inteligente (CPQD,2010).

Para os consumidores, a aplicação dessa nova tecnologia no Brasil permitirá a prestação de novos serviços, agilizará os que já existem e ampliará o número de canais de comunicação da concessionária com o consumidor, que oferecerão ao cliente a possibilidade de acompanhar o consumo e a qualidade da energia, através de interfaces amigáveis tais como gráficos e estimativas de consumo.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com a nova resolução N° 502 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), (ANEEL, 2012) as concessionárias de distribuição de energia elétrica terão até 18 meses para oferecer aos consumidores que fazem o uso da baixa tensão, dois tipos de medidores eletrônicos com diferentes funcionalidades. O primeiro, a ser instalado sem ônus, permitirá ao consumidor aderir à tarifa branca – tarifa que varia de acordo com faixas horárias de consumo. O outro modelo de medidor, mais completo, oferecerá acesso a informações específicas individualizadas sobre o serviço prestado, e a instalação poderá ser cobrada pela distribuidora.

Com base nessa oportunidade desenvolveu-se um medidor inteligente de consumo e qualidade, flexível aos dois modelos exigidos pela agência regulamentadora. Tais medidores poderão ser utilizados em projetos-pilotos de concessionárias de distribuição de energia elétrica, sendo instalada nas residências dos consumidores que, por sua vez, poderão acompanhar o consumo em tempo real, configurar metas devido à tarifa branca, acompanhar estimativas de consumo a fim de evitar surpresas na conta de energia, e futuramente poderão armazenar energia remanescente gerada por fontes alternativa e vendê-la à própria concessionária (ANEEL, 2012).

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um Medidor Eletrônico de Consumo inteligente, que atenda às necessidades dos clientes e usuários, inseridos no conceito de redes inteligentes. Serão descritas as etapas do projeto, desde o desenvolvimento até os testes práticos, além de demonstrar a importância, vantagens e perspectivas futuras dos medidores eletrônicos de energia inseridos no sistema de distribuição de energia elétrica.

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver o *hardware* e *software* de um equipamento protótipo que realizará o monitoramento do consumo e qualidade da energia elétrica de uma residência e apresentará as informações através de uma interface com os consumidores, conforme mostra a figura 1.

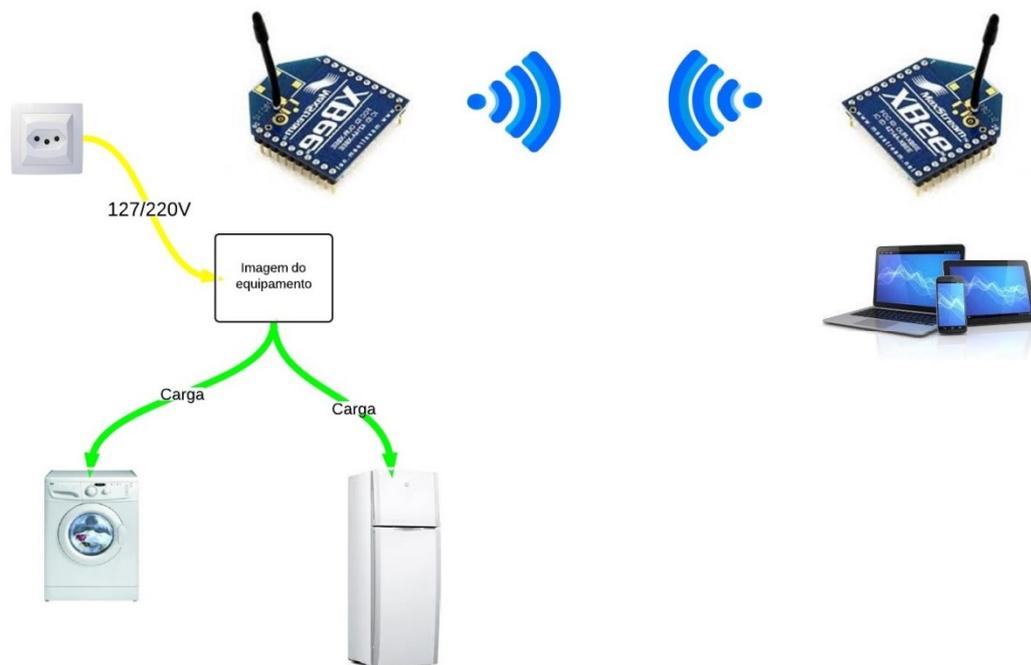


FIGURA 1 – DIAGRAMA SIMPLIFICADO DO SISTEMA

FONTE – Autoria própria(2013).

1.2.2 Objetivos Específicos

- Projetar e montar um modulo de potência acoplado a tomada para testes;
- Projetar e montar *hardware* (potência, processamento e sensores) e desenvolver *firmware* do módulo de processamento para monitoramento dos sinais de tensão e corrente;
- Desenvolver um meio de comunicação sem fio entre o dispositivo de monitoramento de dados e o de interfaceamento com o consumidor;
- Desenvolver uma interface de *software* a qual recebe os dados, processa e disponibiliza para o consumidor através de um navegador WEB.

1.2.3 Diagrama

O projeto pode ser descrito em dois principais blocos, o bloco do equipamento de medição e o do interfaceamento com o usuário, como pode ser verificado na figura 2.

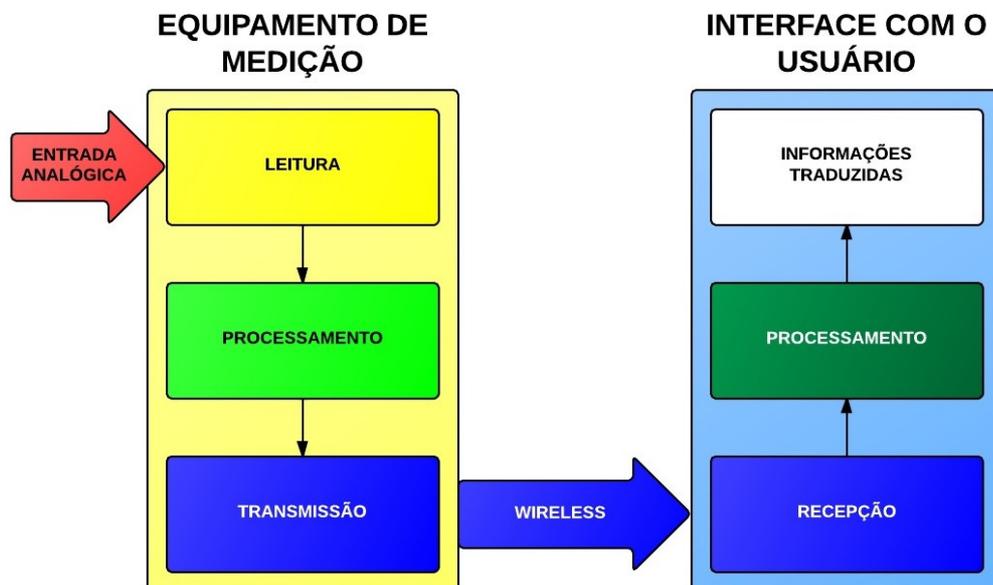


FIGURA 2 – DIAGRAMA SIMPLIFICADO DO SISTEMA

FONTE – Autoria própria (2013).

- Bloco Equipamento de Medição - representa o equipamento responsável pela leitura, o processamento e o envio das informações. Nele se encontram os blocos de leitura, processamento e transmissão;
- Sub-bloco de Leitura – representa a parte do *hardware*, onde se encontram os sensores analógicos de corrente e tensão e o circuito eletrônico que viabiliza os sinais para o microcontrolador;
- Sub-bloco de Processamento – representa a parte do *hardware* que recebe os dados tratados dos sensores, realiza a amostragem dos sinais, converte as informações para a forma digital e empacota os dados para a transmissão;
- Sub-bloco de Transmissão – representa a parte do *hardware* que modula os pacotes de informações e os transmite via um canal de comunicação sem fio;
- Bloco Interface Com o Usuário – representa a forma com que os pacotes de informação são lidos e calculados, e após isso, apresentados de forma sucinta para os consumidores;
- Sub-bloco de Recepção – representa a parte de *hardware* que através dos pacotes de informação recebidos pelo canal de comunicação sem fio, demodula e envia-os para o *desktop* do consumidor;
- Sub-bloco de Processamento – representa a parte de *software* que utiliza as informações recebidas. Realiza os cálculos de consumo e qualidade de energia elétrica;
- Sub-bloco de Interface com o Usuário – representa a parte de *software* que criará uma interface clara para o usuário, demonstrando as informações de consumo, níveis de qualidade aceitáveis de acordo com a ANEEL e histórico de informações, tudo isso apresentado em forma de imagens, gráficos e textos.

1.3 EMBASAMENTO TEÓRICO

Para o desenvolvimento deste projeto, fez-se uso de conhecimentos da engenharia elétrica, eletrônica, computação e de conceitos físicos e matemáticos, sendo as principais:

- Sensoriamento elétrico;

- Eletrônica de potência;
- Amplificadores operacionais;
- Microcontroladores;
- Comunicações digitais;
- Linguagens de programação Java, C e SQL;
- Circuitos elétricos de baixa tensão.

1.4 METODOLOGIA

Para a execução dos testes de comprovação do funcionamento do medidor de energia projetado, foi usado como base os requisitos da Resolução Normativa N°502 escrita pela ANEEL, que regulamenta os sistemas de medição de energia elétrica para as unidades consumidoras do grupo B (RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 502,2012, p. 1) e o Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema de Nacional (PRODIST, 2008, p. 18) o qual determina as características mínimas para o sistema de medição. Baseado nestes documentos, foi projetado o medidor com os requisitos a seguir:

- Em cumprimento ao Art. 2º o sistema do medidor eletrônico enquadrada na modalidade tarifária branca e deve apurar, o consumo de energia elétrica ativa em pelo menos 4 (quatro) postos tarifários, devendo ser programáveis o início e o fim de cada posto (RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 502,2012, p. 1);
- Em cumprimento ao Art. 1º os requisitos metrológicos referentes à apresentação de informações ao consumidor, estão disponíveis por meio de mostrador existente em dispositivo localizado internamente à unidade consumidora: (RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 502,2012, p. 1);
- Em cumprimento as informações referenciadas no § 1º as concessionárias terão disponibilidade por meios de um canal de comunicação ao acesso às informações do consumidor (RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 502,2012, p. 2);
- O medidor cumpri aos itens II e III do Art. 3º os titulares das unidades consumidoras, independentemente da adesão ao faturamento na modalidade tarifária branca, podem solicitar os serviços de observando a regulamentação

técnica metrológica específica. (RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 502,2012, p. 2);

- Em cumprimento ao Art. 10, o consumo de energia elétrica do medidor e do eventual sistema de comunicação associado não deve ser considerado como consumo da unidade consumidora. (RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 502,2012, p. 3);

Em cumprimento às especificações metrológicas do INMETRO (RTM N°431,2007) o erro percentual máximo é de $\pm 1\%$ para os medidores do tipo B. Para o cálculo de incertezas, considerando o erro sistemático que é imposto pelo cabo que vem do transformador igual a 0,05, utiliza-se a equação 1.

$$e(\%) = 0,05 \pm \sqrt{(M^2 + Tc^2 + Tp^2)} \quad (1)$$

Onde e corresponde ao erro máximo de medição, M à incerteza padrão do medidor, e Tc e Tp às incertezas dos sensores de corrente e de tensão, respectivamente.

Para a realização das medidas foi projetada e construída uma bancada de testes para a simulação de cargas, através dela é possível confrontar a funcionalidade do medidor eletrônico com instrumentos de medições diferentes, em diversos tipos de carga, resistivas de até 30A.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PROCESSO DE MEDIÇÃO ELÉTRICA ATUAL

Atualmente é quase impossível imaginar a sociedade humana sem a energia elétrica. A eletricidade se tornou a principal fonte de luz, calor e força utilizada no mundo moderno, representando aproximadamente um terço do consumo energético mundial. Atividades simples como assistir à televisão ou navegar na internet são possíveis porque a energia elétrica chega até a sua casa. Fábricas, supermercados, shoppings e uma infinidade de outros lugares precisam dela para funcionar. Grande parte dos avanços tecnológicos se deve à energia elétrica (TÚLCIDAS,2010, p. 9).

A produção, transporte e a distribuição da energia elétrica envolvem investimentos e custos, os quais são repassados aos consumidores. Sendo assim, surge a necessidade de criar um meio de cobrança justo e equivalente ao valor consumido. Para isso existe o sistema de medição o qual indica o consumo elétrico (TÚLCIDAS, p. 10).

A energia disponibilizada pelas concessionárias para o consumidor final é quantificada através de um equipamento denominado medidor elétrico. Este equipamento é caracterizado por padrões técnicos dos órgãos oficiais de metrologia e apropriados às suas normas. A unidade de medida é o kWh. O medidor pode ser ligado diretamente entre a rede elétrica e a carga, ou através de transformadores de acoplamento de tensão. A rede elétrica é classificada através do nível de tensão, que a mesma, podendo ser de alta, média e baixa tensão. Neste trabalho foram consideradas apenas as redes domésticas de baixa tensão monofásicas. Para o cálculo do consumo de energia, utiliza-se a equação 2.

$$P = U \times I \times \Delta T \quad (2)$$

Onde P refere-se à energia, U à tensão, I à corrente e ΔT ao tempo utilizado (LIMA,2007, p.29).

Para obter os valores a serem cobrados ou pagos, é necessário multiplicar o consumo pelo valor tarifário, determinado pela concessionária responsável, e acrescentar os tributos além do ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e

Serviços), COSIP (Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública), ECE (Encargo de Aquisição de Energia Elétrica Emergencial) e em alguns estados o PIS (Programa de Integração Social) e PASEP (Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público) (ANEEL, 2012).

O processo de medição, registros e cobrança de energia elétrica consumida tem sofrido diversas mudanças ao longo dos últimos anos. No entanto, no Brasil, a maioria das residências ainda utilizam os medidores de energia eletromecânicos do tipo B (PRODIST, 2008, p.18). Existindo em dois tipos de modelos: os ciclométricos e os analógicos de ponteiro. De acordo com a figura 3, tem-se um exemplo de medidor eletromecânico.



FIGURA 3 – MEDIDOR ELETROMECAÂNICO

FONTES – ARIOL (2011).

O medidor registra o consumo em determinado período de leitura, que ainda depende do deslocamento de um funcionário da concessionária para a realização da leitura de consumo registrado em cada medidor.

O medidor eletromecânico apresenta algumas limitações e restrições para que sua operação seja confiável. Alguns fatores podem ser citados, como:

- Interferência na operação na presença de corrente contínua - Por se tratar de um instrumento concebido para a utilização com correntes alternadas, a presença de componentes de corrente contínua afeta a precisão do medidor, por produzirem deformações nos fluxos magnéticos produzidos, podendo

inclusive levar à saturação os núcleos ferromagnéticos das bobinas do medidor (LIMA,2007, p.22);

- Precisão variável conforme a condição de operação: Os medidores eletromecânicos de indução possuem uma faixa bem definida de operação na qual apresentam a precisão nominal. Para valores muito baixos de potência a precisão diminui, pois o atrito do conjunto mecânico é alto em relação ao torque eletromagnético produzido pelo disco (LIMA,2007, p.22);
- Sensibilidade mecânica: Os mecanismos destes instrumentos são sensíveis a vibrações e choques produzidos por elementos externos, dificultando sua aplicação e ambientes mecanicamente instáveis (LIMA,2007, p.22).

2.2 MEDIDOR ELETRÔNICO

Um medidor eletrônico é um equipamento que registra o consumo de energia elétrica em intervalos de tempos definidos, e transmite essas informações diariamente à concessionária através de um meio de comunicação, para fins de fiscalização e cobrança, figura 4. Além disso, alguns modelos vêm com ferramentas que possibilitam ao consumidor verificar o grau de qualidade de energia, contendo informações como: energia ativa, reativa, fator de potência, harmônicos, níveis de tensão, corrente e outros (RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 502,2012, p. 2).



FIGURA 4 – MODELO DE MEDIDOR ELETRÔNICO
FONTE – HYDROONE (2013).

São inúmeras as vantagens dos medidores eletrônicos em relação ao medidor eletromecânico, podendo citar:

- Possibilidade de comunicação com equipamentos externos;
- Maior precisão;
- Capacidade de armazenamento das leituras em uma memória volátil;
- Medição de indicadores de qualidade da energia;
- Medição da demanda vinculados a tarifas horo-sazonais;
- Diversas interfaces com o consumidor, como interface via *web* ou através dos *smartphones*.

2.3 FUTURO DA MEDIÇÃO ELÉTRICA

A modernização do serviço de energia elétrica prestado ao consumidor é cada vez mais evidente no Brasil. A tendência do futuro está no conceito de Redes Inteligentes, ou *Smart Grids*, que é aplicação da tecnologia da informação para o sistema elétrico de medição. No futuro, o fornecimento de energia confiável será de extremamente importante para o desenvolvimento sustentável das megacidades (SIEMENS, 2012), como pode-se ver na figura 5.



FIGURA 5 – MODELO DE REDES INTELIGENTES.

FONTE – SMART GRID (2011).

Um dos principais componentes das redes inteligentes é o medidor eletrônico. A medição inteligente ajuda a coordenar a geração e o consumo de energia de modo mais eficiente, especialmente se a proporção de fontes de energia renovável continuar a crescer no futuro. Devido ao projeto de Lei 3337/12 (CAMARA DOS DEPUTADOS,2012) as concessionárias e permissionárias dos serviços de distribuição de energia elétrica serão obrigadas a substituir, no prazo de dez anos, os medidores de energia eletromecânicos por aparelhos digitais. E caberá ao cliente escolher, gratuitamente, o tipo de medidor — analógico ou digital. Se preferir o tradicional, vai continuar da mesma maneira como a medição é feita atualmente. Se optar pelo eletrônico, vai pagar tarifa diferenciada por horário (DZAI,2012).

Para os consumidores, como se pode ver na figura 6, a aplicação dessa nova tecnologia no Brasil permitirá:

- Cobrança de tarifas de eletricidade diferenciadas conforme o horário. Por exemplo, consumidor poderá economizar programando sua lavadora de roupa para trabalhar nos horários de menor tarifação (REDE INTELIGENTE, 2010);

- Canais de comunicação da concessionária com o consumidor, por exemplo, canais adaptados para pessoas com deficiências ou necessidades especiais (DZAI,2012);
- Acompanhamento do consumo, através de interfaces amigáveis, tais como, gráficos e imagens (DZAI,2012);
- Torna-se possível a venda de energia produzida pelo consumidor (DZAI,2012);
- Maior precisão e confiabilidade na energia consumida (DZAI,2012).

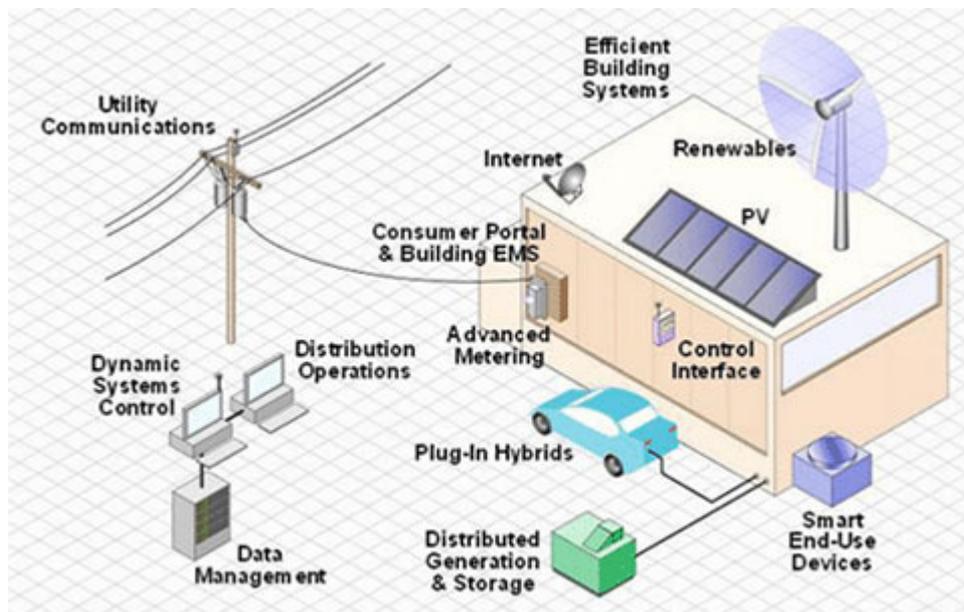


FIGURA 6 – MODELO DE RESIDENCIAS INTELIGENTES

FONTE – HORIZON (2013)

Para as concessionárias de distribuição, a aplicação dessa nova tecnologia no Brasil permitirá:

- Combates às fraudes e roubos de energia;
- Economizar em mão-de-obra;
- Melhorar a qualidade e confiabilidade da rede;
- Possibilitar a Tarifação Branca, tarifas horo-sazonais;
- Ampliar os negócios comerciais de energia com as indústrias;
- Reduzir custos na geração e transmissão, uma vez que consigam um consumo mais distribuído.

2.4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA PARA OBTENÇÃO DE VALORES DE ENERGIA

Um processo de medição elétrica em modo geral, necessita de um meio pelo qual possa traduzir de forma fiel, as grandezas físicas de corrente e tensão, com a finalidade de obter dados de qualidade para realizar cálculos de consumo e tarifação de energia. Para a obtenção destes dados, os dispositivos de medição contam com sensores de corrente e tensão, de diferentes modelos.

A partir da obtenção dos sinais relativos a tensão e corrente, pode-se calcular a potência elétrica da carga consumida. Em sistemas elétricos, a potência instantânea fornecida ou dissipada por qualquer elemento como o produto da tensão instantânea sobre o elemento e a corrente instantânea através dele (IRWIN,2005, p. 429), definida pela equação 3.

$$p(t) = v(t) \times i(t) \quad (3)$$

Onde $p(t)$ corresponde à potência em watts, $v(t)$ é valor instantâneo da tensão em volts e $i(t)$ ao valor da corrente em ampère. Como a corrente e a tensão são variantes no tempo, é possível determinar a potência média durante um período de tempo definido T, integrando-se a função sobre um período e dividindo-se tal resultado pelo período (IRWIN,2005, p. 431). Portanto, de acordo com a equação 4, a potência média é:

$$P = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} p(t) dt \quad (4)$$

Onde P corresponde a potência média, e $p(t)$ a potência instantânea.

Em circuitos de corrente alternada puramente resistivos, as ondas de tensão e corrente elétrica estão em fase. A representação de sinais de tensão, corrente e potência instantâneas em uma carga resistiva é apresentada na figura 7 (MUSSOI, 2006, p. 130).

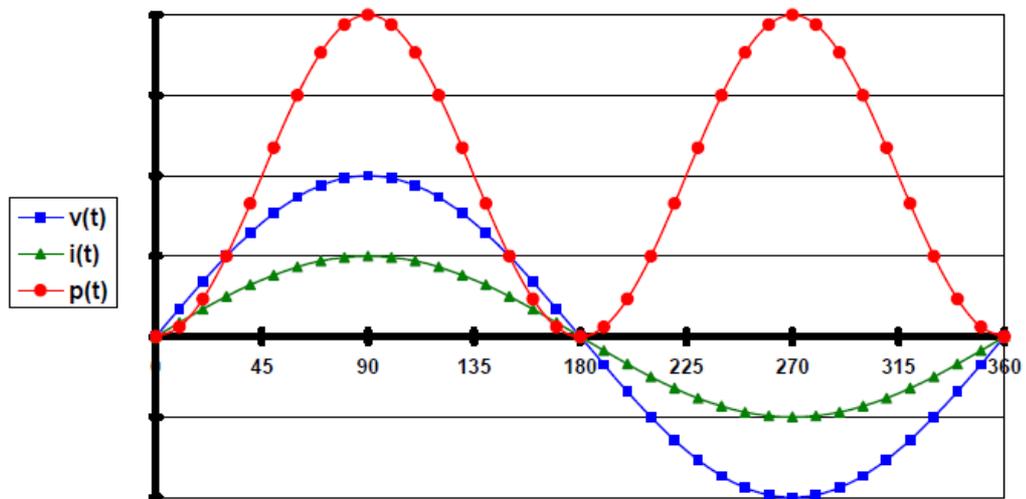


FIGURA 7 – TENSÃO, CORRENTE E POTÊNCIA INSTANTÂNEAS EM UMA CARGA
 FONTE – CEFET/SC (2006).

A potência é a quantidade de energia consumida por unidade de tempo. Logo, a obtenção da quantidade de energia elétrica em um intervalo de tempo definido é a integral da potência no tempo, matematicamente representada através da equação 5 (MUSSOI, 2006, p. 144).

$$E = \int_{t_0}^{t_0+T} P(t)dt \quad (5)$$

Onde E representa a energia dada em kWh desde que a potência seja em quilowatt, e o tempo em horas.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 DESCRIÇÃO GERAL

O equipamento experimental, foco deste trabalho de conclusão de curso, é denominado como MEC (MEDIDOR ELETRÔNICO DE CONSUMO). O protótipo é capaz de realizar medição de tensão monofásica de 127 volts e a corrente elétrica, além de calcular a potência e energia consumida por uma carga consumidora. Tais quesitos são mínimos para a classe consumidora tipo B, de acordo com a ANEEL (RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 502,2012, p. 2). A configuração geral do sistema está representada na figura 8.

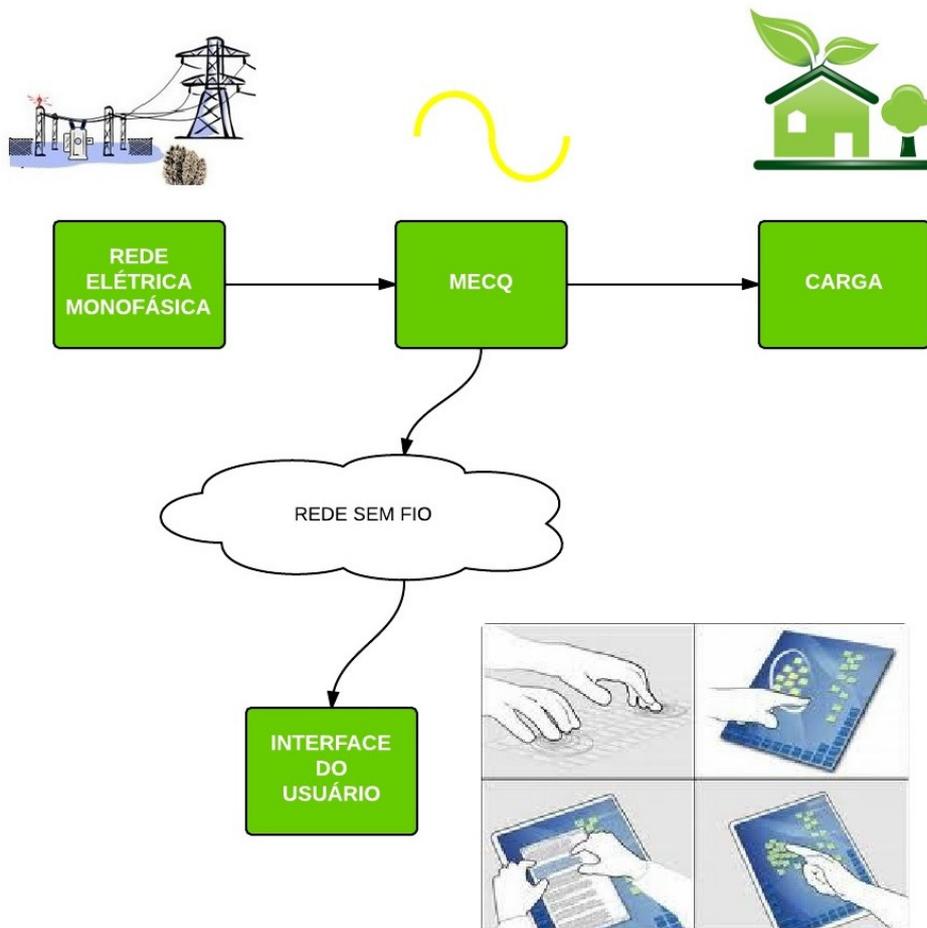


FIGURA 8 – LIGAÇÃO DO MEC A GARGA A SER TARIFADA

FONTE – Autoria própria (2013).

O MEC está fundamentado em uma arquitetura dividida em três módulos principais: o primeiro “Módulo de Aquisição de Sinal”, que realiza a coleta dos sinais elétricos e os condiciona; o segundo, “Módulo de Comunicação”, que realiza a comunicação entre o MEC e a interface do usuário, o terceiro, “Módulo de Interface”, que realiza o processamento dos sinais e disponibiliza as informações para o consumidor. Como se pode observar na figura 9.

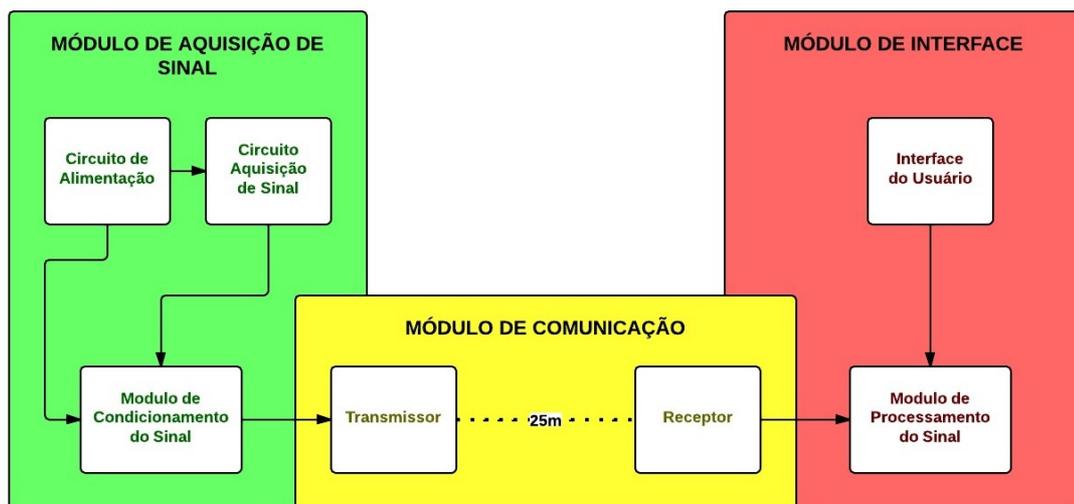


FIGURA 9 – DIAGRAMA MODULAR MEC

FONTE – Autoria própria (2013).

3.2 MÓDULO DE AQUISIÇÃO DE SINAL

3.2.1 Aspectos gerais

O “Módulo de Aquisição de Sinal” é composto por três blocos: o primeiro, o “Circuito de Alimentação”, que realiza a alimentação do MEC, o segundo, “Circuito de Aquisição de Sinal”, que representa os sensores dos sinais, o terceiro, “Módulo de Condicionamento do Sinal” (*Firmware*), responsável por receber o sinal e condicioná-lo para envio. Como se pode ver na figura 10.

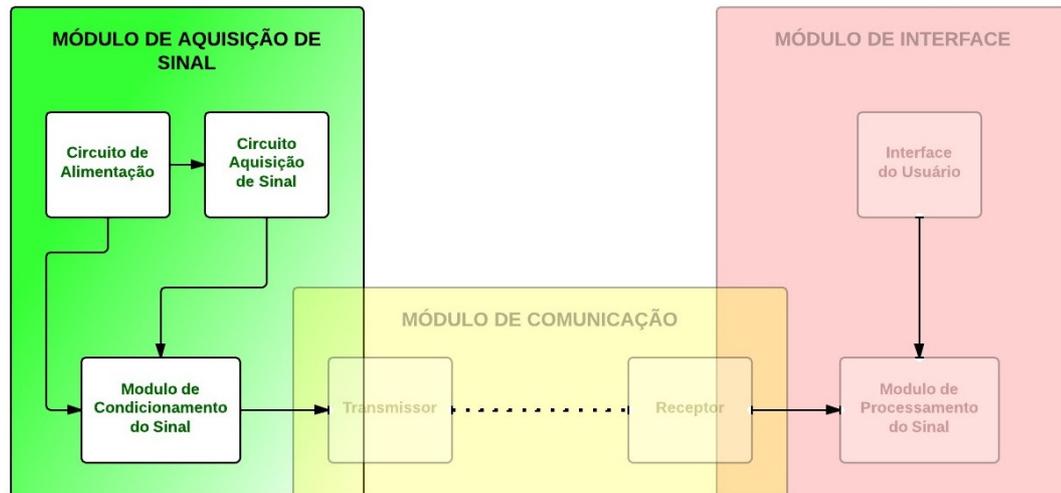


FIGURA 10 – DIAGRAMA MODULAR MEC.

FONTE – Autoria própria (2013).

3.2.2 Circuito de alimentação

O equipamento MEC possui um módulo de energia integrado, alimentado pela própria fase de 127 volts, é utilizada para monitoramento. Para a implementação do circuito de alimentação utilizou-se um transformador de tensão - 127/12 volts 25VA, uma ponte retificadora de diodos – 1N4001, e capacitores eletrolíticos – 200 μ F 25 Volts. Através desta estratégia foi possível reduzir o consumo e ainda reduzir o dimensionamento do circuito desenvolvido.

Para fornecer a tensão elétrica necessária ao funcionamento do kit de desenvolvimento STM32VLDISCOVERY, foi utilizado um regulador de tensão de 5 V LM7805.

Para alimentar o Transmissor Xbee (2,1 ~ 3,6 V) não foi implementado nenhum outro regulador, uma vez que o kit de desenvolvimento utilizado no projeto possui uma saída 3,3 V, adequada em relação ao consumo, reduzindo assim o *hardware* da placa.

Este *hardware* pode ser visualizado na figura 11.

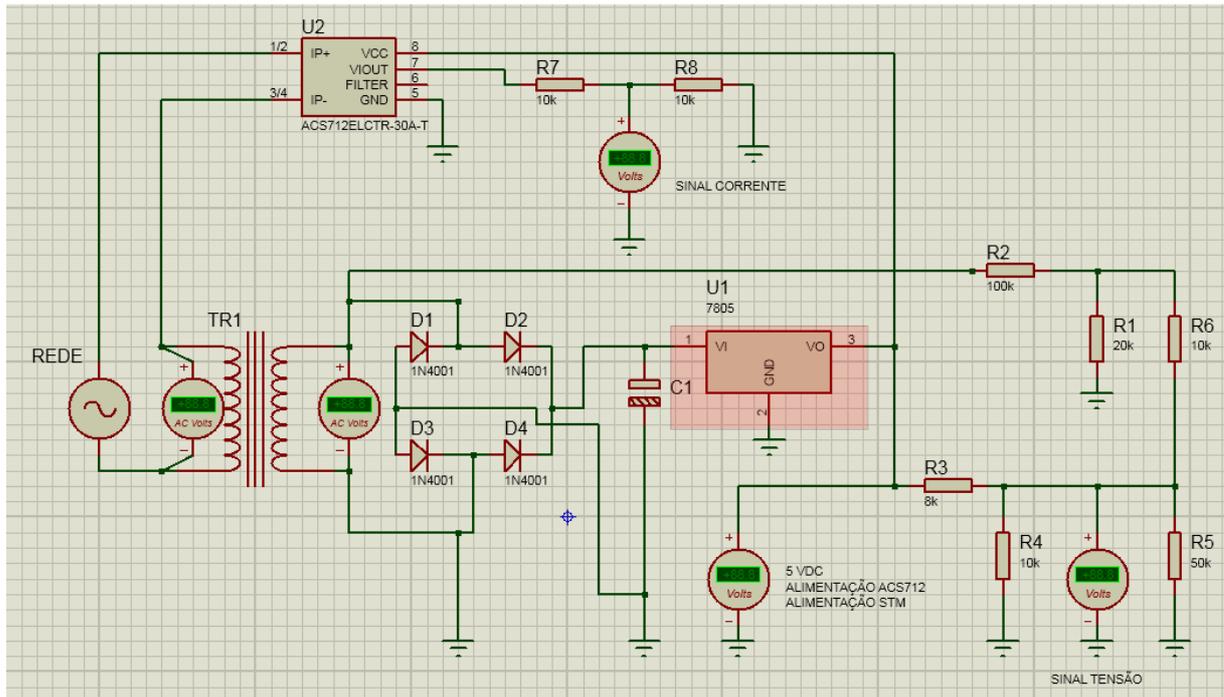


FIGURA 11 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO

FONTE – Autoria própria (2013).

3.2.3 Circuito de aquisição de sinal

O “Circuito de aquisição de Sinal” é responsável por Monitorar a tensão e corrente elétrica demandada pelo consumidor em tempo real. Para realizar a aquisição dos sinais de corrente e tensão foram utilizados os respectivos sensores, ACS712 e a malha resistiva.

3.2.3.1 ACS712 – Sensor de corrente

O componente eletrônico fabricado pela Allegro ACS712-30 - figura 12 -, é um sensor de Efeito Hall com comportamento de transdução eletromagnética passiva capaz de transformar uma amplitude de corrente, de até 30 Ampères, em uma amplitude de tensão. O ponto de tensão quiescente está como padrão 50% da entrada, e a sensibilidade de saída de 66m à 185mV/A (ALLEGRO, p.3, 2011).

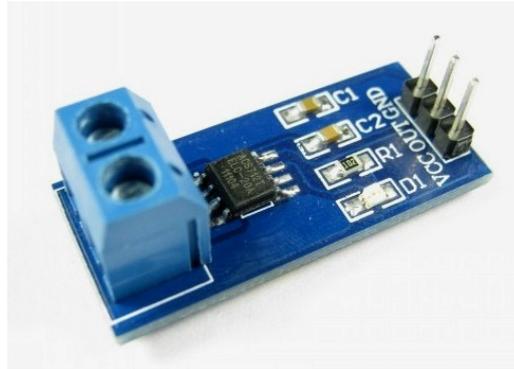


FIGURA 12 – SENSOR DE CORRENTE ACS712

FONTE – EMBEDDED LAB (2012).

Pode-se verifica na tabela 1, a escala obtida através de medidas e a resolução da tensão e corrente para 12 bits de resolução do AD.

TABELA 1 – ESCALAS DO SENSOR ACS712

FONTE – Aatoria própria (2013).

Escala Do Sensor ACS712			
0	Volts	-30	Amperes
2,5	Volts	0	Amperes
5	Volts	30	Amperes
Resolução Para 12 bits			
Tensão de alimentação Testada:			5,13
Resolução de Tensão	0,020039063		V/bit
Resolução da Corrente	0,1171875		A/bit

O sensor ACS712 tem comportamento linear e as variações de temperatura causam variações quase imperceptíveis nos valores medidos, como pode-se verificar na figura 13.

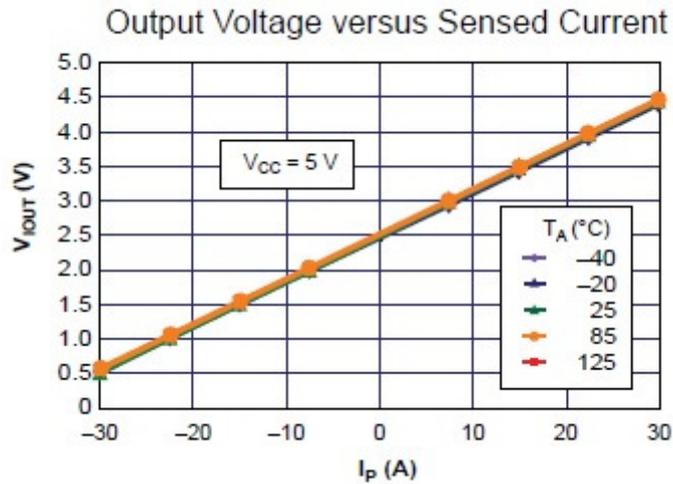


FIGURA 13 – GRÁFICO TENSÃO DE SAÍDA X CORRENTE MEDIDA
 FONTE – (ALLEGRO, p.8, 2011).

Um circuito de divisor resistivo foi projetado para adequar os sinais a serem aplicados nas entradas do conversor A/D (analógico digital) do microcontrolador, que será citado com mais detalhes no “Módulo de Condicionamento do Sinal”. Isto se faz necessário para evitar queima da entrada A/D do microcontrolador, pois sua entrada A/D trabalha com níveis de tensão de até 3,6 VDC (STMICROELECTRONICS, 2009, p1), e o sinal de saída do ACS712 varia de 0 a 5 VDC (ALLEGRO, p.8, 2011) proporcional ao valor da corrente. O circuito que realiza a adequação do sinal de corrente e mostrado na figura 14.

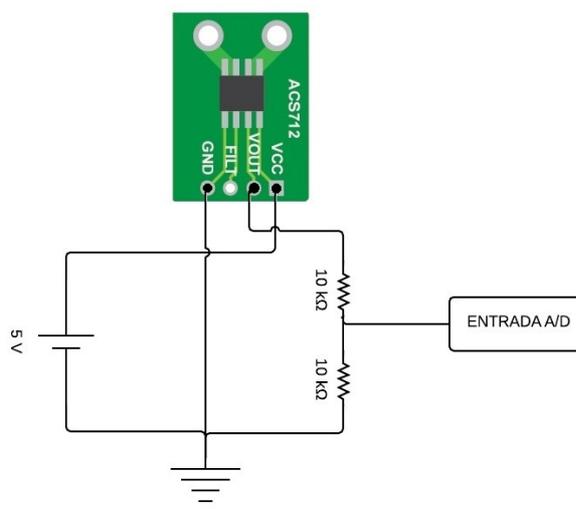


FIGURA 14 – CIRCUITO DO SENSOR DE CORRENTE ACS712
 FONTE – Autoria própria (2013).

3.2.3.2 Sensor de tensão

Para que o conversor analógico digital do Kit de Desenvolvimento possa adquirir os sinais, é necessário reduzir a tensão do sinal para um valor adequado, no caso, o limite máximo é de 3,6VDC (STMICROELECTRONICS, 2009, p1). A maneira na qual se reduz este valor, foi a utilização de uma malha resistiva, evitando assim o uso de amplificadores operacionais – figura 11 (STACKEXCHANGE, 2012).

3.2.4 Módulo de condicionamento do sinal

O “Módulo de Condicionamento de Sinal” é responsável pela realização da conversão A/D (analógico-digital) do sinal de corrente e tensão, realizar o empacotamento dos sinais para envio, enviar os pacotes de dados via protocolo serial para o equipamento de comunicação sem fio.

3.2.4.1 Kit de Desenvolvimento STM32VDiscovery

Para a realização da conversão A/D dos sinais, bem como tratar os dados coletados de maneira à enviá-los posteriormente via protocolo serial, optou-se por utilizar o Kit de Desenvolvimento STM32VDiscovery, figura 15 - fabricado pela STMicroelectronics, no projeto.

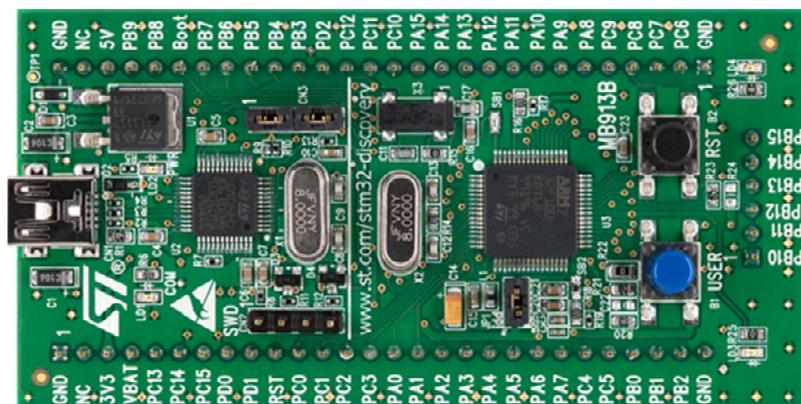


FIGURA 15 – KIT DE DESENVOLVIMENTO STM32DISCOVERY
 FONTE – STM32DISCOVERY (2011).

As características gerais do kit STM32VLDISCOVERY são (Doc ID 16455 Rev 6, 20011, p. 1):

- Microcontrolador ARM 32-bit Cortex™-M3 CPU, 128 kB Flash, 8kB RAM;
- Alimentação via USB ou externa de 5V ou 3,3V e baixo consumo;
- Diversos Pinos de Entrada e Saída digitais e analógicos;
- Capacidade de Remapeamento;
- Conversores ADC's (*Analog to Digital Converter*);
- Conversores DAC's (*Digital to Analog Converter*);
- Controlador de Interrupções e Eventos;
- Protocolo I2C (*Inter-Integrated Circuit*), USART (*Universal Synchronous Asynchronos Receirver Transmitter*);
- Sensor de Temperatura;
- Debugador;
- *Timers*;
- *Watchdog*.

A principal razão pela sua escolha foi devido ao seu baixo custo, bem como a já existência de conversores A/D (Analógico/Digital) de 12-bits, embarcados na placa. No projeto utiliza-se dois canais externos, um para o sinal analógico de tensão e outro para o de corrente.

Para o desenvolvimento do projeto foram utilizados os conversores analógico-digitais, controlador de interrupções, o protocolo *USART*, *Watchdog* e principalmente o debugador, devido aos problemas que surgiam durante a execução do projeto.

3.2.5 Firmware

Para realizar constantemente a leitura de ambos os sinais, a partir dos conversores analógico-digitais implementados nos pinos PA0 e PA1. Estes pinos pertencem ao A/D1 (conversor analógico digital 1) e representam canais distintos. Basicamente, o kit realiza a conversão, e a uma taxa de 400 Hz (taxa de interrupção) os dados são lidos e armazenados, em tempos, são enviados via serial para o módulo de comunicação, como pode-se verificar na figura 16.

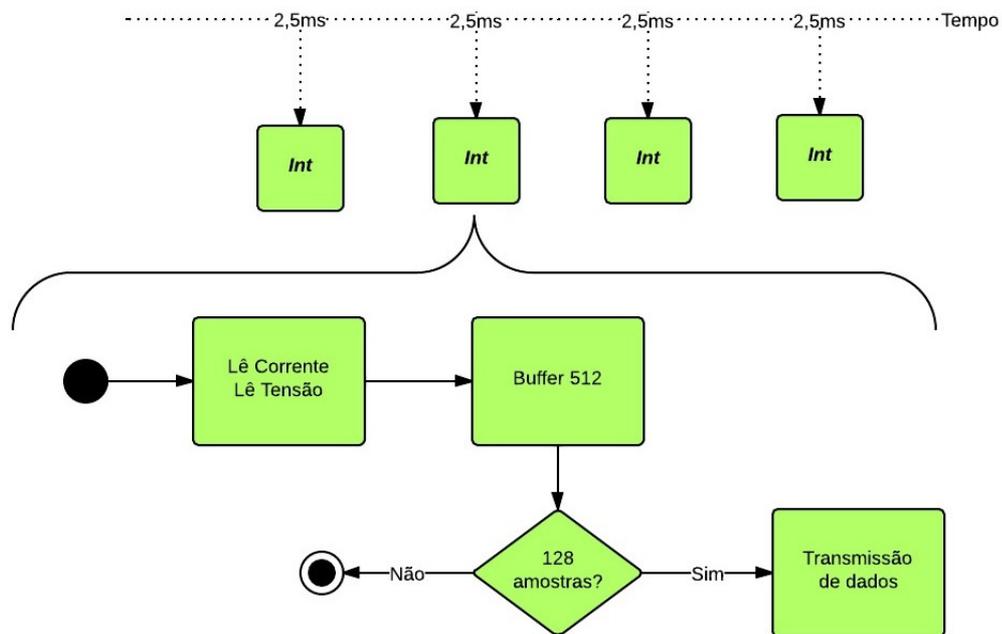


FIGURA 16 – KIT DE DESENVOLVIMENTO STM32DISCOVERY

FONTE – Autoria própria (2013).

Programou-se uma interrupção por tempo, que é gerada a cada 25 ms e executa o método *void Interrupção()*, onde a cada chamado ocorre a leitura e o armazenamento dos valores mensurados em um *buffer* de 512 posições, garantindo assim que nenhum dado seja perdido.

O funcionamento desta rotina pode ser observado pelo pseudocódigo na figura 17.

```

void Interrupcao()
{
    Seleciona_AD(AD_Tensão); //seleciona AD a ser lido
    buffer_corrente[ponteiroCorrente] = Get_ValorAD; //armazena o valor lido no buffer
    Seleciona_AD(AD_Corrente); //seleciona o outro AD
    buffer_tensao[ponteiroTensao] = Get_ValorAD; //armazena o valor lido no buffer

    ponteiroCorrente++;
    ponteiroTensao++;

    if (ponteiroCorrente == 512)
        ponteiroCorrente = 0;
    if (ponteiroTensao == 512)
        ponteiroTensao = 0;

    Conversao++;
}

```

FIGURA 17 – PSEUDO CÓDIGO 1

FONTE – Autoria própria (2013).

Estipulou-se que a transmissão dos dados ao transmissor XBee ocorreria a cada 128 amostras armazenadas nos *buffers*. Antes e depois da transmissão dos dados convertidos via serial. Palavras chave são enviadas como cabeçalho e rodapé, com intuito de identificar a grandeza medida e como variável de controle. Ou seja, caso trate de tensão elétrica, envia-se a palavra ITEN (Início Tensão) à priori do envio dos dados e FTEN (Fim Tensão). Caso o dado a ser enviado seja a corrente elétrica, inicia-se a transmissão com ICOR (Início Corrente) e termina com FCOR (Fim Corrente).

Para envio, os dados necessitam serem adaptados ao protocolo de comunicação serial RS-232, como eles possuem 12 bits (resolução do AD) eles devem ser transformados convertidos para 8 bits, para que a transmissão para o ZigBee seja possível. Para isso os valores obtidos são divididos por 16 (4 bits).

Assim como no início de cada ciclo, no final envia-se a palavra FTEN ou FCOR para avisar que a transmissão foi concluída. Esta rotina de transmissão é realizada constantemente, conforme mostrada na figura 18.

```

void main()
{
    Init(); //Inicializa ADs, USART e Interrupção
    while (1)
    {
        while(Conversao!=tamanhoBuffer); //Espera armazenagem das 128 amostras

        Usart1Put('I');
        Usart1Put('T');
        Usart1Put('E');
        Usart1Put('N');
        for (i=valorParada;i<valorParada + tamanhoBuffer;i++)
        {
            Usart1Put(bufferTensao[i]/16); //Redução de 12 para 8 bits
        }

        Usart1Put('F');
        Usart1Put('T');
        Usart1Put('E');
        Usart1Put('N');

        Conversao=0; // desligo a flag
    }
}

```

FIGURA 18 – PSEUDO CÓDIGO 2

FONTE – Autoria própria (2013).

Os pinos utilizados como transmissor (TX) e receptor (RX) do kit de desenvolvimento são PA9 (TX) e o PA10 (RX). Estes pinos correspondem a USART1. A mesma é configurada através de uma rotina que é chamada no início do programa. A taxa de transmissão configurada é de 115200 bps. Este valor pode ser configurado

para valores menores, com intuito de aumentar a distância entre o transmissor e o receptor, porém, para fins acadêmicos, estipulou-se o valor máximo no qual o sistema consegue se manter estável.

3.3 MÓDULO DE COMUNICAÇÃO

3.3.1 Aspectos gerais

O Módulo de Comunicação é composto por dois blocos: o primeiro, o Transmissor, que recebe os dados de medição do kit de desenvolvimento via protocolo EIA RS-232 e transmite via protocolo IEEE 802.15.4, o segundo, que recebe os dados via protocolo IEEE 802.15.4 e envia os dados ao servidor via protocolo USB (*Universal Serial Bus*). Como se pode ver na figura 19.

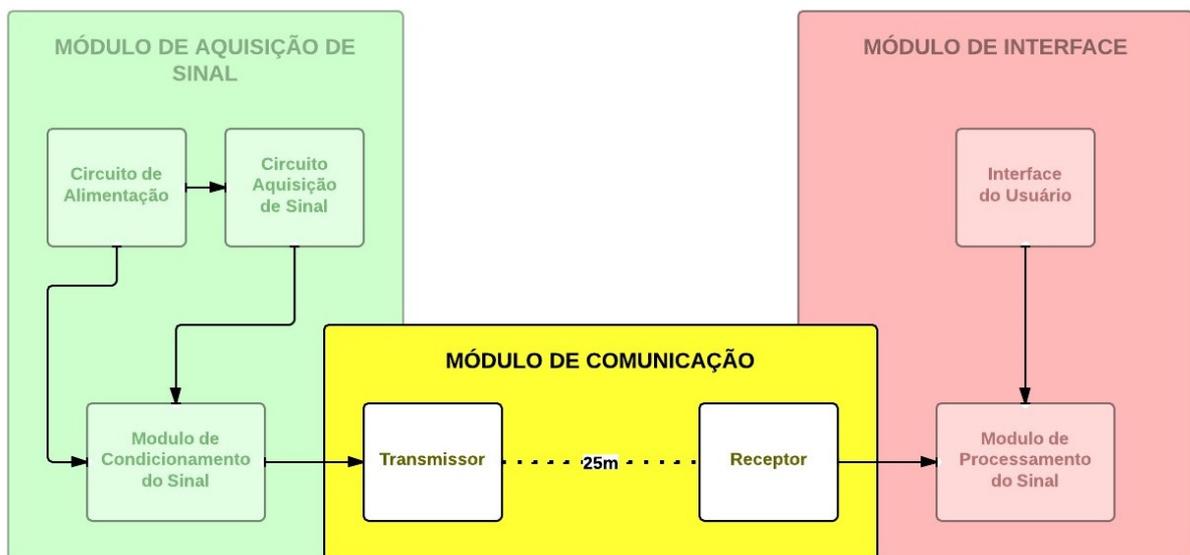


FIGURA 19 – MÓDULO DE COMUNICAÇÃO

FONTE – Autoria própria (2013).

3.3.2 ZigBee

As comunicações sem fio estão cada dia mais presentes na sociedade. Nunca antes houve tanta facilidade para trocar informações entre os mais diversos

dispositivos, sejam eles computadores, sistemas fabris, controle de processos, verificação constante de variáveis, entre outros (RCOM, 2008). Os principais benefícios destas tecnologias são:

- Maior flexibilidade;
- Menores custos de manutenção;
- Menor infraestrutura;
- Liberdade de acesso à informação.

Todos os fatores anteriormente citados acarretam em tomadas de decisões mais rápidas, e por muitas vezes mais acertadas, uma vez que as informações estão a apenas um *click* de distância do usuário (RCOM, 2008).

Um destes protocolos de comunicação é o ZigBee IEEE 802.15.4. O mesmo é desenvolvido pela ZigBee Alliance juntamente ao IEEE, através da associação de várias empresas, que trabalham em conjunto para proporcionar e desenvolver tecnologias com o intuito de criar um padrão de baixo consumo de energia, baixo custo, segurança, confiabilidade. Ou seja, é ideal para atender as necessidades da comunicação entre os sensores e sistemas de controle. Portanto, pode ser empregado nas mais diversas situações (RCOM, 2008), como por exemplo:

- Automação Industrial – Controle de Processos, Sensoriamento;
- Automação Residencial e Comercial– Alarmes, Controle de Acesso, Iluminação;
- Saúde – Monitoramento de variáveis fisiológicas;
- Periféricos de Computadores, *Tablets*, Celulares.

3.3.2.1 Configurações possíveis de rede

Além da capacidade de formar uma rede ponto-a-ponto, como por exemplo, sensor e atuador, pode-se estabelecer uma rede em malha, *Mesh*, onde os módulos são capazes de se comunicar, aumentando a área de cobertura da rede, e otimizando o melhor caminho para o tráfego dos dados (TELECO, 2004).

Os referidos dispositivos podem ser configurados de três maneiras diferentes:

- Coordenador: Define o canal de comunicação da rede, gerencia os nós da rede e armazena as informações sobre os mesmos. Qualquer rede deve possuir pelo menos um dispositivo coordenador.
- Roteador: Encaminha as mensagens entre os nós da rede;
- Dispositivo Final: Comunica-se com um nó apenas.

A disposição dos módulos na rede *Mesh* pode ser visualizada na figura 20.

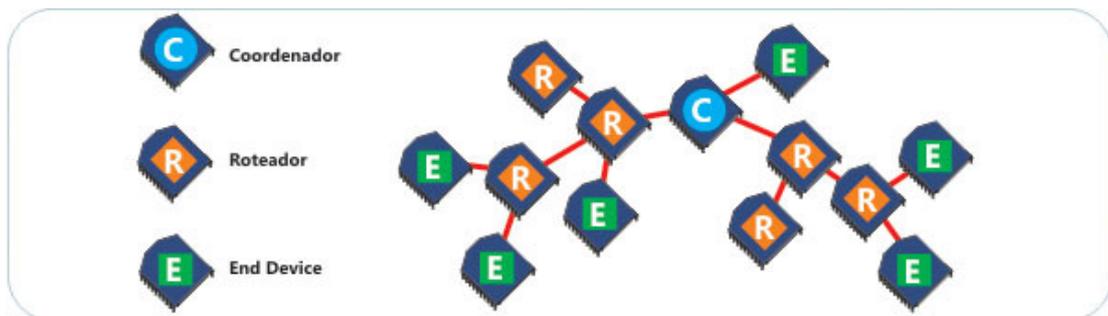


FIGURA 20 – DISPOSIÇÃO DOS MÓDULOS MESH

FONTE – VIKA (2013).

O alcance dos dispositivos variam de 100 a 1000 metros, dependendo do modelo, utilizando uma potência de pelo menos 1mW para transmissão das informações. Seu custo também é inferior quando comparado a outros módulos como, por exemplo, o *WiFi*, afirmando assim suas premissas de baixo consumo e custo (SENA BLOG, 2010).

3.3.2.2 Mapeamento dos pinos

Além da transmissão de dados via RF, os módulos ainda possuem conversores analógico-digitais, entradas e saídas analógicas e digitais, e *PWM*, conforme a tabela 2.

TABELA 2 – MAPEAMENTO DA ARQUITETURA ZIGBEE.

FONTE – XBEE DIGI (2009)

Pino #	Nome	Direção	Descrição
1	VCC	-	Alimentação 3,3v
2	DOUT	Saída	Saída de dados da UART
3	DIN / CONFIG	Entrada	Entrada de dados da UART
4	DO8*	Saída	Saída digital 8
5	RESET	Entrada	Inicializa módulo (um pulso nível 0 de pelo menos 200ms)
6	PWM0 / RSSI	Saída	Saída do PWM 0 / Indicador de Força do sinal de RF (RX)
7	PWM1	Saída	Saída do PWM 1
8	(Reservado)	-	Ainda não tem uma função definida (futura implementação)
9	DTR / SLEEP_IRQ / DI8	Entrada	Linha de Controle da Função Sleep ou Entrada digital 8
10	GND	-	Terra
11	AD4 / DIO4	Entrada/Saída	Só Entrada Analógica 4 ou Entrada/Saída Digital 4
12	CTS / DIO7	Entrada/Saída	Controle de Fluxo CTS ou Entrada/Saída Digital 7
13	ON / SLEEP	Saída	Indicador de Estado do Módulo
14	VREF	Entrada	Voltagem de Referência para as Entradas A/D
15	AD5 / DIO5	Entrada/Saída	Indicador de Associação, só Entrada Analógica 5 ou Entrada/Saída Digital 5
16	RTS / AD6 / DIO6	Entrada/Saída	Controle de Fluxo RTS, só Entrada Analógica 6 ou Entrada/Saída Digital 6
17	AD3 / DIO3	Entrada/Saída	Só Entrada Analógica 3 ou Entrada/Saída Digital 3
18	AD2 / DIO2	Entrada/Saída	Só Entrada Analógica 2 ou Entrada/Saída Digital 2
19	AD1 / DIO1	Entrada/Saída	Só Entrada Analógica 1 ou Entrada/Saída Digital 1
20	AD0 / DIO0	Entrada/Saída	Só Entrada Analógica 0 ou Entrada/Saída Digital 0

3.3.2.3 Modos de operação

A rede ZigBee pode atuar de duas maneiras, Modo Transparente e Modo API, conforme explicados a seguir:

- Modo Transparente

Nesta configuração os módulos agem como uma linha serial, ou seja, via protocolo RS-232, conforme ilustrado na figura 21.

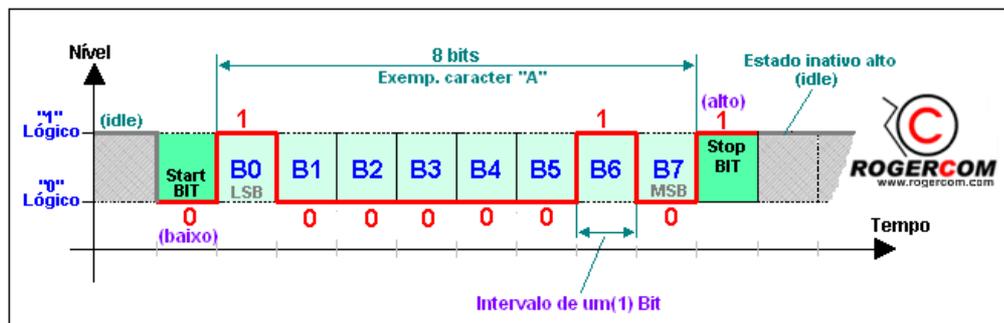


FIGURA 21 – PROTOCOLO RS232

FONTE – RCOM (2008).

Todos os dados UART recebidos pelo pino DIN, *data in* (pino 3) são *bufferizados* e então enviados pelo pino DOUT, *data out* (pino 2). Os parâmetros de comunicação são configurados via comandos AT ou através de um *software* denominado X-CTU, desenvolvido pela Digi International (RCOM, 2008).

- Modo API

O modo de operação API é uma alternativa ao modo Transparente, principalmente quando se busca uma maior configuração da rede estabelecida pelos módulos. Este modo amplia a interação entre as aplicações e as capacidades dos módulos ZigBee. Toda informação recebida ou enviada está contida em quadros que definem as operações ou eventos dentro do módulo de comunicação (RCOM, 2008).

A figura 22 indica as vantagens e desvantagens na utilização dos dois diferentes módulos de operação.

Funcionalidades da Operação Transparente	
Interface Simples	Todo dado serial é transmitido
Facilidade de Suporte	Mais fácil para um aplicativo suportar este modo
Funcionalidades da Operação API	
Facilidade no gerenciamento de transmissões para múltiplos destinos de Suporte	A transmissão RF de dados para múltiplos dispositivos é realizada através da mudança do endereço no quadro API. Este processo é muito mais rápido que o modo transparente. Toda transmissão API pode retornar um <i>status</i> da transmissão
Dados Recebidos são Identificados	Todo dado recebido via quadro API indicam o endereço do transmissor
Diagnóstico de Rede	Quadros API fornecem indicação de amostras de E/S de dispositivos remotos e mensagens de identificação de nós
Configuração Remota	Comandos de configuração podem ser enviados a dispositivos remotos para configurá-los

FIGURA 22 – FUNCIONALIDADES DOS MODOS DE OPERAÇÃO

FONTE – XBEE DIGI(2009).

Para realizar a comunicação entre os módulos de “Aquisição de Sinal” e o “Módulo de Interface” utilizou-se dois dispositivos ZigBee no modo Transparente, sendo um deles configurado para atuar como Transmissor e o outro como Receptor. Os dados recebidos da USART pelo pino DIN(RX) são colocados na fila para transmissão via RF. Já os dados recebidos do canal de RF, são transmitidos através do pino DO(TX) (RCOM, 2008).

Assim como o Microcontrolador, ambos os módulos são configurados para operar numa taxa de 115200 bps. Esta configuração também é realizada via *Software* X-CTU.

3.3.3 Configuração do Transmissor

Para enviar os dados oriundos do Kit Microcontrolador, um dos módulos Xbee foi configurado como Coordenador. Para tal, utilizou-se uma placa USB para conectar o módulo ao computador, figura 23. A partir dela é possível mudar parâmetros, carregar diferentes versões de *firmware*, ou seja, configurar a rede ZigBee.

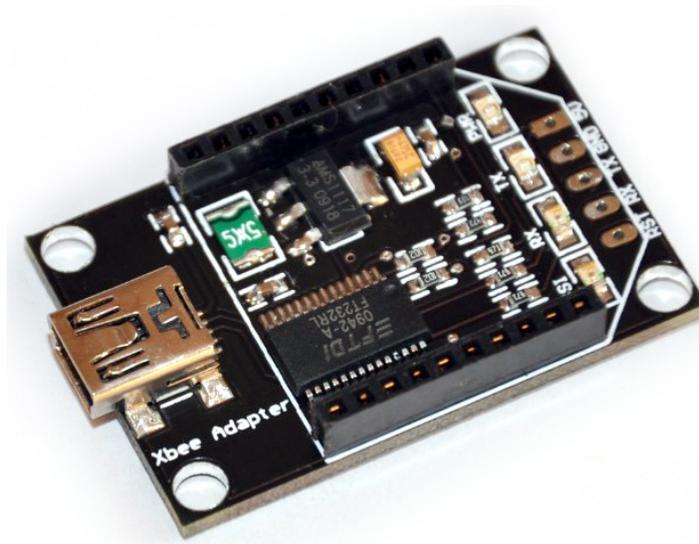


FIGURA 23 – XBEE EXPLORER USB.

FONTE – Autoria Própria (2013).

Após esta etapa, carrega-se o *firmware* de número 20A7 (ZIGBEE COORDINATOR AT) através do aplicativo X-CTU – figura 24.

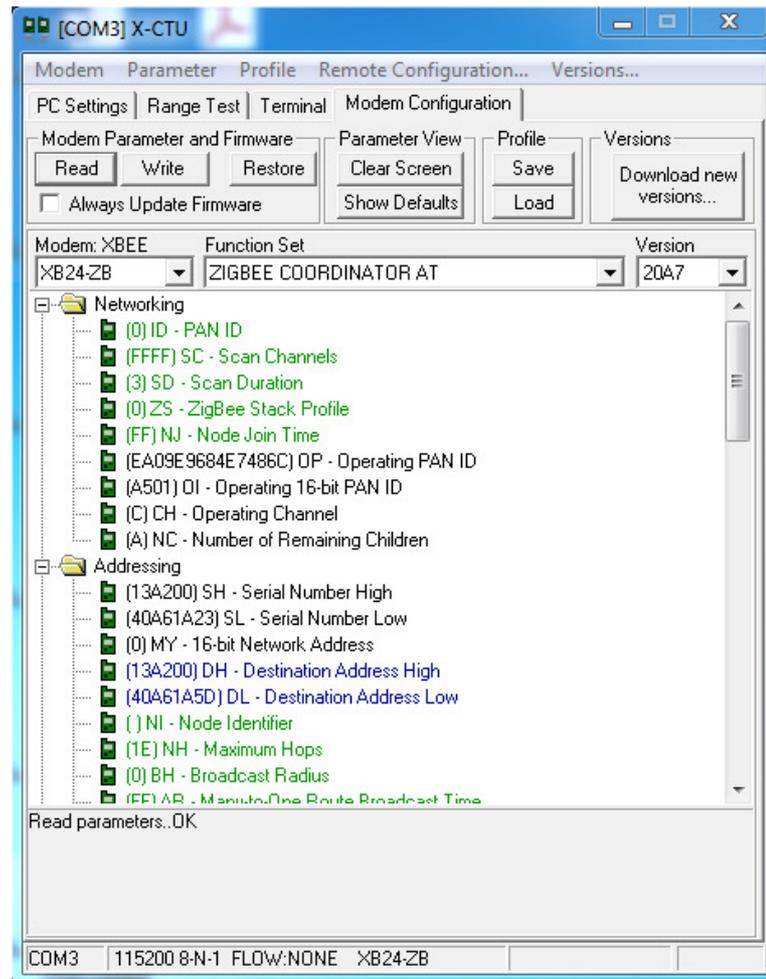


FIGURA 24 – CONFIGURAÇÕES DO COORDENADOR

FONTE – A autoria Própria (2013).

Por se tratar do Modo transparente, e conter apenas dois módulos, o transmissor é configurado para se comunicar com o dispositivo receptor. Assim, o endereço de destino do transmissor é configurado no receptor, conforme ilustrado na figura 24.

Quando uma informação é recebida no modo de transmissão, o dispositivo sai do Modo Ocioso e tenta iniciar a transmissão. Para tal, o módulo transmissor assegura-se que uma rede foi estabelecida. Caso o endereço da rede não seja conhecido, ele tentará descobri-la. O mesmo acontece com a rota, caso não exista uma rota válida, a mesma será estabelecida para formação da rede. Se o endereço de rede não for descoberto, ou a rota, o pacote será descartado (XBEE DIGI,2009). A figura 25 ilustra estas características da rede.

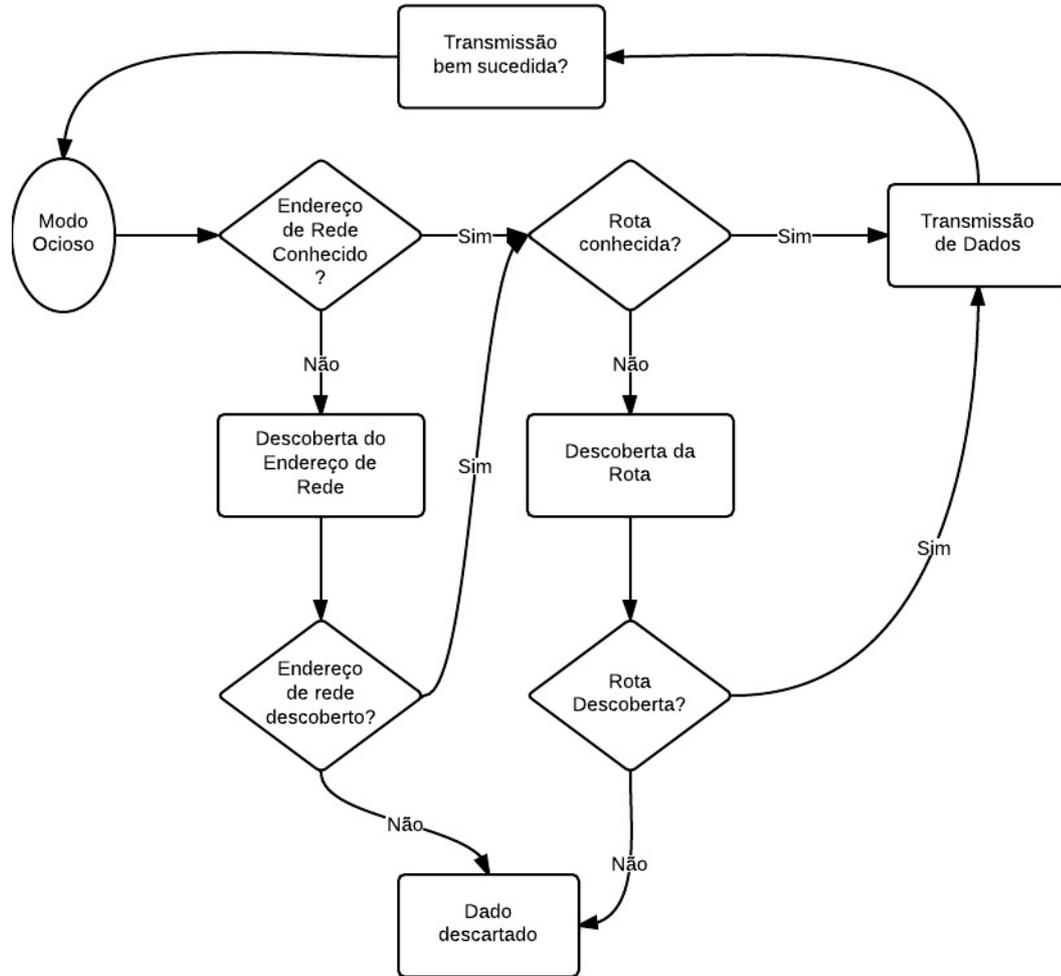


FIGURA 25 – TRANSMISSÃO ZIGBEE

FONTE – XBEE DIGI (2009).

Após programar o transmissor, utiliza-se uma outra placa, basicamente um soquete, para conectá-la ao Kit de Desenvolvimento – figura 26.



FIGURA 26 – SOQUETE XBEE

FONTE – Autoria Própria (2013).

Para possibilitar a transmissão *Wireless* utiliza-se apenas os pinos 1, 2, 3 e 10, figura 27, que representam respectivamente os pinos de VCC, DIN, DOUT e Terra.

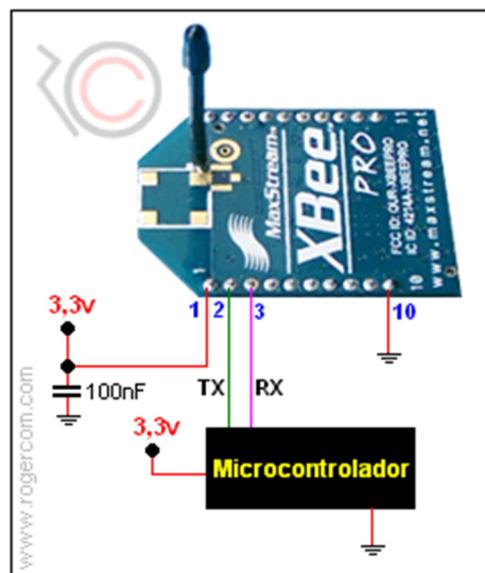


FIGURA 27 – CONEXÃO AO MICROCONTROLADOR

FONTE – RCOM (2008).

3.3.4 Configuração do Receptor

O receptor é configurado de maneira similar ao transmissor. Uma das diferenças é que como já há um coordenador, ele é carregado com o *firmware* de roteador, 22A7, conforme a figura 28.

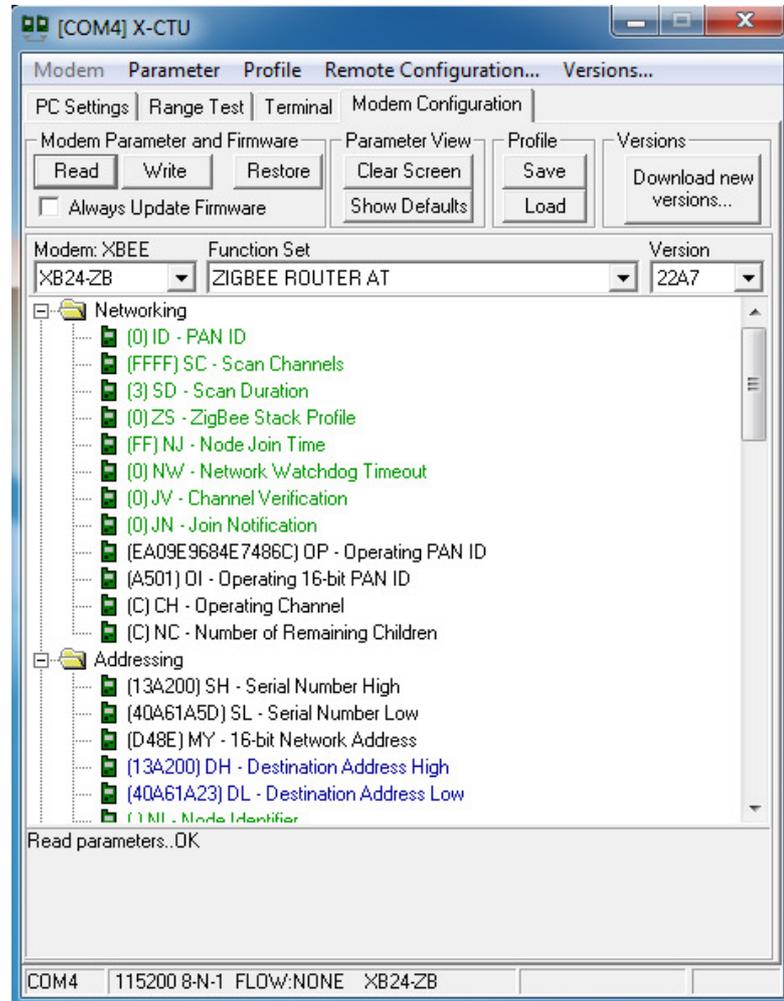


FIGURA 28 – CONFIGURAÇÕES DO RECEPTOR

FONTE – Aatoria Própria (2013).

De maneira semelhante ao coordenador, o receptor é configurado para se comunicar com o transmissor. Assim, o endereço de destino do receptor é configurado no transmissor, conforme figura 28.

Analisando as figuras X e Y, nota-se que ambos possuem o mesmo canal de operação, e que se encontram na mesma rede (PAN ID). Desta maneira os dois dispositivos formam uma rede.

3.4 MÓDULO DE INTERFACE

3.4.1 Aspectos Gerais

O Módulo de Interface é composto por dois blocos: o primeiro, o Módulo de Processamento do Sinal, composto pelo servidor web Java e o banco de dados, e o segundo denominado Interface do Usuário (aplicativo Cliente). Como se pode verificar na figura 29.

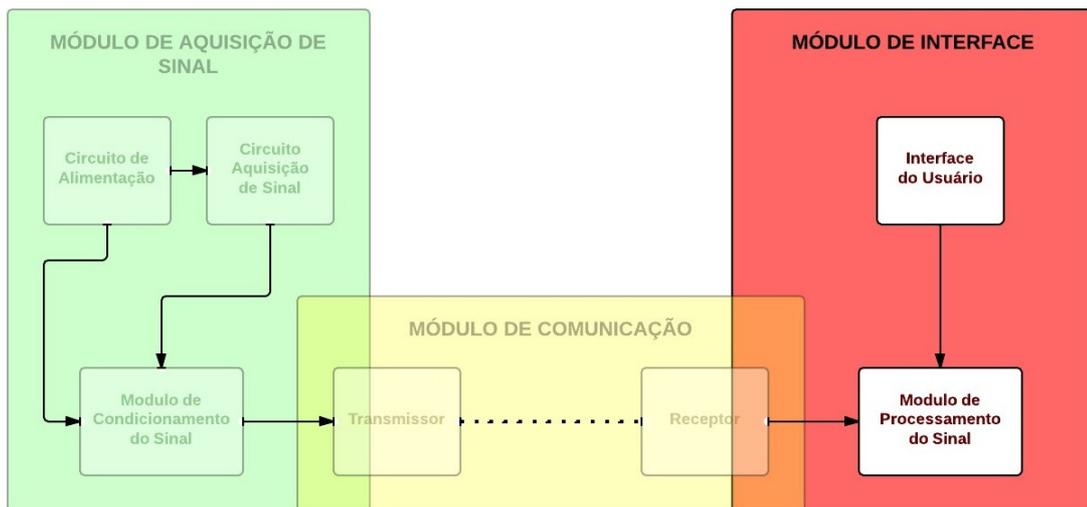


FIGURA 29 – MÓDULO DE INTERFACE

FONTE – Autoria própria (2013).

3.4.2 NetBeans

O NetBeans IDE (*integrated development environment*) é uma plataforma gratuita e de código aberto para desenvolvedores de *software*. O IDE é executado em diversas plataformas, como Windows, Linux Solaris e MacOS. O NetBeans IDE oferece aos desenvolvedores ferramentas necessárias para criar aplicativos profissionais de *desktop*, empresariais e *Web* (NET BEANS, 2013).

A IDE NetBeans auxilia programadores a escrever, compilar, debugar e instalar aplicações, e sua arquitetura foi desenvolvida em forma de uma estrutura reutilizável que visa simplificar o desenvolvimento e aumentar a produtividade, pois reúne em uma única aplicação todas estas funcionalidades. Totalmente escrita em Java, mas

pode suportar outras linguagens de programação que possuam um sistema operacional que trabalhem com a máquina virtual Java (JVM) (NET BEANS, 2013).

Alguns dos seus principais recursos são:

- Editor de código fonte integrado, rico em recursos para aplicações Web (Servlets e JSP, JSTL, EJBs) e aplicações visuais com Swing que é uma API (*Application Program Interface*) Java para interfaces gráficas.
- Visualizador de classes integrado ao de interfaces, que gera automaticamente o código dos componentes;
- Suporte ao Java Enterprise Edition;
- *Plugins* para UML (*Unified Modeling Language*), linguagem de modelagem não proprietária de terceira geração, e desenvolvimento remoto em equipes;
- Interface amigável com CVS (*Concurrent Version System*);
- Assistência local e *on-line*;
- Debug apurado de aplicações e componentes;
- Auto completar avançado.

3.4.3 PostGres

O PostGres é um sistema gerenciador de banco de dados de código aberto a desenvolvedores. Para desenvolvimento do projeto utilizou-se o mesmo para armazenar os dados recebidos pelo Xbee Receptor. Tais dados depois de armazenados podem ser utilizados pelo aplicativo Servidor (desenvolvido em linguagem java), e conseqüentemente podem ser visualizados pelo aplicativo Cliente (também desenvolvido em linguagem java) (POSTGRES, 2013).

3.4.4 Servidor / Módulo de Processamento

O Servidor utilizado pelo MEC foi desenvolvido com a ferramenta Apache Tomcat, um servidor web Java. Sua função no projeto é disponibilizar os dados provenientes da porta USB, via Xbee, a um aplicativo Cliente. Para tal ele utiliza a porta 8080 do computador.

A princípio, a leitura dos dados recebidos na porta USB seria realizada pelo aplicativo Servidor, porém, há uma incompatibilidade entre o Apache Tomcat e o Windows 7, que impossibilita esta leitura. Para sanar este problema, compilou-se uma nova biblioteca (.dll) em linguagem c, capaz de realizar esta leitura. Ou seja, o Servidor chama a biblioteca, que lê os dados recebidos e os entrega para o servidor.

Ao ser inicializado, o servidor lê o banco de dados e busca nele as variáveis de ambiente. Esta etapa é fundamental para que os valores de tensão elétrica e corrente elétrica sejam disponibilizados posteriormente ao Cliente.

Há dois *buffers* de 1000 amostras no Servidor, responsáveis pelo armazenamento dos dois sinais elétricos. Além disso, a cada 200 amostras o Servidor realiza os cálculos de “Tensão Eficaz” e “Corrente Eficaz”, otimizando assim os gastos computacionais dos Clientes.

3.4.5 Interface do Usuário

A interface do Usuário corresponde ao aplicativo Cliente. Após conectar ao servidor, via requisições HTTP-Post, ele solicita ao servidor 200 amostras, tanto de tensão quanto de corrente. E com estas amostras, plota-se o gráfico da figura 30.

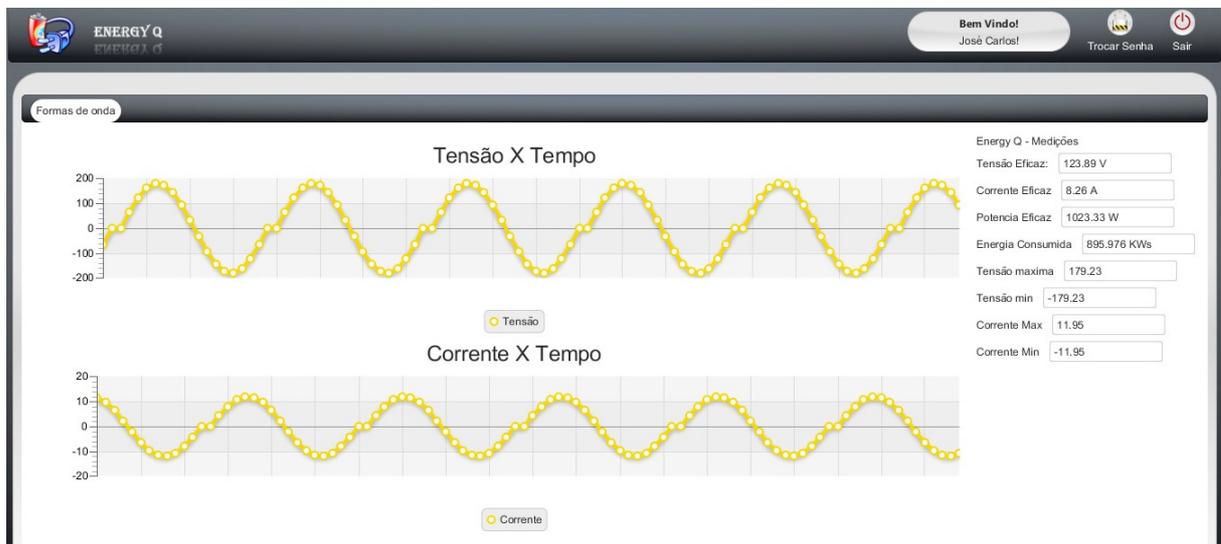


FIGURA 30 – APLICATIVO CLIENTE

FONTE – Autoria própria (2013).

Além de conter 200 amostras por ciclo de tensão elétrica e 200 amostras por ciclo de corrente elétrica, a requisição HTTP-Post envia também os valores de Tensão Eficaz e Corrente Eficaz, calculados pelo Servidor.

A tela representada na figura 28 foi desenvolvida no JavaFX. Esta ferramenta é uma plataforma multimídia desenvolvida pela Oracle, com base em Java, e tem sido utilizado nos mais diversos dispositivos. Ela é similar ao Flash da Adobe e ao Silverlight da Microsoft.

4. TESTES E ANÁLISES

4.1 ASPECTOS GERAIS

Todos os testes realizados no protótipo tiveram como base uma carga resistiva. Isso foi determinado, para que fosse possível simplificar a análise ao funcionamento do MEC, podendo de forma rápida e fácil, realizar ajustes para que fosse possível chegar aos resultados esperados especificados no projeto.

Os testes aqui demonstrados foram realizados em bancada de teste de cargas, figura 31, realizados nos dias 21/09/2013 temperatura ambiente 20°C e dia 22/09/2013 temperatura ambiente 23°C.

A instrumentação básica é composta por:

- Osciloscópio digital, figura 33;
- Amperímetro digital, figura 33;
- Bancada de teste de Cargas, figura 32;
- Carga 1 XW/127V (Valor nominal);
- Carga 2 XW/127V (Valor nominal);
- Carga 3 XW/127V (Valor nominal);
- Notebook, Win 7 64 bits.

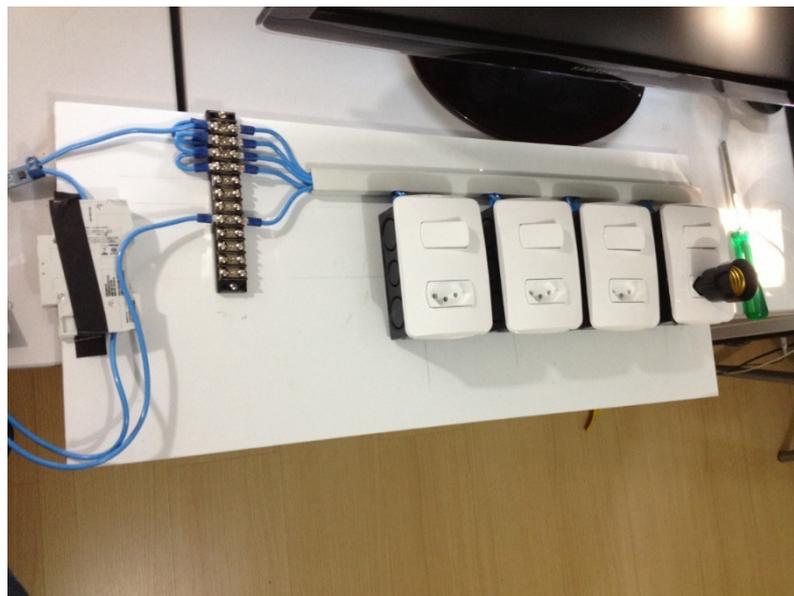


FIGURA 31 – BANCADA DE TESTE DE CARGAS

FONTE – Autoria própria (2013).



FIGURA 32 – BANCADA DE TESTE DE CARGAS 2
 FONTE – Autoria própria (2013).

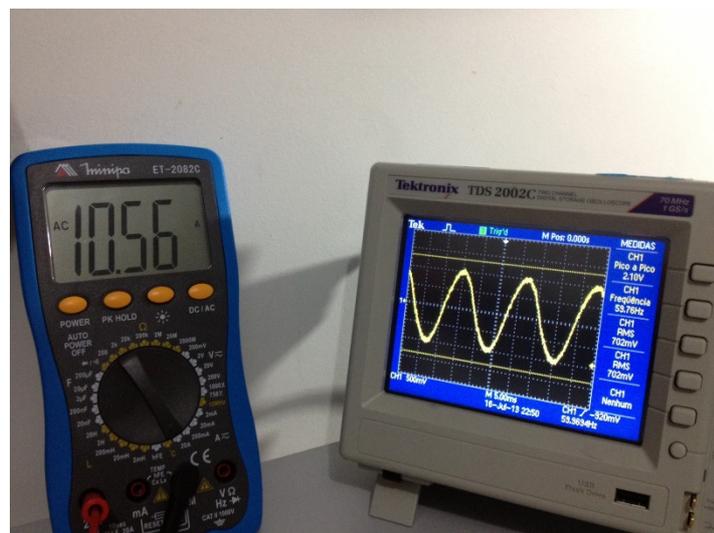


FIGURA 33 – INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO
 FONTE – Autoria própria (2013).

4.2 OBTENÇÃO DE AMOSTRAS DE VALORES DE TENSÃO E CORRENTE

As amostras para análise foram obtidas através do dispositivo MEC e comparados com os instrumentos de medição listados acima. Para a medição foram realizados três diferentes testes com valores de cargas de 1500W/127V, 1800W/127V e 60W/127V (valores nominais). O objetivo dos testes é a medição e tarifação das três cargas durante o intervalo de uma hora, como se pode verificar nas tabela 3, tabela 4 e tabela 5.

TABELA 3 – RELATÓRIO DE MEDIÇÃO E TARIFAÇÃO 1 CARGA

FONTE – Autoria própria (2013).

		Teste 1 - 21/09/2013				
	Carga 1:	1500	Carga 2:	0	Carga 3:	0
	Carga Total:	1500				
	Osciloscópio e Multímetro	MEC				
Tempo(min)	Tensão Eficaz	Corrente Eficaz	Potência Eficaz	Tensão Eficaz	Corrente Eficaz	Potência Eficaz
5	128,8	12,6	1620,83	127,98	12,8	1639,28
10	129,0	12,1	1565,64	127,72	13,7	1745,81
15	128,8	12,0	1539,62	129,43	12,5	1617,82
20	129,3	12,8	1654,45	128,44	12,8	1648,83
25	128,6	12,6	1615,84	129,00	12,2	1573,51
30	128,5	12,1	1558,16	128,06	13,5	1734,03
35	129,0	12,1	1557,20	128,45	13,4	1722,31
40	129,4	12,0	1555,39	128,05	12,7	1630,90
45	128,4	12,7	1627,10	128,00	12,9	1651,98
50	128,5	12,6	1621,37	129,27	12,8	1652,97
55	129,3	12,4	1607,74	129,07	12,9	1669,49
60	128,9	12,6	1623,33	128,70	13,3	1717,38

TABELA 4 – RELATÓRIO DE MEDIÇÃO E TARIFAÇÃO 2 CARGAS

FONTE – Autoria própria (2013).

		Teste 2 - 21/09/2013				
	Carga 1:	1500	Carga 2:	1800	Carga 3:	0
	Carga Total:	3300				
	Osciloscópio e Multímetro			MEC		
Tempo(min)	Tensão Eficaz	Corrente Eficaz	Potência Eficaz	Tensão Eficaz	Corrente Eficaz	Potência Eficaz

5	129,1	26,1	3368,29	128,92	26,7	3441,19
10	129,8	26,7	3470,16	129,15	26,9	3474,05
15	128,6	26,4	3389,98	128,79	27,2	3497,97
20	127,9	26,1	3337,63	128,38	27,2	3488,00
25	128,6	26,4	3395,13	128,55	26,7	3428,69
30	130,4	26,8	3496,95	128,62	27,1	3480,17
35	128,0	26,2	3348,77	127,68	26,5	3389,08
40	129,7	26,2	3400,74	128,44	27,3	3500,04
45	129,8	26,1	3383,87	127,55	27,0	3439,59
50	128,7	26,7	3434,86	128,96	26,9	3469,10
55	128,7	26,5	3407,43	127,98	27,3	3499,80
60	129,2	26,9	3482,09	128,23	26,9	3447,36

TABELA 5 – RELATÓRIO DE MEDIÇÃO E TARIFICAÇÃO 3 CARGAS.

FONTE – Autoria própria (2013).

Teste 3 - 21/09/2013						
	Carga 1:	1500	Carga 2:	1800	Carga 3:	60
	Carga Total:	3360				
	Osciloscópio e Multímetro			MEC		
Tempo(min)	Tensão Eficaz	Corrente Eficaz	Potência Eficaz	Tensão Eficaz	Corrente Eficaz	Potência Eficaz
5	129,4	27,1	3509,30	128,71	28,4	3656,80
10	129,6	26,6	3448,43	127,91	27,8	3552,79
15	128,4	26,6	3411,31	127,80	26,8	3419,96
20	129,4	27,0	3496,32	128,89	27,2	3507,96
25	128,9	26,9	3460,22	128,76	27,5	3541,03
30	128,2	26,9	3453,28	128,87	27,0	3481,01
35	129,4	27,4	3543,66	128,77	27,1	3491,17
40	129,1	27,3	3521,25	128,50	26,9	3459,56
45	129,4	26,5	3429,24	128,84	26,8	3458,09
50	128,7	27,3	3508,74	127,86	27,4	3504,82
55	129,6	26,9	3488,64	128,01	27,0	3451,27
60	129,8	27,0	3507,46	127,99	26,8	3435,56

Pode-se verificar que os erros de medição tanto de tensão e corrente foram menores que $\pm 1\%$ em relação aos equipamentos de instrumentação, cumprindo as especificações metrológicas do INMETRO (RTM N°431,2007) o erro percentual máximo é de $\pm 1\%$ para os medidores do tipo B.

4.3 PROTÓTIPO MEC

Desenvolveu-se uma placa, figura 34, a partir do *hardware* utilizado no projeto do Medidor Eletrônico.

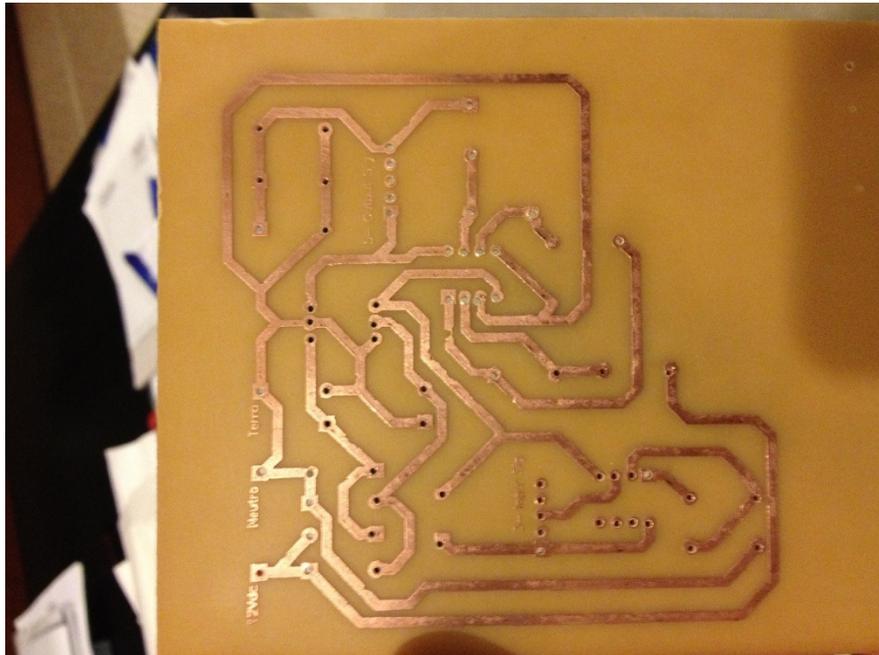


FIGURA 34 – PLACA DESENVOLVIDA

FONTE – Autoria própria (2013).

Pode-se ver nas figura 35 e 36 as imagens do protótipo final.

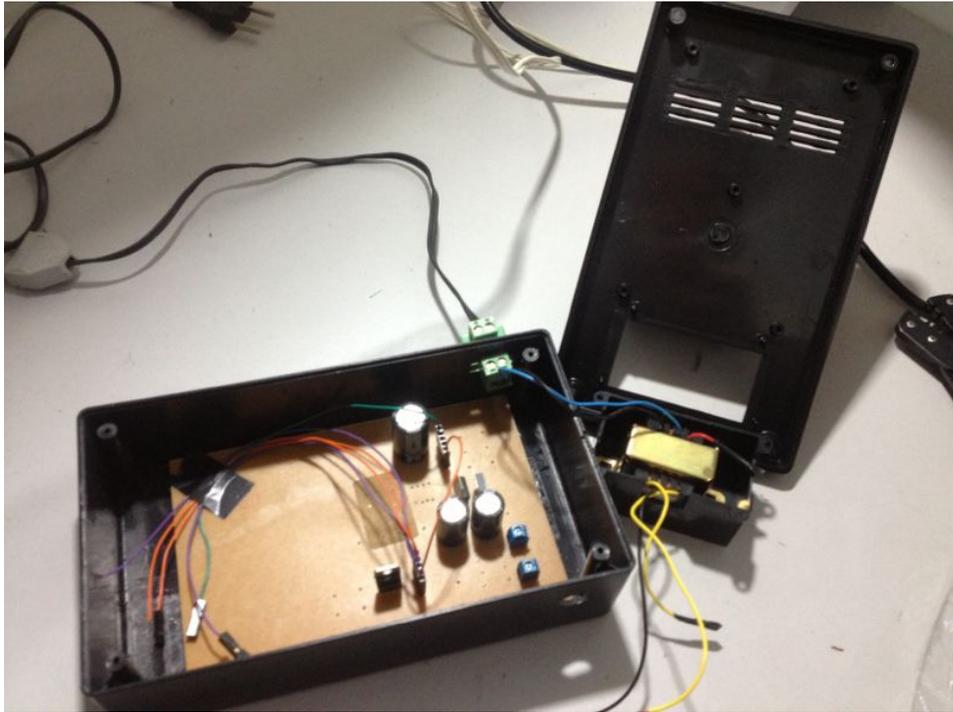


FIGURA 35 – PROTÓTIPO FINAL 1

FONTE – Autoria própria (2013).



FIGURA 36 – PROTÓTIPO FINAL 2

FONTE – Autoria própria (2013).

5 PLANO DE NEGÓCIO

5.1 SUMÁRIO EXECUTIVO

O presente documento aborda a implantação de um negócio na área da indústria eletrônica. O produto corresponde a um medidor eletrônico de qualidade de energia. Trata-se de um produto novo que venha a substituir os atuais medidores eletromecânicos residências, logo, possui um amplo mercado no país.

5.2 DEFINIÇÃO DO NEGÓCIO

5.2.1 Visão

Que todos recebam energia de qualidade, através de fontes sustentáveis, vindas de nossas soluções inovadoras de monitoramento de qualidade de energia.

5.2.2 Missão

Empresa inovadora em nossa especialidade em produtos de monitoramento da qualidade de energia elétrica desenvolvendo e fabricando produtos confiáveis, e fornecendo soluções integradas que oferecem o melhor valor em longo prazo aos nossos clientes.

5.2.4 Valores

- Sustentabilidade;
- Inovação;
- Respeito ao ser humano e ao meio-ambiente;
- Buscar a promoção humana;
- Valorização dos colaboradores, clientes e fornecedores.

5.2.4 Descrição do Negócio

Embalados pelas novas oportunidades de negócios, inseridos pela renovação da indústria de energia no Brasil e no mundo, mais conhecidas como o Smart Grid, ou

redes inteligentes, a empresa ZKNx Eletric Cia, iniciou seus serviços em fornecimento de medidores eletrônicos digitais inteligentes, o qual é, um dos pilares para a criação de uma rede inteligente.

Para os consumidores, a aplicação dessa nova tecnologia no Brasil permitirá a prestação de novos serviços, agilizará os que já existem e ampliará o número de canais de comunicação da concessionária com o consumidor, por exemplo, canais adaptados para pessoas com deficiências ou necessidades especiais e mostradores avançados, que oferecerão ao cliente a possibilidade de acompanhar o consumo, através de interfaces amigáveis tais como gráficos e estimativas de consumo.

Com base nessa oportunidade a ZKNx desenvolverá medidores inteligentes com certificação digital, que utilizara o avanço da internet como principal meio de comunicação para o consumidor com a concessionária. Tais medidores serão utilizados em projetos-pilotos de concessionárias de distribuição elétrica, que serão instalados nas residências dos consumidores que, por sua vez, poderão acompanhar o consumo em tempo real, configurar metas devido à tarifa branca – tarifa que varia de acordo com as faixas horárias, acompanhar estimativas de consumo a fim de evitar surpresas na conta de energia e futuramente poderá armazenar energia gerada por fontes alternativa e vende-las a própria concessionária.

O diferencial da ZKNx é a forma de negócio de tratamento das informações digitais de medição dos consumidores, que utilizará a internet como meio de comunicação entre consumidor e a concessionária.

5.3 OBJETIVOS

5.3.1 Objetivo Principal

Nosso objetivo é que dentro de cinco anos nos tornarmos uma das referências mundiais no mercado de soluções para as redes inteligentes residenciais, utilizando como ponto de partida os potenciais países da América latina, partindo dela para o mundo.

5.3.2 Objetivos Intermediários

Para atingir o mercado Latino traçamos as seguintes estratégias:

1. Criar alianças com empresas do ramo, porém que não atuem com o ramo de medidores, como por exemplo, empresas que forneçam produtos para rede de distribuição que já sejam conhecidas no mercado e gerar soluções juntamente a eles com seu produto. Com isso, utilizamos o know-how de nossos parceiros para ganharmos espaço no mercado. A ideia é que conseguir 1 empresa parceira a cada 4 meses.
2. Realizar um estudo aprofundando nas normas técnicas determinadas pelos órgãos de responsáveis de todos os pais que iremos atuar. O objetivo deste estudo tem como finalidade de padronizar o máximo nossos equipamentos para atender nossos clientes. A ideia seria montar um departamento para os determinados estudos, com o isso, quando estivermos prontos para atuar em outros mercados, já possuiremos uma equipe qualificada para a determinada função. Nosso objetivo é realizar os estudos da América latina em um ano.
3. Pesquisar concorrentes nacionais ou internacionais, verificar seus padrões de produtos e mercados, com o intuito de aperfeiçoar seus métodos com ideias inovadoras ou novas tecnologias. A ideia seria começar imediatamente, com o intuito de que até o fim de 2014 tenhamos as especificações técnicas de nosso produto já definidas.
4. Criar um departamento de P&D junto com nossas empresas parceiras, com a finalidade de desenvolver soluções, nos quais nossos produtos serão utilizados, com a finalidade de ganharmos nome no mercado. Nosso objetivo que até o nosso início no mercado em 2015, já tenhamos quatro laboratórios juntos com nossos parceiros, tanto em universidades, quanto em nossa própria empresa.

5.4 PRODUTOS E SERVIÇOS

5.4.1 Descrição do Produto e Serviço

Os medidores inteligentes da ZKNx tem como objetivo substituir os antigos medidores eletromecânicos com a finalidade de:

1. Melhorar o sistema de monitoramento das concessionárias;
2. Facilitar a forma de verificação de cobrança e tarifação ao consumidor;
3. Criar um meio fácil para o consumidor verificar a qualidade de energia a qual a concessionária o disponibiliza;
4. Estabelecer o padrão de tarifação branca (tarifa variável de acordo com o horário).

Descrição dos medidores inteligentes produzidos pela ZKNx:

1. Compactos;
2. Fáceis de instalar;
3. Possui menu de configurações via web, evitando assim complicações na configuração via botões;
4. É micro processado e utilizam processadores da família ARM, variado de modelo á modelo;
5. Possui comunicação sem fio ou com fio, comunicam através do protocolo Ethernet (IEEE 802.3).

Seu diferencial em frente aos concorrentes é a forma inovadora com que a comunicação com as concessionárias. As mesmas receberão os dados em tempo real por meio da Internet. Esta troca de informações será realizada a partir da comunicação entre dispositivos rádio transmissores instalados na entrada de energia das residências com um módulo central, responsável pela região. Este último, estaria conectado a um servidor que transmite os dados para as concessionárias, via IEEE 802.3. Podemos verificar o processo na imagem abaixo:

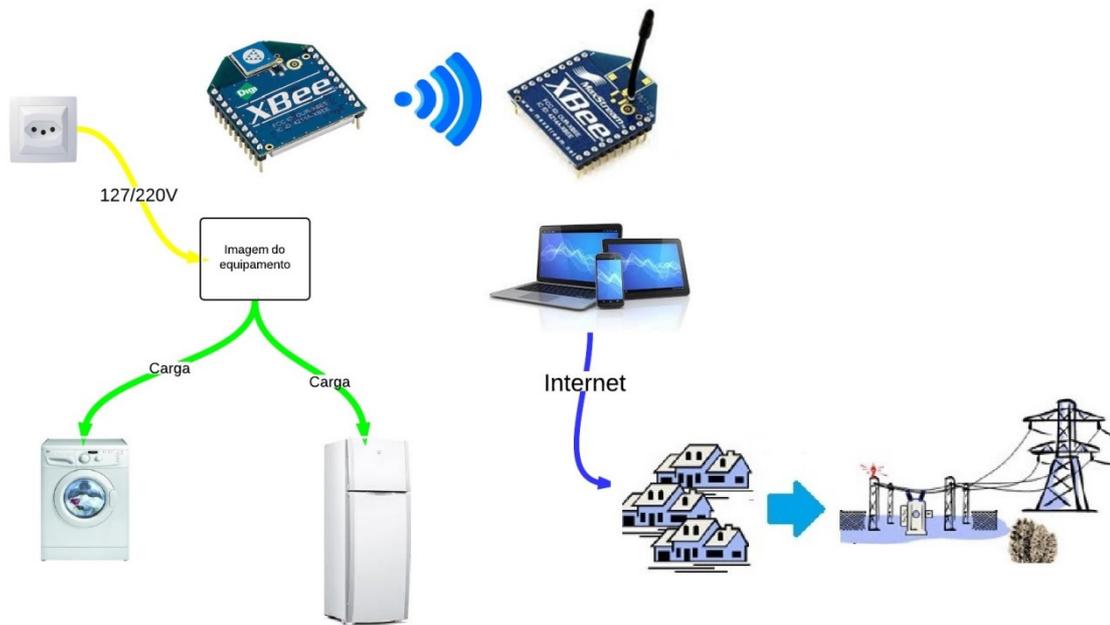


FIGURA 37 – REPRESENTAÇÃO DO PRODUTO

FONTE – Autoria própria (2013).

5.4.2 Produtos e Serviços Futuros

Com intuito de se tornar uma referência no mercado de medidores digitais, nossos próximos objetivos como produtos e serviços serão:

1. Desenvolver medidores trifásicos para a indústria;
2. Desenvolver um protótipo mais compacto, utilizando, por exemplo, componentes SMD;
3. Desenvolver aplicativos para smartphones para os consumidores.

5.5 ANÁLISE DE MERCADO

A ZKNx terá como seus principais clientes, as concessionárias públicas ou privadas responsáveis pela distribuição e tarifação de energia elétrica. No primeiro momento, a ZKNx terá como usuário, apenas os consumidores residenciais que adquirirem ou receberem os medidores inteligentes ZKNx através de suas concessionárias de energia.

5.5.1 Segmentação de Mercado

A ZKNx com base em sua área de atuação no mercado, segmentou o mercado em três categorias:

1. Equipamentos de medição e qualidade voltados para subestações;
2. Equipamentos de medição e qualidade voltados para a indústria;
3. Equipamentos de medição e qualidade de energia voltados para as residências.

Os três segmentos são distintos devido à complexidade em cada segmento, juntamente com o valor agregado no produto.

Os equipamentos de medição e qualidade voltados para subestações possuem uma norma técnica muito rigorosa, operam com equipamentos de maior complexidade e possui um investimento inicial maior.

Enquanto os equipamentos de medição e qualidade voltadas para a indústria são complexos e possuem uma norma técnica rigorosa. Possui grande importância nas industriais que são responsáveis pela fabricação de matéria-prima elaborada, por isso demandam um alto nível de confiabilidade nas medições.

Já os equipamentos de medição de qualidade residenciais são menos complexos, possuem uma norma relativamente simples e operam com equipamentos de pequeno porte.

TABELA 6 – ANÁLISE DE MERCADO FUTURO

FONTE – Autoria própria (2013).

Análise de Mercado							
Ano	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Indústrias	60,00%	50,00%	40,00%	38,00%	39,00%	40,00%	41,00%
Residências	15,00%	30,00%	40,00%	45,00%	43,00%	35,00%	32,00%
Subestações	15,00%	15,00%	15,00%	14,00%	15,00%	20,00%	22,00%
Outros	10,00%	5,00%	5,00%	3,00%	3,00%	5,00%	5,00%
Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

5.5.2 Segmento Alvo de Mercado

Em um primeiro momento aos produtos da ZKNx serão desenvolvidos para atuar no mercado de medidores de qualidade e energia residências, isso devido ao futuro promissor deste mercado nos próximos 10 anos. Pois de acordo com o Projeto de Lei 3337/12, do deputado José Otávio Germano, as concessionárias dos serviços de distribuição de energia elétrica serão obrigadas a substituir, em um prazo de dez anos, os medidores de energia eletromecânicos por aparelhos eletrônicos. Além disso, elas também deverão implantar um sistema de comunicação entre cada medidor de energia e uma central de gestão da rede de distribuição.

Como um dos maiores desafios das concessionária será a forma de comunicação, nosso produto através da elaboração de nossa solução de comunicação através da rede de internet, pretendemos iniciar com vantagem em frente aos nossos concorrentes.

5.5.2.1 Players

De acordo com nossa análise realizada através de nossa experiência de trabalho além de pesquisas realizadas na internet, determinamos como possíveis players as empresas listadas abaixo:

Por parte dos Players os principais fornecedores serão:

1. Digi-Key, distribuidora de componentes eletrônicos no Brasil;
<http://br.digikey.com/>
2. Kobama, representante de vendas da ARM no Brasil;
<http://kobama.com.br/site/index.php/br/fabricantes/atmel/>
3. PCI Paraná, fabricante de circuitos impressos;
<http://www.pciparana.com.br/>
4. RS do Brasil, distribuidora de componentes eletrônicos no Brasil;
<http://www.rsdobrasil.com.br/>
5. Mictter, fabricante de circuitos impressos.
<http://www.mictter.com.br/empresa.asp>

Já por parte dos Players os principais clientes serão as principais concessionárias de energia do país, entre elas:

1. COPEL, Companhia Paranaense de Energia. <http://www.copel.com>

2. CEMIG, Companhia Elétrica de Minas Gerais. <http://www.cemig.com.br>
3. AES Eletropaulo. <https://www.aeseletropaulo.com.br/>
4. CELPE, <http://www.celpe.com.br/>
5. ENERGISA, <http://www.energisa.com.br>
6. CPFL, <http://www.cpfl.com.br/>
7. Light, <http://www.light.com.br>
8. Celesc, <http://novoportal.celesc.com.br>
9. Coelba, <http://www.coelba.com.br>
10. Elektro, <http://www.elektro.com.br>

Por parte dos Players os principais parceiros serão as empresas que fornecem equipamentos de proteção, automação e manobra para a rede elétrica de distribuição, entre elas:

1. S&C Eletric, <http://www.sandc.com/>
2. SEL, <https://www.selinc.com/>
3. Schneider, <http://www.schneider-electric.com>
4. Cooper, <http://www.cooperindustries.com>

Por parte dos Players os principais concorrentes serão:

1. ELO, <http://www.elonet.com.br/>
2. Siemens, <http://www.siemens.com>
3. KRON, <http://www.kronweb.com.br>

5.5.2.2 Modelo de distribuição

A ZKNx adotara o modelo de distribuição através das próprias concessionárias de energia, isso devido ao manuseio dos equipamentos da rede elétrica serem restritos a empregados autorizados pelas concessionárias.

A forma de distribuição dos equipamentos para os diversos clientes do Brasil e América latina será exclusivamente responsabilidade da sede, não havendo vínculo direto com representantes comerciais. Porém os dispositivos não estarão disponíveis para aquisição na internet ou em lojas para consumidores que tiverem interesse em adquirir nossos medidores para uso particular, isso porque, eles serão exclusivamente

vinculados com as concessionárias. Essa estratégia tem a finalidade de não precisarmos oferecer suporte diretamente aos usuários, deixando assim, as concessionárias responsáveis pelo suporte técnico direto do equipamento.

5.5.2.3 Modelo de competitividade

Os medidores inteligentes da ZKNx teoricamente executaram exatamente as mesmas tarefas dos principais competidores, que seria a medição de consumo, medição de qualidade e realizar o armazenamento dos dados para envio posteriormente, através de um canal de comunicação. Porém, como citado anteriormente, de acordo com a lei 3337/12, as concessionárias serão responsáveis pela comunicação de cada medidor com uma central de monitoramento, e em relação a este problema pontual, as algumas empresas não encontraram uma solução, ou vincularam a soluções de rádio ou GPRS.

Nosso diferencial frente aos nossos concorrentes, seria utilizar a rede de internet já existente, e enviar os dados através do modem residencial dos consumidores diretamente para a central de monitoramento da concessionária. Mas para isso, precisaríamos de um acordo com a Anatel, o órgão nacional de telecomunicações, desenvolver juntamente com a Aneel, Agência Nacional de Energia Elétrica, uma regulamentação que permita que as informações de energia possam ser enviadas através da internet propondo algumas mudanças na legislação.

5.6 PROPOSTA DE VALOR

Os medidores digitais da ZKNx, através de sua solução de negócio, trará uma redução nos custos de implementação e manutenção para as concessionárias, além de benefícios jamais tidos antes, para os consumidores residências, entenda como:

Consumidores Informados

Através dos medidores digitais os consumidores poderão acessar através de um computador, tablet ou celular, acessar as informações de consumo, tarifações e qualidade de energia em tempo real.

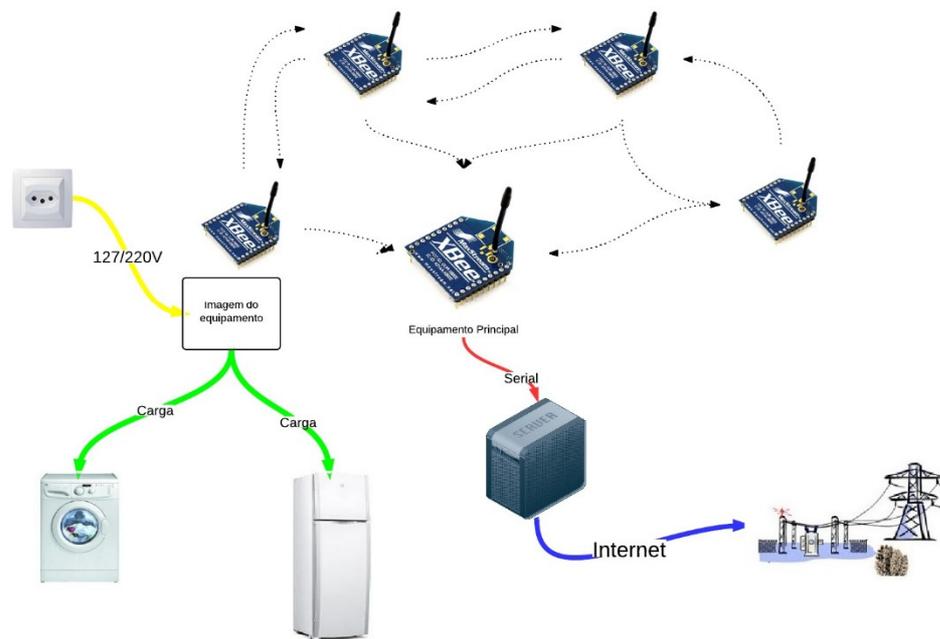


FIGURA 38 – REPRESENTAÇÃO DA SOLUÇÃO

FONTE – Autoria própria (2013).

E o que os consumidores ganham com isso?

1. Com o consumidor bem informado, ele poderá escolher os horários de menor tarifação para realizar as operações de maior consumo, como por exemplo, usar a lava-louças ou tomar banho utilizando chuveiro elétrico;
2. Através dos registros do monitoramento de qualidade de energia, o consumidor poderá reclamar para a concessionária que os níveis entregues a ele não estão dentro da faixa adequada. Evitando assim, possíveis queimas de equipamentos e elevando a vida útil dos eletrodomésticos;
3. O consumidor que optar em gerar energia própria, poderá vender o excedente para as concessionárias no horário de maior tarifação, e os valores serão armazenados e enviados para as centrais para que o pagamento seja realizado corretamente.

E o que as concessionárias ganham com isso?

1. Simplicidade e padronização do meio de comunicação;

2. Redução 80% da mão de obra dos técnicos responsáveis pela verificação da telemetria;
3. Com a conscientização da população, devido a tarifação branca, a concessionária ganhara maior poder de negociação de preços com a indústria;
4. Com um consumo mais uniforme da Energia Elétrica durante todo o dia, serão necessários menos investimentos para garantir eletricidade nos horários de pico;
5. Monitorando toda a rede, pode-se determinar a existência de “gatos” na mesma.

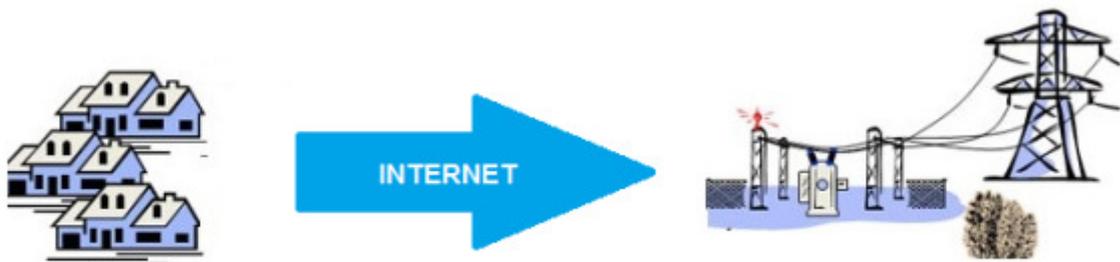


FIGURA 39 – MODELO DE COMUNICAÇÃO DA SOLUÇÃO

FONTE – Autoria própria (2013).

5.7 ESTRATÉGIA E IMPLANTAÇÃO

5.7.1 Diferenciais Competitivos e Proposta de Valor

Os principais diferenciais competitivos do produto são: o monitoramento contínuo da qualidade e consumo de energia elétrica, o acesso a estas informações via *WEB*, o tamanho compacto e a facilidade de instalação.

A utilização destes medidores fornece informações valiosas às concessionárias e usuários, uma vez que a aferição é realizada em tempo real. Desta forma, cria-se um mapa, o qual detalha o consumo de energia elétrica pela população, e no caso dos usuários, o consumo de energia elétrica de seus equipamentos.

Os atuais modelos eletromecânicos disponíveis no mercado não possuem estas características, uma vez que eles apenas informam o consumo mensal da residência. Logo, há um baixo controle sobre o gasto.

5.7.2 Estratégia de Marketing

5.7.2.1 Estratégia de preços

Por se tratar de um produto novo no mercado, e possuir poucos players, pode-se prever uma lucratividade alta com retorno de investimento em 1 ano. Além disto, com a aprovação do projeto de Lei 3337/12, cria-se a necessidade da substituição dos medidores eletromecânicos pelos digitais, ou seja, cria-se uma grande demanda de consumidores, todas as residências inclusas neste projeto.

5.7.2.2 Estratégia de promoção

Para promover o equipamento, bem como a marca, serão realizadas as seguintes atividades:

- Divulgação da Marca
 - Sustentabilidade: O controle gerado pela utilização dos medidores aliado a tarifação da energia elétrica, tem a capacidade de reduzir significativamente os investimentos necessários para atender a demanda nos horários de pico;
 - Economia: Ao conhecer a tarifação, pode-se evitar a utilização da energia mais cara (horário de pico);
 - Controle: Ter acesso a sua demanda em tempo real;
 - Criação de escritórios verdes, que utilizam o medidor para gerenciamento de consumo. Para tal, serão realizadas parcerias com outras empresas fornecedoras de soluções sustentáveis;
 - Divulgação de pesquisas dos benefícios da geração de energia doméstica perante o potencial do meio;
 - Parcerias com fornecedores de geradores de energia sustentáveis (eólica, solar).

Esta divulgação utilizará a internet, bem como jornais e revistas especializados em Energia Elétrica e participações em congressos e seminários da área.

5.7.2.3 Estratégia de distribuição

A venda dos medidores será realizada diretamente pela ZKNx, uma vez que são poucos os clientes (Concessionárias). Enquanto a instalação dos mesmos será realizada pelas concessionárias de energia elétrica, uma vez que as mesmas são responsáveis pelas informações gerados por estes equipamentos.

5.7.3 Estratégia de Vendas

A estratégia de vendas será focada na aprovação da Lei Federal, que refere-se a troca dos medidores eletromecânicos pelos digitais. Outro ponto é a possibilidade dos consumidores (usuários) poderem aderir à tarifa branca, ou mesmo utilizarem os medidores da ZKNx para venda de Energia Elétrica produzida em suas residências.

5.7.3.1 Projeção de vendas

Conforme gráfico abaixo, espera-se vender no ano 2014 um total de 500 unidades, com o intuito das Concessionárias (clientes) testarem a comunicação entre clientes e usuários. Ano a ano, seriam fornecidos mais equipamentos, visando abranger uma cidade inteira, conforme tabela abaixo.

TABELA 7 – EXPECTATIVA DE VENDAS

FONTE – Autoria própria (2013).

Metas de Vendas	
Ano	Vendas (Quantidade)
2014	600
2015	2000
2016	8000
2017	56000

5.7.4 Alianças Estratégicas

Para alavancar o negócio e divulgar nosso produto serão firmadas diversas parcerias. Uma delas é buscar uma redução do custo dos componentes junto aos fabricantes internacionais. Para importar os mesmos é necessário um despachante aduaneiro, que consiga importar os componentes em menor tempo, com uma entrega mais rápida, otimizando assim o fluxo de caixa da ZKNx.

Haverá uma parceria com uma empresa de prototipagem de placas, desenvolvendo assim uma placa com o Hardware montado pela empresa.

Como a venda dos equipamentos será realizada diretamente com as Concessionárias (clientes), e como há poucas concessionárias, não será realizada nenhuma parceria com revendedoras ou distribuidoras.

5.8 GESTÃO

A gestão da Empresa é realizada principalmente pelos sócios, com o auxílio de alguns colaboradores (funcionários e estagiários), conforme discriminado abaixo.

5.8.1 Estrutura Organizacional

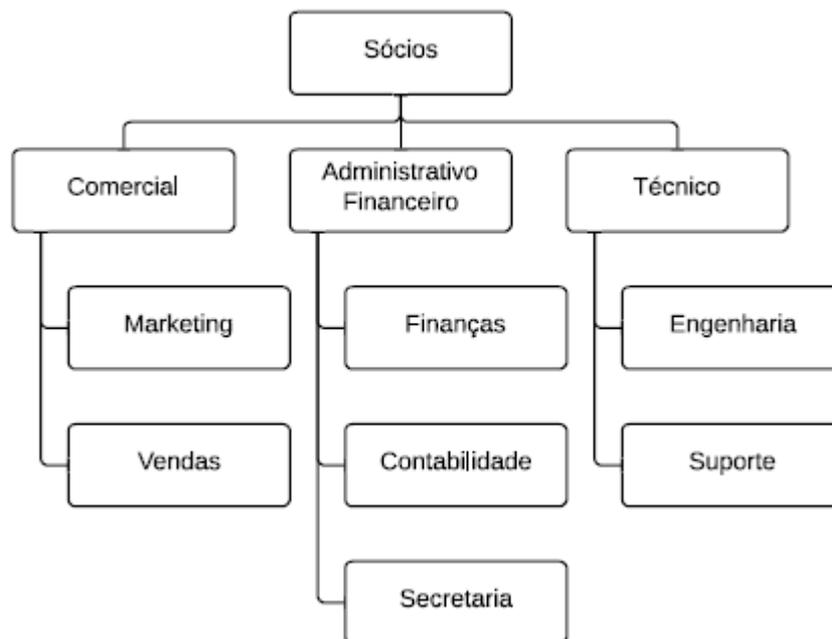


FIGURA 40 – ESTRUTURA ORGANIZACIONAL

FONTE – Autoria própria (2013).

5.8.2 Equipe

Conforme mencionado na figura acima, a Empresa será formada por três grandes equipes, a Comercial, a Administrativa-Financeira e a Técnica.

5.8.3 Quadro de Pessoal

Inicialmente, por se tratar de uma pequena empresa, os principais gestores da empresa serão os próprios Sócios. Com o desenvolvimento da Empresa, bem como do Produto e suas vendas, novas pessoas integrarão as equipes acima citadas.

Um dos sócios será responsável pelos Departamentos Comercial e Administrativo-Financeiro, dando base a formação legal da empresa, bem como pagar as despesas, contratar serviços, adquirir suprimentos. Os outros dois sócios, ficarão a cargo do desenvolvimento do produto em si.

Com o passar dos anos, estima-se a contratação de funcionários. Os gastos em folha seguem abaixo.

TABELA 8 – QUADRO DE PESSOAL

FONTE – Autoria própria (2013).

QUADRO DE PESSOAL				
	2014	2015	2016	2017
Produção				
Estagiário		9.600,00	19.200,00	96.000,00
Técnico			65.520,00	196.560,00
Engenheiro				196.560,00
Gerente				131.040,00
Subtotal		9.600,00	84.720,00	620.160,00
Comercial				
Vendedor			32.760,00	65.520,00
Subtotal			32.760,00	65.520,00
Administrativo				
Financeiro		16.380,00	16.380,00	92.760,00
Administrativo		9.828,00	49.140,00	98.280,00
Limpeza		12.000,00	12.000,00	18.000,00
Subtotal		38.208,00	77.520,00	209.040,00
Outros				
Sócios	49.140,00	49.140,00	98.280,00	147.420,00
Subtotal	49.140,00	49.140,00	98.280,00	147.420,00
TotalFolha	49.140,00	96.948,00	293.280,00	1.042.140,00
Beneficiosa Obrigações		4.780,80	19.500,00	89.472,00
TotalGastoscomFolha	49.140,00	101.728,80	312.780,00	1.131.612,00

5.9 PLANO FINANCEIRO

5.9.1 Considerações

A constituição da empresa será composta por 100% de capital próprio, cabendo a cada sócio 33,3% das cotas.

Abaixo segue um quadro do investimento inicial necessário para desenvolvimento do projeto.

TABELA 9 – INVESTIMENTO INICIAL

FONTE – Autoria própria (2013).

Item	Valor
Equipamentos	
Fonte de Alimentação	800
Osciloscópio	2000
Computadores	6000
Armários	1000
Multímetros	600
Softwares	5000
Escritório	
Computadores	8000
Mesas	1800
Cadeiras	700
Armário	500
Material dia-a-dia	500
Telefone	200
Peças	
Componentes	5000
Equipamentos	2000
TOTAL (R\$)	34100

O custo unitário de medidor também é mostrado conforme planilha abaixo.

TABELA 10 – CUSTO UNITÁRIO

FONTE – Autoria própria (2013).

Custo Unitário - Ano 1			
Item	Qtde	Valor (R\$)	Total (R\$)
Módulo Transmissor	1	18	18,00
Módulo Receptor*	0,04	18	0,72
Integrador à Rede*	0,04	30	1,20
Invólucro	1	14	14,00
Microcontrolador	1	12	12,00
Sensores	2	23	46,00
Componentes Diversos	1	13	13,00
Total			104,92
* Como são utilizados por diversos transmissores, seu custo está diluído			

5.9.2 Preços de Custo e Venda

O custo do desenvolvimento do produto, bem como a previsão da receita das vendas está discriminado abaixo.

TABELA 11 – CUSTO POR PEÇA E VENDA

FONTE – Autoria própria (2013).

2014			2015			2016			2017		
Unidades	Preço Venda	Custo									
600	240	104,92	2000	240	104,92	8000	230	104,92	56000	210	104,92

5.9.3 Projeção do Resultado

TABELA 12 – DRE

FONTE – Autoria própria (2013).

DRE					
	Item/Período	2014	2015	2016	2017
1	Receita Bruta	144.000,00	480.000,00	1.840.000,00	11.760.000,00
	(-) Impostos sobre Vendas	(41.236,36)	(137.454,55)	(526.909,09)	(3.367.636,36)
2	(-) Custo das Vendas	(62.952,00)	(209.840,00)	(924.080,00)	(6.495.680,00)
	Margem Bruta	39.811,64	132.705,45	389.010,91	1.896.683,64
3	(-) Despesas Operacionais:	(71.020,00)	(138.488,80)	(350.380,00)	(747.492,00)
3.1	(-) Despesas de Marketing e Vendas	(2.500,00)	(16.000,00)	(89.760,00)	(214.520,00)
3.1.1	(-) Pessoal Marketing e Vendas	0,00	0,00	(32.760,00)	(65.520,00)
3.1.2	(-) Publicidade/Promoção		(6.000,00)	(36.000,00)	(100.000,00)
3.1.3	(-) Viagens	(2.000,00)	(8.000,00)	(16.000,00)	(40.000,00)
3.1.4	(-) Diversos	(500,00)	(2.000,00)	(5.000,00)	(9.000,00)
3.2	(-) Despesas Gerais e Administrativas	(66.020,00)	(118.888,80)	(249.820,00)	(532.972,00)
3.2.1	(-) Folha Gerais e Administrativas	(49.140,00)	(87.348,00)	(175.800,00)	(356.460,00)
3.2.2	(-) Benefícios e Obrigações	0,00	(4.780,80)	(19.500,00)	(89.472,00)
3.2.3	(-) Depreciação	(4.880,00)	(9.760,00)	(19.520,00)	(39.040,00)
3.2.4	(-) Aluguéis	(6.000,00)	(6.000,00)	(18.000,00)	(18.000,00)
3.2.5	(-) Seguro	0,00	(2.000,00)	(4.000,00)	(5.000,00)
3.2.6	(-) Material de Expediente	(3.000,00)	(4.800,00)	(7.000,00)	(13.000,00)
3.2.7	(-) Utilidades e Serviços	(3.000,00)	(4.200,00)	(6.000,00)	(12.000,00)
3.2.8	(-) Outros	0,00	0,00	0,00	0,00
3.3	(-) Outras Despesas	(2.500,00)	(3.600,00)	(10.800,00)	0,00
3.3.1	(-) Outras Gastos com Pessoal	(2.500,00)			
3.3.2	(-) Contratos/Consultores	0,00	(3.600,00)	(10.800,00)	
4	Resultados Antes de Juros e Impostos	(31.208,36)	(5.783,35)	38.630,91	1.149.191,64
	Juros de Curto Prazo				
	Juros de Longo Prazo				
	Impostos Incidentes			(13.134,51)	(390.725,16)
	Lucro Líquido			25.496,40	758.466,48
	Lucro Líquido/Vendas	0,00	0,00	0,01	0,06

5.9.4 Análise do Break-even

Espera-se, conforme DRE, que o Break-Even ocorrerá no 3º ano, em 2016. Após o período de testes iniciais elaborados pelas concessionárias, prevê-se que em 2017 haverá um grande crescimento nas vendas.

6. CONCLUSÃO

Conforme os objetivos propostos por este trabalho foi desenvolvido um medidor eletrônico de consumo inteligente, que possui um sistema de comunicação sem fio com um servidor, que disponibiliza as informações via internet para os consumidores.

As ideias citadas neste projeto, em relação à forma de comunicação e interfaceamento, são inovadoras quando comparados há medidores elétricos encontrados atualmente no mercado nacional. O fato dos dados contabilizados digitalmente, estarem disponíveis para o consumidor, através de uma interface *WEB* e utilizando a internet como meio de comunicação é algo surpreendente. Especialistas da área, consideram que a maior dificuldade para implementação do sistema *Smart Grid* é a falta de meios de comunicação eficientes, de larga capacidade de tráfego de dados e comunicação segura. As pesquisas voltadas para a utilização do protocolo IEEE 802.3 para leitura de medidas elétricas já estão avançadas em relação à segurança, tarifação, viabilidade e capacidade de tráfego de dados, e a abordagem realizada neste trabalho, pode contribuir com um pequeno passo para a evolução dos equipamentos de medição elétrica que possuem processamento de sinais e comunicação integrada à internet.

Considerando a utilização de sensores e instrumentos de medição viáveis a grandeza do projeto, os resultados obtidos nos ensaios práticos efetuados com o protótipo MEC foram satisfatórios em relação às normas técnicas citadas, sendo validados pelos princípios de funcionamento de seus elementos e enfatizados pelos conceitos teóricos propostos, mostrando que grande parte dos objetivos previstos neste trabalho foram alcançados.

As sugestões para trabalhos futuros dando continuidade a este trabalho são:

- Calcular potência reativa e fator de potência;
- Elaborar novos testes com cargas diversas incluindo motores não lineares;
- Demonstração de aplicações reais, medindo a carga de uma residência;
- Pesquisar sensores alternativos, sensores mais simples;
- Testes comparativos com medidor eletromecânico.

REFERÊNCIAS

ALLEGRO. **ACS712-DS, Rev. 15**. USA, 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional**. Brasil, 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa N°502**. Brasil, 2012.

ANEEL. Disponível em:

http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=5912&id_area=17. Acesso em: 31 ago. 2013.

ARIOL. Disponível em:

http://www.ariol.com.bo/instrumentos/index.php?option=com_content&view=section&id=1&Itemid=2. Acesso em: 05 set. 2013.

CAMARA DOS DEPUTADOS. Disponível em:

<http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/noticias/ECONOMIA/425242-ROPOSTA-OBRIGA-DISTRIBUIDORAS-A-TROCAR-MEDIDOR-DE-ENERGIA.html>

Acesso em: 05 set. 2013.

CORREIO BRAZILIENSE. Disponível em:

http://www.correio braziliense.com.br/app/noticia/cidades/2012/09/03/interna_cidades_df,320465/consumidores-poderao-optar-por-medidor-de-energia-digital-ou-analogico.shtml. Acesso em: 05 set. 2013.

CPQD. Disponível em:

<http://www.cpqd.com.br/mercado/smart-grid>. Acesso em: 04 set. 2013.

DZAI. Disponível em;

http://www.dzai.com.br/blogconsumidor/blog/blogconsumidor?tv_pos_id=112302.

Acesso em: 05 set. 2013.

EMBEDDED LAB. Disponível em:

<http://embedded-lab.com/blog/?p=4469>. Acesso em: 05 set. 2013.

HORIZONS. Disponível em:

<<http://www.horizonutilities.com/plugintowin/pages/What-is-Smart-Grid.aspx>>.

Acesso em: 05 set. 2013.

HYDROONE. Disponível em:

<<http://www.hydroone.com/MyHome/MyAccount/MyMeter/Pages/SmartMeters.aspx>>

Acesso em: 05 set. 2013.

IRWIN, David. **Análise de Circuitos em Engenharia**. São Paulo: Makron Books, 2005.

MERCADO LIVRE. Disponível em:

<<http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-512039586-sensor-de-corrente-ac-712-30-a-arduino-e-pic- JM?redirectedFromParent=MLB500985238>> Acesso em: 20 de set. 2013.

MUSSOI, Fernando L.R. **Sinais Senoidais: Tensão e Corrente Alternadas**. Florianópolis, 2006.

NET BEANS. Disponível em:

https://netbeans.org/features/java/index_pt_BR.html. Acesso em 20 set. 2013.

POSTGRES. Disponível em:

<http://www.postgresql.org.br/>. Acesso em 13 de set. 2013.

RCOM. Disponível em:

<<http://www.rogercom.com/ZigBee/ZigBee.htm>>. Acesso em 12 de set. 2013.

_____.Disponível em:<<http://www.rogercom.com/ZigBee/ZigBeePag02.htm>>. Acesso em 12 de set. 2013.

REDES INTELIGENTES. Disponível em:

<<http://www.redeinteligente.com/2010/09/24/para-consumidores-vantagem-sera-a-economia/>> Acesso em: 12 set. 2013.

SENA BLOG. Disponível em:

<http://www.sena.com/blog/?p=359>. Acesso em 15 de set 2013.

SIEMENS. Disponível em:

<<http://www.siemens.com.br/desenvolvimento-sustentado-em-megacidades/smart-grid.html>> Acesso em: 24 set. 2013.

SMART GRID. Disponível em:

<<http://smartgrid.epri.com/Demo.aspx>>. Acesso em: 05 set. 2013.

STACKEXCHANGE. Disponível em:

<http://electronics.stackexchange.com/questions/33056/analog-to-digital-converter-and-negative-voltages>. Acesso em 22 de set. 2013.

STMICROELETRONICS. **Doc ID 16455 Rev 6**. Canadá, 2011.

STM32DISCOVERY. Disponível em:

<<http://www.st.com/web/en/catalog/tools/FM116/SC959/SS1532/PF250863>>. Acesso em 10 de set. 2013.

TELECO. Disponível em:

<<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialzigbee/>>. Acesso em 12 de set 2013.

TÚLCIDAS. **Contador de Energia Elétrica Inteligente**. Portugal, 2010.

VIKA. Disponível em:

<<http://vikacontrols.com.br/web/produtos.php?categoria=26>>. Acesso em 15 de set 2013.

XBEE DIGI.90000976_C. USA, 2009.