

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA:
ÊNFASE EM ELETRÔNICA E TELECOMUNICAÇÕES**

**FABIO SEVSCUEC DOS SANTOS
RAFAEL POMORSKI LINESSIO**

SAMAE:

Sistema Automático de Medição e Análise de Energia

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2012

**FABIO SEVSCUEC DOS SANTOS
RAFAEL POMORSKI LINESSIO**

SAMAE:

Sistema Automático de Medição e Análise de Energia

Relatório de projeto de conclusão de curso apresentado à disciplina de Projeto Final 2 do curso de Engenharia Industrial Elétrica: ênfase em Eletrônica / Telecomunicações do Departamento de Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção de grau de engenheiro eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Brero de Campos

CURITIBA

2012

FABIO SEVSCUEC DOS SANTOS

RAFAEL POMORSKI LINESSIO

SAMAE:

Sistema Automático de Medição e Análise de Energia

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Industrial Eletricista com ênfase em Eletrônica e Telecomunicações pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Curitiba, de de 2012.

Prof. Dr. Hilton José da Silva de Azevedo
Coordenador de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

Prof. Ph.D. Dario Eduardo Amaral Dergint
Responsável pelo Trabalho de Conclusão de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rubens Alexandre de Faria

Prof. Dr. Paulo Roberto Brero de Campos
Orientador

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus que nos iluminou e nos concedeu o discernimento para enfrentar as dificuldades e nos fortalecer no desenvolvimento deste projeto.

Agradecemos aos nossos queridos familiares: Sr. Roberto Linessio e Sra. Olga Pomorski Linessio pais do Rafael, Sr. Pedro Franscisco dos Santos e Sra. Vanilda Sevscuec dos Santos pais do Fabio, todos que no decorrer deste curso e do projeto nos estimularam e apoiaram de modo constante com suas palavras de apoio, coragem e perseverança.

Ao Prof. Dr. Paulo Roberto Brero de Campos, orientador da equipe, que contribuiu com o desenvolvimento do projeto, nos auxiliando para a elaboração da documentação e preciosas orientações para os conceitos técnicos aplicados ao projeto.

À banca, composta pelos professores Prof. Dr. Rubens Alexandre de Faria e Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas, os quais aceitaram em participar da nossa avaliação e também por tornar possível a realização do mesmo.

Aos amigos, que concederam incentivos e sugestões no decorrer do desenvolvimento e também em momentos de companheirismo e amizade que serviram de imensa importância e motivação para a elaboração do projeto.

À empresa Landis+Gyr Equipamentos de Medição Ltda. por nos conceder os laboratórios para a execução dos ensaios em especial ao Sr. Osvaldo Sikora pela sua gentil cordialidade em nos ajudar na sedimentação dos conceitos de medição de energia.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná e todos os seus professores, em especial ao Prof. Dr. Joaquim Miguel Maia por compartilhar seus conhecimentos esclarecendo dúvidas importantes para o desenvolvimento correto do projeto.

Agradecemos também ao apoio concedido por todos que colaboraram direta ou indiretamente no desenvolvimento deste projeto e deixamos de todo o coração nosso profundo Muito Obrigado.

RESUMO

DOS SANTOS, Fabio Sevscuec; LINESSIO, Rafael Pomorski. SAMAE: Sistema Automático de Medição e Análise de Energia. 2012. 86 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Elétrica: Eletrônica/Telecomunicações) – Departamento de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

Os consumidores de energia elétrica poderão em breve optar pela tarifa que melhor convier, pois esta será diferenciada ao longo do dia e com isso poderá monitorar seus gastos, como já ocorre na telefonia fixa e de celular. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) quer regulamentar a modalidade de diferenciação da tarifa de energia elétrica, como uma opção a mais ao consumidor. Aproximadamente 90% dos medidores no Brasil são eletromecânicos (ILUMINA, 2012), fator este que deverá ao longo dos anos ser substituído por medidores eletrônicos. Somente as tecnologias de medição eletrônica permitem a diminuição dos furtos de energia, fornecem o consumo instantâneo e diversas outras funcionalidades que beneficiam o consumidor final e também a companhia de distribuição de energia local. Neste contexto este projeto tem como objetivo desenvolver um sistema de medição e análise de energia de baixo custo que será utilizado para o controle e dimensionamento do consumo de energia de clientes residenciais e industriais. O sistema realizará coleta de dados instantâneos a serem transmitidos por rádio frequência – RF – para uma central local. Analisando estes sinais, é possível extrair dados sobre o consumo da energia em determinado período a fim de garantir um maior controle do cliente através de seu histórico de consumo e podendo, ele definir metas de consumo mensal e acompanhar em tempo real o quanto distante ou próximo está dessa meta. Este projeto resultará na criação de *hardware* específico para a medição de energia para o sistema monofásico, e *firmware* dedicado ao projeto e *software* de interface com o usuário.

Palavras-chave: Medição de Energia. *Smart Grid*. Energia Elétrica. Consumo de Energia.

ABSTRACT

SEVSCUEC, Fabio dos Santos; LINESSIO, Rafael Pomorski. SAMAE: Sistema Automático de Medição e Análise de Energia. 2012. 86 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Elétrica: Eletrônica/Telecomunicações) – Departamento de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

Electric energy consumers will soon have the option to choose the rate which best suits them, as this will be differentiated throughout a day and therefore they will be able to monitor their consumption as already happens to landline and mobile telephone lines. Electric Energy National Agency (ANEEL) wants to regulate the differentiated electric energy rate mode as an additional option for the consumer. Approximately 90% of electricity meters in Brazil are electromechanical (ILUMINA, 2012), a device that will be replaced by electronic ones along the next years. Reduction of energy theft is possible only through use of electronic measurement technology as well as providing immediate information about consumption and several other functionalities that both consumers and local energy supplier can benefit from. In this context this project aims at developing a measurement system and low cost energy analysis that will be used for control and energy consumption sizing both for homes and industry. The system will gather instant data which will be informed via radio frequency – RF – to a central monitoring tower. Through this signal analysis it is possible to extract data about energy consumption over a given period to ensure that consumer can have greater control base on consumption record allowing to define monthly consumption goal and real time follow up as to how far or close to target the consumer is positioned. This project will result in the creation of a specific hardware for monophasic energy measurement system as well as project dedicated firmware and software for interface with user.

Keywords: Energy Measurement. *Smart Grid*. Electric Power. Energy Consumption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aplicações para o ZigBee	20
Figura 2 - Comparação do ZigBee com outras tecnologias	22
Figura 3 - Relação Sinal Ruído x Taxa de Erro de bits	23
Figura 4 - Topologias de Rede	24
Figura 5 - Camadas de protocolos ZigBee	28
Figura 6 - Modelo Entidade Relacionamento	37
Figura 7 - Modelo de Entidade	38
Figura 8 - Modelo de Atributos	39
Figura 9 - Modelo de Relacionamento	39
Figura 10 - Modelo de Cardinalidade	40
Figura 11 - Modelo de Auto-relacionamento	40
Figura 12 - Diagrama do SAMAE	45
Figura 13 - Circuito Integrado ADE7757	47
Figura 14 - Esquemático do medidor	48
Figura 15 - Diagrama funcional ADE7757	49
Figura 16 - Rede resistiva de calibração	49
Figura 17 - Posição dos resistores de calibração	50
Figura 18 - Padrão de referência para calibração	51
Figura 19 - Conexão Shunt e ADE7757	52
Figura 20 - Conexão da FASE como referência do circuito	54
Figura 21 - Circuito de isolamento Medidor x Microcontrolador	54
Figura 22 - Circuito de alimentação do medidor	55
Figura 23 - Seleção da frequência	56
Figura 24 - Valor do resistor RCKLIN em relação a frequência de oscilação	57
Figura 25 - Tabela de configuração da frequência em função de SCF, S1 e S2	58
Figura 26 - Interface entre o ADE7757 e o Microcontrolador	58
Figura 27 - Placa do medidor desenvolvida no projeto SAMAE	59
Figura 28 - Esquemático PIC16F628A	59
Figura 30 - Diagrama funcional PIC 16F628A	60
Figura 29 - Encapsulamento 16F628A	60
Figura 31 - Esquemático de conexão Medidor + PIC + Transmissor	61
Figura 32- Esquemático circuito Módulo de Recepção	64
Figura 33 - Layout da placa do Módulo de Recepção	64
Figura 34 - Esquema do circuito Alimentação PIC+Transmissor+Optoacoplador	65
Figura 35 - Layout da placa da Alimentação	66
Figura 36 - Modelos de ZigBee	67
Figura 37 - Tela inicial de configuração do ZigBee	68
Figura 38 - Área de configuração do ZigBee	69
Figura 39 - Sequência de comandos para configuração ZigBee	69
Figura 40 - Dimensões módulo ZigBee	71
Figura 41 - Comunicação Serial (Recepção Dados)	72
Figura 42 - Tela inicial do projeto SAMAE	73
Figura 43 - Detalhamento das potências consumidas por ambiente	74
Figura 44 - Instruções SQL	76
Figura 45 - Linha de comando criação da tabela	77
Figura 47 - Embalagem do módulo de transmissão	85
Figura 48 - Circuito do módulo de transmissão	85

Figura 49 - Embalagem do módulo de recepção.....	86
Figura 50 - Circuito do módulo de recepção.....	86

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Faixas e velocidade de transmissão	21
Quadro 2 - Principais diferenças entre ZigBee e Bluetooth.....	35
Quadro 3 - Principais diferenças nos tempos entre ZigBee e Bluetooth	35
Quadro 4 - Principais elementos da notação Chen	41
Quadro 5 - Relação das constantes em função da corrente (A).....	51
Quadro 6- Código firmware PIC	63
Quadro 7 - Lista de comandos de configuração ZigBee	70
Quadro 8 - Pinagem dos módulos ZigBee	72
Quadro 9 - Comparação da Tensão em função da Potência	80

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resistência Shunt em função da corrente (A)	53
Gráfico 2 - Comparativo das potências apresentadas ao longo do ensaio	79

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Motivação e Justificativa.....	13
1.2. OBJETIVOS	14
1.2.1. Objetivo Geral	14
1.2.2. Objetivos Específicos	14
1.3. METODOLOGIA.....	15
1.4. APRESENTAÇÃO DO DOCUMENTO	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1. <i>Smart Grid</i> (Redes Inteligentes)	18
2.2. Comunicação ZigBee	19
2.2.1. Princípio de Funcionamento.....	19
2.2.2. Aplicações	19
2.2.3. Analisando o ZigBee	20
2.2.4. Topologia de Rede	24
2.2.5. Modos de Operação da Rede ZigBee	27
2.2.6. Arquitetura.....	27
2.2.7. Camada Física	28
2.2.8. Camada de Controle de Acesso ao Meio (MAC).....	29
2.2.9. Camada de Rede	29
2.2.10. Camada de Aplicação	30
2.2.11. Segurança.....	30
2.2.12. Tipos de Tráfego	31
2.2.13. <i>Hardware</i> e <i>Software</i>	32
2.2.14. Estratégias de ligação dos dispositivos numa rede ZigBee.....	32
2.2.15. Localização dos Dispositivos.....	33
2.2.16. <i>Service Discovery</i>	33
2.3. Comparação de ZigBee com Bluetooth e WLAN	34
2.3.1. ZigBee vs Bluetooth	34
2.4. BANCO DE DADOS.....	36
2.4.1. Modelo Entidade-Relacionamento	36
2.5. LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO UTILIZADA	41
2.5.1. Características	42
2.5.2. Bibliotecas de códigos.....	43
2.6. CONSIDERAÇÕES.....	43
3. DESENVOLVIMENTO	45
3.1. VISÃO GERAL	45
3.2. HARDWARE	47
3.2.1. Circuito Integrado Medidor	47
3.2.2. PROJETO DO CIRCUÍTO.....	55
3.3. Microcontrolador.....	59
3.3.1. <i>Firmware</i>	61
3.3.2. Módulo de Recepção.....	63
3.3.3. Alimentação.....	65
3.4. Comunicação	66
3.4.1. Configuração dos Módulos Zigbee.....	67
3.4.2. Características Técnicas dos Módulos da Maxstream	71

3.5. Desenvolvimento da Interface com o Usuário	72
3.5.1. Desenvolvimento do <i>Software</i>	75
3.5.1.1. Base de Dados	75
3.6. CONSIDERAÇÕES	77
4. RESULTADOS OBTIDOS	79
4.1. TESTES REALIZADOS EM CAMPO	79
4.2. CONSIDERAÇÕES	80
5. CONCLUSÕES	81
REFERÊNCIAS	83
APÊNDICE	85

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação e Justificativa

As redes inteligentes (Smart Grids) estão revolucionando todo o sistema elétrico. O que até agora era um processo em cadeia – produção, transporte, distribuição e consumo – passa a ser, com as redes inteligentes, um processo integrado, em que todos os elementos da rede assumem um papel ativo, trocando informação em tempo real e otimizando a utilização dos recursos disponíveis (REDE INTELIGENTE, 2012).

Os furtos de energia geram um prejuízo de R\$ 7 bilhões no país. É com esse valor negativo que o Brasil contabiliza anualmente por conta das ligações clandestinas e fraudes nos medidores de energia elétrica. O prejuízo equivale a 13% do montante que deveria ser faturado e recebido dentro do setor elétrico nacional (Nova Notícias, 2012). As perdas atingem o orçamento das distribuidoras e do governo dificultando o investimento em novas tecnologias.

A mensuração do gasto de energia elétrica em consumidores residenciais e industriais no Brasil restringe-se somente ao fator do resultado total consumido, não apresentando ao cliente final um resultado eficaz e rápido de consumo em um determinado curto período de tempo. Características estas que são dificultadas com a utilização dos medidores eletromecânicos presente em que 90% do parque nacional (ILUMINA, 2012). Analisando a tendência e o robusto desenvolvimento no segmento de análise e medição de energia verificou-se a necessidade da implementação de um *software* e *hardware* de medição dedicado ao controle específico de consumo individual e pontos específicos de um determinado ambiente.

É neste contexto que o desenvolvimento do projeto SAMAE – Sistema Automático de Medição e Análise de Energia vem ao encontro deste futuro, buscando agregar valor ao serviço oferecido pela concessionária e também dispor ao consumidor nova maneira de analisar seu consumo de forma detalhada e consequentemente obtendo uma diminuição dos gastos de energia.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma ferramenta para o controle e dimensionamento do consumo de energia elétrica em pontos isolados, focados para clientes residenciais e industriais e como também agregar valor aos serviços oferecidos para a concessionária de energia elétrica local.

1.2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho de conclusão de curso são:

- Projetar um sistema e um *software* que, utilizando o módulo de aquisição do sinal de corrente e tensão em conjunto com o microcontrolador e o transmissor possa enviar os dados a um sistema de análise dos dados.
- Traçar graficamente o consumo de cada módulo de transmissão ao longo de um determinado período, tendo como base a data e a hora que se deseja analisar.
- Projetar um *hardware* para a recepção dos dados enviados, e realizar o controle da rede criada entre os módulos.
- Projetar uma base de dados que armazene um histórico completo desde a primeira utilização do sistema. Assim, o cliente poderá consultar o histórico e utilizar as informações que julgar importantes.

1.3. METODOLOGIA

A concretização deste projeto ocorreu conforme as seguintes etapas pré-definidas:

1ª Etapa: Estudar a viabilidade do projeto.

Constituiu em estudar os clientes em potencial que tenham interesse pelo sistema de medição de forma individualizada e um novo formato de analisar os dados fornecidos pela concessionária de energia elétrica.

2ª Etapa: Estudar as tecnologias envolvidas.

Esta etapa englobou o estudo das tecnologias apropriadas para cada módulo envolvido no projeto. Dentre elas, foram definidas a tecnologia de aquisição do sinal, processamento, armazenamento e transmissão dos dados e a forma de apresentar os resultados calculados.

3ª Etapa: Analisar os fornecedores e providenciar os componentes necessários.

Uma vez definido o princípio de funcionamento do projeto, foi efetuado um estudo sobre os possíveis componentes a serem aplicados e, então, selecionados.

4ª Etapa: Elaborar a documentação básica.

Com base nos componentes selecionados, foi possível definir as questões técnicas do projeto, desde o estudo da documentação dos componentes escolhidos, até a definição dos padrões de programação de *firmware* e *software*. Os circuitos esquemáticos envolvidos também foram elaborados para embasar o desenvolvimento técnico do projeto.

5ª Etapa: Desenvolver e testar os módulos envolvidos no projeto.

Foram desenvolvidos, os respectivos protótipos funcionais para os módulos presentes no projeto, com base na documentação elaborada anteriormente. Todos os procedimentos descritos anteriormente foram seguidos minuciosamente para maximizar a probabilidade de sucesso do projeto. Foram efetuados os testes para cada módulo, em especial as interfaces de conexões com os respectivos módulos, com o objetivo de que todos estivessem preparados para funcionar em conjunto e evitar retrabalhos nas etapas seguintes.

6ª Etapa: Integrar e testar o conjunto completo.

Foram integrados todos os módulos e efetuados os devidos testes de funcionamento.

7ª Etapa: Complementar a documentação

Após obter sucesso em todos os testes do projeto, foram observadas todas as conclusões, e incluídas na documentação previamente iniciada.

8ª Etapa: Apresentar o projeto

Nesta etapa, a equipe irá apresentar o projeto, bem como submeter à documentação para a banca examinadora.

1.4. APRESENTAÇÃO DO DOCUMENTO

O primeiro capítulo tratou da motivação e justificativa para realização do projeto, dos objetivos e resultados esperados, bem como a metodologia utilizada no projeto.

O capítulo 2 trará informações referentes à fundamentação teórica do projeto. Será conduzida uma breve introdução a respeito das tecnologias envolvidas, para possibilitar a compreensão da etapa de desenvolvimento do projeto.

O capítulo 3 apresentará informações essencialmente técnicas, referentes ao desenvolvimento do projeto. Nele, serão identificados os módulos que compõem o projeto, incluindo a descrição do *hardware* e *firmware* desenvolvido e empregado, bem como apresentadas quais serão as técnicas para o desenvolvimento do *software*.

O capítulo 4 irá expor os resultados obtidos com o projeto, por meio da realização testes em campo.

O capítulo 5 apresentará um plano de negócios para analisar a viabilidade da introdução do projeto no mercado, sob a forma de um serviço e/ou produto. Será proposto um plano para a abertura de uma nova empresa. Nele, estarão listados os resultados dos estudos referentes à análise de mercado, tais como os possíveis clientes, concorrentes existentes e patentes relacionadas ao projeto. Também apresentará elementos relacionados à gestão da empresa, tais como despesas e custos envolvidos, expectativa de vendas e o cronograma para execução das

atividades planejadas. Será realizada também a análise de indicadores financeiros, previsão das receitas líquidas e do fluxo de caixa em determinado período.

O capítulo 6, por fim, apontará as principais considerações referentes ao projeto como um todo, relatando os principais pontos, entre eles a motivação para realização do projeto, desenvolvimento, resultados obtidos e o plano de negócios.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo irá introduzir uma fundamentação teórica a respeito das tecnologias envolvidas, bem como quais os principais componentes e técnicas de *software* relacionadas que deverão ser empregadas no desenvolvimento da ferramenta proposta, denominada SAMAE.

2.1. *Smart Grid* (Redes Inteligentes)

O primeiro aspecto relevante é o desenvolvimento da tecnologia *Smart Grid* como uma poderosa alternativa para o análise e mensuração do consumo de energia.

O momento aponta para um avanço cada vez mais extenso de possibilidades tecnológicas, e é preciso compreendê-las de maneira que o setor de energia evolua dentro de características que permitam vencer os desafios. É preciso estabelecer uma visão evolutiva e agregar valor com tecnologias e aplicações inovadoras à rede de energia elétrica e, ao mesmo tempo, preservar os investimentos já realizados. É possível prever que a tecnologia terá um papel cada vez mais relevante em todas as áreas do ciclo: geração, transmissão, comercialização e uso da energia.

As modificações devem transformar o sistema elétrico em uma moderna rede que permitirá às concessionárias de energia e aos consumidores mudar a forma como disponibilizam e consomem energia. A parte mais visível dessa evolução, atualmente, está no uso, em larga escala, dos medidores eletrônicos de energia, que permitirão, em curto prazo, exercitar novas modalidades tarifárias e novos comportamentos de consumo. Telecomunicações, sensoriamento, sistemas de informação e computação, combinados com a infra-estrutura já existente, passam a constituir cada vez mais uma forma que fará a diferença.

O início dos estudos e a implantação de uma nova tecnologia se faz presente no exterior e atualmente no Brasil encontra-se em um ritmo acelerado de crescimento (Modificado de PRNEWSWIRE, 2012).

2.2. Comunicação ZigBee

2.2.1. Princípio de Funcionamento

A comunicação utilizando a tecnologia ZigBee vem ao encontro de transformar a comunicação sem fio em meios acessíveis de pequenos e médios projetos oferecendo uma interface amigável e custos relativamente pequenos.

2.2.2. Aplicações

Os protocolos ZigBee estão definidos para um uso em aplicações que requerem baixas transmissões de dados e pouco consumo energético. O uso do ZigBee é recorrido quando se pretende aplicações de baixo custo e organizáveis. O ZigBee é usado no controle industrial (segurança, controle de acesso e iluminação), redes de sensores, jogos iterativos (periféricos para PC), medicina (monitoração de pacientes, acompanhamento de exercício físico), controle remoto de produtos eletrônicos, aquisição de dados, exercer funções como na detecção de fumaça ou intrusos (Figura 1). A rede no seu conjunto utiliza uma quantidade muito pequena de energia para que cada dispositivo individualmente, possa ter uma autonomia de vários anos antes de necessitar uma substituição no sistema de alimentação.

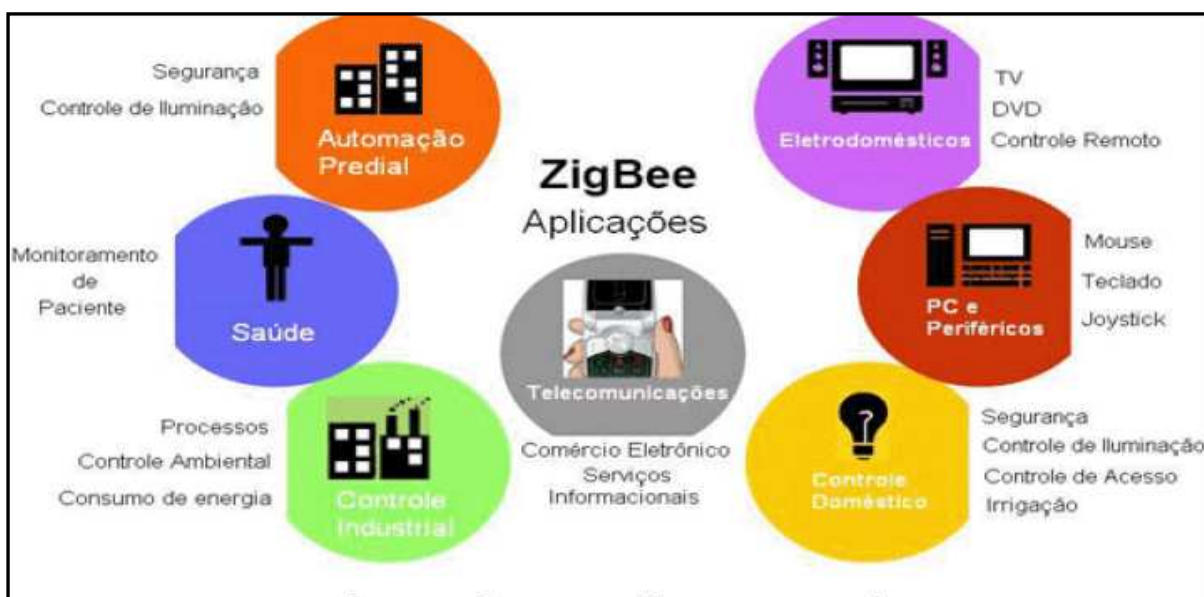


Figura 1 - Aplicações para o ZigBee

Fonte: Rogercom (2012)

2.2.3. Analisando o ZigBee

As redes sem fios atuais, apesar de serem adequadas para uso ao ar livre porém, são particularmente deficientes em recintos delimitados, tais como residências, prédios de escritórios, hospitais, universidades, fábricas e armazéns. Entretanto, para muitas aplicações, a falta de uma infra-estrutura adequada ou de recursos para investimento devido aos altos custos envolvidos, oferecem dificuldades para sua implementação no controle de algumas atividades cotidianas.

Os custos dos acessos baseados em redes sem fios que utilizam o padrão IEEE 802.11, por exemplo, ainda são proibidos para muitos usuários de redes e de sistemas de automação (Projeto de Redes, 2004). A tecnologia ZigBee surge nesse cenário como uma alternativa viável que possibilita a utilização de sistemas de controle sem fios para esse tipo de aplicação em dispositivos mais simples. ZigBee é um modelo robusto e eficiente e por ser derivado de um investimento conjunto de grandes empresas.

A crescente busca por tecnologias sem fios mostra a tendência do futuro das redes. Nesse âmbito, modelos diferentes vêm para atender necessidades distintas. ZigBee baseia-se no envio de baixas taxas de dados de 10 até 250kbps, por ter o propósito de enviar leituras de sensores que tipicamente tem dezenas de bytes, não é preciso uma banda extensa. Além disso, a baixa largura de banda do ZigBee ajuda-o a cumprir os seus principais objetivos: baixo consumo de energia, custo reduzido e robustez.

Os dispositivos baseados na tecnologia ZigBee funcionam na faixa ISM (*Industrial, Scientific and Medical radio band*), isto é, não requer licença para funcionamento. Estes operam nas faixas de 2,4 GHz (Global), 915 MHz (Estados Unidos) e 868 MHz (Europa) e com taxas de transferências de dados de 250 kbps em 2,4 GHz, 20 kbps em 868 MHz e 40 kbps em 915 MHz (Projeto de Redes - 2004) (Quadro 1)

Padrão	Frequências	Nº de Canais	Técnica de Modulação	Taxa de Dados
802.15.4	2.4 – 2.4835 GHz	16 (11 a 26)	DSSS, O-QPSK	250 kbit/s
	868 – 870 MHz	1 (0)	DSSS, BPSK	20 kbit/s
	902 – 928 MHz	10 (1 a 10)	DSSS, BPSK	40 kbit/s

Quadro 1 - Faixas e velocidade de transmissão

Fonte: Autoria Própria

Na Figura 2 pode-se verificar o espectro de ocupação nas bandas do protocolo 802.15 (incluindo ZigBee).

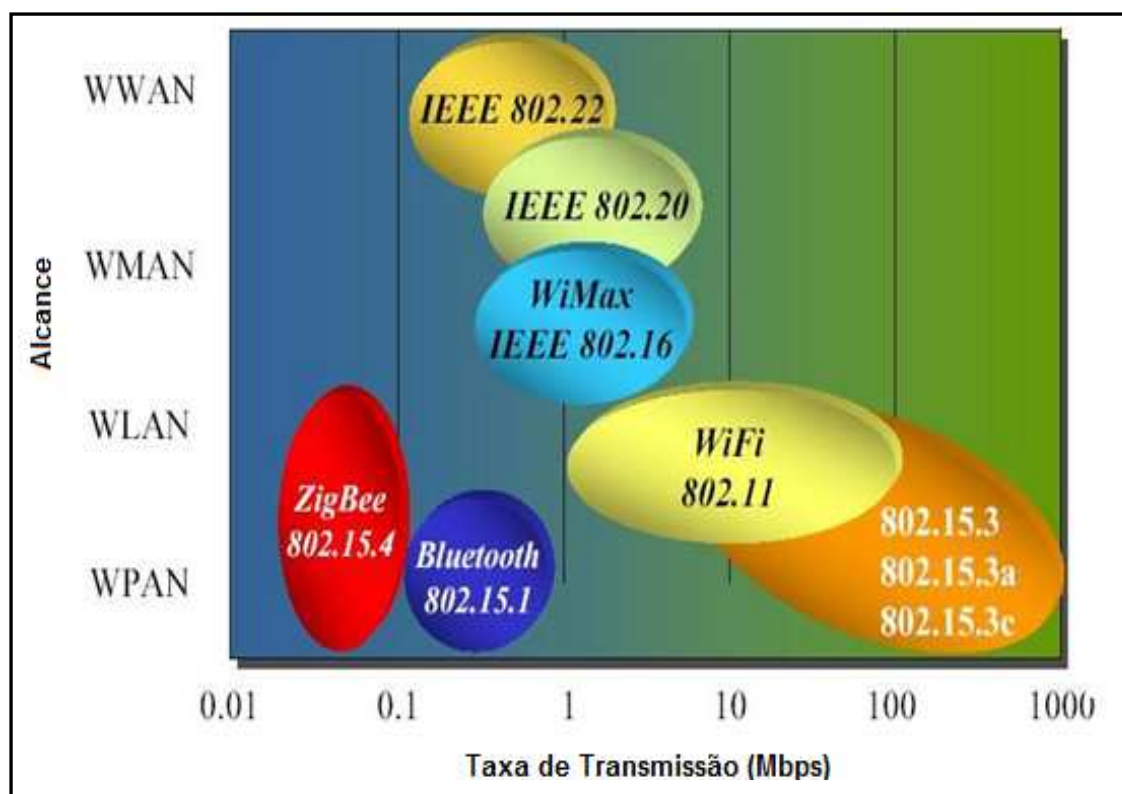


Figura 2 - Comparação do ZigBee com outras tecnologias

Fonte: Modificado de Rogercom (2012)

O padrão oferece atualmente interfaces com velocidades de transmissão compreendidas entre 10 kbps e 250 kbps e com um alcance de transmissão entre 10 m e 100 m, dependendo diretamente da potência dos equipamentos e de características ambientais (obstáculos físicos, interferência eletromagnética, etc.).

Na questão de alimentação dos dispositivos, os módulos de controle dotados com esta tecnologia podem ser alimentados por meio de baterias comuns, sendo que a sua vida útil está relacionada diretamente com a capacidade da bateria e a aplicação a que se destina. Nesse aspecto o protocolo ZigBee foi projetado para suportar aplicações com o mínimo de consumo.

Para realizar a comunicação é necessário verificar se a mensagem foi recebida corretamente após a transmissão, com isso é utilizada uma verificação cíclica de redundância (CRC - *Cyclic Redundancy Check*). Os bits são tratados como um grande número binário e dividido por outro número relativamente grande. O quociente da divisão é descartado, e o resto da divisão é transmitido junto com a

mensagem. Essa mesma divisão é feita no receptor, e se for obtido o mesmo resultado, indica uma comunicação confiável.

Na banda de 2.4 GHz usa a modulação do espectro expandido DS-SS (*Direct Sequence Spread Spectrum*). A uma velocidade de transmissão de 250 kbps e a uma potência de 1 mW cobre uma área relativamente grande de transmissão. A tecnologia ZigBee trabalha sobre IEEE 802.15.4 que permite um ambiente perfeito para locais com baixa relação sinal-ruído.

A Figura 3 seguinte mostra as características de transmissão dos sinais:

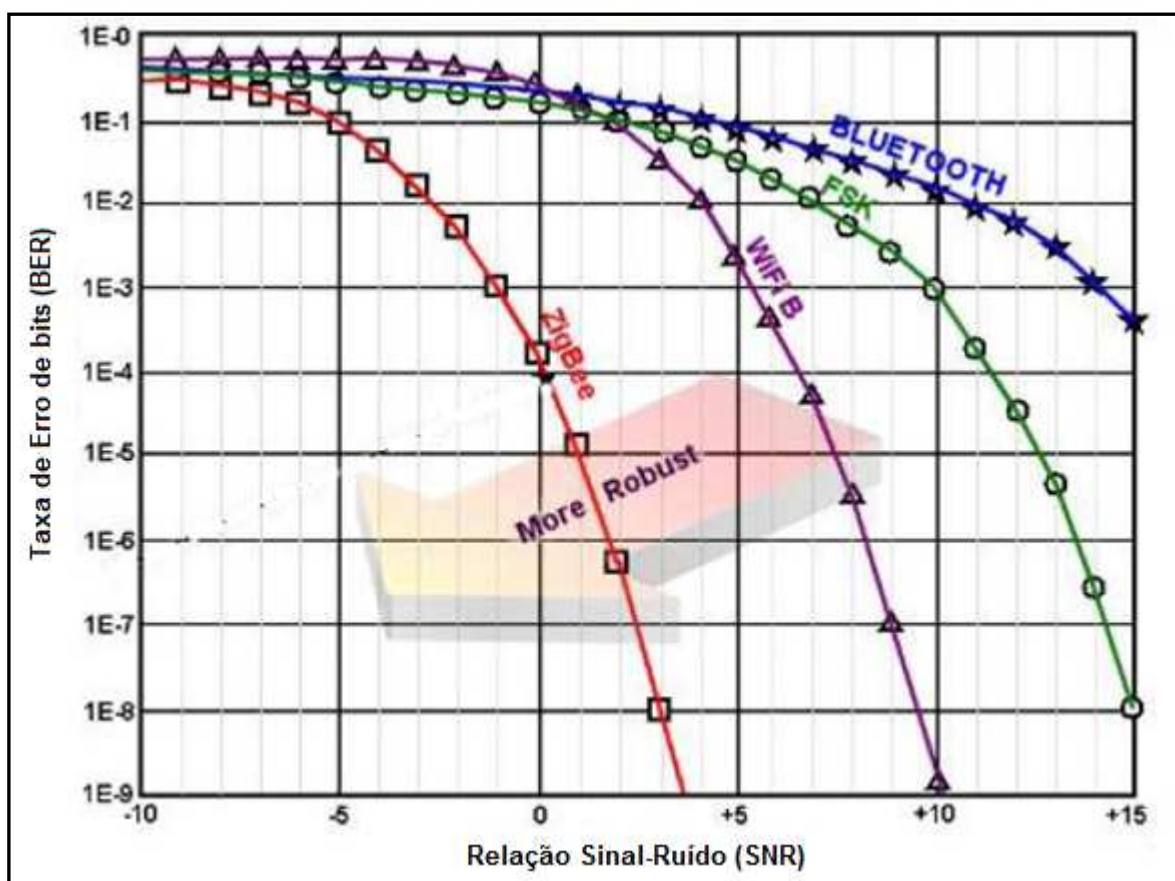


Figura 3 - Relação Sinal Ruído x Taxa de Erro de bits

Fonte: Modificado de Rogercom (2012)

2.2.4. Topologia de Rede

Numa rede ZigBee pode haver até 254 nós, no entanto, de acordo com o agrupamento que é feito, pode-se criar até 255 conjuntos de nós com os quais podem chegar a ter 64770 nós nos quais existe a possibilidade de utilizar várias topologias de rede entre elas estão: estrela, grupos de árvore ou em malha (Figura 4).

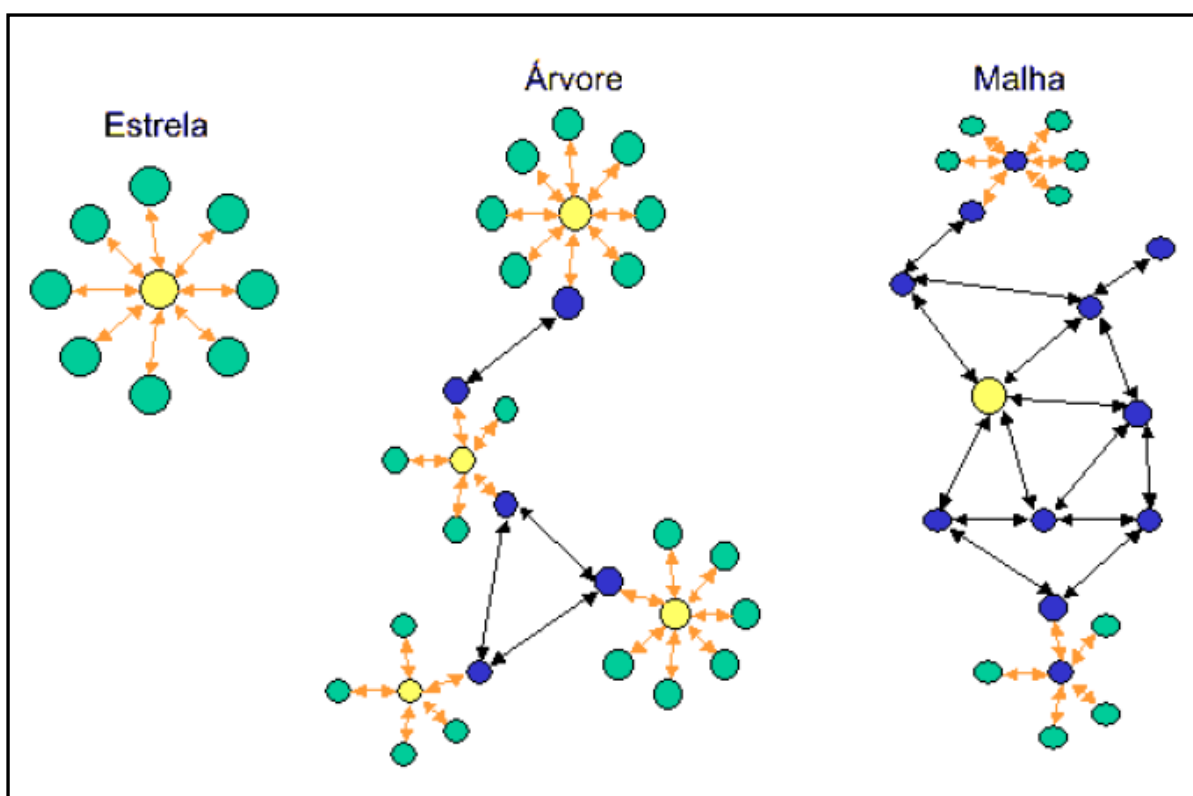


Figura 4 - Topologias de Rede

Fonte: Rogercom (2012)

Numa Rede ZigBee são identificados dois tipos de dispositivos: FFD e RFD.

- FFD - *Full Function Device* (Dispositivos de Funções Completas) - São dispositivos mais complexos e precisam de um hardware mais potente para a implantação da pilha de protocolos, conseqüentemente, consomem mais energia. Numa topologia de

Rede ZigBee eles podem assumir o papel de Coordenador, Roteador ou mesmo de um dispositivo final denominado *End Device*. Dispositivos FFDs podem se comunicar com quaisquer membros da rede. São implementados em microcontroladores com no mínimo 32 kB de memória de programa e ter uma certa quantidade de memória RAM, para implementações de tabelas de rotas e configurações de parâmetros.

- RFD - *Reduced Function Device* (Dispositivos de Funções Reduzidas) - São dispositivos mais simples, onde sua pilha de protocolo pode ser implementada usando os mínimos recursos possíveis de hardware, como por exemplo, em microcontroladores de 8 bits com memória de programa próxima a 6 kB, mas só podem se comunicar com dispositivos FFDs (Coordenador ou Roteador). Numa topologia de rede ZigBee eles assumem o papel de *End Device* (dispositivo final). Na prática podem ser: interruptores de iluminação, controle de relês, sensores, entre outros.

No padrão ZigBee existem três classes de dispositivos lógicos (Coordenador, Roteador e Dispositivo final) que definem a rede:

- ZC - ZigBee Coordenator (Coordenador ZigBee) - Só pode ser implementado através de um dispositivo FFD. O coordenador é responsável pela inicialização, distribuição de endereços, manutenção da rede, reconhecimento de todos os nós, entre outras funções podendo servir como ponte entre várias outras Redes ZigBee.
- ZR - ZigBee *Router* (Roteador ZigBee) - Só pode ser implementado através de um dispositivo FFD. Tem as características de um nó normal na rede, mas com poderes extras de também exercer a função de roteador intermediário entre nós, sem precisar do coordenador. Por intermédio de um roteador uma rede ZigBee pode ser expandida, e assim ter mais alcance. Na prática um

roteador pode ser usado para amplificar o sinal da rede entre andares de um prédio.

- ZED - ZigBee *End Device* (Dispositivo Final ZigBee) - É onde os atuadores ou sensores serão hospedados. Pode ser implementado através de um dos dispositivos FFD ou RFD. Assim ele é o nó que consome menos energia, pois na maioria das vezes ele fica em *stand-by*.

No padrão ZigBee existem três tipos de configuração que definem a rede:

- Estrela: É uma das topologias de rede ZigBee mais simples de serem implantadas, é composta de um nó coordenador, e quantos nós *End Device* forem precisos. Este tipo de rede deve ser instalada em locais com poucos obstáculos à transmissão e recepção dos sinais, como por exemplo, em uma sala sem muitas paredes ou locais abertos.
- Árvore: Semelhante à topologia *Mesh*, uma rede em árvore, tem uma hierarquia muito maior e o coordenador assume o papel de nó mestre para a troca de informação entre os nós *Router* e *End Device*.
- *Mesh* (Malha ou Ponto-a-Ponto): Na topologia *Mesh* a rede pode se ajustar automaticamente, tanto na sua inicialização como na entrada ou saídas de dispositivos na rede. A rede se auto-organiza para otimizar o tráfego de dados. Com vários caminhos possíveis para a comunicação entre os nós, este tipo de rede pode abranger em extensão, uma longa área geográfica, podendo ser implementada numa fábrica com vários galpões distantes; controle de irrigação ou mesmo num prédio com vários andares.

2.2.5. Modos de Operação da Rede ZigBee

Beaconing: O tempo todo, os dispositivos com funções de roteador, transmitem de tempos em tempos, sinalização (*beaconing*) para tentar confirmar sua presença aos outros roteadores da mesma rede. Já os outros nós da rede só precisam estar ativos no momento da sinalização, mas esses dispositivos devem ser configurados para perceber o período em que ocorrerá esta sinalização, pois no modo *beaconing* a maioria dos dispositivos permanecem em modo *stand-by*, nesse modo o consumo de energia é o mínimo possível.

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

2.2.6. Arquitetura

O padrão IEEE 802.15.4, definiu interfaces com baixas taxas de transmissão (inferiores a 250 kbps) e estabeleceu uma estrutura de rede que incorpora os conceitos de rede *ad hoc*, características de ligação em malha e em múltiplos saltos (*multi-hop*). Adicionalmente, novos algoritmos de segurança e perfis de aplicação foram definidos com o objetivo de garantir segurança e a perfeita interação entre os diversos equipamentos (Figura 5) (Projeto de Redes - 2004).

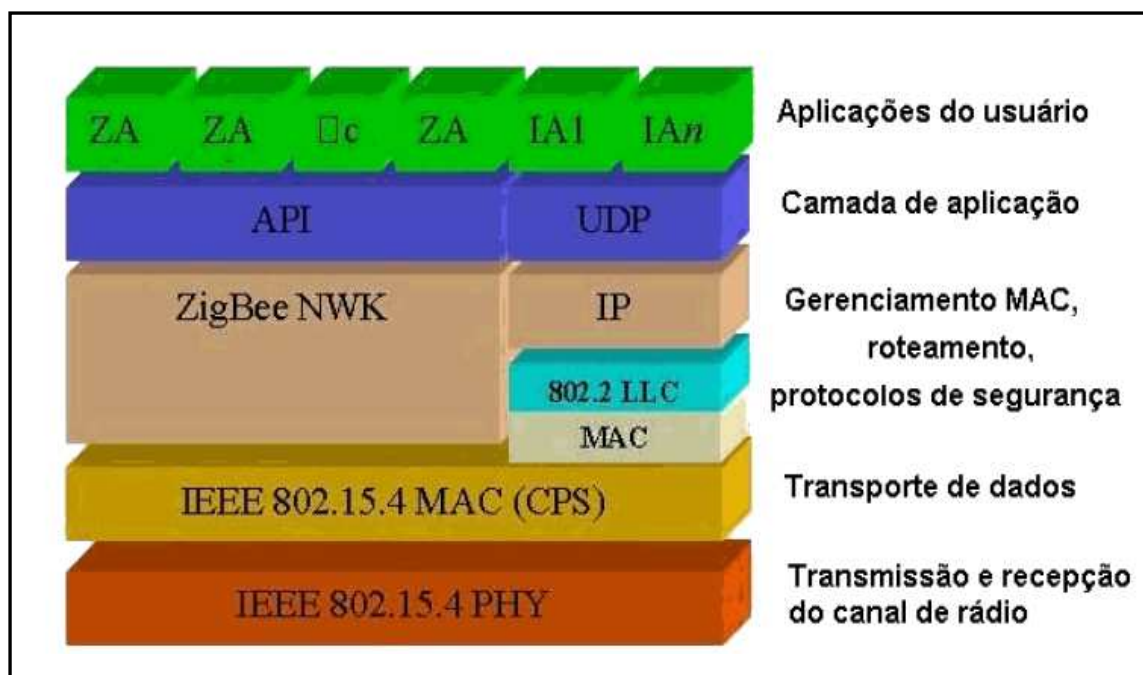


Figura 5 - Camadas de protocolos ZigBee

Fonte: Rogercom (2012)

2.2.7. Camada Física

A camada física (PHY - *Physical*) foi projetada para acomodar as necessidades de interfaces de baixo custo, permitindo níveis elevados de integração. O uso da técnica de transmissão DS-SS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) permite que os equipamentos sejam muito simples, possibilitando assim implementações mais baratas. Nesta técnica uma seqüência aleatória de valores 1 e -1, numa frequência mais elevada, é multiplicada ao sinal original, causando espalhamento da energia do sinal numa banda mais larga. Utiliza-se BPSK nas duas menores faixas de frequências (868 MHz e 915 MHz), assim como QPSK ortogonal que transmite 2 bits por símbolo na banda de 2,4 GHz.

A camada PHY é responsável pela transmissão e recepção do canal de rádio.

2.2.8. Camada de Controle de Acesso ao Meio (MAC)

A camada de Controle de Acesso ao Meio (MAC - *Media Access Control*) foi projetada para permitir topologias múltiplas com baixa complexidade, onde a gestão de energia, por exemplo, não requer modos de operação complexos. O MAC também permite que um dispositivo com funcionalidade reduzida (RFD) opere na rede sem necessidade de grandes quantidades de memórias disponíveis, podendo controlar também um grande número de dispositivos sem a necessidade de colocá-los “em espera”, como acontece em determinadas tecnologias sem fios.

A camada MAC é responsável por prover um mecanismo confiável de transmissão, pelo transporte de dados e sincronização.

2.2.9. Camada de Rede

A camada de rede (NWK - *Network*) foi projetada para possibilitar o crescimento da rede sem a necessidade de equipamentos de transmissão de potência mais elevada. Esta também pode funcionar com quantidades grandes de nós de rede e latências relativamente baixas. A camada de rede (NWK) utiliza um algoritmo que permite implementações da pilha de protocolos visando balancear os custos das unidades em aplicações específicas, o consumo das baterias, procurando obter soluções com o perfil específico de custo-desempenho para a aplicação.

A camada NWK (rede) é responsável pela descoberta e manutenção de rotas entre os dispositivos envolvidos e também pela segurança dos dados.

2.2.10. Camada de Aplicação

A camada Aplicação é constituída por três principais componentes: Suporte à aplicação, “*ZigBee Device Object*” e as funções definidas pela empresa que desenvolveu o dispositivo.

Os serviços fornecidos no suporte à aplicação são o “*Discovery*” e “*Binding*”. O primeiro descobre que outros pontos estão ativos na área de alcance daquele dispositivo. O segundo une dois ou mais dispositivos considerando as suas necessidades e serviços.

ZigBee Device Object é onde está definido o papel do dispositivo na rede, isto é, se ele atua como coordenador, *router* ou dispositivo final. Além disso, há a definição de método de segurança usado na rede e o início das solicitações de “*Binding*”.

A pilha do padrão ZigBee tem requisitos muito simples podendo ser implementada em microcontroladores de 8 bits. A pilha completa não excede 32 kbytes e a reduzida 6 Kbytes.

De um modo geral utiliza-se CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) para evitar colisões durante a transmissão. Quando um nó deseja transmitir, este envia um sinal de aviso, por tempo suficiente para que todos os componentes da rede o recebam somente então os dados são transmitidos. Se durante uma transmissão um sinal de aviso for detectado o emissor interrompe o envio da mensagem, reiniciando a tentativa de transmissão após um período aleatório.

2.2.11. Segurança

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

A camada MAC utiliza o padrão AES (Advanced Encryption Standard) como algoritmo de criptografia, descrevendo uma variedade de rotinas de

segurança. Estas rotinas têm como objetivo prover a confidencialidade, a integridade e a autenticidade dos *frames* da camada MAC. A camada MAC faz o processamento da segurança, mas são as camadas superiores que controlam o processo, ajustando as chaves de criptografia e determinando os níveis de segurança que deverão ser usados. Quando a camada MAC transmite (ou recebe) um *frame*, verifica o destino (a fonte do *frame*), recupera a chave associada com esse destino (fonte), e usa então esta chave para processar o *frame* de acordo com a rotina de segurança designada para a chave que está a ser usada. Cada chave é associada a uma única rotina de segurança e o cabeçalho do *frame* MAC possui um bit que especifica se a segurança para o *frame* está habilitada ou não.

2.2.12. Tipos de Tráfego

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

- Dados periódicos, provenientes de sensores: Um sensor fica em stand-by até “acordar” em determinado momento e procurar por uma sinalização do coordenador da rede para, então, solicitar sua entrada na rede. Se o coordenador aceitar, a informação passa pelo sensor para que, em seguida, ele volte ao estado de stand-by.
- Dados intermitentes, provenientes de interruptores: A informação pode ser tratada num sistema sem sinalização ou desconectado. Numa operação com um dispositivo desconectado, ele só se juntará à rede quando a comunicação for necessária, logo, economizando energia.

- Dados provenientes de dispositivos repetitivos de baixa latência: Utilizam alocações “*time slot*” como sistema de segurança. Existe possibilidade da utilização de GTS (*Guarantee Time Slots*), que é um método de qualidade de serviço que permite que cada dispositivo tenha uma duração de tempo específica definida pelo coordenador. Um bom exemplo de um dispositivo com este tipo de tráfego é um mouse.

2.2.13. *Hardware e Software*

O *software* foi projetado para ser executado em processadores e microcontroladores de baixo custo, com um desenvolvimento de transmissão muito otimizado para alcançar baixos custos com elevado volumes de produção. Sempre que possível são utilizados circuitos digitais evitando componentes analógicos.

Embora o *hardware* seja simples, o processo de certificação de um dispositivo suporta uma validação completa das exigências do nível físico. Esta revisão intensiva tem várias vantagens, desde que todos os módulos fabricados a partir de uma mesma máscara de semicondutor utilizem as mesmas características de rádio frequência. Por outro lado, um nível físico mal controlado poderia prejudicar não só ao próprio dispositivo, mas também o consumo de energia de todos os outros dispositivos na rede. Outros padrões podem compensar certos problemas, enquanto ZigBee trabalha com margens muito estreitas de consumo. Para isto, de acordo com os 802.15.4, os módulos passam para validações ISO 17025. A maioria dos fabricantes planejam integrar (ou integram) o módulo e o microcontrolador num único chip.

2.2.14. Estratégias de ligação dos dispositivos numa rede ZigBee.

As redes ZigBee foram projetadas para conservar a potência nos nós. Desta forma consegue-se um baixo consumo de potência. A estratégia consiste em

que, durante algum tempo, um dispositivo “escravo” permaneça no modo “adormecido”, de tal forma que só “desperte” por uma fração de segundos para confirmar que está em funcionamento na rede de dispositivos na qual faz parte. Esta transição do modo “adormecido” ao modo “desperto” (modo no qual realmente transmite), dura uns 15 ms e a enumeração de “escravos” dura à volta dos 30 ms.

2.2.15. Localização dos Dispositivos

Processo segundo o qual um dispositivo ZigBee pode descobrir outros dispositivos ZigBee enviando mensagens de pedido de identificação por *broadcast* ou *unicast*. Pode haver pedidos do endereço IEEE (já conhecido o NWK e por *unicast*) ou NWK (por *broadcast* e transporta o endereço IEEE). No caso do dispositivo ser um coordenador ou *router*, para além do seu endereço, enviará também os endereços dos dispositivos a ele associados.

2.2.16. Service Discovery

É um processo onde os serviços disponíveis nos *endpoints* de um dispositivo são descobertos por dispositivos externos. São rastreados todos os *endpoints* (por *unicast*) ou é usado o serviço de *match* (é enviada uma mensagem de difusão e só respondem os dispositivos em que os critérios coincidam), sendo usados todos os descritores do end device. No caso de haver dispositivos em “sleep mode”, o seu coordenador ou router ZigBee poderá responder por eles. Existem os seguintes tipos de pedidos:

- *End Device Ativo*: Este comando permite determinar os *end-device* ativos.

- *Match Simple Descriptor*: Pede a identificação de perfil e, opcionalmente, a de clusters e a do *end-device* do dispositivo com os critérios fornecidos coincidentes.

2.3. Comparação de ZigBee com Bluetooth e WLAN

2.3.1. ZigBee vs Bluetooth

ZigBee e *Bluetooth* têm muito em comum. Os dois são do tipo de redes WPANs (*Wireless Personal Área Network*). Funcionam ambos na faixa ISM (não precisam de licença) de 2,4 GHz e consomem pouca energia. No entanto têm algumas diferenças(Quadro 2).

- Uma rede ZigBee pode consistir num máximo de 64770 nós, frente aos 8 nós máximos numa rede Bluetooth.
- Menor consumo elétrico que o já baixo do Bluetooth. Em termos exatos, ZigBee tem um consumo de 30 mA transmitindo e de 3 μ A em repouso, em relação aos 40 mA transmitindo e 200 μ A em repouso que o Bluetooth. Este menor consumo deve-se a que o sistema ZigBee passa a maior parte do tempo “adormecido”, enquanto que numa comunicação Bluetooth isto não acontece, pois está sempre transmitindo ou recebendo.
- ZigBee tem uma velocidade de 250 kbps, enquanto que o Bluetooth tem 1 Mbps.

Devido as velocidades de cada um, um é mais apropriado que outro para certas aplicações. Por exemplo, enquanto que o Bluetooth é usado em aplicações como Wireless USB, celulares e informações caseiras, a velocidade do ZigBee é insuficiente para estas tarefas, sendo esta orientada para usos domésticos,

equipamentos dependentes da bateria, sensores médicos e jogos, nos quais a transferência de dados é menor.

	ZigBee	BLUETOOTH
Padrão (MAC + PHY)	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.1
Taxa de Transferência	250 kbps	1 Mbps
Corrente de Transmissão	30 mA	40 mA
Corrente em standby	3 uA	200 uA
Tamanho da pilha do protocolo	28 kb	250 kb
Técnica de modulação	DSSS	FHSS
Bateria	Até 2 anos	Recargas freqüentes
Área de cobertura	Mais de 70 m	Até 100 m

Quadro 2 - Principais diferenças entre ZigBee e Bluetooth

Fonte: Autoria Própria

Uma diferença relevante entre estes dois padrões é o tipo de alimentação dos dispositivos. Em aplicações Bluetooth, geralmente, os dispositivos são recarregados periodicamente, como celulares e PDAs. Enquanto, no padrão ZigBee estes podem ser alimentados com baterias comuns.

Considerações de tempo conforme Quadro 3:

	ZigBee	BLUETOOTH
Tempo de acesso à rede	30 ms	3 s
Tempo de transição do estado sleep para o estado ativo	15 ms	3 s
Tempo de acesso ao canal	15 ms	2 ms

Quadro 3 - Principais diferenças nos tempos entre ZigBee e Bluetooth

Fonte: Autoria Própria

Ao se analisar estas diferenças, pode-se concluir que ZigBee e Bluetooth são duas soluções diferentes que têm características para endereçar requisitos de aplicações diferentes. Mesmo que ocorram pequenas modificações nestes padrões as características principais serão mantidas. As diferenças entre estes padrões são provenientes da arquitetura na qual estes foram desenvolvidos.

2.4. BANCO DE DADOS

Uma base de dados é coleção organizada de dados, usualmente armazenada em forma digital. Na década de 70 surgiram os primeiros sistemas gerenciadores de bases de dados, os SGBDs (ELMAZARI-NAVATHE, 2003). Anteriormente, as aplicações utilizavam o próprio sistema de arquivos do sistema operacional para organizar suas informações. Tal organização e a eficiência da recuperação desses dados eram altamente dependentes do desenvolvedor da aplicação.

Com o aumento do volume de dados em aplicações específicas, como sistemas bancários e sistemas empresariais, fez-se necessária a criação dos SGBDs. Alguns dos principais sistemas atualmente são Oracle, Microsoft SQL Server, PostgreSQL, MySQL e SQLite. Para administrar tais sistemas, a linguagem SQL é largamente difundida (ELMAZARI-NAVATHE, 2003).

2.4.1. Modelo Entidade-Relacionamento

O modelo entidade-relacionamento é uma abstração com a finalidade de descrever conceitualmente os dados pertencentes a um domínio. O diagrama entidade-relacionamento (DER) é a maneira gráfica de se representar este modelo. Esta notação é largamente utilizada na modelagem de bancos de dados (CHEN, 1976).

O objetivo de Chen na criação dessa notação foi modelar os elementos do

mundo real e representá-los da maneira mais clara possível. A Figura 6 ilustra um exemplo de DER.

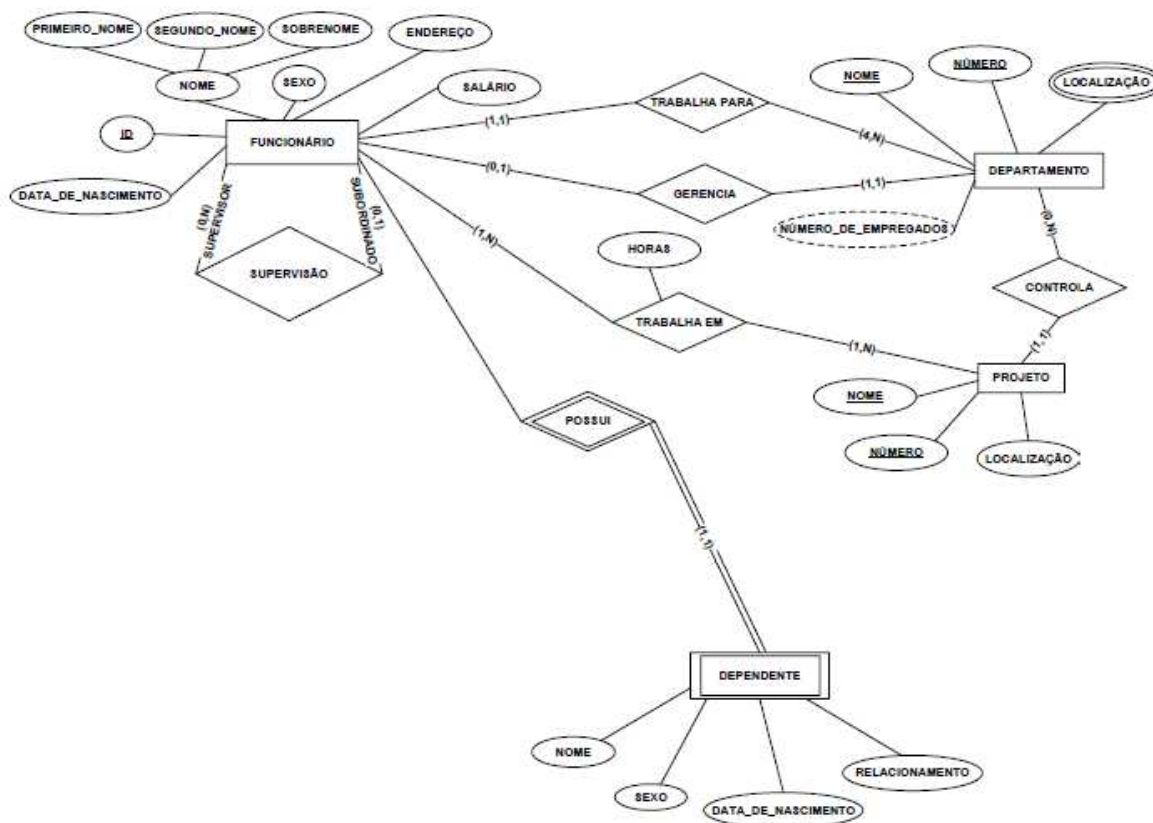


Figura 6 - Modelo Entidade Relacionamento
 Fonte: Adaptado de Elmazari-Navathe (2003)

Para compreender o DER, se faz necessário o conhecimento de seus elementos e simbologias. A seguir, serão descritos seus principais elementos.

- Entidades: É o conjunto de elementos com características próprias. Seus atributos não dependem de outras entidades (CHEN, 1976). Podem ser entendidos como os substantivos da língua portuguesa. Ela tanto pode ser algo concreto (livro, pessoa), quanto abstrato (empréstimo, viagem de férias). Exemplos de entidades: locais, pessoas e objetos. A representação de uma entidade é feita através de um retângulo e um texto interno nomeando a entidade, conforme a Figura 7.

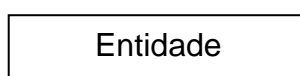


Figura 7 - Modelo de Entidade

Fonte: Autoria Própria

- Atributos: Os atributos modelam as características de uma entidade ou relacionamento. Os atributos de uma entidade não dependem de nenhuma outra entidade. Os atributos podem ser do tipo: determinante, composto ou multi-valorado (CHEN, 1976). Um atributo determinante é aquele que é único para a entidade e para um elemento da entidade. Futuramente pode ser utilizado como chave primária em uma tabela. Atributos compostos são aqueles que podem ser divididos em mais partes para melhor entendimento, como por exemplo, um endereço, podendo ser composto por rua, número e CEP. O último caso, atributos multi-valorados, são aqueles que podem assumir mais de um valor para determinado elemento de uma entidade. Por exemplo, para uma entidade “Funcionário” pode haver zero ou mais números de telefone cadastrados. Ou seja, possui uma relação 1 para N com a entidade. É representado através de um asterisco à frente de seu nome. Na Figura 8, são exemplificadas suas notações.

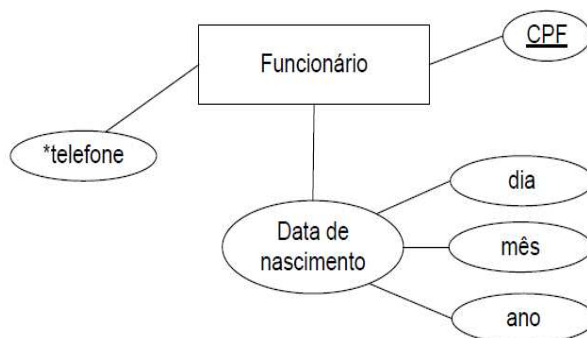


Figura 8 - Modelo de Atributos

Fonte: Autoria Própria

- **Relacionamentos:** São associações entre entidades. Por exemplo, um cliente é vinculado a um produto através do relacionamento de compra. É representado por meio de um losango, como ilustrado na Figura 9.

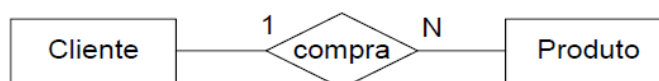


Figura 9 - Modelo de Relacionamento

Fonte: Autoria Própria

- **Cardinalidade:** Identifica quantas vezes cada elemento de uma entidade pode participar de um relacionamento. No caso anterior, cada cliente pode comprar N produtos, mas cada produto pode ser comprado por apenas um cliente, caracterizando uma relação 1 para N. Outra variação mais precisa para esta notação está representada na
- Figura 10, na qual são especificadas a participação mínima e máxima (min,máx) de E em R. Deve-se atentar que a ordem de leitura da cardinalidade passa a ser invertida em relação à notação anterior.

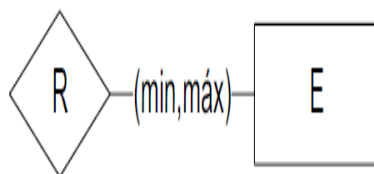


Figura 10 - Modelo de Cardinalidade

Fonte: Autoria Própria

- Auto-relacionamentos: Vinculam uma instância de uma entidade à outra instância de uma mesma entidade. No exemplo ilustrado pela Figura 11, a entidade funcionário é vinculada a ela mesma através do relacionamento “casado com”. No caso de auto-relacionamentos deve-se sempre especificar os papéis de cada entidade.

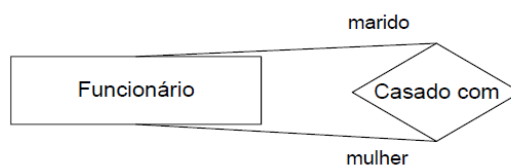




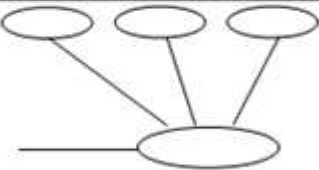

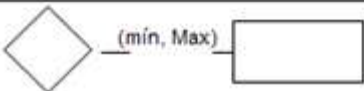


Figura 11 - Modelo de Auto-relacionamento

Fonte: Autoria Própria

O Quadro 4 relaciona os principais elementos da notação Chen.

Símbolo	Significado
	Entidade
	Relacionamento
	Atributo
	Atributo chave
	Atributo Composto
	Cardinalidade 1:N para E1:E2 em R
	Representação de participação mínima e máxima (min, Max) de E em R

Quadro 4 - Principais elementos da notação Chen

Fonte: Autoria Própria

2.5. LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO UTILIZADA

A linguagem C# foi criada junto com a arquitetura .NET. Embora existam várias outras linguagens que suportam essa tecnologia, C# é considerada a linguagem padrão do .NET pelas seguintes razões:

Foi desenvolvida para funcionar na nova plataforma, sem preocupações de compatibilidade com código anteriores.

O compilador C# foi o primeiro a ser desenvolvido. A maior parte das classes do .NET Framework foram desenvolvidas em C#.

2.5.1. Características

C# é de certa forma a linguagem de programação que mais diretamente reflete a plataforma .NET sobre a qual todos os programas .NET executam. C# está de tal forma ligado a esta plataforma que não existe o conceito de código não-gerenciado em C#. Suas estruturas de dados primitivas são objetos que correspondem a tipos em .NET. A desalocação automática de memória e de várias de suas abstrações tais como classes, interfaces, e exceções são nada mais que a exposição explícita recursos do ambiente .NET.

Quando comparada com C e C++, a linguagem é restrita e melhorada de várias formas incluindo:

- C# foi desenvolvida partir do zero para funcionar especialmente na plataforma .NET, sem a necessidade de compatibilidade com código já existente;
- A maior parte das classes do .NET Framework foram desenvolvidos em C#;
- Primeira linguagem "orientada à componentes" da família C/C++;
- Segue os padrões de POO (Programação Orientada a Objetos), onde tudo deriva de um ancestral comum, no caso *System.Object*, não existem atributos e métodos *stand-alone*, tudo é declarado dentro do escopo da classe, contudo é possível declarar tipos *struct* e *enum* fora do escopo de classes;
- Fortemente tipada, o que ajuda a evitar erros oriundos de uma manipulação imprópria de tipo e/ou atribuições;
- Suporte à COM, COM+ ou outras DLLs escritas por linguagens que geram código não gerenciado;

- É *case-sensitive*, ou seja, faz diferenciação entre maiúsculas e minúsculas, por exemplo, `rnet` é completamente diferente de `RNET`;
- Os programas escritos em C# rodam sob um ambiente gerenciável, o que significa que todo o controle de memória é feito pelo .NET Framework e não diretamente pelo programador, reduzindo assim falhas na programação enquanto a alocação e liberação de um objeto na memória.

2.5.2. Bibliotecas de códigos

Ao contrário das outras linguagens de programação, nenhuma implementação de C# atualmente inclui qualquer conjunto de bibliotecas de classes ou funções. Ao invés disso, C# está muito vinculada ao *framework* .Net, do qual C# obtém suas classes ou funções de execução. O código é organizado em um conjunto de *namespaces* que agrupam as classes com funções similares. Por exemplo: *System.Drawing* para gráficos, *System.Collections* para estrutura de dados e *System.Windows.Forms* para o sistema *Windows Form*.

Um nível de organização superior é fornecido pelo conceito de montador (*assembly*). Um montador pode ser um simples arquivo ou múltiplos arquivos ligados juntos que podem conter muitos *namespaces* ou objetos. Programas que precisam de classes para realizar uma função em particular podem se referenciar a montadores como *System.Drawing.dll* e *System.Windows.Forms*.

2.6. CONSIDERAÇÕES

Este capítulo abordou as tecnologias envolvidas no projeto, no intuito de fundamentar o próximo capítulo deste documento que trata do desenvolvimento da ferramenta proposta.

Foram citadas as questões referente a nova tecnologia de medição de energia que em breve será fortemente implantada nos grandes centros. Também foi explanado sobre a tecnologia ZigBee que é umas das formas mais recentes e econômicas para a transmissão de pequenos dados e baixo consumo de energia. Também foram citadas as notações existentes na representação de banco de dados, apresentando as formas de relacionamento entre os dados e as notações disponíveis. E por último analisamos a linguagem de alto nível desenvolvida pela *Microsoft* que foi utilizada para a implementação da interface com o usuário na forma de um aplicativo para *desktop*.

3. DESENVOLVIMENTO

Esta seção irá descrever as etapas do desenvolvimento completo do projeto. Serão abordadas as questões de *hardware* envolvidas, incluindo os componentes utilizados e a metodologia aplicada, circuitos que foram desenvolvidos e a integração física entre os conjuntos. Também será apresentado a respeito do *firmware* desenvolvido, para a aplicação no microcontrolador utilizado. Por fim, será descrito o *software* implementado na plataforma *Windows* e como será realizada a integração deste com os dispositivos físicos.

3.1. VISÃO GERAL

A Figura 12 representa um diagrama da visão geral do projeto.

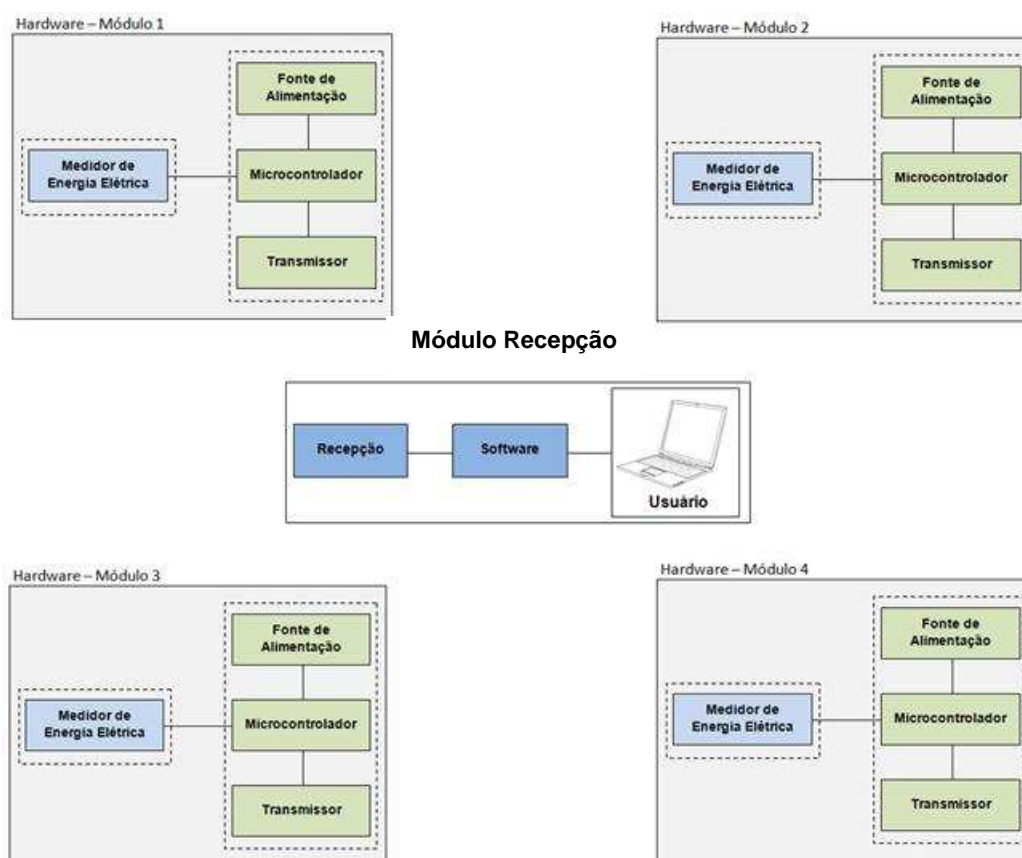


Figura 12 - Diagrama do SAMAE

Fonte: Autoria Própria

O sistema é composto por quatro módulos de aquisição de sinal independentes. Cada módulo é constituído de um elemento de medição com *hardware* específico, uma fonte de alimentação que distribuirá a tensão adequada para o microcontrolador e o transmissor.

A alimentação do sistema será obtida da própria rede monofásica da companhia de energia elétrica local.

O sistema de alimentação fornece os níveis de tensão adequados para alimentar os módulos de processamento e transmissão dos dados, de uma maneira que também estabilizará a tensão a qualquer pico de energia que eventualmente possa ocorrer.

O circuito de medição é responsável por realizar a manipulação dos sinais através do valor da tensão local e a corrente obtida através da carga que se deseja analisar. O circuito terá como resposta a saída de pulsos no optoacoplador proporcional a potência consumida.

O microcontrolador efetuará a contagem e o armazenamento dos pulsos obtidos do circuito de medição ao longo de um período determinado que irá equivaler proporcionalmente a potência consumida e envio dos dados para a entrada do transmissor.

O transmissor possui a função de enviar os pulsos acumulados do microcontrolador ao módulo de recepção e também não menos importante manter o sistema sincronizado com o receptor dos dados.

O módulo de recepção irá concentrar os dados obtidos de cada módulo transmissor e repassar os dados obtidos para o *software* implementado, e após o tratamento dos dados as potências serão enviadas ao banco de dados. Tendo como base as informações armazenadas no banco de dados será possível através da utilização de um micro-computador analisar os dados, visualizando o histórico de consumo por módulo de medição e/ou os quatro módulos simultaneamente. Também terá como utilidade detalhar o quanto gastou-se em valores monetários em determinado período.

3.2. HARDWARE

Os principais blocos do *hardware* já foram apresentados na seção anterior deste documento. Para o projeto de *hardware* do SAMAE – Sistema Automático de Medição e Análise de Energia foi utilizado um circuito integrado com funcionalidades para medição, com *part number* ADE7757, microcontrolador, circuitos que adéquam os níveis de tensão, transmissor e o módulo de recepção.

3.2.1. Circuito Integrado Medidor

O circuito integrado utilizado para a medição de energia foi do fabricante ANALOG DEVICE com o *part number* ADE7757 (Figura 13).

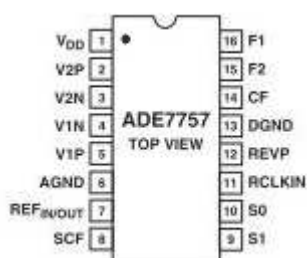


Figura 13 - Circuito Integrado ADE7757

Fonte: ANALOG DEVICE – Datasheet ADE7757 (2012)

Este circuito integrado foi escolhido por ser um medidor de watt-hora para sistemas monofásicos de baixo custo e por permitir uma precisão comparável aos medidores eletromecânicos atuais. Além disso o circuito possui dois conversores analógico-digital (AD) para a manipulação dos sinais de tensão e corrente e uma saída de pulso para realizar a interface com o microcontrolador. O fabricante disponibiliza uma descrição detalhada de uma aplicação para o desenvolvimento de um medidor no documento *application note* (AN-679) em que especifica detalhadamente como se realiza o projeto e quais os cuidados que devem ser tomados. Quando esta documentação é estudada em conjunto com o ADE7757

datasheet são encontradas as informações necessárias para se realizar o projeto de um medidor de energia monofásico.

O esquema do medidor é apresentado na Figura 14.

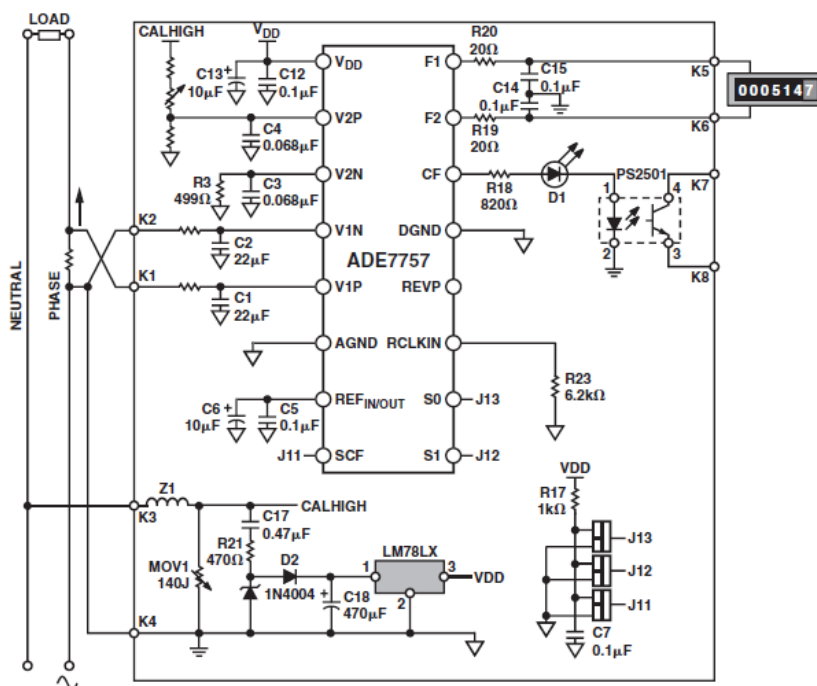


Figura 14 - Esquemático do medidor

Fonte: ANALOG DEVICE – Application Note (AN-679) (2012)

O circuito integrado possui dois amplificadores diferenciais conectados a dois conversores analógico-digital (AD) que são destinados a analisar os sinais de tensão e corrente. Em seguida os dados de corrente são encaminhados para um bloco de processamento digital de sinal em que são realizadas a filtragem, a correção de fase e a multiplicação dos sinais. A Figura 15 abaixo apresenta o diagrama de blocos do circuito interno presente no CI ADE7757 para medição de watt-hora.

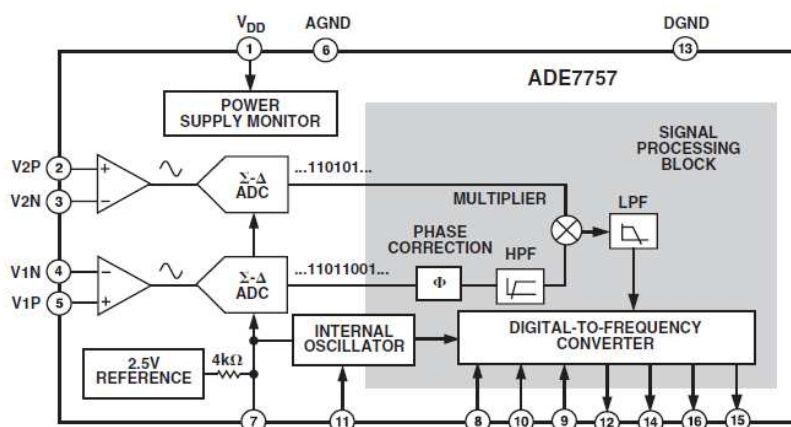


Figura 15 - Diagrama funcional ADE7757

Fonte: ANALOG DEVICE – Datasheet ADE7757 (2012)

Para se realizar a amostragem de tensão da linha é utilizada uma rede de resistiva com o objetivo de atenuar a tensão para uma ordem de dezenas de milivolts e entrar com este nível de tensão no amplificador diferencial. A Figura 16 apresenta o esquema da rede resistiva.

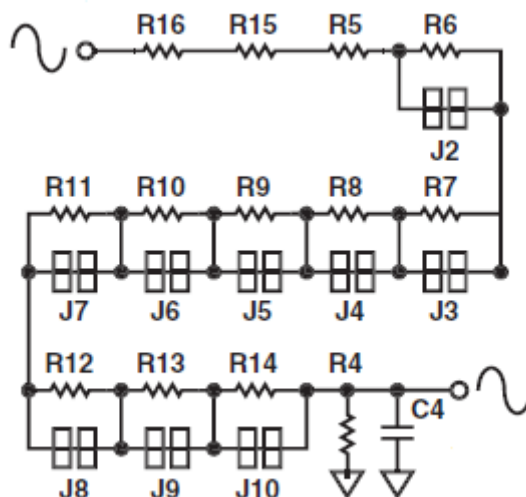


Figura 16 - Rede resistiva de calibração

Fonte: ANALOG DEVICE – Datasheet ADE7757 (2012)

A associação em série dos resistores define uma corrente que ao passar pela resistência R_4 gera uma tensão proporcional a aquela presente na entrada. Esta rede pode ser calculada para permitir uma calibração na tensão de saída. Isso porque o valor da resistência equivalente associado a R_4 pode diminuir quando conectados os jumpers da rede resistiva colocando seus resistores em curto.

Com isso a tensão VR_4 é inserida na entrada V_{2P} do amplificador diferencial do canal V_2 . A entrada V_{2N} deve ser conectada ao terra do circuito. A Figura 17 abaixo mostra como deve ser a conexão entre a rede resistiva e a entrada no canal V_2 . Deve-se notar que a rede resistiva está representada pelos resistores R_A , R_B e R_F . É importante mencionar que segundo o manual do fabricante, este canal suporta uma tensão de entrada em V_{2P} máxima de 165 mV de pico, positiva ou negativa e um sinal DC comum máximo de 25 mV que devem ser considerados durante o projeto.

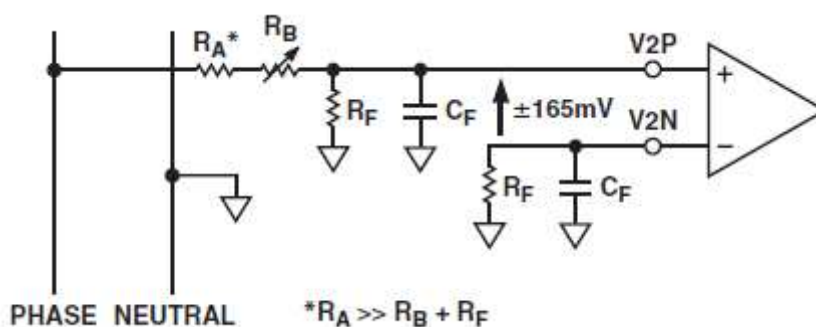


Figura 17 - Posição dos resistores de calibração

Fonte: ANALOG DEVICE – Datasheet ADE7757

Observando os dados máximos de tensão na entrada dos conversores analógico-digital (AD) recomendados pelo fabricante, foi empregado no projeto um sistema de calibração mais eficaz e que permite obter a constante de cada medidor. Através da aplicação da tensão e corrente pré-estabelecidos foram comparados os resultados com um medidor padrão, em função do número de pulsos apresentados com o projeto desenvolvido. A Figura 18 apresenta o equipamento utilizado para a realização da calibração dos medidores afim de o inserir na classe, garantindo assim que sua constante não irá se alterar ao longo das cargas de prova.



Figura 18 - Padrão de referência para calibração

Fonte: Radian Research

Após a aplicação das correntes na escala de 0.1 A, 0.75 A, 1.5 A e 5 A foi observado uma estabilidade da constante do medidor. Os medidores foram calibrados para uma constante de 4,89 mW / pulso, ou seja é com base neste valor que foi analisado a quantidade de pulsos totais, e realizando a conversão para obter kWh que é a unidade padrão de medição (Quadro 5).

Corrente (A)	Kd (Constante do Medido – (kWh)	Quantidade de Pulsos
0,1	0,05100	10
0,75	0,49060	100
1,5	0,48987	100
5	0,489158	1000
20	0,48789	1000

Quadro 5 - Relação das constantes em função da corrente (A)

Fonte: Autoria Própria

Observou-se que até 20 A de corrente durante a aplicação da carga foi conseguido realizar a leitura dos pulsos mantendo a constante de calibração uniforme, porém acima deste valor de corrente a quantidade de pulsos emitida pelo

LED indicador, tornou-se impraticável a sua medição devido a elevada quantidade de pulsos simultâneos.

Para medir a corrente fornecida, um resistor shunt é utilizado em série com a FASE, permitindo com isso a conversão da corrente em uma tensão proporcional a carga utilizada. A tensão máxima AC na entrada do canal V1, definida pelo manual do fabricante é 30 mV de pico com um nível DC de no máximo $\pm 6,25$ mV.

A Figura 19 apresenta o esquema de conexão do resistor shunt e a FASE:

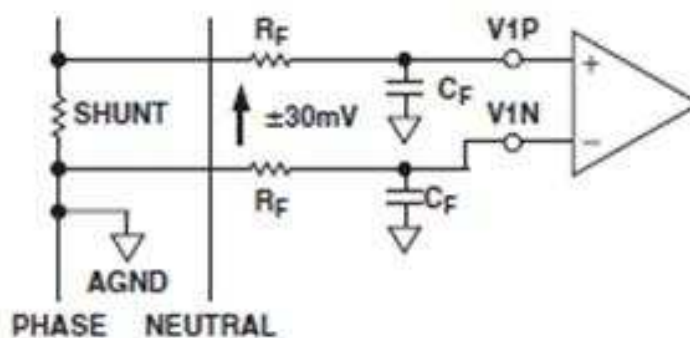


Figura 19 - Conexão Shunt e ADE7757

Fonte: ANALOG DEVICE – Datasheet ADE7757 (2012)

O resistor shunt é dimensionado para maximizar a faixa dinâmica no canal V1. Entretanto, o valor do resistor não pode ser elevado e a potência dissipada elevada, pois esta seria uma perda intrínseca ao método de medição do equipamento. Além disso a alta dissipação de potência pode dificultar o projeto na medida em que ao aquecer irá ocorrer a variação no valor da resistência. Por este motivo deve-se ser escolhido um resistor shunt produzido com uma liga de baixo coeficiente de temperatura como, por exemplo, a Manganina.

Esse método de medição é interessante por ser puramente resistivo e permitir um baixo custo de implantação, evitando a utilização de componentes de custo elevados como o transformador de corrente e tensão. Além disso o sistema agrega uma capacidade de calibração através da rede resistiva. Um outro ponto

importante é que os resistores permitem uma melhor repetibilidade no momento da fabricação, fator importante quando se necessita de uma produção em larga escala.

O ensaio de corrente foi realizado ao longo de toda a escala em que o resistor shunt suportaria, variando a corrente de 5 a 100 A e constatou-se a estabilidade da resistência ao longo do ensaio, a resistência obtida teve como média de 121 uohms (Gráfico 1).

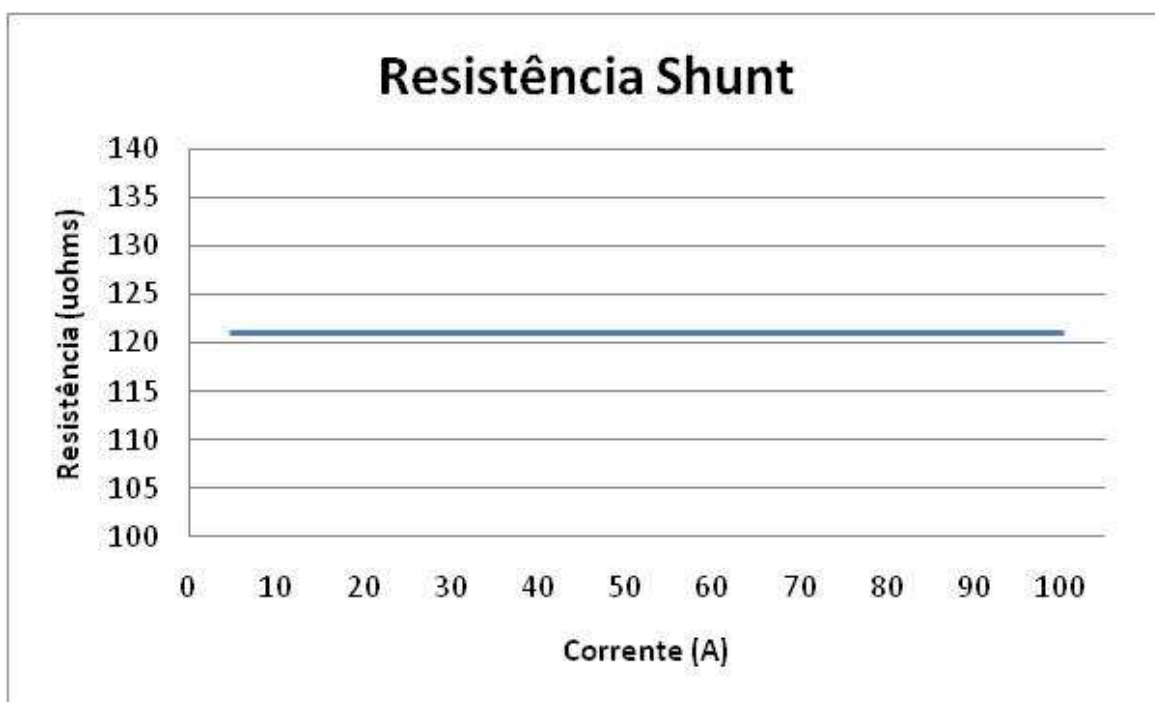


Gráfico 1 - Resistência Shunt em função da corrente (A)

Fonte: Autoria Própria

Analisando o circuito, o sistema resistivo está referenciado a um ponto comum da rede que no projeto é a FASE, tornando este elemento o sistema de terra de todo o circuito e conseqüentemente tornando o circuito eletricamente conectado a linha de baixa tensão (Figura 20).

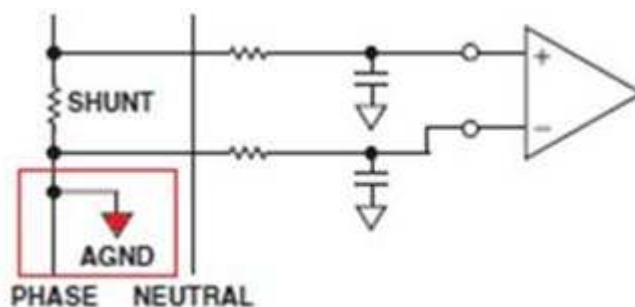


Figura 20 - Conexão da FASE como referência do circuito

Fonte: ANALOG DEVICE – Datasheet ADE7757 (2012)

Embora o desenvolvimento de um circuito para medir o consumo de energia envolva a proposta principal deste trabalho, a parte central do projeto é sustentado por uma inteligência local que controla todas as funcionalidades do sistema.

Com isso surge a necessidade de se utilizar um acoplador óptico para isolar as referências do circuito, para que se possa fazer a conexão com o microcontrolador, já que o mesmo encontra-se isolado do sistema através de uma alimentação independente (Figura 21).

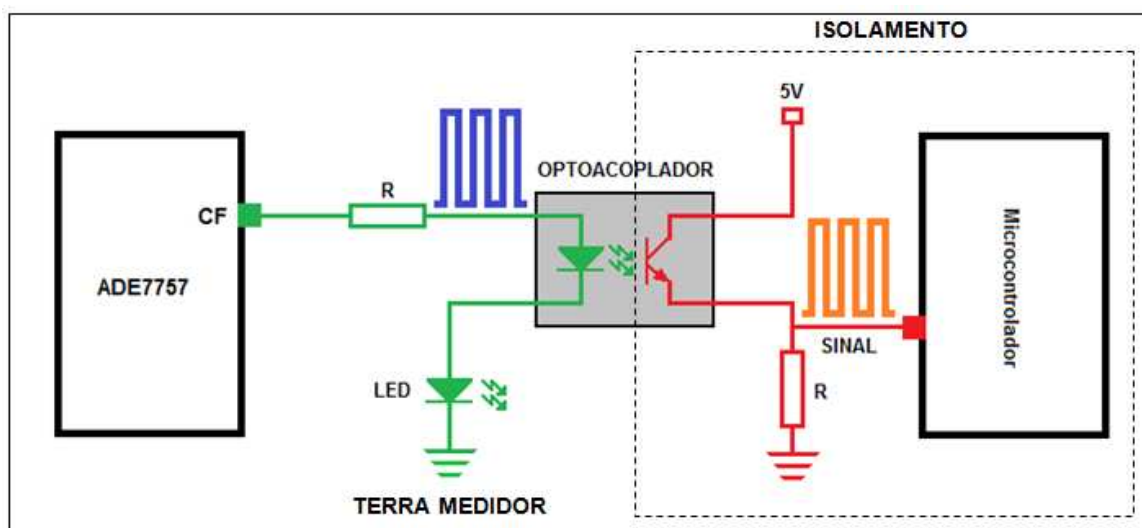


Figura 21 - Circuito de isolamento Medidor x Microcontrolador

Fonte: Autoria Própria

O circuito do ADE7757 é alimentado pela própria rede elétrica. Como o consumo é baixo em torno de 21 mV, o fabricante sugere a utilização de uma fonte baseada em um divisor capacitivo como é apresentado na Figura 22.

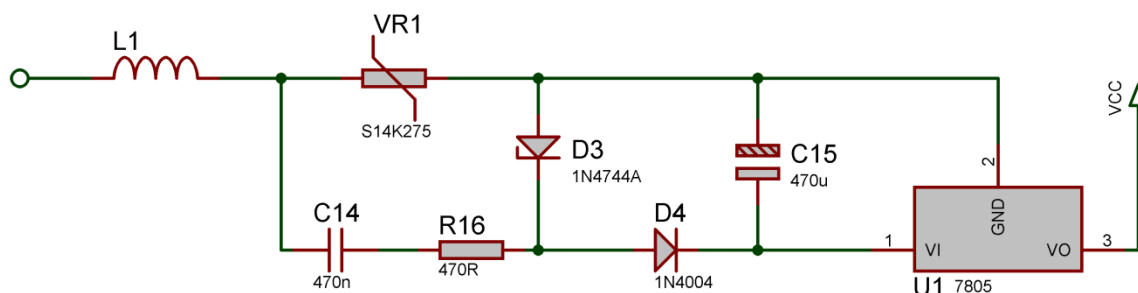


Figura 22 - Circuito de alimentação do medidor

Fonte: Autoria Própria

A associação C14 e R16 causam uma redução da tensão da rede. O regulador 7805 converte esta tensão em 5 V para alimentar o circuito ADE7757.

3.2.2. PROJETO DO CIRCUÍTO

O circuito integrado ADE7757 produz uma frequência de saída para um totalizador eletromecânico (F1 e F2), que é proporcional ao produto das duas tensões referente ao consumo de energia V1 e V2. A amostragem do valor AC da tensão e da corrente são os valores de V1 e V2 e se relacionam segundo a Equação 1.

$$Freq = \frac{515.84 \times V1_{rms} \times V2_{rms} \times F_{1-4}}{V_{ref}^2}$$

Equação 1 - Equação da frequência em função dos parâmetros de entrada

Fonte: ANALOG DEVICE - Application Note (AN-679) (2012)

Nesta equação $Freq$ é a frequência de saída em Hertz nos pinos F1 e F2, $V1_{rms}$ é a tensão diferencial em volts RMS (Root mean square) do canal V1 e $V2_{rms}$ é a tensa RMS no canal V2, V_{ref} é a tensão de referência $2,5\text{ V} \pm 8\%$, no pino REFIN/OUT fornecido pelo circuito do regulador interno. Para se obter uma maior acuidade e menor variação com a temperatura, pode-se utilizar um circuito externo para gerar esta referência. Entretanto por simplicidade neste projeto foi utilizado o regulador interno. F1-4 é uma das quatro possíveis frequências selecionadas pelas entradas lógicas S0 e S1 (Figura 23).

S1	S0	OSC Relation ¹	F ₁₋₄ at nominal OSC(Hz) ²
0	0	OSC/2 ¹⁹	0.86
0	1	OSC/2 ¹⁸	1.72
1	0	OSC/2 ¹⁷	3.44
1	1	OSC/2 ¹⁶	6.86

Figura 23 - Seleção da frequência

Fonte: ANALOG DEVICE - Application Note (AN-679) (2012)

Estas frequências são geradas a partir de um oscilador interno do ADE7757 em 450 kHz quando um resistor de 6,kΩ é utilizado na entrada RCLKIN. É importante lembrar que este resistor deve possuir baixa tolerância e baixa variação com a temperatura, para garantir estabilidade e linearidade de operação.

Neste projeto foi utilizado um resistor de 6,2 kΩ, como mostrado na curva da Figura 24 a frequência selecionada será de 450 kHz. Como observação a variação da resistência pode-se também variar a frequência do oscilador interno.

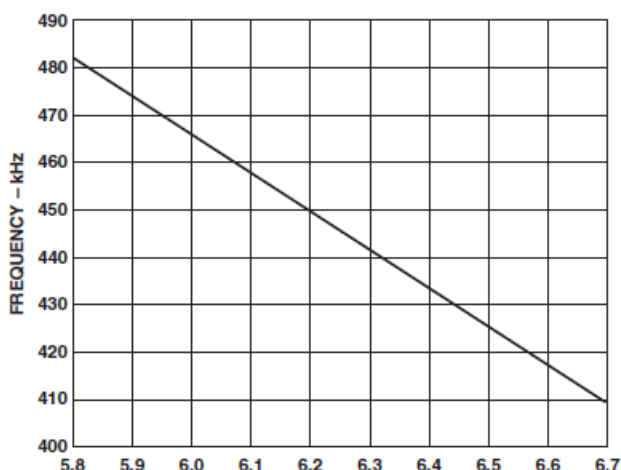


Figura 24 - Valor do resistor RCKLIN em relação a frequência de oscilação

Fonte: ANALOG DEVICE - Application Note (AN-679) (2012)

Os pinos F1 e F2 do ADE7757 são preparados para serem conectados a um totalizador eletromecânico que normalmente é encontrado nos medidores analógicos.

A cada 100 pulsos nestes pinos o totalizador deverá incrementar 1 kWh. Para efeito de simplicidade este mostrador analógico não será utilizado. Conforme indicação do *datasheet* o pino CF do CI ADE7757 realiza a interface direta com o microcontrolador bastando apenas alterar as configurações dos pinos SCF, S0 e S1.

Para realizar a interface com o microcontrolador foi configurado os pinos SCF = 0 e S0 = S1 = 1 (Figura 25), como a proposta é analisar o consumo de cargas de baixa potência, esta configuração se mostrou adequada, já que em um pequeno período tem-se uma quantidade de amostras significativas, caso ocorra a perda de algum pulso durante a contagem pelo microcontrolador não afetará o resultado final de forma absoluta. Caso a frequência fosse diferente da escolhida ter-se-ia que aumentar a amostragem do tempo, pois para uma menor frequência dos pulsos a perda de um elemento seria muito significativo, acarretando o valor incoerente da potência consumida.

SCF	S1	S0	CF Max for AC Signals (Hz)*
1	0	0	$128 \times F1, F2 = 22.4$
0	0	0	$64 \times F1, F2 = 11.2$
1	0	1	$64 \times F1, F2 = 22.4$
0	0	1	$32 \times F1, F2 = 11.2$
1	1	0	$32 \times F1, F2 = 22.4$
0	1	0	$16 \times F1, F2 = 11.2$
1	1	1	$16 \times F1, F2 = 22.4$
0	1	1	$2048 \times F1, F2 = 2.867 \text{ kHz}$

Figura 25 - Tabela de configuração da frequência em função de SCF, S1 e S2

Fonte: ANALOG DEVICE - Application Note (AN-679) (2012)

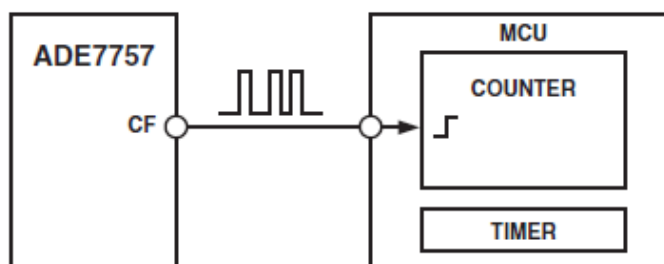


Figura 26 - Interface entre o ADE7757 e o Microcontrolador

Fonte: ANALOG DEVICE - Application Note (AN-679) (2012)

As informações dos pulsos serão enviadas via radiofrequência. O valor do totalizador de consumo será apresentado na tela do software que estará sendo executado em um computador pessoal conectado ao módulo de recepção do sistema.

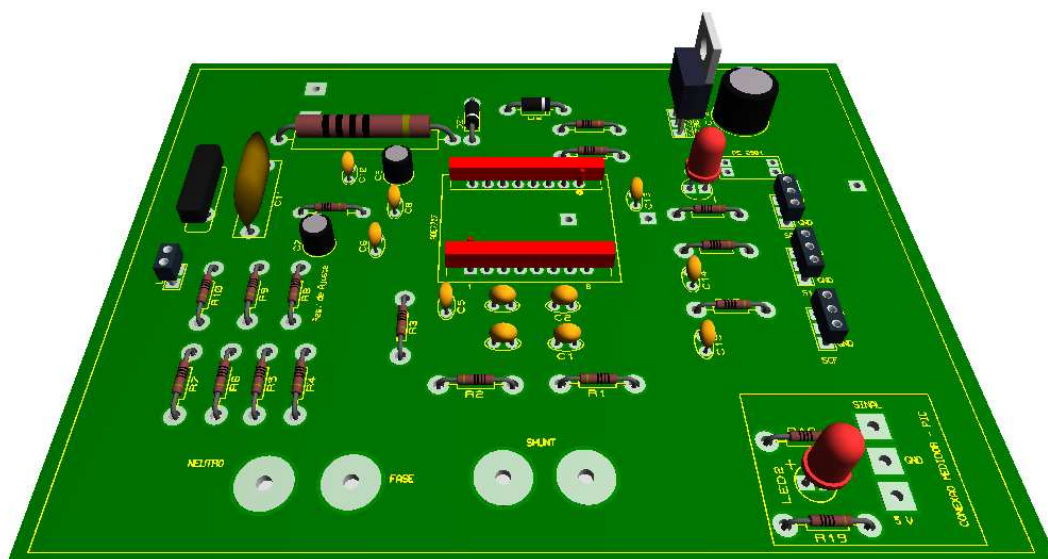


Figura 27 - Placa do medidor desenvolvida no projeto SAMAE

Fonte: Autoria Própria

3.3. Microcontrolador

O microcontrolador utilizado foi o PIC 16F628A do fabricante MICROCHIP, de 8 bits, com 224 bytes de memória RAM (Random Access Memory) para dados e 128 bytes de memória EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*) para dados, sinal de *clock* de frequência até 20 MHz, 15 registradores especiais e 16 pinos os quais podem ser configurados como entrada e/ou saída, possui somente 35 instruções em *assembly*.

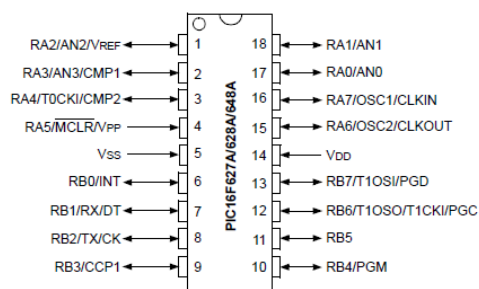


Figura 28 - Esquemático PIC16F628A

Fonte: MICROCHIP – Datasheet PIC16F628A (2012)



Figura 29 - Encapsulamento 16F628A

Fonte: CAMPTRONIC.(2012)

Este microcontrolador foi utilizado por possuir uma arquitetura conhecida pelos integrantes da equipe. Além disso é muito popular em plataforma de código aberto sendo então relativamente barato e comum no mercado caso necessite de peças de reposição, com propósito de uma eventual necessidade de manutenção. Em adendo, para o *hardware* do SAMAE, não será necessária uma maior capacidade de processamento, sendo este o microcontrolador mais adequado encontrado, incluindo a relação de custo e benefício.

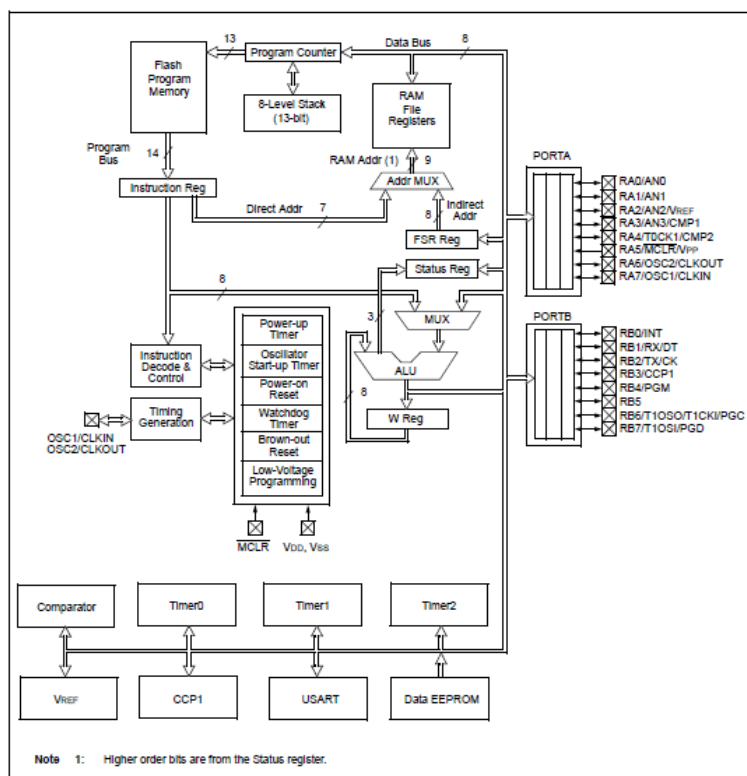


Figura 30 - Diagrama funcional PIC 16F628A

Fonte: MICROCHIP – Datasheet PIC16F628A (2012)

O esquemático de ligação dos principais componentes utilizados esta representado na Figura 31. Nela, estão representados além do microcontrolador, o circuito oscilador e a recepção e transmissão dos dados.

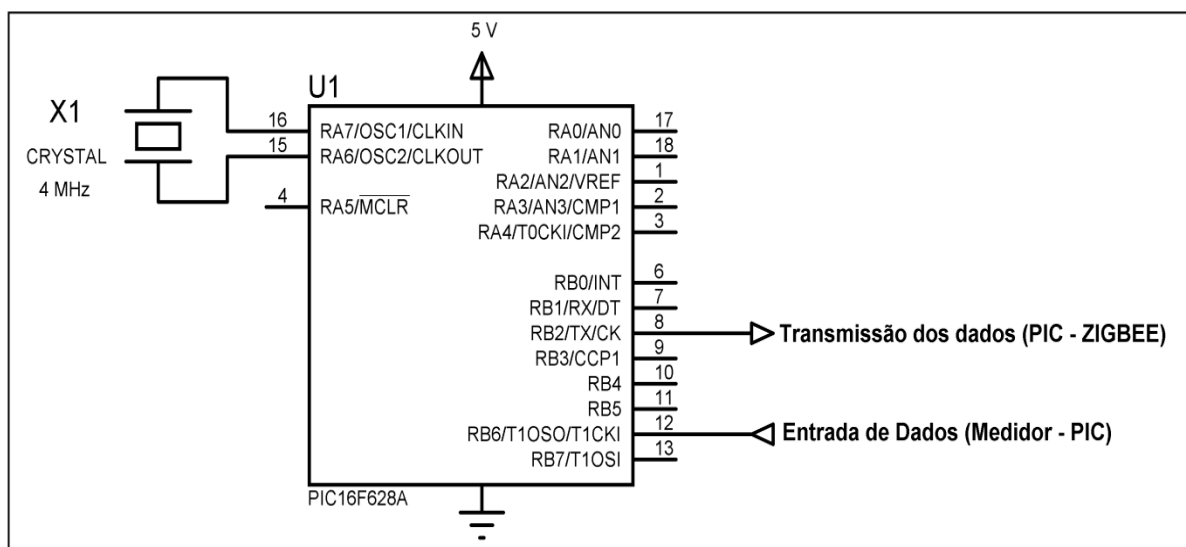


Figura 31 - Esquemático de conexão Medidor + PIC + Transmissor

Fonte: Autoria Própria

Para o desenvolvimento do *firmware* foi utilizado o *software* PIC C *Compiler* para a configuração inicial do programa sendo que nesta etapa os timers, foram iniciados, o clock foi setado assim como as interrupções utilizadas. Após realizada a configuração anterior, foi adicionado o código no *software* MPLAB da MICROCHIP sendo de grande ajuda, para a compilação e debug do *firmware* desenvolvido. Para a gravação dos PIC foi utilizado como interface o *software* PIC KIT 2 e o *hardware* dedicado a gravação.

3.3.1. Firmware

No desenvolvimento do *firmware* utilizou-se um cristal de 4 MHz, como base de tempo. Para a contagem do tempo foi utilizado o TIMER 0 com estouro a cada 65,5 ms, e para a contagem dos pulsos externos foi utilizado o TIMER 1 por

ser de 16 bits (8 bits low e 8 bits high). Como recurso para a correta contagem do tempo foi utilizado a interrupção do TIMER 0, que a cada 65,5 ms o microcontrolador desvia para o endereço da interrupção somando o contador até o atingir 919 o que representa aproximadamente 1 minuto como referência de contagem do tempo. Utilizou-se a interrupção RB do PIC para a contagem dos pulsos externos presentes na entrada RB6 do port B. Para o envio dos dados através do port B no pino RB2 foi utilizada a interrupção TBE da serial. Considerou-se o pino RB6 como entrada e o pino RB2 como saída.

```

void ENVIA_L(void);
void ENVIA_H(void);
void ENVIA_MEDIDOR(void);

int    MEDIDOR;
int16  CONTADOR;
int16  PULSOS_L=0;
int    PULSOS_H=0;
#byte  PULSOS_L=0x0E
#byte  PULSOS_H=0x0F

#use delay (clock=4000000)
#int_RTCC
void RTCC_isr(void)
{
    MEDIDOR=0X00;
    x=0;
    CONTADOR=CONTADOR+1;
    if (CONTADOR==919)
    {
        if (X==0)
        {
            ENVIA_MEDIDOR();
            ENVIA_H();
            ENVIA_L();
            CONTADOR=0;
            return;
        }
    }
}

#int_RB
void RB_isr(void)
{
}

#int_TBE
void TBE_isr(void)

```

```

    {
    }

void main()
{
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_256);
    setup_timer_1(T1_EXTERNAL|T1_DIV_BY_1);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
    setup_vref(FALSE);
    enable_interrupts(INT_RTCC);
    enable_interrupts(INT_RB);
    enable_interrupts(INT_TBE);
    enable_interrupts(GLOBAL);
}
void ENVIA_MEDIDOR()
{
    PUTCHAR(MEDIDOR);
    delay_ms(100);
    return;
}
void ENVIA_L()
{
    PUTCHAR(PULSOS_L);
    delay_ms(100);
    PULSOS_L=0;
    PULSOS_H=0;
    return
}
void ENVIA_H()
{
    PUTCHAR(PULSOS_H);
    delay_ms(100);
    return
}
}

```

Quadro 6- Código firmware PIC

Fonte: Autoria Própria

3.3.2. Módulo de Recepção

O módulo de recepção é composto pelo circuito MAX232 e pelo módulo ZIGBEE que irá concentrar todas as informações da rede. A alimentação é realizada pela USB (Universal Serial Bus) e a comunicação realizada pela serial. Para a

alimentação do módulo ZIGBEE foi utilizado o regulador 78RM33 para obter a tensão de 3,3 V.

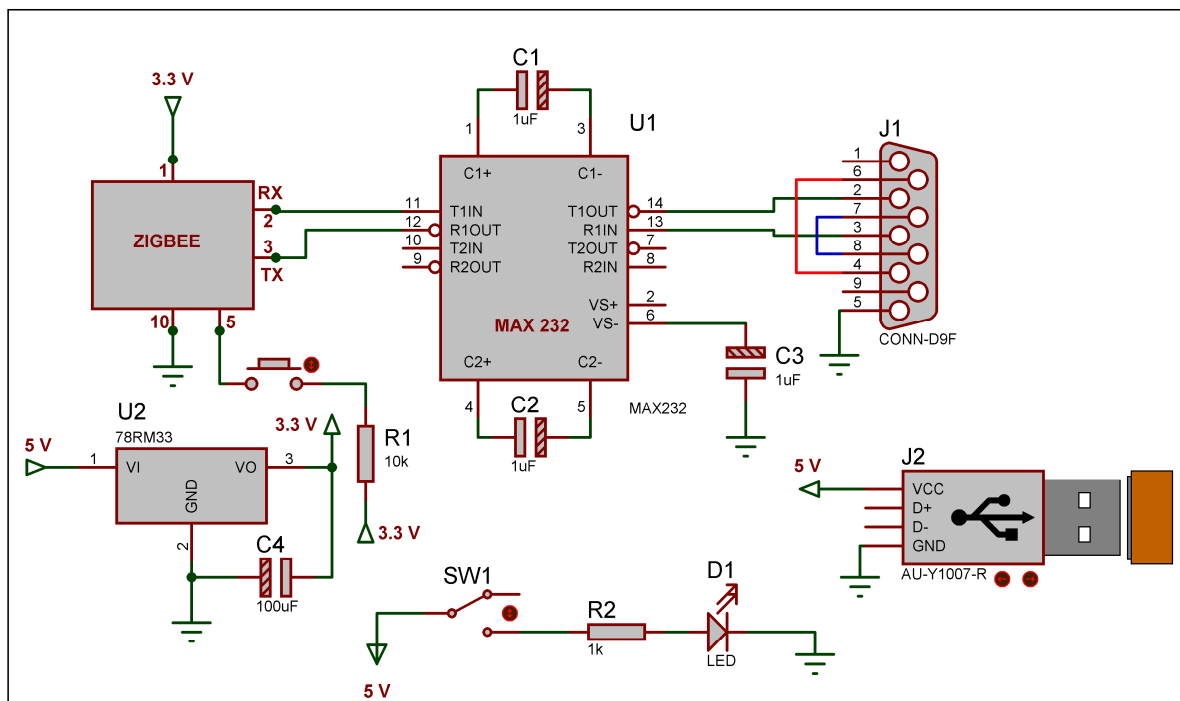


Figura 32- Esquemático circuito Módulo de Recepção

Fonte: Autoria Própria

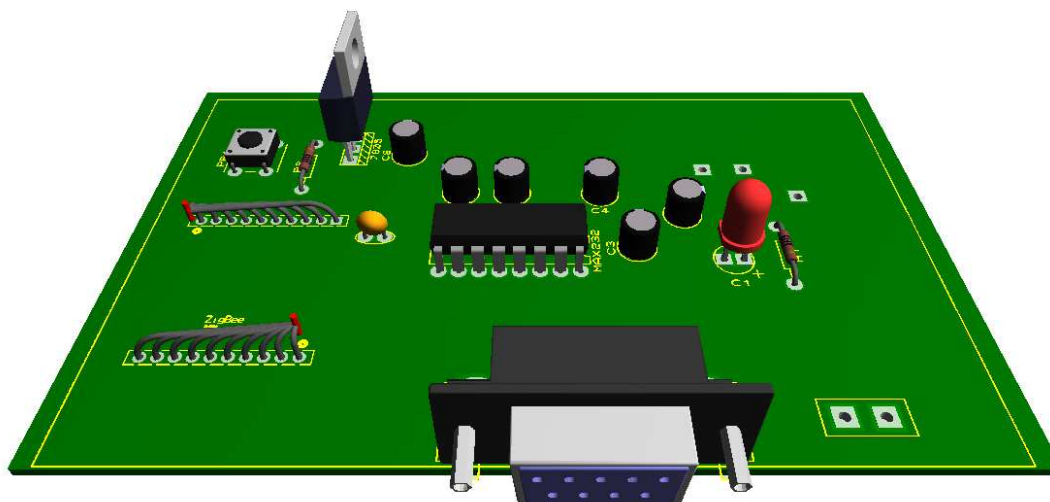


Figura 33 - Layout da placa do Módulo de Recepção

Fonte: Autoria Própria

3.3.3. Alimentação

Para o correto funcionamento dos componentes diversos níveis de tensão são necessários. Para prover os níveis de tensão adequados, existem circuitos reguladores de tensão associados.

A alimentação circuito é realizada antes do processo de medição assim como também do próprio circuito de medição.

Para obter níveis de tensão adequados foi abaixado a tensão da rede AC (*Alternating Current*) para 17,5 V aproximadamente com o uso do transformador. Para retificar a senóide da rede, implementou-se o circuito ponte retificadora onda completa, sendo esta configuração a mais utilizada para o desenvolvimento de fontes retificadoras e assim foi aplicado o sinal nos reguladores de tensão 7805 para obter 5 V em que alimenta-se o microcontrolador e a aquisição dos sinais no optoacoplador e para alimentar o módulo de transmissão foi utilizado o regulador 78RM33 com o objetivo de obter 3,3 V. Também estão disponíveis dois diodos emissores de luz (LED – Light Emitting Diode), um na cor vermelho que piscará de forma intermitente indicando a correta alimentação de 5 V e um LED na cor verde indicando a alimentação de 3,3 V (Figura 34).

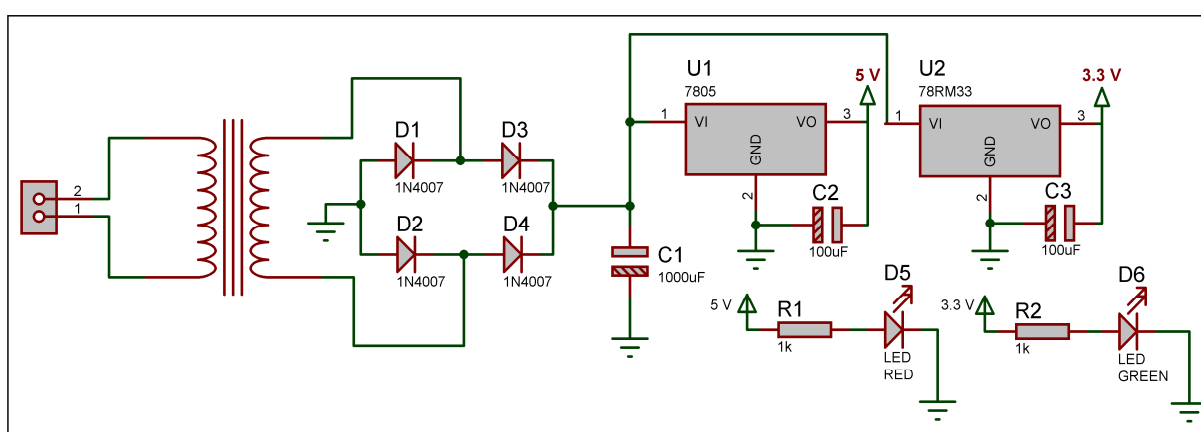


Figura 34 – Esquema do circuito de Alimentação PIC + Transmissor + Optoacoplador

Fonte: Autoria Própria

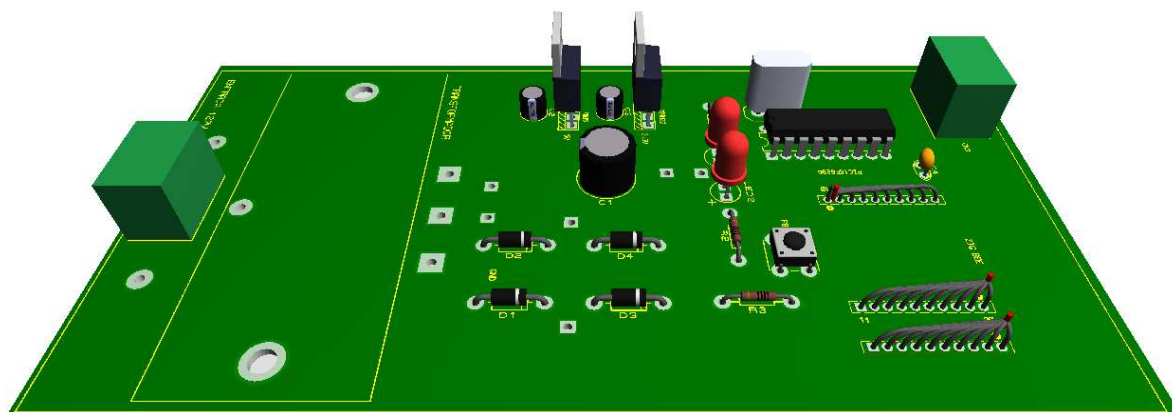


Figura 35 - Layout da placa da Alimentação

Fonte: Autoria Própria

3.4. Comunicação

ZigBee é um protocolo que define um padrão de comunicação para curto alcance e banda estreita, que pode operar nas frequências de 868 MHz, 915 Mhz e 2,4 GHz. Sua capacidade de transmissão é de 250 kbps. Na maioria das aplicações alvo desta tecnologia, o tempo total que o módulo ZigBee está em atividade é muito pequeno, dessa forma estão na maior parte do tempo em *sleep-mode*, portanto como uma das característica principal é o baixo consumo de energia.

Nos módulos XBee há quatro opções de antenas: tipo chicote, conector U.FL. e RPSMA utilizado para conectar a antena externa e do tipo Chip sendo a mais compacta. Com os dois tipos de chicote e antena externa é possível direcionar o feixe de sinal e, assim melhorar o desempenho da rede.

No desenvolvimento do projeto foi utilizado os tipos de antena com chicote, com o conector U.FL. e conector RPSMA garantindo com isso um maior alcance possibilitando maior abrangência de atuação do projeto.

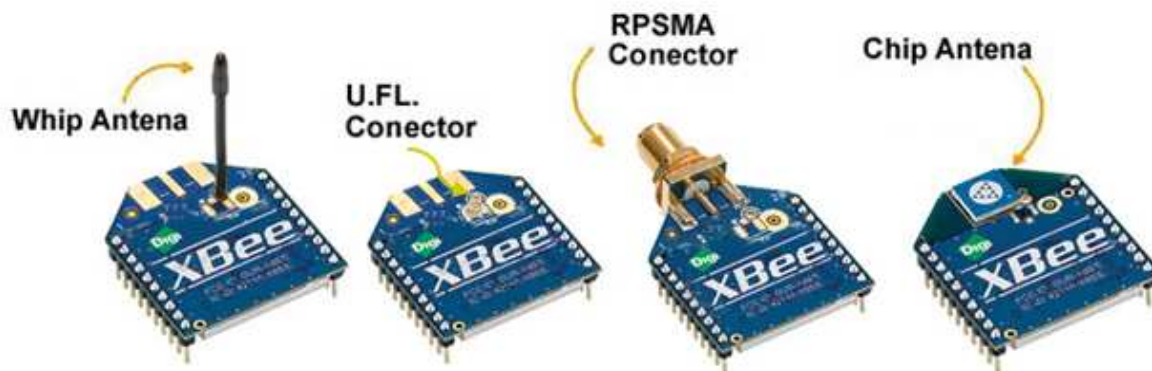


Figura 36 - Modelos de ZigBee

Fonte: XBEESTORE (2012)

Dentre as principais características destes módulos, podem-se citar as seguintes características nominais:

- Frequência de Transmissão: 2.4 GHz
- Potência de Transmissão: 1 mW (+0 dBm)
- Sensibilidade do receptor: -92 dBm
- Alcance Máximo estimado: até 90m
- Topologias de rede: P-to-P, P-to-M, Peer-2-Peer
- *Sleep Mode*
- RF Data Rate 250 Kbps
- Segurança: 128-bit AES
- Modo de operação AT e API

3.4.1. Configuração dos Módulos Zigbee

Os módulos ZigBee da MaxStream, conhecidos como XBee/XBee-Pro,

são configurados através de simples comandos AT , semelhantes aos usados para configurar *modems*. Nos módulos XBee/XBee. Pro Série 1, os comandos AT servem para configurar e ler parâmetros apenas do módulo local. Na Série 2, pode-se enviar estes comandos de configuração de um módulo a outro, dessa forma, não é necessário que o módulo esteja fisicamente conectado à porta serial para que sua configuração seja feita, ou seja, pode-se reconfigurar todos os módulos de uma rede a partir de qualquer um deles.

No desenvolvimento do projeto foi implementado em *protoboard* o módulo de configuração do ZigBee, no mercado há diversas alternativas de módulos para esta finalidade porém, devido aos altos custos optou-se em desenvolver essa ferramenta e concluiu-se ter bons resultados.

Com este equipamento pode-se configurar os módulos através de um simples terminal (*Hyperterminal* no Windows) ou ainda utilizando o programa X-CTU (Figura 37), o que torna o trabalho de configuração e atualização do *firmware* extremamente fáceis.

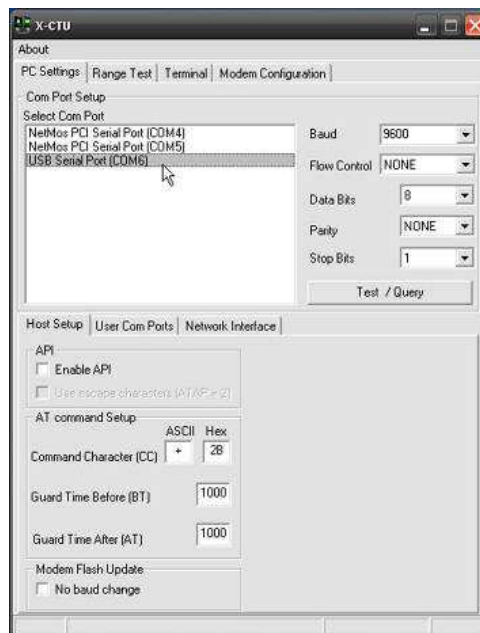


Figura 37 - Tela inicial de configuração do ZigBee

Fonte: Aatoria Própria

Para fazer o módulo XBee/XBee-Pro entrar no modo comando, deve-se digitar 3 caracteres "+++", em seguida um "OK" será enviado confirmando a recepção do comando. Após a recepção do "OK", o módulo estará apto a receber os demais comandos de configuração (Figura 38).

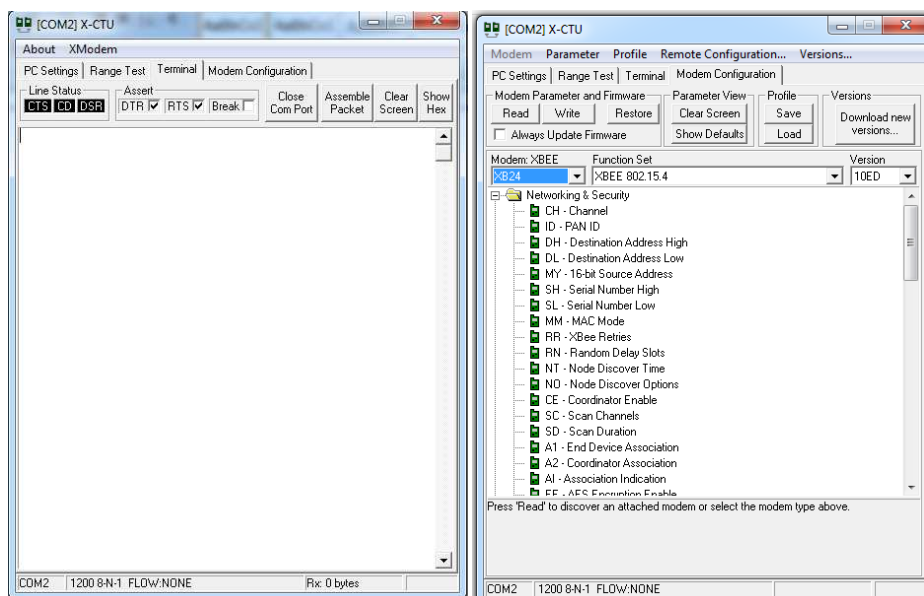


Figura 38 - Área de configuração do ZigBee

Fonte: Autoria Própria

Na Figura 39 é apresentada a sintaxe dos comandos de configuração padrão dos módulos ZigBee:

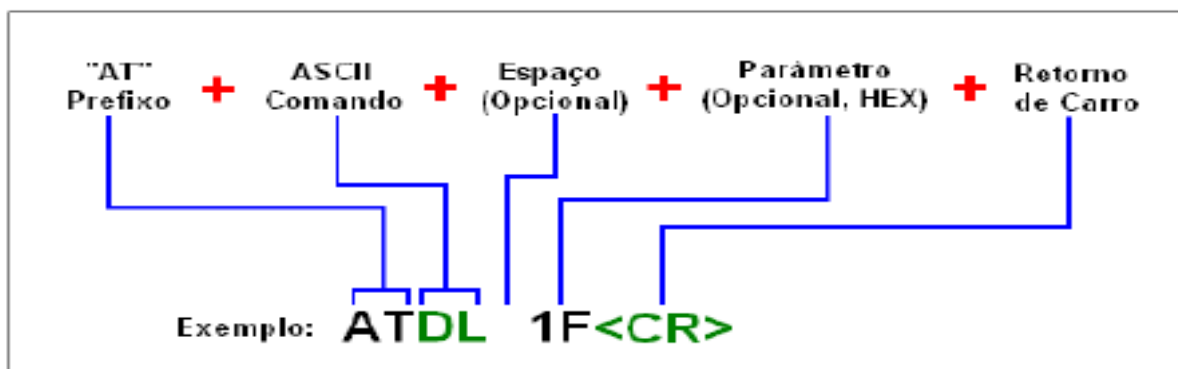


Figura 39 - Sequência de comandos para configuração ZigBee

Fonte: Rogercom (2012)

Toda a configuração deve ser finalizada pelo comando ATWR (seguido de CR) para que os parâmetros sejam salvos no módulo XBee em sua memória não volátil.

No Quadro 7 abaixo, apenas de forma ilustrativa, tem-se os comandos de configuração mais importantes encontrados nos módulos XBee série 1,.

Comando AT	Categoria	Nome e Descrição	Faixa do parâmetro	Valor Padrão
BD	Interfaceamento	<i>Interface Data Rate</i> . Define a velocidade de comunicação.	0 - 7	3
CC	Opções de comando AT	<i>Command Sequence Character</i> . Lê/Define o caractere que será usado para colocar o módulo em modo de comando AT.	0 - 0xFF	0x2B (+ ASCII)
CH	Rede e Segurança	<i>Channel</i> . Lê/Escrive o canal para ser usado na transmissão e recepção entre os módulos.	0x0B - 0x19	0x0C (12d)
CN	Opções de comando AT	<i>Exit Command Mode</i> . Comando AT para sair do modo configuração.	-	-
CT	Opções de comando AT	<i>AT Command Mode Timeout</i> . Lê/Escrive o período de inatividade depois do qual o módulo automaticamente sai do modo de comandos AT e retorna para o modo disponível.	2 - 0xFFFF [x 100 ms]	0x64 (100d)
DB	Diagnóstico	<i>Received Signal Strength</i> . Lê o nível de intensidade do sinal do último pacote de dados recebido (por exemplo, 0x58 - -88dBm)	0 - 0x64 [só leitura]	-
DH	Rede e Segurança	<i>Destination Address High</i> . Lê/Escrive os 32 bits da parte alta do endereço de destino de 64 bits. Quando combinado com DL, este define o endereço de destino usado para transmissão.	0 - 0xFFFFFFFF	0
DL	Rede e Segurança	<i>Destination Address Low</i> . Lê/Escrive os 32 bits da parte baixa do endereço de destino de 64 bits. Quando combinado com DH, este define o endereço de destino usado para transmissão.	0 - 0xFFFFFFFF	0
GT	Opções de comando AT	<i>Guard Times</i> . Define o período de silêncio antes e depois uma sequência de comandos AT. Este período de silêncio é usado para prevenir inadvertidamente a entrada no modo de comando AT. Padrão é 1 segundo.	0x02 - 0xFFFF [x 1 ms]	0x3E8 (1000d)
ID	Rede e Segurança	<i>PAN ID</i> . Lê/Define o PAN (Personal Area Network) ID. 0xFFFF indica uma mensagem para todos os PANS.	0 - 0xFFFF	0x3332 (13106d)
MY	Rede e Segurança	<i>16-bit Source Address</i> . Lê/Define os 16-bits de endereço do módulo. Se MY = 0xFFFF, a recepção dos pacotes com endereços de apenas 16 bits estará desabilitada.	0 - 0xFFFF	0
P0	Diagnostics	<i>PWM0 Configurations</i> . Seleciona e Lê a função PWM0.	0 - 1	1
PL	RF Interfacing	<i>Power Level</i> . Seleciona/Lê o nível de potência que o módulo transmite.	0 - 4	4
RE	(Special)	<i>Restore Defaults</i> . Restabelece os parâmetros de fábrica ao módulo.	-	-
RO	Serial Interfacing	<i>Packetization Timeout</i> . Lê/Define o número de caracteres que devem ser armazenados até que ocorra uma transmissão. Se RO = 0, os caracteres serão transmitidos ao passo que eles chegam no buffer de transmissão.	0 - 0xFF [x tempo do caractere]	3
SM	Sleep (Low Power)	<i>Sleep Mode</i> . Define/Lê o modo sleep. Pin Hibernate (SM = 1) requer uma quantidade menor de energia. Pin Doze (SM = 2) provê um despertar mais rápido.	0 - 6	0
SP	Sleep (Low Power)	<i>Cyclic Sleep Period</i> . Lê/Define o período cíclico de sleep. Período Máximo de sleep é de 268 segundos (0x68B0).	0x01 - 0x68B0 [x 10 ms]	0x64 (100d)
VR	Diagnóstico	<i>Firmware Version</i> . Lê o número de versão do módulo.	0 - 0xFFFF [só leitura]	De fábrica
WR	Especial	<i>Write</i> . Escreve os valores para a memória não volátil do módulo de forma a persistir nas modificações após uma reinicialização.	-	-

Quadro 7 - Lista de comandos de configuração ZigBee

Fonte: Rogercom (2012)

3.4.2. Características Técnicas dos Módulos da Maxstream

A Figura 40 apresenta o conjunto de medidas dos módulos XBee e XBee PRO. Pode-se observar que estes são bastante compactos, no entanto cabe ressaltar que, como descrito anteriormente, os módulos apresentam-se em três tipos: chicote, conector para antena e *chip*. Portanto ao se projetar o circuito tais aspectos devem ser considerados, pois pode-se ter uma abertura para a antena ou mesmo um posicionamento adequado do circuito dentro da caixa que o conterá, para favorecer uma melhor transmissão e recepção dos dados.

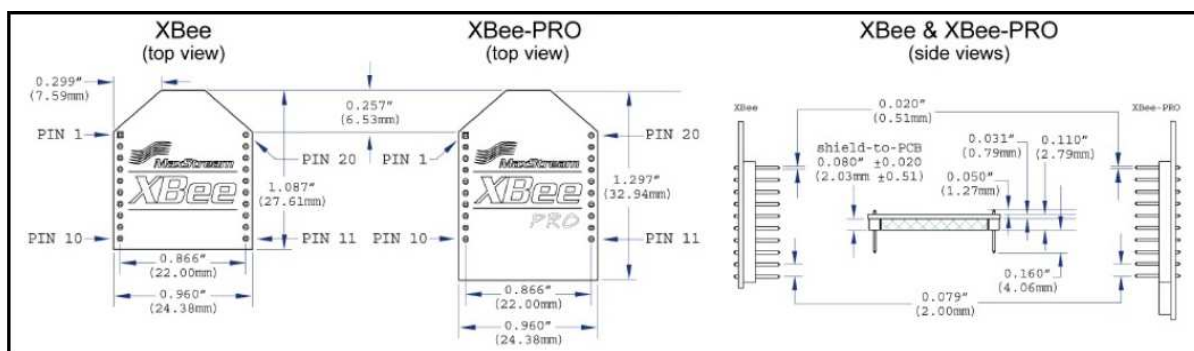


Figura 40 - Dimensões módulo ZigBee

Fonte: Digi.com (2012)

Os pinos dos módulos XBee, como na maioria dos CIs (Circuitos Integrados) complexos, apresentam diversas funções compartilhadas em um mesmo pino, sendo passíveis de configuração para que assumam uma delas. O Quadro 8 apresenta, de forma meramente ilustrativa, a pinagem dos módulos Xbee. Através dela observa-se, também, que uma ligação mínima para utilizar estes módulos teria apenas quatro pinos 1,2,3 e 10 que são VCC, TX, RX e GND respectivamente.

Pino	Nome	Direção	Descrição
1	VCC	-	Alimentação 3,3 V
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 200 ms)
6	PWM0 / RSSI	SAÍDA	Saída do PWM 0
7	PWM1	SAÍDA	Saída do PWM 1
8	(Reservado)	-	N/A
9	DTR / SLEEP_IRQ / DI8	ENTRADA	Entrada digital 8
10	GND	-	Terra
11	AD4 / DIO4	ENTRADA/SAÍDA	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	Associação / AD5 / DIO5	ENTRADA/SAÍDA	Indicador de Associação
16	RTS / AD6 / DIO6	ENTRADA/SAÍDA	Controle de Fluxo RTS
17	AD3 / DIO3	ENTRADA/SAÍDA	Entrada/Saída Digital 3
18	AD2 / DIO2	ENTRADA/SAÍDA	Entrada/Saída Digital 2
19	AD1 / DIO1	ENTRADA/SAÍDA	Entrada/Saída Digital 1
20	AD0 / DIO0	ENTRADA/SAÍDA	Entrada/Saída Digital 0

Quadro 8 - Pinagem dos módulos ZigBee

Fonte: Rogercom (2012)

3.5. Desenvolvimento da Interface com o Usuário

Para o desenvolvimento da interface com o usuário iniciou-se através da aquisição do sinal recebido pela serial (Figura 41), em que também se pode realizar os testes iniciais dos medidores com as suas respectivas potências.

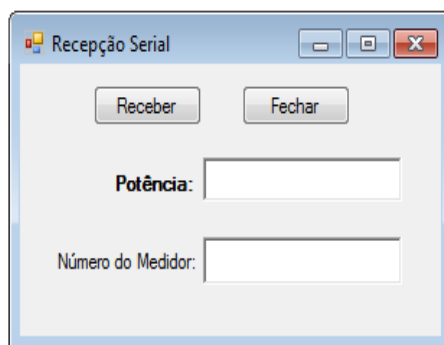


Figura 41 - Comunicação Serial (Recepção Dados)

Fonte: Autoria Própria

Para a visualização do consumo recebido foi desenvolvido o software para a aplicação em um microcomputador em que através da recepção dos dados pode-se plotar os gráficos de consumo em intervalo de tempo pré-definidos pelo usuário.

Na tela inicial o usuário deverá digitar o valor da tarifa local por kWh definido pela concessionária de energia. Nesta primeira tela o cliente visualizará o consumo total da residência e também o consumo de cada ambiente separadamente, tanto em valores monetários, como também proporcionalmente em valores percentuais. Para fácil visualização e entendimento dos dados obtidos será apresentado um gráfico em forma de *pizza* que representará o consumo de cada ambiente totalizando em 100% e também um gráfico de área no qual será apresentado a soma da potência em cada ambiente em um intervalo de tempo definido pelo usuário conforme mostrado na Figura 42.

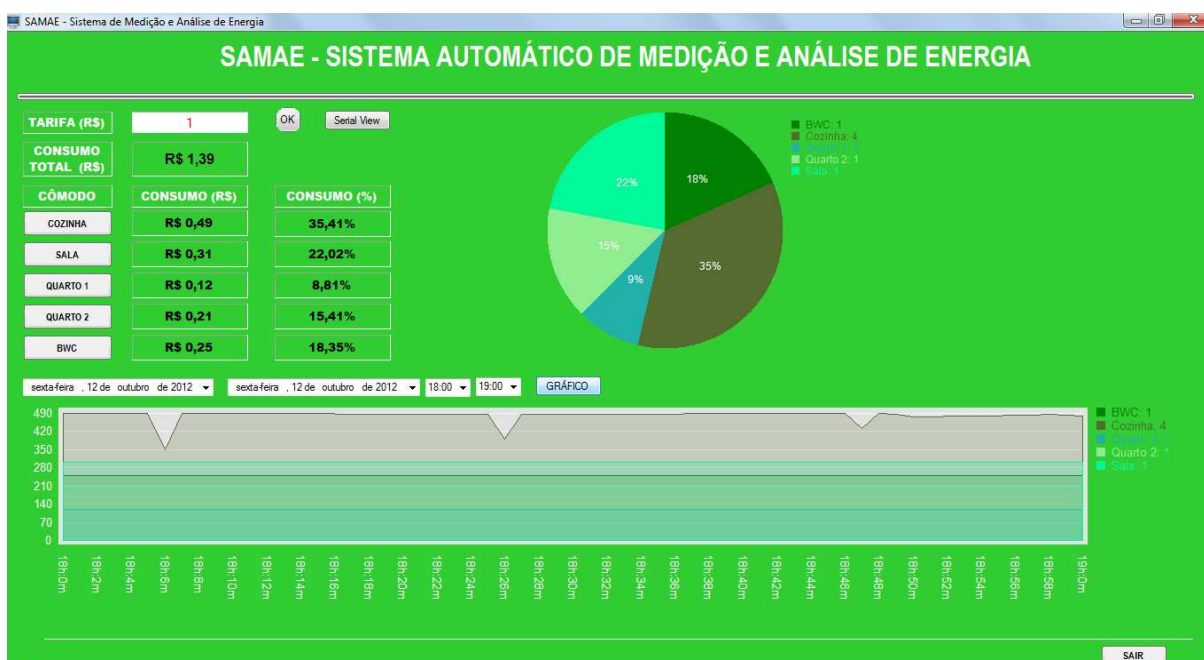


Figura 42 - Tela inicial do projeto SAMAE

Fonte: Autoria Própria

O usuário analisará os dados obtidos ao longo de um período e poderá acessar cada ambiente separadamente através de uma área dedicada a

visualização. Com isso será possível identificar onde ocorreram os maiores consumos, podendo ele acessar o histórico individualmente através dos botões.

Após o cliente escolher um ambiente o mesmo será direcionado a uma tela secundária em que o mesmo poderá ter acesso a cada ponto de energia obtendo o consumo total do ambiente, o consumo de cada ponto de energia assim como a porcentagem de cada ponto de energia em relação ao ambiente. Como descrito anteriormente o usuário terá um gráfico de *pizza* indicando as porcentagens do consumo de cada módulo em um gráfico de área que mostrará a potência de cada módulo em relação ao intervalo de tempo determinado pelo cliente, conforme demonstrado na Figura 43.

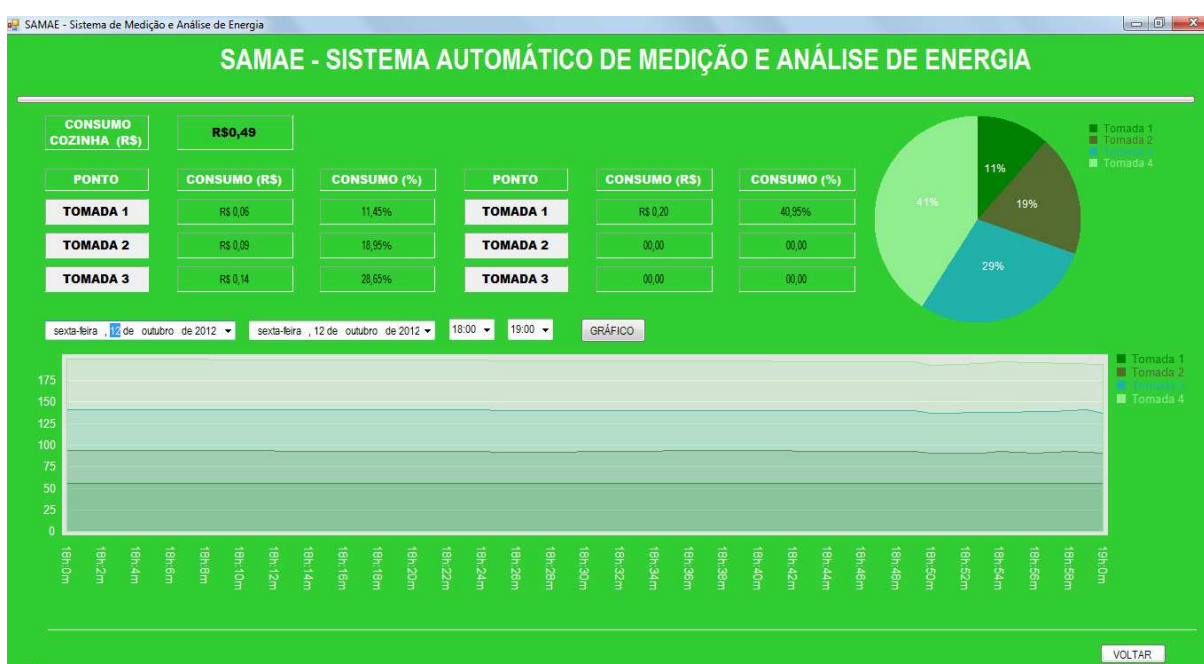


Figura 43 - Detalhamento das potências consumidas por ambiente

Fonte: Autoria Própria

Estes dados podem ser visualizados em todos os ambientes do local. Para a simulação do projeto utilizou-se quatro módulos de transmissão caracterizando um ambiente. Nos outros ambientes foram realizadas simulações através do software para que ficasse demonstrado a eficácia do produto.

3.5.1. Desenvolvimento do *Software*

O *software* foi desenvolvido em linguagem C# da *Microsoft* para facilitar o entendimento foi dividido o código em quatro classes distintas *Main*, *SQLCon*, *Graphic* e *Interface Serial*, que em conjunto, manipulam a base de dados de registros de potências e realizam a comunicação serial com o módulo de recepção e demais funções presentes na interface. A seguir será descrito a estrutura da base de dados padrão, e o início da construção do projeto.

3.5.1.1. Base de Dados

A decisão de se utilizar um banco de dados para armazenamento das informações coletadas confere robustez, velocidade e maior confiabilidade para os dados armazenados. Outro fator decisivo é a enorme quantidade de dados enviados continuamente por múltiplos módulos que deve ser tratada de forma eficaz.

Entre os SGBDs (Sistemas gerenciadores de base de dados) algumas das principais alternativas existentes no mercado são:

- Microsoft SQL Server;
- Oracle;
- MySQL;
- PostgreSQL.

Das opções citadas acima, os sistemas MySQL e PostgreSQL fazem parte de projetos de código aberto e são alternativas gratuitas. Os sistemas Oracle e Microsoft SQL Server são opções pagas. Para o projeto SAMAE escolheu-se o SGBD MySQL por tratar-se de um sistema altamente difundido no mercado e de fácil utilização.

O nome da base de dados e da tabela na qual serão gravados os registros fica a critério do programador e podem ser alteradas dentro das linhas de programação das classes. Apenas uma tabela será utilizada para o registro de todos os dados referentes as marcações de potência e horário. Outra tabela será utilizada para registrar a relação entre ambiente e tomada. O exemplo a baixo mostra a estrutura padrão da base de dados (Figura 44):

```
MyDataBase
    Samae
        dad_id INT AUTO_INCREMENT,
        dad_plug INT,
        dad_power LONG,
        dad_time DATETIME,
    Group
        gru_id INT AUTO_INCREMENT,
        gru_plug INT,
        gru_comodo STRING,
```

Figura 44 - Instruções SQL

Fonte: Aatoria Própria

No exemplo da Figura 44 tem-se uma base de dados chamada 'MyDataBase'. Esta base possui duas tabelas chamadas de 'Samae' e 'Group', respectivamente. Este nomes podem ser alterados a qualquer momento a critério do programador. A estrutura da tabela 'Samae' compreende 4 campos: 'dad_id' do tipo *INT* (inteiro), este campo também é um '*AUTO_INCREMENT*', ou seja, é acrescido automaticamente de uma unidade com relação ao registro anterior e não se repetirá ao longo da tabela; 'dad_plug' do tipo *LONG* (inteiros longos) é reservado para guardar o número do plug que forneceu a informação; 'dad_power' também do tipo *INT* é reservado para registrar o valor da potência; 'dad_time' do tipo *DATETIME* (data e hora) é reservado para registrar o dia, a hora e o minuto no qual a potência foi registrada.

É importante ressaltar que o campo 'dad_power' é restrito a valores inteiros, ou seja, sem casas decimais.

Para criar rapidamente a estrutura da tabela descrita acima, após criar a base de dados com o nome definido, foi inserido no *prompt* de linha de comando SQL (Figura 45), que esta disponível em todos os consoles de manipulação *MySQL*, as linhas de comando que seguem:

```
CREATE TABLE Samae(  
dad_id INT NOT NULL AUTO_INCREMENT,  
dad_plug INT NOT NULL,  
dad_time DATETIME,  
dad_power LONG,  
PRIMARY KEY (dad_id) );
```

Figura 45 - Linha de comando criação da tabela

Fonte: Autoria Própria

Foi desenvolvida a classe *Graphics* em que são desenhados os gráficos de áreas e *pizza*.

Foi desenvolvida a classe *main* em que é apresentado os comandos principais do programa. Também foi desenvolvida a classe *SQLCon* em que realizará a comunicação com a base de dados.

3.6. CONSIDERAÇÕES

Neste capítulo foram descritos os processos, as tomadas de decisões e a forma geral de como foi desenvolvido o projeto. Desse modo, procurou-se explanar os principais pontos dentro das abordagens de *hardware* e *software* adotadas.

A partir do projeto de *hardware*, foram definidos os componentes utilizados, mantendo o enfoque no uso do microcontrolador, do módulo de medição e alimentação do sistema como também o sistema utilizado para a transmissão dos dados.

No projeto de *firmware*, abordou-se o código desenvolvido para o microcontrolador, que tem como requisito gerenciar todos os demais módulos.

Em relação ao *software*, focou-se no sistema desenvolvido. O *software* será a principal maneira de se observar os resultados obtidos com o funcionamento do sistema como um todo. Para permitir o desenvolvimento do projeto, foram utilizadas ferramentas relacionadas à base de dados, e a programação em C#.

O capítulo 4 irá apresentar a operação do projeto por meio de um teste realizado em campo.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo serão descritos os resultados obtidos no *software* a partir dos testes realizados. Para a análise foi inserido cargas de prova com potências variadas, simulando diversas situações que poderiam ocorrer em campo.

Para a realização dos testes alterou-se as cargas analisadas e conforme demonstrado nos próximos itens houve coerência nos resultados obtidos.

4.1. TESTES REALIZADOS EM CAMPO

Para a análise da potência das cargas e a conferência da calibração dos medidores, aplicou-se em cada medidor uma potência conhecida.

As cargas utilizadas foram resistivas, pois com isso tem-se referência dos valores que deveriam ser apresentados. Segue abaixo a análise obtida após uma série de 7 medições a cada período de tempo de 30 minutos a uma tensão de 124 V (Gráfico 2).

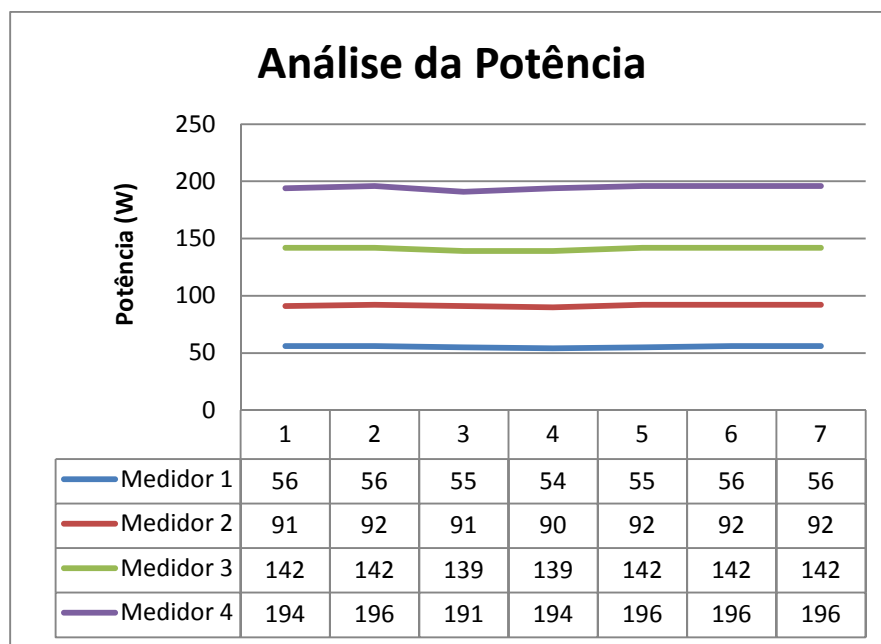


Gráfico 2 - Comparativo das potências apresentadas ao longo do ensaio

Fonte: Autoria Própria

Conforme indicação dos fabricantes as variações da tensão acarretará uma variação da potência distribuída na lâmpada conforme demonstrado no Quadro 9, retirada da embalagem do fabricante de lâmpadas FOXLUX.

	Lâmpada 60W	Lâmpada 100W	Lâmpada 150W	Lâmpada 200W
Tensão (V)	Potência (W)	Potência (W)	Potência (W)	Potência (W)
127	60	100	150	200
124	58	94	145	193
120	55	90	137	183
115	51	88	129	171

Quadro 9 - Comparação da Tensão em função da Potência

Fonte: FOXLUX (2012)

4.2. CONSIDERAÇÕES

Como analisado no Gráfico 2 constata-se que a medida realizada pelos módulos de medição foram coerentes com um erro inferior a 3,5% quando comparado com o valor de referência do fabricante. Há perdas intrínsecas inerentes ao processo de medição, como por exemplo a leitura dos pulsos no microcontrolador, alterações na tensão de alimentação e o arredondamento dos valores no software.

5. CONCLUSÕES

Com a finalização deste projeto, foi possível a assimilação de vários conceitos abordados no decorrer do curso de Engenharia Industrial Elétrica com Ênfase em Eletrônica e Telecomunicações da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O desafio envolvido em implementar um sistema de medição e análise de energia foi encorajador para os integrantes da equipe.

Este relatório integrou todos os conceitos utilizados para a elaboração do projeto, bem como os procedimentos utilizados e a descrição completa dos módulos desenvolvidos.

Duas grandes motivações foram a base para a realização deste projeto. A primeira refere-se à diversidade de tecnologias relacionadas ao projeto, o qual envolveu várias áreas da Engenharia Elétrica – englobando eletrônica de potência, eletrônica digital e telecomunicações. Isso mostra que este é um projeto com uma abrangência interessante em várias áreas do conhecimento. A segunda, foi a motivação de oferecer uma ferramenta de medição e controle do consumo de forma individualizada sendo este mercado ainda pouco explorado.

A fundamentação teórica foi importante para integrar o conhecimento geral relacionado ao projeto à equipe e possibilitar o desenvolvimento técnico do projeto. Os assuntos abordados, a tecnologia das redes inteligentes de medição, a estruturação de banco de dados, a linguagem C# utilizada na programação da interface, permitiram que a equipe alcançasse o conhecimento básico necessário e a viabilidade técnica do projeto.

Durante o desenvolvimento técnico do projeto, foram observadas as dificuldades envolvidas, em especial na etapa de integração dos módulos e a calibração dos medidores assim como também o desenvolvimento do aprendizado da linguagem de programação C#. Os resultados obtidos apresentados comprovam o correto funcionamento do dispositivo e a interface com o usuário. Foram apresentados uma análise qualitativa e quantitativa dos dados coletados em ensaios com cargas de potências conhecidas. Os resultados obtidos foram satisfatórios, na qual foi possível visualizar a coerência dos valores quando comparado com os dados dos fabricantes.

Para o desenvolvimento futuro do projeto e como objetivo de sempre trazer a tecnologia em benefício do sistema, existe a possibilidade de expandir os módulos de transmissão incluindo a interface via internet, com a elaboração automática de relatório e acompanhamento diário dos gastos envolvidos. Pode-se também inserir contadores como elemento ativo de corte e religa do sistema caso ocorra alguma anomalia, ou seja necessário realizar uma intervenção remota no sistema.

A elaboração de um plano de negócios foi importante para analisar se o projeto possui potencial para se transformar em um produto e/ou serviço para inserção no mercado. Foi simulada a criação de uma empresa, para efetuar as operações de comercialização do projeto. A partir de um levantamento da situação atual do mercado, foi estimado o valor de investimento inicial necessário para a abertura da empresa. Além disso, com base na demanda do mercado, foram aferidas a quantidade de vendas até o ano de 2015 e constatou-se a viabilidade total do projeto.

REFERÊNCIAS

ANALOG DEVICE. **Application Note AN-679**. Disponível em:
< http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-679.pdf>.
Acesso em: 20/08/2011.

ANALOG DEVICE. **Datasheet Energy Metering IC with Integrated Oscillator ADE7757**. Disponível em:
< http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADE7757.pdf>.
Acesso em: 20/08/2011.

CAMPTRONIC. **Componentes Eletrônicos**. Disponível em:
<<http://camptronic.com.br/produto/Circuito-Integrado-PIC-16F628A%252dl%7B47%7DP.html>>.
Acesso em: 15/10/2012.

CHEN, Peter P. **The Entity-Relationship Model – Toward a Unified View of Data**. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology. Março, 1976. ISSN 0362-5915.

DIGI.COM, **Dimensões módulo ZigBee**. Disponível em:
ftp://ftp1.digi.com/support/documentation/mechanicaldrawings_xbee_oem_rfmodules.pdf.
Acesso em: 05/08/2012.

ELMAZARI, Ramez, NAVATHE, Shamkant B. **Fundamentals of Database Systems**. 4. ed. Boston: Addison Wesley, 2003.

FOXLUX. **Potências das lâmpadas em função da tensão de alimentação**. Disponível em: <<http://www.foxlux.com.br>>.
Acesso em: 20/09/2012.

ILUMINA. **Hoje, mais de 90% do parque nacional ainda é de medidores analógicos**. Disponível em: <http://www.ilumina.org.br/zpublisher/materias/Estudos_Especiais.asp?id=18086>.
Acesso em: 20/09/2012.

MICROCHIP. **PIC16F627A/628A/648A**. Microchip, 2007. 178 p Disponível em:
<<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40300C.pdf>>.
Acesso em: 15/03/2012.

NOVA NOTICIA. **Furto de energia gera prejuízo de R\$ 7 bilhões no país**. Disponível em: < <http://www.novanoticias.com.br/noticias/destaque/furto-de-energia-gera-prejuizo-de-r-7-bilhoes-no-pais/161617> >.
Acesso em: 13/09/2012.

PROJETO DE REDES. Os custos dos acessos baseados em redes sem fio que utilizam o padrão IEEE 802.11... Disponível em:

< http://www.projetoederedes.com.br/artigos/artigo_zigbee.php>.

Acesso em: 15/07/2012.

PROJETO DE REDES. Os dispositivos baseados na tecnologia ZigBee operam na faixa ISM que não requer licença para funcionamento... Disponível em:

< http://www.projetoederedes.com.br/artigos/artigo_zigbee.php>.

Acesso em: 15/07/2012.

PROJETO DE REDES. O padrão IEEE 802.15.4, definiu interfaces com baixas taxas de transmissão (menores que 250Kbps) e estabeleceu uma estrutura de rede que incorpora os conceitos de redes ad hoc... Disponível em:

< http://www.projetoederedes.com.br/artigos/artigo_zigbee.php>.

Acesso em: 15/07/2012.

PRNEWSWIRE, O início dos estudos e a implantação de uma nova tecnologia se faz presente no exterior e atualmente no Brasil encontra-se em um ritmo acelerado de crescimento

Disponível em: <<http://www2.prnewswire.com.br/releases/pt//Elster-apoia-novo-padr%C3%A3o-de-medi%C3%A7%C3%A3o-inteligente-no-Brasil/28805>>.

Acesso em: 20/05/2012.

REDE INTELIGENTE. As redes inteligentes (Smart Grids) estão revolucionando a forma como encaramos todo o sistema elétrico... Disponível em:

< <http://www.redeinteligente.com/2011/01/25/contabilizar-a-energia-de-forma-inteligente/>>.

Acesso em: 25/09/2011.

RADIAN RESEARCH, INC. Operations Manual.

Disponível em: <http://www.radianresearch.com/manuals/RM10-12-15.pdf>

Acesso em: 15/03/2012.

ROGERCOM, Formato para enviar comandos ATs ao módulo XBee/XBee-Pro.

Disponível em: <<http://www.rogercom.com/>>.

Acesso em: 10/05/2012.

ROGERCOM, Lista de comandos de configuração ZigBee. Disponível em:

<<http://www.rogercom.com/>>.

Acesso em: 10/05/2012.

XBEE STORE. Módulo XBEE 802.15.4.

Disponível em: <<http://www.xbeestore.com.br/>>.

Acesso em: 04/02/2012.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Imagens do projeto



Figura 46 - Embalagem do módulo de transmissão

Fonte: Autoria Própria

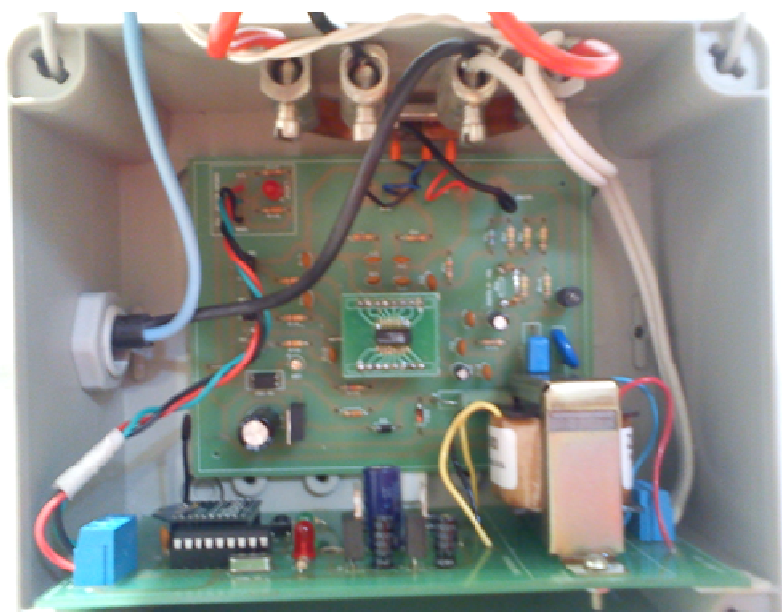


Figura 47 - Circuito do módulo de transmissão

Fonte: Autoria Própria



Figura 48 - Embalagem do módulo de recepção

Fonte: Autoria Própria



Figura 49 - Circuito do módulo de recepção

Fonte: Autoria Própria