

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA COM ÊNFASE EM
ELETRÔNICA E TELECOMUNICAÇÕES

ADRIANO MARCELINO
BRUNO TOSI MELLO
LEONARDO ARAUJO SANTOS

Dispositivo leitor de energia elétrica portátil - DOLEEP

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2013

ADRIANO MARCELINO
BRUNO TOSI MELLO
LEONARDO ARAUJO SANTOS

Dispositivo leitor de energia elétrica portátil - DOLEEP

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento Acadêmico de Eletrônica como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro no Curso Superior de Engenharia Elétrica com Ênfase em Eletrônica e Telecomunicações da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Rubens Alexandre de Faria

CURITIBA

2013

RESUMO

MARCELINO, Adriano; TOSI, Bruno; SANTOS, Leonardo. Dispositivo leitor de energia elétrica portátil - DOLEEP. 110 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso Superior de Engenharia Elétrica com Ênfase em Eletrônica e Telecomunicações, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

Este projeto visa a implementação de um sistema de aquisição de dados provenientes da rede elétrica, consistindo em um dispositivo eletrônico capaz de realizar o monitoramento automático do valor de consumo acumulado de energia elétrica, em um determinado intervalo de tempo, de uma unidade consumidora de energia conectada a ele. Uma unidade consumidora é composta por um ou mais equipamentos ligados à rede elétrica, sendo que os valores mensurados serão sempre do conjunto, não podendo ser discriminados para cada equipamento. O sistema amostra a energia na forma de corrente e tensão da rede elétrica em intervalos de tempo predefinidos. O processamento desses dados resulta em informações sobre potência reativa, ativa, consumo de energia (kWh) e desempenho. Essas informações são exibidas em um LCD de forma resumida e também poderão ser acessadas remotamente de um computador, dentro de certa distância, por meio de conexão sem fio.

Palavras-chave: smartgrid. medidor digital de energia. tarifação remota de energia elétrica.

ABSTRACT

MARCELINO, Adriano; TOSI, Bruno; SANTOS, Leonardo. Portable electrical energy monitor device - DOLEEP. 110 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso Superior de Engenharia Elétrica com Ênfase em Eletrônica e Telecomunicações, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

This project aims the implementation of data acquisition system of the electrical grid. It consists in an electronic device capable of automatically monitor the accumulated value of the electrical energy's use, in a defined period, for a consuming unit. Consuming unit is defined as a group of equipments connected together in a single outlet. The values provided as an output of the system will always refer to the group, not being able to distinguish equipments. The system acquires samples of energy as current and voltage from the electrical grid in predefined periods of time. The data processing results in information about reactive and active power, energy consumption (kWh) and performance. This information is shown in summary in an LCD and can be accessed wirelessly using a remote computer inside the defined distance range.

Keywords: smartgrid. digital energy monitor. remote charging of electrical energy.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– Diagrama em blocos do sistema	13
FIGURA 2	– Esquema do aparelho eletromecânico	18
FIGURA 3	– Princípio de funcionamento do medidor eletromecânico	19
FIGURA 4	– Medidor de energia Kill A Watt	23
FIGURA 5	– Alicata Wattímetro ET-4091 Minipa	24
FIGURA 6	– Senoides de tensão e corrente defasadas entre si	27
FIGURA 7	– Placa STM32 value line Discovery	32
FIGURA 8	– Esquema de ligação do circuito	34
FIGURA 9	– Esquema do LM324N	35
FIGURA 10	– Amplificador somador inversor para quatro entradas	36
FIGURA 11	– Amplificador inversor	37
FIGURA 12	– Comparação do sinal de entrada com o sinal de saída	37
FIGURA 13	– Gráfico de tensão de saída pela corrente medida do ACS712 - 20A	39
FIGURA 14	– Placa de desenvolvimento do ACS712	40
FIGURA 15	– Fluxograma do <i>firmware</i> de processamento dos sinais	42
FIGURA 16	– Exemplo de gráfico gerado a partir dos dados enviados pela UART	43
FIGURA 17	– Módulo de RF nRF24L01	48
FIGURA 18	– Esquema de ligação para interface SPI	49
FIGURA 19	– LCD 16x2 usado no DOLEEP	50
FIGURA 20	– Kit de desenvolvimento MSP430 Launchpad	52
FIGURA 21	– Fluxograma do <i>firmware</i> de recepção dos dados	55
FIGURA 22	– Tela inicial da aplicação	58
FIGURA 23	– Aplicação recebendo dados através da interface serial	60
FIGURA 24	– Seleção de período para o relatório	60
FIGURA 25	– Relatório gerado pela aplicação	61
FIGURA 26	– Aparência final do módulo de processamento	64
FIGURA 27	– Aparência final do módulo de recepção	65
FIGURA 28	– Erro relativo - Medição de corrente	67
FIGURA 29	– Erro relativo - Medição de tensão	68
FIGURA 30	– Erro relativo - Medição de potência real	69
FIGURA 31	– Erro relativo - Medição de potência real	70
FIGURA 32	– EAP desenvolvida	72
FIGURA 33	– Principais segmentos de mercado de medição elétrica	88
FIGURA 34	– Modelo de negócio Canvas para o DOLEEP	98
FIGURA 35	– Circuito de alimentação	108
FIGURA 36	– Circuito de tratamento do tensão	109
FIGURA 37	– Esquema de conexão dos módulos à STM32VL	110

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	– Modelo de sequência a ser enviada para a aplicação gráfica	54
TABELA 2	– Estrutura da tabela Medicoes	62
TABELA 3	– Ficha técnica do wattímetro Minipa ET-4090 para corrente CA	64
TABELA 4	– Ficha técnica do wattímetro Minipa ET-4090 para tensão CA	64
TABELA 5	– Ficha técnica do wattímetro Minipa ET-4090 para potência monofásica	65
TABELA 6	– Comparação entre ET-4090 e DOLEEP para corrente eficaz	66
TABELA 7	– Comparação entre ET-4090 e DOLEEP para tensão eficaz	68
TABELA 8	– Comparação entre ET-4090 e DOLEEP para potência real	69
TABELA 9	– Comparação entre ET-4090 e DOLEEP para potência aparente	69
TABELA 10	– Custos previstos do projeto	73
TABELA 11	– Custos reais do projeto	73
TABELA 12	– Horas previstas de trabalho	75
TABELA 13	– Horas efetivas de trabalho	76
TABELA 14	– Riscos associados ao projeto	77
TABELA 15	– Cronograma detalhado do projeto	78
TABELA 15	– Continuação da página anterior	79
TABELA 16	– Investimentos	94
TABELA 17	– Programação de vendas	95
TABELA 18	– Custos	95
TABELA 19	– Projeção de resultados financeiros	96

LISTA DE SIGLAS

EPE	Empresa de Pesquisa Energética
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem/Eficiência Energética
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
DOLEEP	Dispositivo Leitor de Energia Elétrica Portátil
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
kWh	kilowatt-hora
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Intelectual
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
FP	Fator de Potência
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
CA	Corrente Alternada
W	watt
VAr	voltampere-reativo
RMS	<i>Root Mean Square</i>
RF	Rádio frequência
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RTC	<i>Real Time Clock</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
RISC	<i>Reduced Instruction Set Computer</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
I ² C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
USART	<i>Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter</i>
ADC	<i>Analog to Digital Conversor</i>
DAC	<i>Digital to Analog Conversor</i>
DMA	<i>Direct Memory Access</i>
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
CI	Circuito Integrado
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
UTC	<i>Universal Time Coordinate</i>
ISM	<i>Industrial, Scientific, Medical</i>
GFSK	<i>Gaussian Frequency Shift Keying</i>
USCI	<i>Universal Serial Communication Interface</i>
CLR	<i>Common Language Runtime</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
EAP	Estrutura Analítica do Projeto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Justificativa e Motivação	11
1.2 Objetivos	12
1.3 Diagrama	12
1.4 Metodologia	13
1.5 Organização do Documento	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Medidor de energia eletromecânico	17
2.2 Patentes	20
2.3 Trabalhos Similares	22
2.4 Concorrentes	22
2.5 Considerações	24
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	26
3.1 Potência aparente, ativa e reativa	26
3.1.1 Valor médio e valor eficaz	27
3.1.2 Fator de potência	28
3.2 Equações na forma discreta	29
4 MÓDULO DE PROCESSAMENTO	31
4.1 Escolha do kit de desenvolvimento	31
4.1.1 Microcontrolador	32
4.2 Medição da tensão	33
4.3 Medição da corrente	38
4.4 Alimentação dos circuitos	40
4.5 <i>Firmware</i>	40
4.5.1 Interface UART	41
4.5.2 Calibração	41
4.5.3 Cálculos intermediários	44
4.5.3.1 <i>Analog to Digital Converter</i>	45
4.5.3.2 <i>Direct Memory Access</i>	45
4.5.4 Cálculos finais	46
4.5.4.1 <i>Real Time Clock</i>	46
4.5.5 Comunicação RF	47
4.5.5.1 <i>SPI</i>	48
4.5.6 Interface Homem-Máquina	50
5 RECEPÇÃO E APRESENTAÇÃO DOS DADOS	51
5.1 Módulo de recepção	51
5.1.1 Placa de desenvolvimento MSP430 Launchpad	51
5.1.2 Microcontrolador MSP430G2553	53
5.1.3 Recepção dos dados	54
5.2 <i>Software</i>	54
5.2.1 Ferramentas utilizadas	54

5.2.1.1 Microsoft.NET	55
5.2.1.2 Linguagem de programação C#	56
5.2.1.3 Biblioteca ZedGraph	57
5.2.2 Interface gráfica	57
5.2.3 Banco de Dados	61
6 RESULTADOS	63
6.1 Aparência final do medidor	63
6.2 Medições de teste	63
6.2.1 Resultados	66
6.2.1.1 Corrente eficaz	66
6.2.1.2 Tensão eficaz	67
6.2.1.3 Potência real	68
6.2.1.4 Potência aparente	69
7 GESTÃO DE PROJETO	72
7.1 Estrutura analítica do projeto	72
7.1.1 Análise de Custos	73
7.1.2 Equipamentos	73
7.1.3 Pessoal	74
7.2 Análise de riscos	74
7.3 Cronograma	77
8 PLANO DE NEGÓCIO	80
8.1 Sumário Executivo	80
8.2 Definição do Negócio	81
8.2.1 Visão	81
8.2.2 Missão	81
8.2.3 Valores	82
8.3 Objetivos e Metas	82
8.4 Produto e Serviço	82
8.4.1 Descrição do produto e do serviço	82
8.4.2 Diferenciais	83
8.4.3 Tecnologia	83
8.4.4 Perfil do Cliente (referência)	84
8.4.5 Produtos Similares	84
8.4.6 Produtos	84
8.5 Análise de Mercado Resumida	85
8.5.1 Segmentação do mercado	85
8.5.1.1 Energia industrial monofásica/bifásica/trifásica	86
8.5.1.2 Energia domiciliar monofásica/bifásica e Energia rural monofásica/bifásica	86
8.5.1.3 Energia comercial monofásica/bifásica	86
8.5.2 Segmento Alvo de Mercado	87
8.5.2.1 Necessidades do mercado	87
8.5.2.2 Tendências do Mercado	87
8.6 Análise da Indústria	88
8.6.1 <i>Players</i>	88
8.6.2 Modelo de Competitividade	89
8.7 Definição da Oferta e da Proposta de Valor	90
8.8 Estratégia e Implementação - Resumo	90
8.8.1 Diferenciais Competitivos e Proposta de Valor	90

8.8.2 Proposta de valor e estratégia de preços	91
8.8.3 Publicidade e Propaganda	92
8.9 Gestão	92
8.9.1 Estrutura organizacional	92
8.9.2 Equipe	93
8.10 Plano Financeiro	93
8.10.1 Investimentos	94
8.10.2 Programa de vendas	94
8.10.3 Custos	95
8.10.4 Resultados financeiros	96
8.11 Considerações	97
9 CONCLUSÃO	100
9.1 Trabalhos futuros	102
9.1.1 Medidor de maior capacidade	102
9.1.2 Aplicação para celulares e Internet	102
9.1.3 Central de gerência do consumo de energia	103
REFERÊNCIAS	104
Apêndice A – Esquemáticos	107

1 INTRODUÇÃO

Uma pesquisa realizada pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética), do Ministério de Minas e Energia mostrou que o consumo de energia elétrica no Brasil cresceu 6,3% em novembro de 2012 em relação ao mesmo período em 2011. É a maior alta registrada em meses de novembro desde 2005 (ABDALA, 2012).

A alta no consumo pode ser explicada pelo bom momento econômico da população, com mais acesso ao crédito. Isso se reflete em compras de eletrodomésticos e outros aparelhos eletroeletrônicos que por consequência leva à conclusão de que o consumo continue a aumentar, tanto para suprir a demanda do mercado como no uso direto dos bens duráveis. Além disso, uma medida tomada pelo governo brasileiro durante 2012 também influencia o aumento no consumo. Decidiu-se renovar os contratos das concessionárias de energia com a condição de uma diminuição nas tarifas. É esperado um desconto na conta de energia para o consumidor final de 16% (REUTERS, 2012).

Essas notícias levam a crer que a energia elétrica fará cada vez mais parte do dia-a-dia do brasileiro, sendo indispensável até para as tarefas mais banais. No entanto, ao mesmo tempo que incentiva o consumo, o governo procura conscientizar a população ao uso eficiente de energia. Uma dessas medidas é o PBE (Programa de Brasileiro de Etiquetagem/Eficiência Energética), coordenado pelo INMETRO. Esse programa é responsável por avaliar os produtos industrializados e classificá-los de acordo com sua eficiência energética. Conforme descrito no site do INMETRO (INMETRO, 2013), o programa também contribui para o cumprimento efetivo da lei 10.295, de 17 de outubro de 2001, conhecida como a Lei de Eficiência Energética, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia:

“Art. 3º Os fabricantes e os importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia são obrigados a adotar as medidas necessárias para que sejam obedecidos os níveis máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energética (...)”

Outra medida, lançada em Fevereiro de 2013, foi o lançamento da cartilha “Energia com Inteligência” pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). A agência quer

aproveitar o momento de redução da tarifa de energia elétrica para fazer o brasileiro se conscientizar sobre o uso de energia, diminuindo o desperdício (PEDUZZI, 2013). Portanto, a situação atual dá margem para investimentos em projetos que auxiliem de alguma maneira um melhor gerenciamento de energia, inclusive para consumidores domésticos.

1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

O modo atual de medição de energia, com relógios de deslocamento de agulha, dificulta o monitoramento pelos usuários finais e pode ter sua leitura inexata. O consumo real é difícil de ser acompanhado e equivale ao total consumido de toda estrutura elétrica conectada à rede, sem a possibilidade de discriminar o que cada dispositivo consumiu. Além disso, por vezes a conta de energia elétrica não traz o valor real, mas uma média dos valores dos últimos meses, medida motivada pela leitura do relógio ser feita por um operador da concessionária, o que nem sempre é possível de ser realizado. Em relação à leitura ser manual, pode-se também destacar a passividade de erros, uma vez que primeiro o leitor anota os dados e ao chegar no escritório os passa para o banco de dados. Erros de cópia ou de anotação podem ser comuns. Há também casos em que a medição é difícil de ser realizada, devido à dificuldade de se acessar o relógio.

Todos esses motivos se somam para formar a conclusão de que não é possível monitorar em tempo real o consumo de energia total e o de aparelhos específicos. Devido ao alto número de eletrônicos usados no cotidiano, ao aumento no número de residências, e à postura do governo de mudar o comportamento energético do brasileiro, assume-se que é necessário um novo modo de medir energia para conscientizar a população.

Às desvantagens do sistema atual soma-se o simples desejo do usuário de monitorar seu consumo de energia. Isso é deveras trabalhoso pelo sistema atual. Como os dados não são digitais, para se ter uma planilha e gráficos o usuário terá que dedicar uma boa porção de tempo sendo ele mesmo o monitor do relógio. Em uma época de conectividade e de dados disponíveis com prontidão, um método como o atual é proibitivo.

É para preencher as lacunas no método tradicional de aferição e tarifação do consumo de energia e alavancar o consumo de energia consciente que o DOLEEP (Dispositivo Leitor de Energia Elétrica Portátil) foi concebido. Pelo seu uso é possível mensurar quanto um aparelho específico está consumindo e comparar a potência real com a potência nominal, bastando para isso conectar o aparelho ao sistema. Pode-se também ligar vários aparelhos, até o limite de 20A de corrente e receber os dados de consumo em um computador pessoal remotamente. Os dados,

com os instantes de tempo em que foram adquiridos, são armazenados em um banco de dados, podendo-se gerar relatórios para um período escolhido. Através dessa funcionalidade é possível ter um histórico do uso de energia.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal do projeto é criar um medidor de energia automático para aferição do consumo de energia proveniente da rede elétrica e apresentar os dados mensurados ao usuário remotamente, por meio de uma aplicação em um computador pessoal. Além disso, os dados, de forma resumida, deverão ser mostrados em um LCD (*Liquid Crystal Display*). De forma mais específica, pode-se definir os seguintes objetivos:

- Amostrar tensão e corrente da rede elétrica de um sistema monofásico (uma tomada de 127 volts de tensão eficaz) em intervalos de tempo pré definidos para se estabelecer um controle do consumo;
- Processar as amostras de modo a se obter informações sobre o consumo, tarifação e indicadores de qualidade (fator de potência);
- Transmitir os dados para um receptor remoto e os apresentar de forma confiável e intuitiva em um computador, para análise por parte do usuário;
- Armazenar os dados em um banco de dados no computador pessoal, incluindo nos mesmos a data em que foram adquiridos. Deve-se criar um padrão de arquivo, permitindo que a recuperação e processamento pelo usuário sejam possíveis;
- Prontamente apresentar os dados de forma resumida para o usuário em um *display* acoplado ao protótipo.

1.3 DIAGRAMA

O diagrama de funcionamento do protótipo é apresentado na figura 1.

O sistema é composto por dois módulos: Módulo de medição e transmissão e o módulo de recepção e apresentação dos dados.

O módulo transmissor envolve a amostragem de dados da rede elétrica, o cálculo de potência e outras grandezas e o envio dos mesmos via RF. Ainda nesse módulo os dados são apresentados de forma resumida em um LCD.

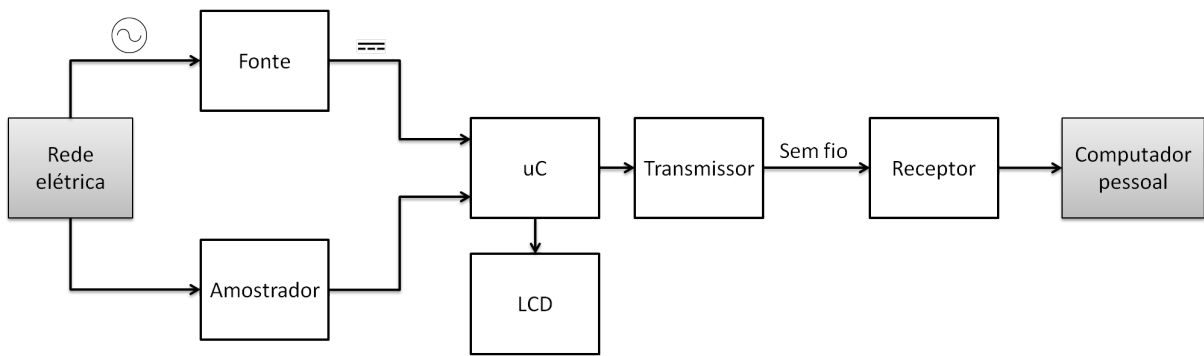


Figura 1: Diagrama em blocos do sistema

Fonte: Autoria própria

O módulo receptor tem como entrada os dados remotamente enviados pelo transmissor. Esses dados então são ordenados de acordo com um padrão previamente estabelecido e enviados por conexão USB para a aplicação gráfica instalada em um computador pessoal. Ali, as grandezas calculadas podem ser vistas de forma detalhada por meio de diversos gráficos. Também é possível salvar as informações em um banco de dados de modo a ter um registro histórico do consumo de energia.

1.4 METODOLOGIA

O planejamento para a criação de um protótipo de produto foi dividido em duas partes: Viabilidade técnica e viabilidade do negócio. Dentro da viabilidade técnica, foi feita a análise dos materiais necessários, bem como o estudo de como implementar o sistema com os dispositivos escolhidos. Assim, o ponto crítico é conhecer e determinar os requisitos e procedimentos necessários para o desenvolvimento do projeto. Dentro desse contexto, as atividades foram:

- Estudar as necessidades de *hardware* e *software* para desenvolvimento do projeto e especificar, avaliar e comparar os componentes necessários. Analisar patentes e soluções já existentes no mercado que possuam características comuns com o projeto que será desenvolvido;
- Estudar como extrair informações referentes a consumo de energia e fator de potência através de sinais provenientes da rede elétrica;
- Avaliar os parâmetros para realizar a amostragem dos sinais e as diferentes maneiras de armazenamento das amostras fazendo uso de banco de dados;

- Estudar e avaliar as possibilidades para realizar a comunicação sem fio entre o dispositivo e o computador do usuário;
- Estudar as maneiras de realizar o interfaceamento com o usuário, i.e. como apresentar os dados e desenvolver o aplicativo que será utilizado no computador do usuário.

Uma vez que se as decisões sobre como implementar o projeto sob o ponto de vista técnico foram tomadas, a análise da viabilidade do negócio iniciou-se tendo como um dos fatores os materiais escolhidos para construir o sistema. Essa fase se resumiu em realizar uma observação do mercado de modo a obter uma visão geral sobre áreas de interesse em potencial e definir qual seria o escopo do produto. Para conseguir os resultados esperados, foram pesquisadas patentes, de modo a ter certeza que o projeto poderia ser realizado sem a ameaça de ser inviabilizado devido a problemas legais, produtos parecidos, como uma sondagem de mercado e regulamentações da ANEEL, a título de informação sobre quais são as tendências do setor de medição de energia para o Brasil. O capítulo 8 descreve detalhadamente os fatores que influenciaram o projeto e quais foram as decisões tomadas no direcionamento do produto.

Após planejar o que seria realizado, iniciou-se a implementação do protótipo. Para essa fase, outras etapas foram definidas, conforme descrito abaixo:

- Organização do Projeto: Para que os resultados esperados sejam alcançados, é necessário fundamentar o projeto, definir cronogramas, responsabilidades, testes de aceitação e métodos de integração. Essas decisões, para serem tomadas, devem ser baseadas nas características do produto e ferramentas para produzi-lo. Tendo os requisitos em mão, é possível definir os prazos e métodos. Essa definição é determinada por meio da elaboração de cronogramas, divisão de tarefas, levantamento de fatores de risco e divisão do projeto em partes menores;
- Implementação do protótipo: A realização do protótipo pode ser dividida em quatro partes:
 1. Criação da aplicação gráfica em um computador pessoal para apresentação dos dados e registro histórico em banco de dados;
 2. Desenvolvimento do circuito que trata os sinais de energia elétrica para a aquisição pelo microcontrolador;
 3. Desenvolvimento do *firmware* que tem a finalidade de calcular a potência e outras saídas do sistema ;

4. Desenvolvimento da comunicação sem fio entre os dois módulos do protótipo, transmissor e receptor.

Essas fases foram desenvolvidas de maneira independente, com a execução de testes regulares para validar o funcionamento adequado das partes constituintes.

- **Integração:** à medida em que as parcelas do projeto foram finalizadas foi sendo necessária a realização de testes de interfaces e ajustes no sistema para a sua integração. Isso exigiu um trabalho conjunto entre os integrantes da equipe;
- **Calibração e documentação:** após a conclusão das etapas anteriores, iniciou-se a calibração e aferição da qualidade de medição do produto. Essa fase de testes deu-se a partir da conclusão do protótipo, com pequenos ajustes necessários. Uma vez que os dados foram levantados, iniciou-se a fase de documentação dos resultados alcançados, da qual o presente relatório é uma das saídas planejadas.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

Este relatório tem por finalidade apresentar a realização do trabalho de conclusão do curso de Engenharia Eletrônica da UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná). Este documento está dividido segundo a seguinte organização:

O capítulo 1 apresenta aspectos iniciais do projeto, tais como as justificativas e motivações da equipe, objetivos geral e específico, diagrama do sistema e a proposta de divisão do projeto em etapas.

No capítulo 2 são descritos os resultados da análise de mercado por meio do levantamento de clientes e usuários, assim como a realização do estudo de patentes. Esse capítulo apresenta informações que dizem respeito ao segmento em que o produto se encontra. O produto deste capítulo é a definição do escopo do projeto.

O capítulo 3 demonstra os fundamentos teóricos e a aproximação escolhida para se calcular a potência de um sistema usando-se um microcontrolador.

O capítulo 4 aborda o desenvolvimento do módulo responsável por calcular as grandezas envolvidas no fornecimento de energia. Também será relatada a forma como foi desenvolvida a comunicação sem fio entre esse módulo e o módulo conectado a um computador pessoal. Nele, são também apresentadas as tecnologias empregadas assim como as características específicas dos módulos desenvolvidos.

No capítulo 5 é documentada a criação da aplicação gráfica responsável por apresentar ao usuário as informações produzidas pelo sistema e como o interfaceamento entre o módulo de recepção e o computador pessoal foi feito. As funcionalidades da aplicação também são explicadas.

O capítulo 6 compara os valores medidos pelo DOLEEP e por outro medidor de potência já consolidado. Essa comparação visa expôr quais foram os resultados alcançados após o desenvolvimento do produto ter terminado.

No capítulo 7 são apresentados os principais aspectos referentes a gestão do projeto. Nessa parte é feita a análise de tempo, custos e riscos do projeto.

O capítulo 8 apresenta o plano de negócios, com os dados necessários para avaliar a viabilidade do DOLEEP como um produto no mercado.

Por fim, o capítulo 9 apresenta as conclusões gerais do projeto e as recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No presente capítulo serão descritas as características do método de medição de energia mais usado atualmente e uma descrição do segmento no mercado. Primeiro, será feita uma descrição do método eletromecânico de medição e quais são as suas desvantagens que motivaram a criação de um protótipo eletrônico. Em seguida, será feita a análise das patentes existentes no Brasil com algum tipo de relação às funcionalidades do produto, de trabalhos acadêmicos similares ao projeto proposto e dos possíveis concorrentes no mercado brasileiro e internacional. Concluindo o capítulo, é relatada a decisão preliminar sobre a viabilidade mercadológica do projeto.

2.1 MEDIDOR DE ENERGIA ELETROMECAÂNICO

Usado na maioria das residências do Brasil, o medidor de energia eletromecânico por muitos anos foi a única alternativa para a aferição do consumo de energia. Sua criação envolve os estudos de Galileo Ferraris, que desenvolveu os fundamentos para a criação do motor de indução (GUEDES, 1998). Enquanto estudava os princípios do transformador de tensão, Galileo combinou dois campos magnéticos em quadratura de fase para criar um campo magnético girante, ou circular. Ele demonstrou isso usando duas bobinas fixas, com correntes sinusoidais com diferença de fase as percorrendo, e um cilindro de cobre no eixo. O cilindro se movimentava com velocidade angular constante, sendo dessa forma demonstrada uma maneira de conversão de energia magnética em energia mecânica (GUEDES, 1998). A figura 2 ilustra o aparelho que Galileo construiu para demonstrar sua teoria em 1888.

Aplicando o conceito criado por Galileo, foi criado o medidor eletromecânico do tipo indução, que rotaciona seu eixo proporcionalmente à quantidade de energia que circula pelas bobinas em torno dele. Esse é o aparelho mais utilizado pelas concessionárias de energia para medição de energia em consumidores finais. Ele tem duas bobinas: bobina de corrente e bobina de potencial. A primeira é dividida em duas meias bobinas e conduz toda corrente consumida pelos dispositivos conectados ao medidor. A outra bobina, a bobina de potencial, é ligada em

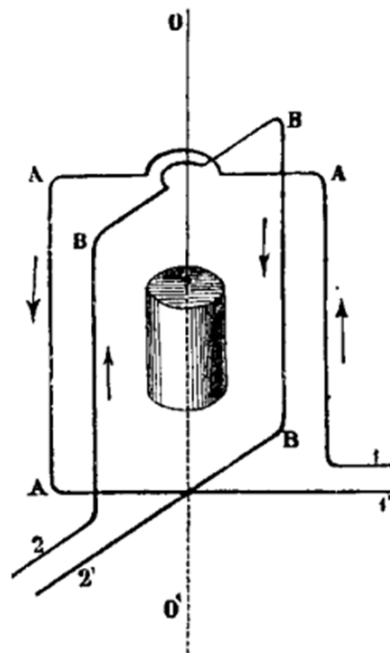


Figura 2: Esquema do aparelho eletromecânico

Fonte: (GUEDES, 1998)

paralelo à carga tendo seu consumo medido e recebe a tensão submetida através da linha de energia. Ao conduzirem uma quantidade de corrente alternada, as duas bobinas geram um fluxo magnético, sendo este fenômeno descrito pela Lei de Lenz.

O conjunto móvel, constituído pelo disco de alumínio e o seu eixo é posicionado de forma a se mover devido a interação magnética com os fluxos gerados nas bobinas. Assim, o eixo é movido por dois movimentos distintos, de diferentes fontes, mas de mesmo funcionamento: os fluxos magnéticos da bobina de potencial e de corrente induzem no disco correntes parasitas, também chamadas de correntes de Foucault, e estas, ao interagirem com os mesmos fluxos magnéticos, geram uma força que rotaciona o eixo. Assim, o movimento total do eixo é uma soma das influências da bobina de potencial e da bobina de corrente no sistema.

A velocidade angular pode ser arbitrada, por meio de ajustes no eixo, de modo que o número de rotações durante certo período corresponda à energia sendo usada pela carga. Conectado ao eixo, está um parafuso que faz o indicador da contagem de energia ser incrementado usando-se o mesmo princípio dos relógios, razão pela qual o aparelho ficou conhecido como relógio medidor de energia. A indicação do consumo é feita usando-se a medida kWh (kilowatt-hora) que representa a soma de potência sendo consumida em uma hora (SILVA, 2007). Na figura 3 é possível ver o esquemático do medidor eletromecânico do tipo indução.

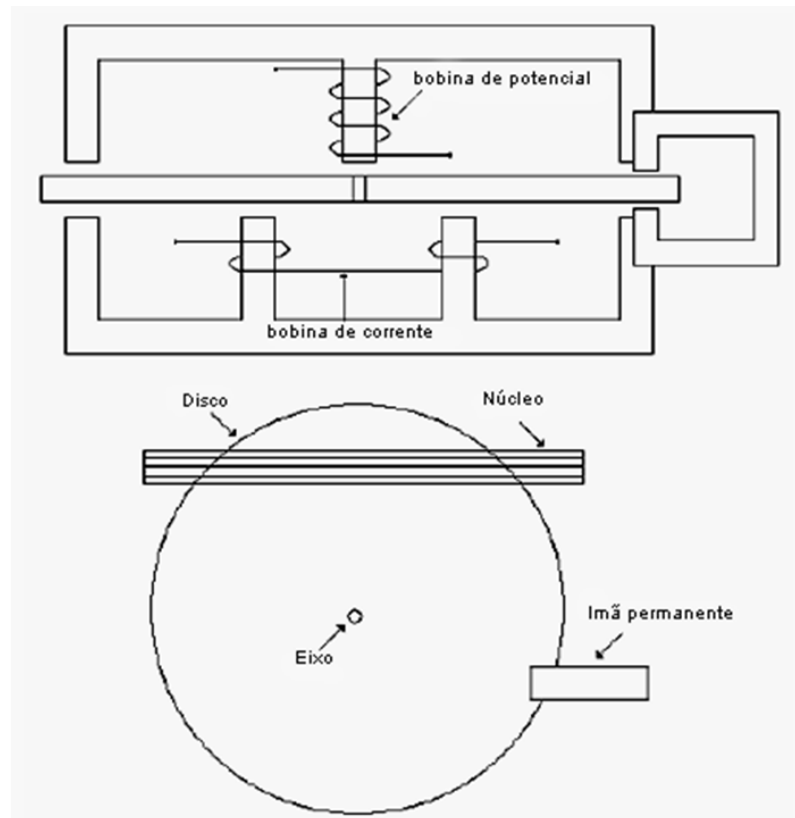


Figura 3: Princípio de funcionamento do medidor eletromecânico

Fonte: (SILVA, 2007)

Apresenta-se a seguir as principais desvantagens desse método de medição de energia e a maneira como os dados finais são coletados:

- A apresentação da medição de energia usando relógios analógicos é inexata, dependendo do operador que lerá os indicadores no relógio. Além da maior possibilidade de erro, os dados nos relógios atuais são acessados localmente. Para vê-los, deve-se chegar perto do equipamento, o que também configura uma característica do sistema que pode ser considerada como desvantagem em casos nos quais o acesso ao sistema é difícil;
- Por ser destinado à medição de energia consumida por meio de corrente alternada, o medidor pode adicionar erros no resultado devido à presença de componentes de corrente contínua. Essas correntes produzem deformações nos fluxos magnéticos induzidos, podendo até mesmo saturar os núcleos das bobinas (SILVA, 2007);
- A medição analógica não guarda diretamente o histórico do uso de energia, sendo somente um contador que é incrementado. Isso dificulta a análise do consumo para períodos específicos;

- Os relógios atuais têm pouca mobilidade, sua instalação, na maioria dos casos, é feita para ser permanente, dificultando mudanças temporárias para análise de um equipamento específico. Esses medidores eletromecânicos não foram projetados para se medir isoladamente diferentes aparelhos. A montagem do sistema para esse tipo de prova pode ser demorada se comparada ao dispositivo portátil sendo proposto;
- Os medidores eletromecânicos possuem uma faixa de operação definida. Para valores muito baixos de potência a precisão diminui, pois o atrito do conjunto mecânico é alto em relação ao torque eletromagnético produzido pelo disco;
- Por envolver energia mecânica, esse instrumento é especialmente sensível a vibrações e choques produzidos por elementos externos. Exatamente por este motivo, ele não é adequado para ser usado em ambientes mecanicamente instáveis ou como um sistema embarcado/portátil.

2.2 PATENTES

O estudo de patentes permite realizar o levantamento dos produtos que possuem direitos protegidos de modo a verificar a viabilidade comercial do produto a ser desenvolvido. Para realizar essa pesquisa, a base de dados do INPI (Instituto Nacional de Propriedade Intelectual), órgão nacional regulador de patentes, foi utilizada como referência.

Através da concessão de uma patente pelo Estado, o titular recebe exclusividade para explorar comercialmente sua criação. Isso previne que outros fabricantes, por um certo período de tempo, produzam e comercializem um produto similar no território onde a patente está em vigência. A contrapartida da patente concedida é a publicação do conhecimento sobre os atributos essenciais do invento (WIKIPEDIA, 2012b).

A patente “Medidor de Energia”, de Jean-Paul Costa, número PI1105594-4 A2, refere-se a um monitor conectado a um aparelho que exibe a quantidade de energia sendo consumida. Se uma interrupção no fornecimento de energia ao monitor acontecer, o sistema permanece calculando o consumo.

A patente “Sistemas de Medição”, de Paulo Caffé Santana, número PI1102897-1 A2, compreende um método e aparelho para determinar a saúde de um sistema de medição. O dispositivo verifica se há pelo menos uma falha no vasto conjunto de falhas relacionadas com a operação do sistema de medição. A saída do invento é um valor único do estado de saúde do medidor tendo como entrada as suas possíveis falhas.

As próximas duas patentes são requeridas por Elias de Assis Góis e compreendem um sistema completo de medição de energia. A patente “Dispositivo eletrônico para leitura automatizada, dotado de sistema de impressão de guia de pagamento, aplicável num medidor digital de energia elétrica”, sob o número de MU9001954-7 U2, consiste em um dispositivo eletrônico para leitura automatizada do quanto foi gasto em moeda corrente no consumo de energia. Esse módulo seria acoplado ao medidor de energia eletrônico e ao receber os dados emitiria a guia de pagamento para o usuário. Essa guia já seria compatível com o sistema de cobrança da concessionária de energia.

A segunda patente “Dispositivo eletrônico de leitura, aplicável num medidor digital de energia elétrica dotado, de interface para leitura automatizada”, número PI1003886-8 A2 e data de depósito no INPI de 28/10/2010, diz respeito ao medidor em si, referenciado na primeira patente. Esse medidor é instalado na conexão da unidade de consumo com a rede e exerce a função de um medidor de energia homologado pela concessionária. Os dados podem ser arquivados em uma memória *flash* ou similar. O sistema é interfaceado com o aparelho de impressão automatizada da guia de pagamento.

A patente “Dispositivo e método de medição de energia elétrica” de Marc Bruel, número PI1102848-3 A2 e data de depósito no INPI de 16/06/2011, diz respeito a um aparelho que mede o consumo energia de todos aparelhos conectados a si. O método de como essa medição é feita é também objeto da mesma patente. São emitidos pulsos elétricos ou fechamentos de circuito elétrico em uma quantidade proporcional à energia mensurada. Há então um módulo contador de pulsos conectado a um sistema de comunicação, que lê quantos pulsos foram enviados e converte essa leitura em um valor de energia consumida, submetendo esse valor para o sistema de comunicação, que envia os dados para uma outra fonte remota.

Todas essas patentes ainda são pedidos a serem analisados pelo INPI. Percebe-se que em sua maioria são recentes, datadas de no máximo 3 anos, o que mostra a existência de um movimento para desenvolver outros métodos de medição de energia elétrica mais vantajosos que o convencional, i.e. eletromecânico. Mesmo que algumas patentes sejam publicadas, percebe-se que não há conflitos com os interesses do DOLEEP. Existem algumas especificações parecidas, mas que se diferenciam ou no escopo do produto, ou no método usado para implementá-lo. Um exemplo disso é a patente PI1102848-3 A2. As características do produto proposto são similares ao DOLEEP, mas os métodos usados para calcular a informação de consumo são radicalmente diferentes.

2.3 TRABALHOS SIMILARES

Esta seção tem por objetivo apresentar trabalhos acadêmicos similares ao projeto sendo apresentado. Alguns desses trabalhos serviram de referências para que esse projeto pudesse se tornar realidade.

O primeiro deles é a dissertação para obtenção de grau de Mestre em Engenharia Eletrônica da Universidade Técnica de Lisboa. O trabalho de autoria de Grisha Tulcidas tem como título “Contador de Energia Eléctrica Inteligente”. Os cálculos de energia são realizados por meio de um microcontrolador que recebe os dados de tensão, após um divisor de tensão diminuir a magnitude da tensão da rede, e de corrente, por meio de um transformador de corrente. A ideia do trabalho é criar um contador de energia que substitua o medidor eletromecânico nas residências de Portugal.

O trabalho “Medidor de Energia Eletrônico” de Leandro Lettieri Teixeira, para graduação em Engenharia Elétrica na UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) é similar à dissertação de mestrado. A diferença entre os dois está no comportamento ativo do sistema. Caso o resultado das medições indique que o FP está baixo, o que indica uma qualidade de consumo baixa, um banco de capacitores é ativado com o objetivo de corrigir essa deficiência. Os dados são apresentados em um LCD e o sistema possui interface serial RS-232 que pode ser usada para enviar as informações para computadores pessoais.

Outro trabalho que serviu de base para a concepção do DOLEEP é o PowerBox. Produzido por Cliff Jao e Xi Guo, da Cornell University, nos Estados Unidos. Além de medir a potência e apresentar os dados em um LCD, o protótipo possui interface para criação de gráficos em um computador pessoal e um relé acionado por microcontrolador para desligar o sistema em caso de sobrecarga ou escolha do usuário. A desvantagem desse trabalho é a quantidade de *jumpers* usada no protótipo para conectar componentes, o que diminui a robustez do sistema e aumenta a probabilidade de curtos-circuitos, introduzindo riscos ao usuário.

2.4 CONCORRENTES

A pesquisa por concorrentes tem o objetivo de encontrar produtos que possuam características semelhantes ao sistema desenvolvido neste projeto, de modo a ter uma visão comercial do potencial do produto. Foram encontrados tanto dispositivos nacionais como também internacionais.

A importadora CIAL Comércio vende um medidor de energia elétrica portátil, o CIAL

1000. O produto pode medir tensões de até 220V e uma soma das correntes de 20A. Apresenta a energia consumida em kWh por meio de um LCD. Sua exatidão é de $\pm 1\%$ e o preço de venda é de R\$550,00. O *layout* do produto é muito parecido com o proposto para o DOLEEP: uma tomada na qual se pode conectar os aparelhos a terem seu consumo medido.

O produto tido como padrão de qualidade em medidores portáteis destinados ao uso doméstico é o Kill a Watt EZ. Produzido pela P3 International, ele é o carro chefe de uma linha de produtos criados com o objetivo de conscientizar os consumidores para um uso de energia de modo mais responsável. Seu preço está na casa dos US\$25,00. Pode calcular um consumo de até 15A de corrente e uma tensão de até 125V, com erro máximo de $\pm 0,2\%$ nas medições, conforme indicado pelo produtor. As diversas grandezas medidas, oito no total, podem ser apresentadas em um LCD conforme são escolhidas pelo usuário através de diversos botões de navegação no painel frontal do produto. A figura 4 apresenta o painel frontal do Kill A Watt EZ.



Figura 4: Medidor de energia Kill A Watt

Fonte: (P3 INTERNATIONAL, 2012)

Há ainda outra linha de produtos um pouco diferente do escopo do DOLEEP. São os alicates wattímetros. Esses instrumentos de medição de potência são mais técnicos e requerem algum conhecimento prévio para uma montagem de teste adequada. O modelo ET-4091 da Minipa, figura 5, mede tensão alternada até uma faixa de 600V e corrente de até 1000A em diversas escalas, com um mínimo de exatidão comum entre as mesmas de $\pm 3\%$. Provê as informações das grandezas envolvidas no cálculo da potência e informações sobre frequência, temperatura, taxa de distorção harmônica total, valores de pico. Sua interface ocorre por meio de um LCD com diversos botões no painel central, além de comunicação serial USB (*Universal*

Serial Bus) para envio de dados a um computador pessoal. É alimentado por baterias e seu preço está em torno de R\$1000,00.



Figura 5: Alicete Wattímetro ET-4091 Minipa

Fonte: (MINIPA, 2013)

2.5 CONSIDERAÇÕES

A análise de outros trabalhos possibilitou a determinação do que deveria compor o sistema, quais as principais funcionalidades, especificações necessárias e diferenciais dos produtos similares, sob o ponto de vista de produzir algo de qualidade igual ou superior e que tenha o uso rápido, fácil e intuitivo. Por meio desse estudo, foi possível conceber uma visão mais ampla sobre a viabilidade técnica do projeto assim como a viabilidade mercadológica, pois há empresas com produtos similares em seu portfólio que estão sobrevivendo no mercado com esta ideia.

Após realizar extensa busca de patentes verificou-se que algumas propostas não foram aceitas pelo INPI e as que estão sob análise são específicas para contadores de energia residenciais como um todo, substituindo os medidores analógicos usados pelas concessionárias de energia. Constatou-se que há poucos trabalhos que consideram a ideia de produzir um medidor portátil para ser usado como aparelho educacional com foco em usuários sem conhecimento técnico em elétrica ou eletrônica. Há sim produtos que tem a mesma função que o DOLEEP, como o ET-4091 da Minipa, mas são caros e com mercado centrado em técnicos. O Kill A Watt é produto desse ramo de maior sucesso e que deve ser acompanhado com muita

atenção para conhecer as tendências deste ramo de produtos domésticos. O diferencial do DOLLEP em relação a esse aparelho é a conexão sem fios com um computador pessoal, com a apresentação do consumo em forma gráfica e possibilidade de se ter um histórico dos mesmos. A implementação do produto será descrita nos capítulos 4 e 5.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo demonstra os fundamentos teóricos nos quais o projeto se baseia para a medição de energia. Serão analisadas as ferramentas matemáticas para a realização dos cálculos e ao final do capítulo é descrita a abordagem escolhida para se determinar os valores das grandezas medidas.

3.1 POTÊNCIA APARENTE, ATIVA E REATIVA

Em um circuito CA (Corrente Alternada) as grandezas envolvidas são descritas como sinais sinusoidais. A relação entre tensão, $v(t)$, corrente, $i(t)$, e potência aparente, $s(t)$, pode ser escrita conforme mostram as equações 1, 2 e 3, (IRWIN, 2000):

$$v(t) = V \cos(\omega t) \quad (1)$$

$$i(t) = I \cos(\omega t - \theta) \quad (2)$$

$$s(t) = v(t) \cdot i(t) = VI \cos(\omega t) \cos(\omega t - \theta) \quad (3)$$

onde ω é a frequência natural e θ é o ângulo de fase entre a corrente e a tensão. Em circuitos nos quais há presença de reatâncias, a tensão e a corrente ficam defasadas uma da outra. Quando o circuito é puramente resistivo, o ângulo de fase θ entre os sinais é nulo. A figura 6 mostra um exemplo de defasagem entre as duas grandezas.

Os valores de V e I são os valores de amplitude máxima do sinal. No caso da tensão, o valor de V é de aproximadamente 180V, conforme o padrão residencial da maior parte das concessionárias de energia do Brasil. O valor máximo da corrente depende de quanto a carga sendo alimentada consome de energia.

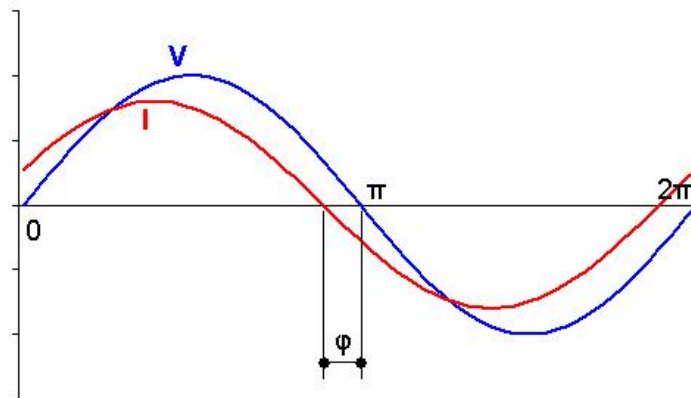


Figura 6: Senoides de tensão e corrente defasadas entre si

Fonte: (WIKIPEDIA, 2012a)

Através de relações trigonométricas e outras simplificações realizadas na equação 3, pode-se chegar na equação temporal para a potência, demonstrada na equação 4:

$$s(t) = \underbrace{\frac{VI}{2}\cos(\theta)}_{p(\theta)} + \underbrace{\frac{VI}{2}\cos(2\omega t - \theta)}_{q(t,\theta)} \quad (4)$$

Percebe-se que o primeiro termo, $p(\theta)$ não depende do tempo e tem valor constante, que corresponde ao valor médio de s , uma vez que no regime permanente θ não varia. Essa potência é aquela que realiza trabalho, é a potência real ou ativa, sendo sua unidade o W (watt).

O segundo termo depende do tempo e tem valor médio nulo. Essa potência não realiza trabalho, sendo chamada potência reativa e tem como unidade o VAr (voltampere-reativo). Por conclusão, define-se que a potência aparente é a soma da potência ativa, P , e a potência reativa, Q e é essa potência que é fornecida pela concessionária de energia. Essa soma pode ser escrita usando-se a forma complexa, na equação 5:

$$S = P + jQ \quad (5)$$

3.1.1 VALOR MÉDIO E VALOR EFICAZ

Para se calcular o valor médio de qualquer forma de onda, deve se integrar a função sobre um período, representado pela letra T , e dividir o resultado por tal período, conforme descrito em (IRWIN, 2000). A fórmula matemática desse cálculo é descrita pela equação 6.

$$X = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (6)$$

Como demonstrado na equação 4 o valor médio de $s(t)$ é igual à potência real. Isso porque Q não possui valor médio. Dessa forma, pode-se dizer que ao se calcular o valor médio de S , o resultado será igual a potência que realizou trabalho, i.e. a potência real P .

Valor eficaz ou RMS (*Root Mean Square*) mede a magnitude de energia média de um sinal de amplitudes variáveis. Em termos mais simples, é a quantidade de energia que o sinal possui. Seu cálculo é demonstrado na equação 7

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [x(t)^2] dt} \quad (7)$$

Como demonstrado em (TEIXEIRA, 2009), a relação entre a amplitude de uma senoide e o seu valor eficaz é de:

$$X_{rms} = \frac{X}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

Dessa forma pode-se alterar a parte concernente à potência real da equação 4 para a seguinte fórmula:

$$P = \frac{\sqrt{2}V_{rms}\sqrt{2}I_{rms}}{2} \cos(\theta) = V_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \cos(\theta) \quad (9)$$

Sabe-se também que a definição de potência aparente é a magnitude de toda energia fornecida para um sistema, i.e. a multiplicação do valor eficaz de tensão pelo valor eficaz de corrente (IRWIN, 2000).

$$S = V_{rms} \cdot I_{rms} \quad (10)$$

3.1.2 FATOR DE POTÊNCIA

À razão entre a potência real, i.e. aquela que realiza trabalho, e a potência aparente, i.e. a potência fornecida ao sistema, dá-se o nome de fator de potência. Esse número pode ter qualquer valor entre 0 e 1. Se o seu valor é nulo, o fluxo de energia é reativo, o que significa

que toda energia fornecida é devolvida à fonte em cada ciclo. Se o seu valor é 1, toda energia fornecida foi consumida pela carga (WIKIPEDIA, 2012a). A equação 11 demonstra a fórmula de cálculo do fator de potência

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{V_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \cos(\theta)}{V_{rms} \cdot I_{rms}} = \cos(\theta) \quad (11)$$

3.2 EQUAÇÕES NA FORMA DISCRETA

Uma vez que os dados analógicos são contínuos, é necessário amostrar os dados em uma dada frequência para então fazer cálculos de potência, fator de potência e valores eficazes. Isso torna a grandeza discreta, com amostras a cada certo período de tempo que representam o sinal. Dessa maneira, é necessário deduzir as mesmas fórmulas citadas na seção 3.1 para a forma discreta. Essas são as fórmulas realmente usadas durante os cálculos realizados pelo DOLEEP.

A equação para cálculo de valor eficaz no tempo discreto está descrita em (ATMEL, 2004) e é como segue:

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x[n]^2} \quad (12)$$

Da mesma maneira, a equação para cálculo de valor médio no tempo discreto pode ser deduzida partindo-se da equação 6, (ATMEL, 2004):

$$X = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \quad (13)$$

Para as duas equações anteriores, N é o número de amostras dentro de um período e n corresponde ao índice da amostra do sinal analógico.

Conforme explicado anteriormente, a potência real corresponde ao valor médio da potência aparente. E a potência aparente é a multiplicação da tensão pela corrente em um dado instante. Dessa maneira, pode-se encontrar o valor da potência real através da equação 13, calculando-se o valor médio da multiplicação das amostras de tensão e potência para um dado período. Sabendo-se também, por meio da equação 10, que a potência aparente é a multiplicação dos valores eficazes de tensão e corrente, pode-se calcular o valor RMS para essas duas grandezas durante um período e ao final do mesmo encontrar o valor de S por meio de uma multiplicação entre V_{rms} e I_{rms} . Ao obter o valor de P e de S é possível encontrar o valor

do fator de potência por meio de uma divisão entre essas duas grandezas, uma vez que essa é a razão entre a potência total e a potência real. Essa foi a abordagem escolhida para determinar o valor das grandezas envolvidas no projeto.

4 MÓDULO DE PROCESSAMENTO

O presente capítulo relata a escolha dos sensores usados para medição das grandezas, o funcionamento dos circuitos de tratamento dos sinais, as especificações do microcontrolador escolhido para calcular a potência e do módulo de RF (Rádio frequência) usado. A conexão dos módulos à STM32VL é ilustrada na figura 37, no apêndice deste documento.

4.1 ESCOLHA DO KIT DE DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento do módulo de medição e cálculo das grandezas foi utilizada a placa de desenvolvimento STM32 Value Line Discovery da STMicroelectronics, ilustrada na figura 7. Essa placa foi escolhida devido sua boa relação de custo benefício. Ela possui diversos periféricos, boa capacidade de processamento considerando-se a demanda do DOLEEP e um preço baixo comparado com outros kits pesquisados.

As especificações da STM32 VL Discovery são (STMICROELECTRONICS, 2011):

- Microcontrolador STM32F100RBT6B;
- Memória Flash de 128kB;
- Memória RAM (*Random Access Memory*) de 8kB;
- Alimentação por interface USB ou fonte externa de 5V;
- Módulo de RTC (*Real Time Clock*) integrado;
- 2 LEDs com funcionamento a ser configurado pelo programador;
- 2 chaves do tipo *push buttons*;
- Barramento de extensão para conexão com todos I/O (*Input/Output*) do processador;
- Dimensões: 84,6mm x 43,18mm.

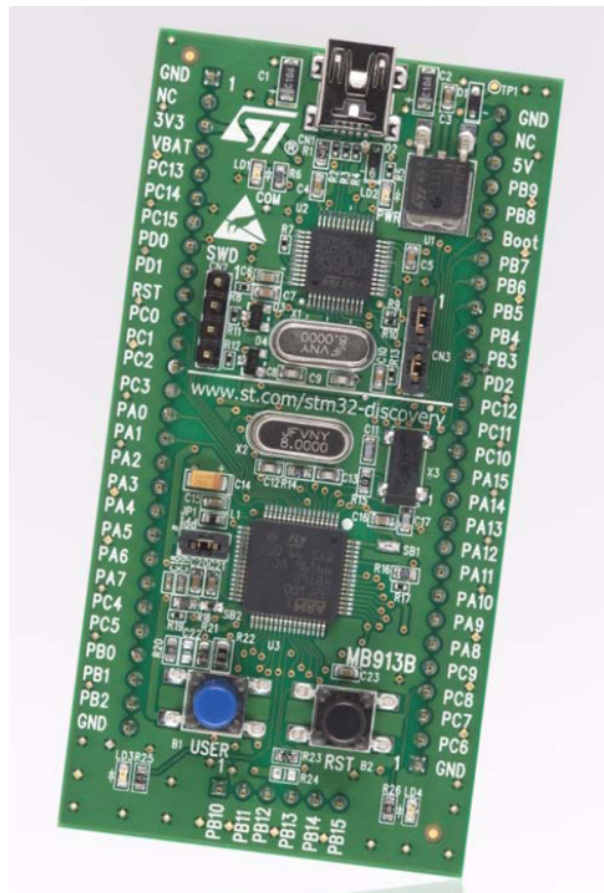


Figura 7: Placa STM32 value line Discovery

Fonte: (STMICROELECTRONICS, 2011)

4.1.1 MICROCONTROLADOR

O microcontrolador da STM32VL Discovery é o STM32F100RBT6B, da família SMT32F100. É baseado no ARM-Cortex M3 RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) de 32 bits. Seus principais periféricos são (STMICROELECTRONICS, 2012):

- 6 *timers* de uso geral;
- 2 interfaces de comunicação SPI (*Serial Peripheral Interface*);
- 2 interfaces de comunicação I^2C (*Inter-Integrated Circuit*);
- 3 interfaces de comunicação USART (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*);
- 1 ADC (*Analog to Digital Converter*) de 12 bits com 16 canais com tensão máxima de entrada de 3,3V;

- 2 DAC (*Digital to Analog Converter*) de 12 bits com 2 canais cada;
- 3 modos de gerenciamento de energia para baixo consumo;
- 1 controlador DMA (*Direct Memory Access*) com 7 canais;
- Frequência de operação de até 24MHz;
- 51 pinos de GPIO (*General Purpose Input/Output*).

Durante a realização do projeto, a maioria dos periféricos do processador foram importantes para se alcançar os resultados esperados e consolidar o trabalho, como por exemplo a comunicação USART. Todavia, para versão final do DOLEEP, alguns periféricos foram retirados pois não havia necessidade extrema de usá-los.

Duas características desempenharam um papel chave para a escolha desse processador. São elas: alta velocidade de processamento de sinais e o tamanho da memória RAM. Isso foi motivado porque era necessário encontrar um microcontrolador capaz de realizar uma rápida amostragem dos dados e que tivesse capacidade de armazenar diversos valores na memória volátil resultantes dos cálculos. A primeira escolha para esse módulo foi pelo kit MSP430 Launchpad da Texas Instruments. Parte do desenvolvimento do código fonte de aquisição e cálculo dos sinais foi feito sob essa plataforma. Com o andamento do projeto, viu-se que as especificações da Launchpad não seriam suficientes para acomodar todos os requisitos do DOLEEP. Assim, tomou-se a decisão de usar a STM32VL para o cálculo das grandezas, uma atividade mais crítica, e usar a Launchpad para o módulo de recepção, que terá suas funções expostas no capítulo 5. O número alto de pinos de GPIO da STM32VL também foi visto como uma vantagem, porque possibilitou a adição de outros módulos ao projeto, como o LCD.

Diante dos requerimentos e das características do STM32F100RBT6B, da experiência de programação em outro módulo mais econômico e limitado, viu-se que a escolha pela STM32VL Discovery e, mais especificamente, por esse *chip* era acertada.

4.2 MEDIÇÃO DA TENSÃO

Para medição da tensão pelo microcontrolador é necessário diminuir a tensão da rede para um nível que esteja dentro dos máximos e mínimos especificados pelo ADC, de modo a realizar a amostragem dos sinais sem danificar os componentes internos do microcontrolador. O tratamento do sinal deve considerar as características do sinal de entrada e as desejadas para o sinal de saída.

Entrada: sinal proveniente da rede com tensão alternada, com pico em aproximadamente 180V. Tensão eficaz com valor de 127V e frequência de 60Hz.

Saída: sinal a ser medido pelo microcontrolador. Deve ser de corrente contínua com tensão de pico máxima em 3,3V e frequência de 60Hz.

A figura 8 ilustra a maneira como o circuito analógico foi conectado e sobre quais grandezas as medições são feitas.

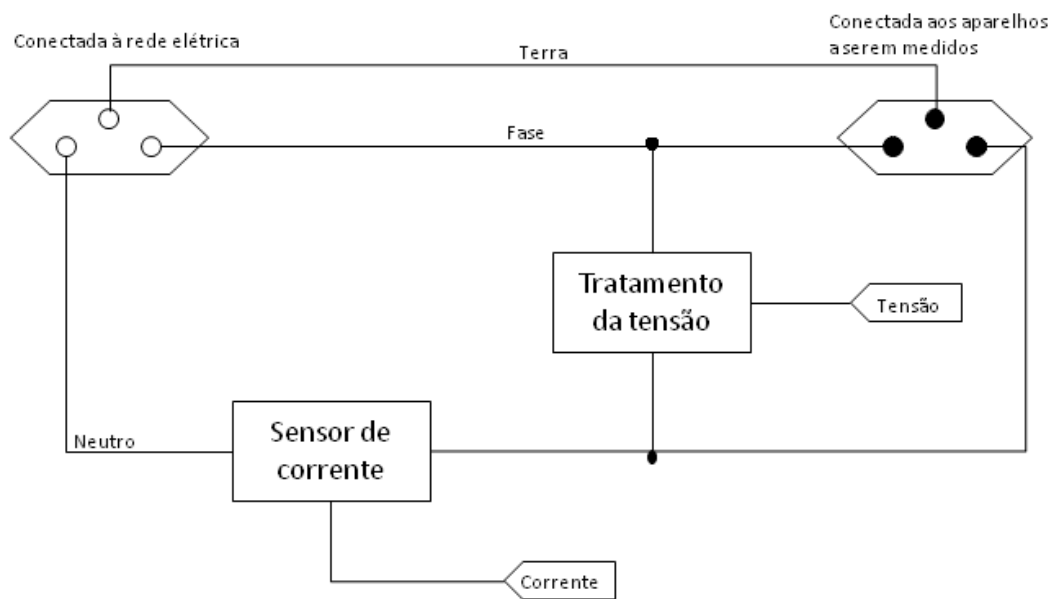


Figura 8: Esquema de ligação do circuito

Fonte: Autoria própria

Como o sistema deverá alimentar a placa de desenvolvimento, escolheu-se a alternativa de reduzir a tensão por meio de um transformador. Outras alternativas seriam usar um divisor resistivo ou um fotoacoplador mas nenhuma delas mostrou-se viável. O divisor resistivo forneceria uma corrente de alimentação muito baixa, uma vez que os resistores seriam de valores altos para que não se dissipasse uma alta potência no circuito de medição. Outra motivação para a desistência dessa opção foi a falta de segurança, pois não há isolamento entre a alta tensão da rede e o microcontrolador. A opção por fotoacopladores resolve a questão de isolamento, mas da mesma maneira pode não fornecer a quantidade suficiente de corrente para alimentar a placa de desenvolvimento. A corrente máxima que o transformador escolhido pode fornecer é de 2A, que se mostrou ser o suficiente. A maneira como a alimentação foi realizada será tratada na seção 4.4.

Após passar pelo transformador a tensão CA ainda deve ser reduzida e uma tensão contínua positiva deve ser adicionada ao sinal para anular sua componente negativa, tornando-o um sinal de corrente contínua. Para diminuir a tensão foi montado um divisor resistivo. Após a redução tem-se uma tensão CA de 1,4V de pico, aproximadamente.

Para o microcontrolador ter a possibilidade de amostrar o ciclo inteiro da tensão é necessário eliminar qualquer valor negativo do sinal, devido a especificação do ADC. A maneira de fazer isso é adicionar uma tensão contínua positiva, também chamada de tensão de *offset*, de modo a elevar a porção negativa do sinal para um valor acima de zero. A tensão de *offset* deve ser, no mínimo, igual ao valor de pico da tensão negativa, de modo a posicionar esse valor mínimo em zero, e, por consequência, o valor máximo na tensão igual ao valor de pico positivo anterior somado à tensão de *offset*. Para se chegar a essa tensão usou-se um divisor resistivo aplicado ao sinal de alimentação da placa do microcontrolador, i.e. 5V. Todos os sinais, após passarem por uma etapa de tratamento, foram isolados por meio de um amplificador operacional em montagem seguidor de tensão, ou *buffer*. Através desses *buffers* garante-se que nenhuma etapa irá interferir em outra subsequente. O CI (Circuito Integrado) usado para esse propósito foi o LM324N, com seu diagrama de conexões ilustrado na figura 9. Ele possui quatro canais de amp-ops que são alimentados simetricamente por -5V e +5V.

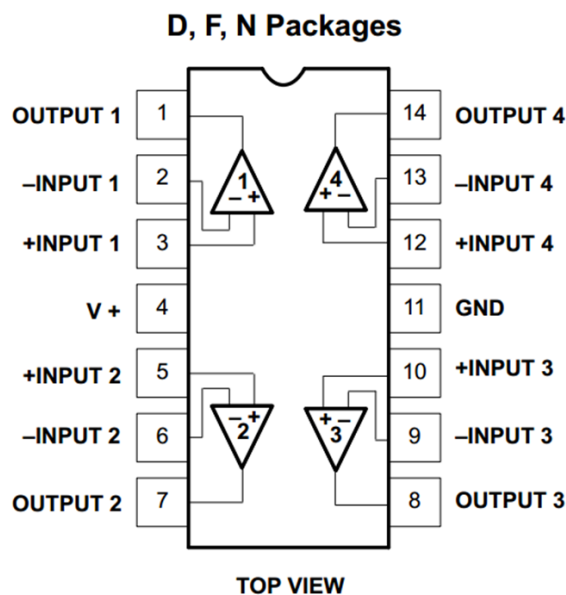


Figura 9: Esquema do LM324N

Fonte: (PHILIPS SEMICONDUCTORS, 1995)

Para adicionar a tensão CA de 1,4V e a tensão de *offset* de aproximadamente 1,4V CC foi usada a montagem do somador inversor usando-se um dos canais do LM324N. A figura

10 ilustra a montagem para quatro sinais de entrada. No caso do circuito sendo desenvolvido apenas dois sinais foram somados.

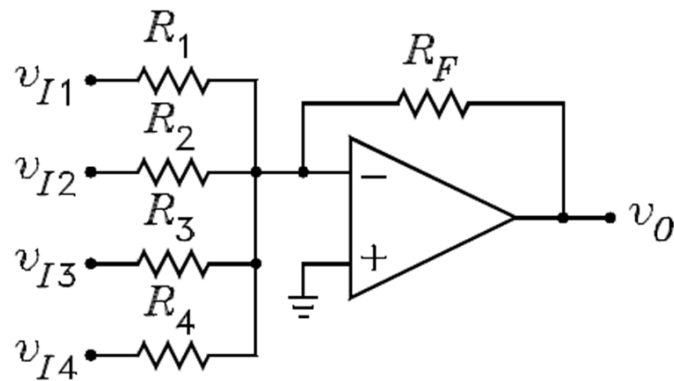


Figura 10: Amplificador somador inversor para quatro entradas

Fonte: (LEACH, 2003)

A função de transformação desse sistema é demonstrada na equação 14, onde N é o número de sinais a serem somados, R_F é resistor de *feedback*, ou realimentação, e R_n são os resistores de entrada. Uma dedução da equação usando-se o princípio de superposição pode ser encontrada em (LEACH, 2003).

$$\sum_{n=1}^N -\frac{R_F}{R_n} v_{In} \quad (14)$$

Como resistores de entrada (R_1 e R_2) e R_F foram escolhidos resistores de $1k\Omega$. No caso específico dos resistores de entrada e de realimentação terem o mesmo valor, a tensão de saída pode ser definida como a soma invertida dos sinais de entrada. O resultado temporário é uma senoide inteiramente negativa que varia de $0V$ a $-2,8V$, aproximadamente. Usando-se mais um circuito básico de amplificadores operacionais é possível inverter esse sinal. Essa montagem, conhecida como amplificador inversor, é ilustrada na figura 11. O amplificador inversor tem sua entrada positiva conectada ao terra e a entrada negativa recebe o sinal. Dessa forma o seu ganho é negativo, significando que se na entrada o sinal decresce de 0 até $-2,8V$, na saída o sinal cresce de 0 a $2,8V$, caso o ganho escolhido seja unitário.

A equação que descreve a relação entre a tensão de saída e a tensão de entrada é a razão negativa entre R_F e R_1 . Se os dois resistores são iguais, como foi escolhido, o amplificador tem ganho unitário.

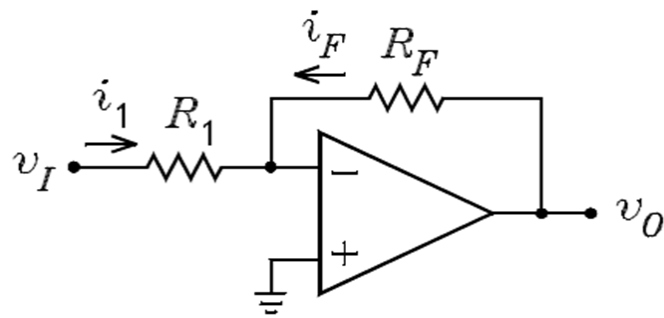


Figura 11: Amplificador inversor

Fonte: (LEACH, 2003)

O resultado desse circuito de tratamento é ilustrado na figura 12. Em laranja, no canal 1, tem-se a tensão CA de saída do transformador e o sinal tratado a ser amostrado pelo microcontrolador está em azul, no canal 2. Destacadas à direita do gráfico, estão as suas medidas de mínimo e máximo de amplitude, que vão de 0,36V a aproximadamente 2,8V, conforme especificado no início do projeto. A frequência do sinal não foi alterada por esse tratamento.

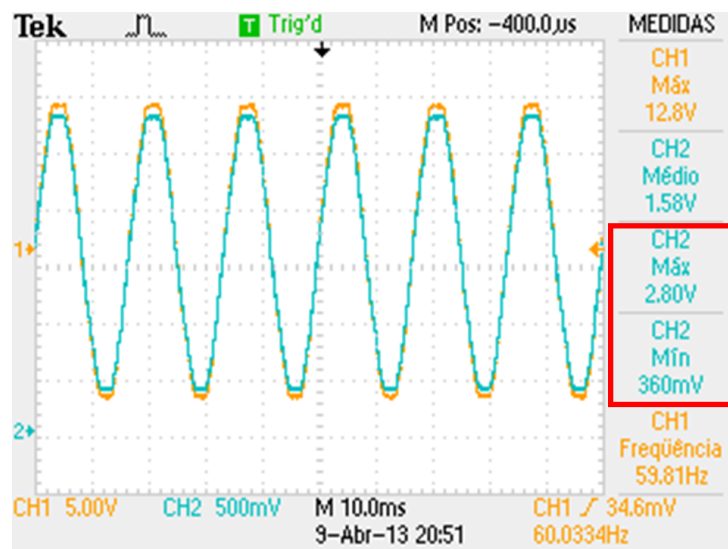


Figura 12: Comparação do sinal de entrada com o sinal de saída

Fonte: Autoria própria

Antes da energia da rede ir para as tomadas do DOLEEP há uma chave de dois estados para ligar e desligar o produto além de um fusível de 6,7A para garantir a proteção contra sobrecorrente proveniente da rede, o que poderia causar danos ao aparelho.

O esquemático do circuito de tratamento do sinal de tensão pode ser encontrado no Apêndice, na figura 36.

4.3 MEDIÇÃO DA CORRENTE

Há diversos modos de medir corrente elétrica. A seguir são listados quatro deles. Mais detalhes sobre o funcionamento de cada um e suas vantagens e desvantagens podem ser encontrados em (TEIXEIRA, 2009).

- Resistor *Shunt*;
- Transformador de corrente;
- Bobina de Rogowski;
- Sensor de efeito Hall.

Para este trabalho foi escolhido o método do sensor de efeito Hall. Esse efeito, ou fenômeno, pode ser descrito da seguinte forma: quando um condutor de energia tem uma corrente I passando por si, é gerado um campo magnético B perpendicular à corrente I . Da mesma forma um campo elétrico E ortogonal a I e B é induzido (MILLMAN; HALKIAS, 1972). Por consequência do campo elétrico E , surge um potencial de superfície V , que pode ser medido e usado como referencial para medição do campo magnético e as outras grandezas envolvidas no processo.

O sensor usado no DOLEEP é o ACS712 fabricado pela Allegro Microsystems. É um sensor de corrente baseado no efeito Hall e seu funcionamento pode ser descrito da seguinte maneira: Por entre o encapsulamento do CI, passa a corrente a ser medida. O campo magnético gerado em função da corrente é medido e o sensor fornece como saída do sistema uma tensão proporcional ao campo.

Há três modalidades desse CI que diferem entre si pela corrente máxima que pode ser medida: 5A, 20A e 30A. Para este trabalho está sendo usado o sensor de 20A. A escolha desse sensor definiu o limite de potência ativa máxima que pode ser medida pelo DOLEEP que é de 2540W. Essa limitação pode ser alterada se o sensor de corrente for trocado por outro com uma maior capacidade de medição. A seguir são enumeradas algumas características do sensor para 20A, encontradas em (ALLEGRO MICROSYSTEMS, 2005):

- Alimentação única de uma tensão positiva;

- Erro de saída total de $\pm 1,5\%$;
- Tempo de resposta a um impulso de corrente de $5\mu s$;
- Sensor sensível a correntes CA e CC;
- Sensibilidade de 66 a 185mV/A, dependendo da tensão de alimentação;
- Saída proporcional à tensão de alimentação.

A ausência de corrente fluindo pelo caminho de cobre do sensor implica uma tensão de saída igual à metade do valor da tensão de alimentação. Um exemplo de gráfico que mostra a relação da tensão de saída e a corrente medida para uma tensão alimentação de 5V e sensor de 20A é apresentado na figura 13.

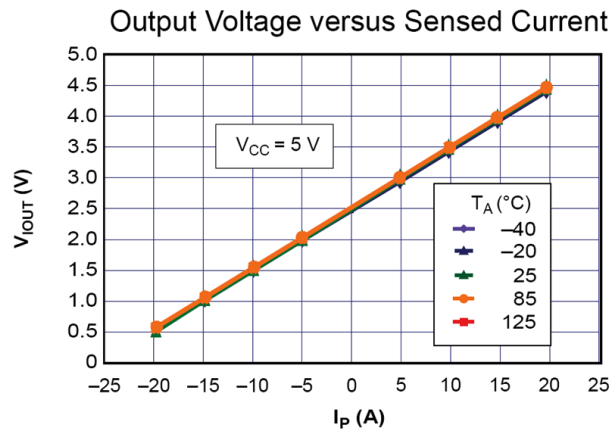


Figura 13: Gráfico de tensão de saída pela corrente medida do ACS712 - 20A

Fonte: (ALLEGRO MICROSYSTEMS, 2005)

Havia uma indecisão entre esse método e o uso de um resistor *Shunt*. As características que motivaram a escolha por esse CI em detrimento da outra opção foram:

1. A resistência interna do caminho condutivo da corrente é de $1m\Omega$, acarretando uma dissipação de de potência menor no processo de medição;
2. A medição não é invasiva. Não há nenhum circuito para medição de corrente entre a alimentação da rede para a tomada da carga. A única necessidade é a de que o caminho pelo qual a corrente circula passe pelo sensor, de modo que o mesmo consiga medir o campo magnético induzido.

Optou-se por usar uma placa de desenvolvimento já manufaturada com o circuito auxiliar para o ACS712. A figura 14 ilustra a placa utilizada. Nela, o caminho da corrente é conectado por meio dos bornes verde-claro.



Figura 14: Placa de desenvolvimento do ACS712

Fonte: (ALLEGRO MICROSYSTEMS, 2005)

4.4 ALIMENTAÇÃO DOS CIRCUITOS

A alimentação dos circuitos é feita por meio de um circuito projetado para retificar a tensão CA proveniente do transformador. Para isso, foi projetada uma ponte de resistores para retificação completa. Após passar pela ponte e pelos capacitores para diminuição do *ripple* a tensão passa pelos reguladores de tensão. Foram usados o L7905, que fornece como saída -5V e até 1,5A de corrente, e o L7805, com saída de 5V positivos e até 1A de corrente. A necessidade de uma alimentação simétrica foi motivada pela necessidade de tratar o sinal negativo proveniente do transformador para adaptá-lo à entrada requerida pelo ADC.

A figura 35 presente no apêndice deste relatório ilustra o esquemático do sistema de alimentação do DOLEEP.

4.5 FIRMWARE

O objetivo desta seção é detalhar os principais pontos do código fonte do DOLEEP. Ele é responsável pela aquisição dos sinais de tensão e corrente provenientes da rede, e após

processá-los, enviar via RF as informações do consumo obtidas e, por fim, disponibilizar os dados essenciais do produto via LCD integrado ao módulo.

Cada funcionalidade do processamento foi implementada separadamente buscando a melhor estruturação do código e facilidade para possíveis ajustes de *firmware*. Assim, o *firmware* ficou dividido em seis módulos, os quais serão tratados na sessão subsequente:

- Interface UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*);
- Calibração;
- Cálculos intermediários;
- Cálculos finais;
- Comunicação por RF;
- Interface homem-máquina.

4.5.1 INTERFACE UART

Uma vez que o usuário final possui os dados processados apresentados por meio da interface homem-máquina ou por meio de computador conectado ao módulo receptor, somado ao fato de novos computadores dificilmente possuírem interface serial RS-232, optou-se por utilizar a comunicação UART exclusivamente para verificação das funções do código durante o estágio de desenvolvimento do produto.

Uma interface de comunicação direta com o microcontrolador é fundamental neste tipo de projeto, já que o volume de dados amostrados por segundo é significativo (no mínimo 4000 amostras de cada sinal por segundo). Com o auxílio desta interface, foi possível visualizar todos os dados provenientes dos canais do ADC para montar gráficos no Microsoft Excel e processar as informações de tensão e corrente, validando os cálculos realizados pelo microcontrolador. A figura 16 ilustra um gráfico com as amostras coletadas de uma medição realizada no início dos testes para calibração.

4.5.2 CALIBRAÇÃO

Ponto crítico do projeto, este módulo do *firmware* foi desenvolvido para adequar os parâmetros mensurados ao que realmente deveria estar sendo medido, ou seja, eliminar o erro

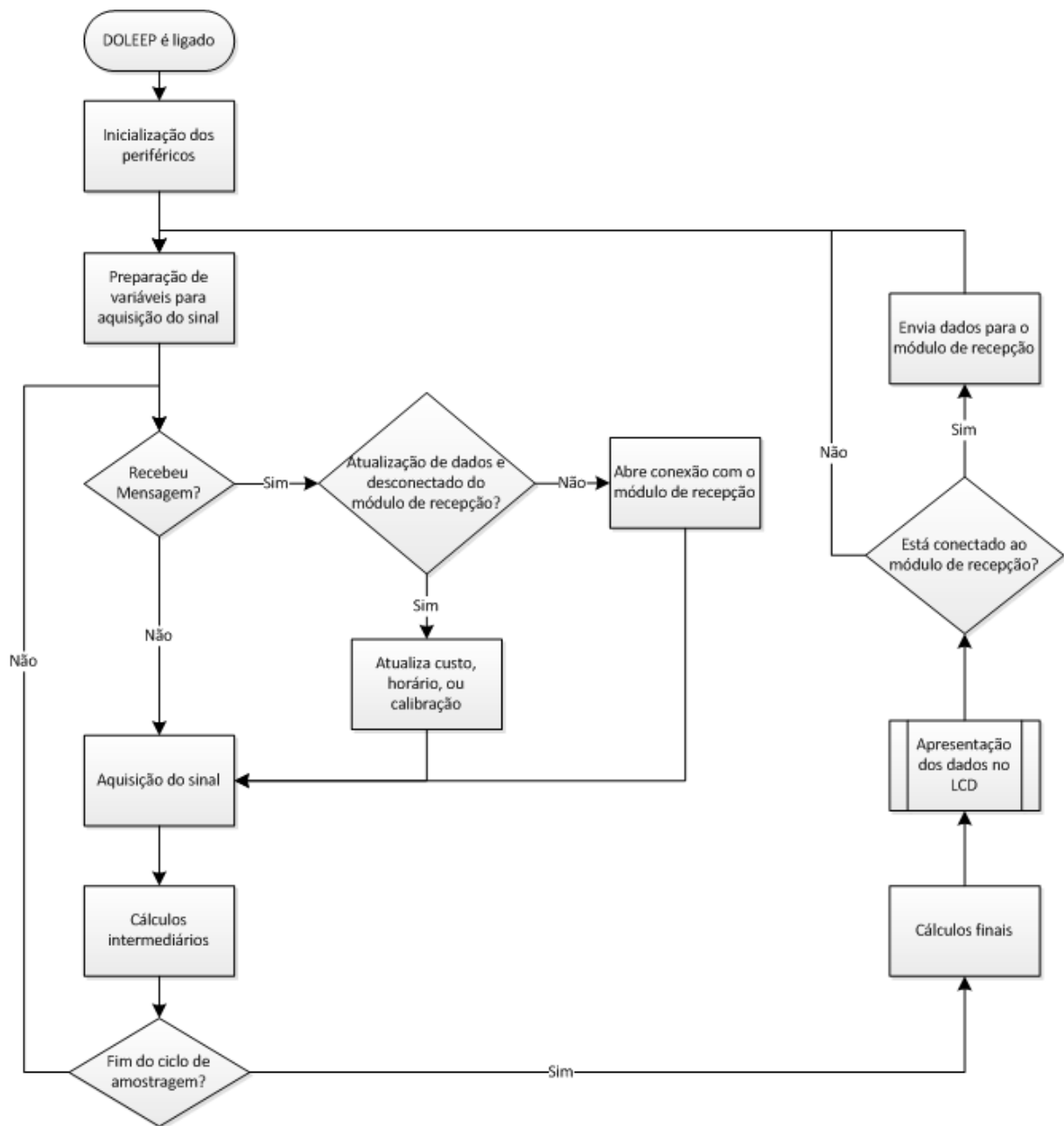


Figura 15: Fluxograma do *firmware* de processamento dos sinais

Fonte: Autoria própria

sistemático proveniente do *hardware* de aquisição, do sensor de efeito Hall e dos próprios ADCs.

O microcontrolador STM32F100B possui um registrador que habilita um processo interno de calibração de seus ADCs. Este processo consiste em reduzir significativamente os erros gerados devido à variação dos bancos de capacitores internos do conversor e é aconselhado, pelo fabricante, ser realizado toda vez que o microcontrolador for ligado (STMICROELECTRONICS, 2012).

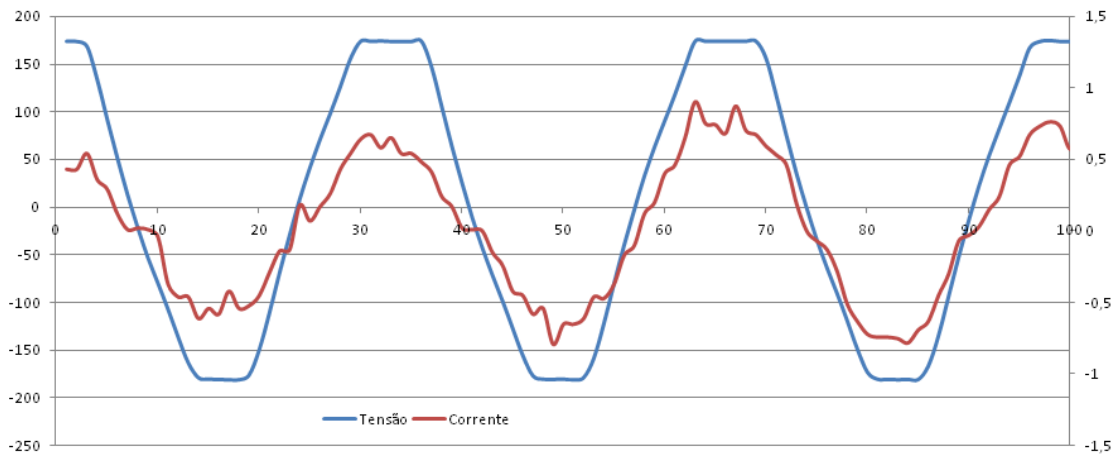


Figura 16: Exemplo de gráfico gerado a partir dos dados enviados pela UART

Fonte: Autoria própria

Entretanto, os ADCs do microcontrolador não são a única fonte de erros. O circuito para aquisição da tensão da rede consiste, basicamente, de um divisor resistivo ligado a um circuito somador (a outra tensão utilizada no somador também é obtida através de um divisor resistivo). Ainda que fossem utilizados resistores de precisão, uma pequena variação em uma das resistências do seu valor nominal altera a forma como esses sinais são amplificados, devido a diferença, mesmo que mínima, da corrente que flui para o amp-op de cada sinal compondo o circuito de amplificação. A tensão final sofre influências diretas dessas variações. Então, a abordagem de utilizar constantes predefinidas para a conversão do valor digital obtido pelo ADC em valor real de tensão não é válida. Para contornar esse problema, foi desenvolvida uma lógica de calibração do circuito de aquisição.

A calibração deve ser realizada conectando-se o DOLEEP a uma tomada que, garantidamente, forneça uma tensão de 360V pico-a-pico (valores de pico iguais a 180V e -180V). O processo é iniciado quando o módulo de processamento recebe uma mensagem de solicitação enviada via RF pela aplicação gráfica.

Em um primeiro momento, são separadas as maiores e menores amostras das quais é realizada uma média para definir os valores máximos e mínimos amostrados em valor de ADC (de 0 a 4095). A partir desses valores são calculados dois coeficientes lineares, *offset* e fundo de escala. O *offset* se refere a constante que será subtraída de todas as amostras para que se tenha, em teoria, o valor mínimo igual a zero. O fundo de escala é a constante referente a subtração do *offset* do valor máximo médio amostrado. Assim, é criada uma escala de zero à fundo de escala. Os dois coeficientes encontrados são gravados na memória *flash* do microcontrolador e posteriormente utilizados para realizar uma transformação linear de todos os outros valores

medidos para dentro dessa escala.

A transformação linear é realizada da seguinte maneira: subtrai-se o valor de *offset* da amostra, divide-se pelo valor de fundo de escala, e então multiplica-se pela constante proporcional ao valor de tensão pico-a-pico da rede elétrica, uma vez que temos nossa senoide inteiramente positiva na escala criada. Então, se subtrai o valor de pico da tensão da rede, i.e. idealmente 180V, e o sinal é transladado para a origem, com valor médio nulo.

A medição de corrente, que utiliza como transdutor o sensor de efeito Hall ACS712 e é amostrada pelos ADCs do microcontrolador, também necessita passar por um processo de calibração. Como o sensor de efeito Hall utiliza sua tensão de alimentação como tensão de referência para o zero de escala, pequenas variações na alimentação variam, também, o zero de leitura. Para o caso do DOLEEP estar ligado mas não existir nenhuma carga consumindo energia, o sensor estará indicando uma corrente RMS, uma vez que é utilizada a soma dos quadrados das correntes instantâneas para o cálculo da mesma. Em poucas amostras esse resultado não é observado, mas como em cada ciclo de amostragem (0,5s) são adquiridas 2000 amostras, o resultado é significativo.

A calibração de corrente utiliza um processo semelhante ao de tensão diferindo que, nesse caso, o valor de interesse a ser encontrado é o zero de corrente. Deve-se ligar o dispositivo sem uma carga presente na sua tomada. Como não há carga consumindo potência, não há circulação de corrente. Então é realizada uma média móvel dos valores amostrados de corrente. Esta média móvel resultará no valor médio da escala que, em teoria, é igual a 0A. Os fundos de escala, em tensão de saída, do ACS712 são definidos como o zero de corrente menos 80% deste valor e o zero de corrente mais 80% deste valor, ou seja, respectivamente iguais a 10% e 90% do valor da tensão de alimentação, de acordo com a figura 13. Os valores de máximo e mínimo de corrente, em termos de ADC, são encontrados da mesma maneira descrita anteriormente para a calibração da tensão. Do valor máximo calculado, subtrai-se o valor de mínimo, obtendo-se o fundo de escala. Para valores de corrente finais, multiplica-se a escala por 40A, i.e. valor de pico-a-pico do ACS712, e se subtrai o *offset* de 20A, i.e. valor de pico.

4.5.3 CÁLCULOS INTERMEDIÁRIOS

Conforme descrito no capítulo , o trabalho foi dividido em diversas etapas, realizadas de modo independente. Por isso, a concepção e implementação dos cálculos partiu do ponto que os sinais de entrada usados são, na medida do possível, isentos de erros. O processo de cálculo intermediário, i.e. o fluxo do programa que ocorre após cada amostragem dos sinais, consiste na leitura dos valores dos ADCs armazenados na memória por meio da DMA, na sua

conversão para as escalas reais e no cálculo da soma da potência instantânea e dos quadrados da tensão e corrente. Uma vez que todas as amostras que compõe um ciclo, arbitrado em 500ms, são adquiridas, o fluxo do programa segue para a última etapa, os cálculos finais.

4.5.3.1 *Analog to Digital Converter*

Os ADCs da STM32VL Discovery possuem 12 bits de resolução e convertem sinais analógicos para digitais através de aproximações sucessivas. Esse periférico possui 16 canais multiplexados que podem ser usados em diversos modos de operação: *single*, *continuous*, *scan* ou *discontinuous mode*. Algumas características do ADC são:

- Geração de interrupção ao final da conversão;
- Auto calibração;
- Alinhamento de dados customizável;
- Programação do tempo de amostragem definida por canal;
- Geração de pedido à DMA durante conversão do sinal.

O modo usado nesse projeto foi o *Scan*. Esse modo é utilizado quando se deseja ativar um grupo de canais que irão converter os sinais analógicos respectivos na ordem escolhida no código. Após um ciclo de conversões para a lista dos canais habilitados, um sinal é enviado à DMA que transfere os dados convertidos pelo grupo de canais para a memória RAM.

Foram utilizados dois canais para o DOLEEP. São eles:

1. Canal 10 - Amostra o sinal de tensão tratado pelo circuito de aquisição;
2. Canal 15 - Amostra o sinal de corrente proveniente do ACS712.

A frequência de amostragem escolhida para o DOLEEP é de 4kHz. O ciclo de cálculos é de 500ms, o que resulta em cálculos de 2000 amostras por cada ciclo de envio de informação à aplicação remota.

4.5.3.2 *Direct Memory Access*

O DMA é um método de acesso à memória usado quando se deseja uma transferência de alta velocidade entre periféricos e memória ou mesmo entre memórias. Os dados podem

ser movidos por meio desse sistema sem interferência da CPU, algo muito vantajoso para um sistema que necessita deixar a CPU livre para realizar outras ações enquanto as transferências de dados são realizadas.

O modo de funcionamento da DMA utilizado foi o circular. Nesse modo a ordem pela qual os dados são colocados no *buffer* é uma fila circular de tamanho previamente estabelecido. Uma vez chegado o fim do *buffer*, o controlador DMA começa a sobrescrever os dados no início do vetor com as amostras anteriores.

4.5.4 CÁLCULOS FINAIS

Ao fim do ciclo de amostragem, a soma das potências instantâneas e dos quadrados de tensão e corrente, encontrados durante os cálculos intermediários são usados para se chegar aos valores finais das grandezas medidas. São elas: tensão e corrente RMS, potência real, potência aparente, fator de potência, energia consumida e custo da energia. É também neste módulo que o envio da mensagem por RF e a atualização dos dados no LCD são realizados. Ao fim de todo o processamento e envio de mensagens, o módulo de cálculos intermediários volta a ser executado para um novo ciclo de aquisição dos sinais ou para mais uma rodada de calibrações, caso uma mensagem requisitando essa ação seja enviada pelo usuário por meio da aplicação gráfica no computador pessoal.

4.5.4.1 *Real Time Clock*

O RTC é um *timer* independente que fornece um conjunto de modos de marcação contínua do tempo. Usando-se as funções apropriadas, é possível usar os valores dos contadores do RTC para se fornecer a data e horário do sistema. Na STM32VL Discovery, o registrador contador do RTC possui 32bits, o que garante uma contagem de aproximadamente 138 anos, se um *tick* do contador representar um segundo. Para garantir que a contagem continuará a ser realizada após o DOLEEP ser desligado, instalou-se uma bateria de 3,3V na placa do circuito.

A marcação do tempo para o DOLEEP é feita da seguinte forma: Os dados repassados pelo RTC para a STM32VL são a contagem dos segundos desde que o RTC foi ligado. Para evitar a escrita de um código de interpretação dos segundos em data na STM32VL, foi criada uma interface com a aplicação gráfica, na qual o usuário pode enviar a data atual para o módulo de processamento e este coloca essa data, contada em segundos, como valor para o RTC incrementar a cada segundo.

Quando a aplicação recebe o valor da contagem de segundos do RTC, ela o interpreta

por meio do padrão internacional UTC (*Universal Time Coordinate*). A valor zero para o UTC foi 1º de Janeiro de 1970, chamado de *Unix epoch*.

4.5.5 COMUNICAÇÃO RF

O kit de RF usado foi o nRF24L01, da Nordic Semiconductor. Ele é um *transceiver*, i.e. pode ser configurado tanto como um receptor, um transmissor, ou mesmo os dois. É projetado para operar em 2,4GHz sendo essa uma frequência que está dentro de uma das bandas de frequência conhecidas como bandas ISM (*Industrial, Scientific, Medical*). Algumas características do kit são apresentadas a seguir e a lista completa das especificações pode ser encontrada em (NORDIC SEMICONDUCTOR, 2007).

- Modulação GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*);
- Pinos comuns de transmissão e recepção;
- 126 canais de RF;
- Potência de transmissão programável para 0, -6, -12 ou -18dBm;
- Tamanho do *payload* dinâmico entre 1 Byte a 32 Bytes. *Payload* é o termo usado para se referir à quantidade de dados de informação útil que podem ser enviados pelo RF, excluindo-se os dados complementares, como cabeçalhos, que são enviados para uma recepção bem sucedida;
- Tensão de alimentação entre 1,9V a 3,6V;
- Pinos de entrada com tensão máxima de 5V;
- Corrente de $22\mu\text{A}$ usada no modo *Standby-I*. No modo *powerdown* essa corrente baixa para apenas 900nA;
- Acesso aos registradores por meio de comunicação SPI de 4 pinos.

A figura 17 ilustra o módulo de RF usado no projeto.

A seguir tem-se uma explicação sobre o protocolo de comunicação SPI, usado para criar a interface entre o RF e a STM32VL Discovery.

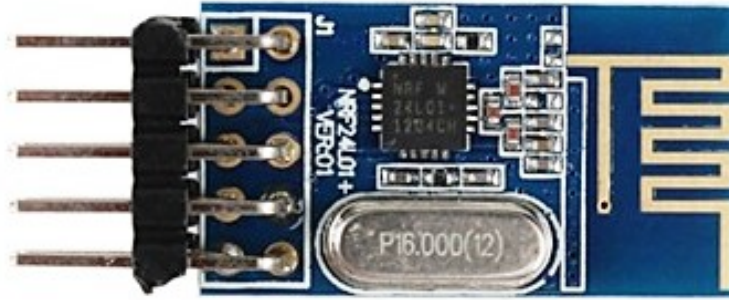


Figura 17: Módulo de RF nRF24L01

Fonte: (NORDIC SEMICONDUCTOR, 2007)

4.5.5.1 SPI

O protocolo de comunicação SPI, criado pela Motorola, é frequentemente usado quando se deseja realizar uma comunicação rápida entre dois ou mais dispositivos mas não há muitos pinos de I/O à disposição. Sempre são definidos o dispositivo mestre os dispositivos escravos (MICROCHIP, 2012).

Esse é um protocolo síncrono, o que significa que os dados são transmitidos de acordo com um sinal de *clock* responsável por sincronizar a comunicação. O uso de *clock* para sincronizar os dados pode ser vantajoso principalmente para dispositivos que não possuem um *clock* muito preciso. Nesse caso, a taxa de de troca de dados pode flutuar com o *clock* sem que haja uma quebra na comunicação. O dispositivo responsável por prover esse sinal é o mestre sendo que aos escravos não é permitida a manipulação do mesmo. A troca de de dados só é iniciada quando há um sinal de *clock* na sua respectiva linha. Os quatro sinais do protocolo são (WIKIPEDIA, 2012c):

SS - *Chip Select* ou *Slave Select*: Quando esse sinal tem o valor lógico de 0, o escravo que o recebeu será selecionado e ouvirá os sinais de clock e de dados;

SCK - *Serial Clock*: Sinal usado para a sincronização da comunicação. Controla quando os dados são enviados e quando são lidos;

SDO - *Serial Data Output*: Esse sinal leva os dados que estão saindo do dispositivo. Também é ser chamado de MOSI: *Master Output, Slave Input*;

SDI - *Serial Data Input*: Da mesma forma que o SDO, esse sinal carrega os dados que estão entrando no dispositivo. Também é chamado de MISO: *Master Input, Slave Output*.

A figura 18 apresenta a conexão dos pinos usados na comunicação SPI entre um mestre e três escravos. SSPSR é o *shift register* para o módulo da SPI. É responsável por receber/enviar os dados para o iniciar/concluir a troca de informação. Quando um *byte* de dados é trocado, ele é copiado para o SSPBUF, que é o *serial buffer*. Uma vez ali, o dado está pronto para ser usado pela aplicação.

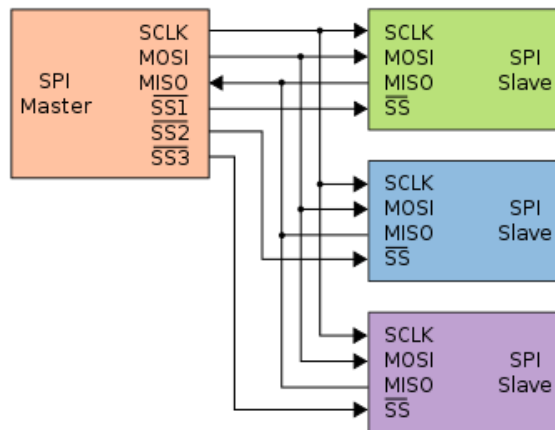


Figura 18: Esquema de ligação para interface SPI

Fonte: (WIKIPEDIA, 2012c)

No caso de haver mais de um escravo conectado ao mestre, o sinal SS é usado de modo a selecionar qual dispositivo irá se comunicar com o mestre. Isso permite criar uma conexão com diversos dispositivos de modo mais simples. No caso de apenas um escravo ser usado, é possível fixar o valor de SS em zero e dessa forma economizar um pino de I/O na comunicação.

Para iniciar uma transmissão de dados, o mestre deve configurar o *clock* que será usado durante a comunicação. Após isso ele transmite um zero lógico para o escravo que se deseja criar uma comunicação. Ao escravo receber esse zero, ele passa a “ouvir” o *clock* e as instruções enviadas pelo mestre. A cada ciclo de *clock* uma transmissão *full duplex* ocorre:

- O mestre envia dados pela linha SDO. O escravo os lê pela mesma linha;
- O escravo envia dados pela linha SDI. O mestre os lê pela mesma linha.

É importante notar que o protocolo SPI envolve uma troca de dados. Por esse motivo o mestre deve ler a resposta do escravo, mesmo que não a use dentro do seu programa. Uma vez que os bits dos dados são completamente enviados, o *buffer* de entrada no escravo fica disponível para ser usado pela aplicação e a troca de informação termina.

4.5.6 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA



Figura 19: LCD 16x2 usado no DOLEEP

Fonte: Autoria própria

A interface homem máquina se refere ao LCD de 32 posições (2x16) anexo ao módulo de processamento, ilustrado na figura 19. Neste *display* são apresentadas informações básicas sobre o consumo de energia, tais como potência real instantânea sendo consumida, o acumulativo da energia consumida desde que o aparelho iniciou a medição (em kWh) e total a pagar de acordo com a tarifação da concessionária de energia.

5 RECEPÇÃO E APRESENTAÇÃO DOS DADOS

Este capítulo visa documentar o módulo receptor, composto por um microcontrolador e um módulo RF, e a aplicação que recebe os dados do receptor conectado a uma porta USB de um computador pessoal e os apresenta em forma de gráficos.

5.1 MÓDULO DE RECEPÇÃO

O módulo de recepção é um dispositivo eletrônico que permite a transferência de dados do módulo de processamento para o computador. Este dispositivo consiste de um microcontrolador que realiza a leitura dos dados recebido pelo receptor de RF e os transmite através de uma interface de comunicação USB conectada ao computador no qual a aplicação gráfica está instalada. Esta seção irá descrever as especificações e a implementação do módulo de recepção e está dividida em 3 subseções:

- Placa de desenvolvimento MSP430 Launchpad;
- Microcontrolador MSP430G2553;
- Recepção dos dados.

5.1.1 PLACA DE DESENVOLVIMENTO MSP430 LAUNCHPAD

Para o desenvolvimento do módulo de conexão sem fio, responsável por receber as informações do módulo de processamento e transmiti-las para o computador, foi utilizado o kit de desenvolvimento MSP430 LaunchPad da Texas Instruments, ilustrado na figura 20. A escolha deste kit foi feita baseada na possibilidade da interface de comunicação serial (SPI e UART) para receber os dados provenientes da comunicação sem fio e transmiti-los através do cabo USB para o computador em uma plataforma de desenvolvimento de baixo custo, pequenas dimensões, baixo consumo de energia e com possibilidade de depuração do código em tempo real, resultando em facilidade para o desenvolvimento da aplicação final.

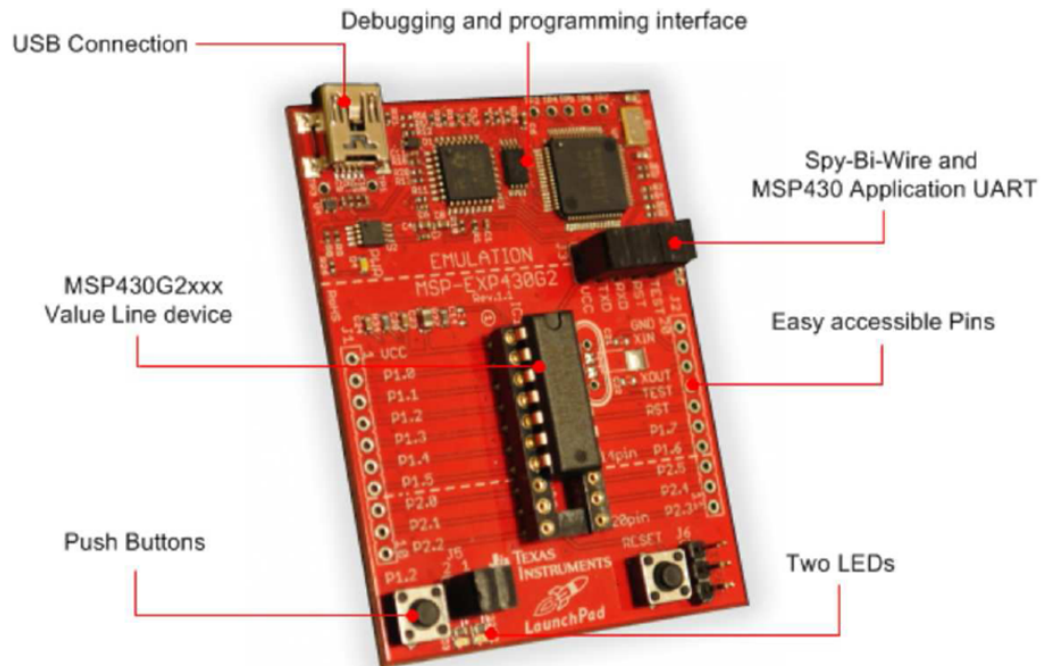


Figura 20: Kit de desenvolvimento MSP430 Launchpad

Fonte: (TEXAS INSTRUMENTS, 2012)

A plataforma de desenvolvimento MSP430 LaunchPad possui as seguintes características, conforme descrito em (TEXAS INSTRUMENTS, 2012):

- Interface de programação e depuração através da interface USB sem a necessidade de instalação de *driver* e comunicação serial UART por *Software* de até 9600 bits/s;
- Suporta todos os processadores das linhas MSP430G2xx e MSP430F20xx;
- Dois pinos de GPIO conectados à LEDs para indicação visual;
- Dois *push buttons*;
- Soquete DIP de 20 pinos para fácil conexão ou remoção do processador a ser utilizado;
- Tensão de alimentação de 5V via USB.

Como já destacado, esse kit foi a primeira opção para realizar toda parte de processamento de sinais do DOLEEP. Com o passar do tempo, viu-se que suas características

seriam insuficientes para as necessidades do produto, mas não impedem o uso do mesmo nesse outro módulo.

5.1.2 MICROCONTROLADOR MSP430G2553

A arquitetura da família de microcontroladores MSP430 da Texas Instruments é otimizada para garantir um baixo consumo de energia, possuindo cinco modos diferentes de operação de baixo consumo. Esses dispositivos possuem uma arquitetura RISC de 16 bits com 7 modos de endereçamento e 16 registradores. A CPU pode também acessar toda a faixa de endereçamento da memória sem a necessidade de paginação.

O microcontrolador da família MSP430 escolhido para compor o módulo de recepção do sinal de RF do projeto foi o MSP430G2553. Suas principais características são (TEXAS INSTRUMENTS, 2013):

- Tensão de alimentação: 1,8V até 3,6V;
- Baixo consumo de energia. Há dois modos de operação. O modo ativo consome 230 μA na frequência de 1MHz, com uma alimentação de 2.2V. Já o modo de espera, ou *standby* consome 0,5 μA ;
- 5 modos de gerenciamento de energia;
- Tempo de transição do modo ativo para o modo *standby* menor que 1 μs ;
- 2 Interfaces de comunicação USCI (*Universal Serial Communication Interface*);
- 1 ADC de 10 bits com 8 canais;
- Memória Flash de 16kB;
- Memória RAM de 512B;
- 16 pinos de GPIO;
- Acesso total aos registradores, incluindo *Program Counter*, *Status Registers* e *Stack Pointer*;
- Barramento de endereçamento de 16 bits que possibilita acesso direto à toda faixa de memória.

Por apresentar suficientes pinos de GPIO para implementar a interface com o módulo de RF e por possuir interface de comunicação serial, esse microcontrolador mostrou-se suficiente para atingir os requisitos de funcionamento do módulo de recepção do projeto.

5.1.3 RECEPÇÃO DOS DADOS

A figura 21 ilustra o fluxograma do *firmware* de recepção. A funcionalidade implementada na Launchpad é a de conectar os dois extremos do projeto. O programa fica em estado de espera, pronto para iniciar uma comunicação entre os dois módulos. As fontes originadoras de informação e os dados que elas enviam são enumerados abaixo:

Aplicação gráfica: a aplicação pode enviar basicamente três tipos de dados: horário a serem usados como base para contagem do RTC, mensagens com pedido de calibração das medições e os valores cobrados pela concessionária pela energia consumida. Esses dados, após serem recebidos por meio da conexão UART são enviados ao módulo de processamento;

Módulo de processamento: envia, a cada ciclo de aquisição, as grandezas calculadas com adição do horário do cálculo. Esse envio e recepção é realizado por meio dos módulos de RF. Após receber os dados, o receptor os envia para a aplicação gráfica. O envio só ocorre após a criação de conexão entre os dois módulos.

A tabela 1 apresenta o modelo de *string* a ser enviada para o computador pessoal com o tamanho, em Bytes, de cada informação enviada.

Tabela 1: Modelo de sequência a ser enviada para a aplicação gráfica

Fonte: Autoria própria

Cabeçalho	Tensão	Corrente	Pot. real	Pot. aparente	Fator de pot.	Energia	Custo	Horário	Cabeçalho
2B	2B	2B	3B	3B	2B	3B	3B	4B	1B

5.2 SOFTWARE

5.2.1 FERRAMENTAS UTILIZADAS

Para realizar o desenvolvimento da aplicação, utilizou-se o Visual Studio 2010. Esse ambiente foi escolhido por possuir as ferramentas necessárias para a criação das interfaces gráficas e todos os seus componentes e por possibilitar a depuração do código em tempo de

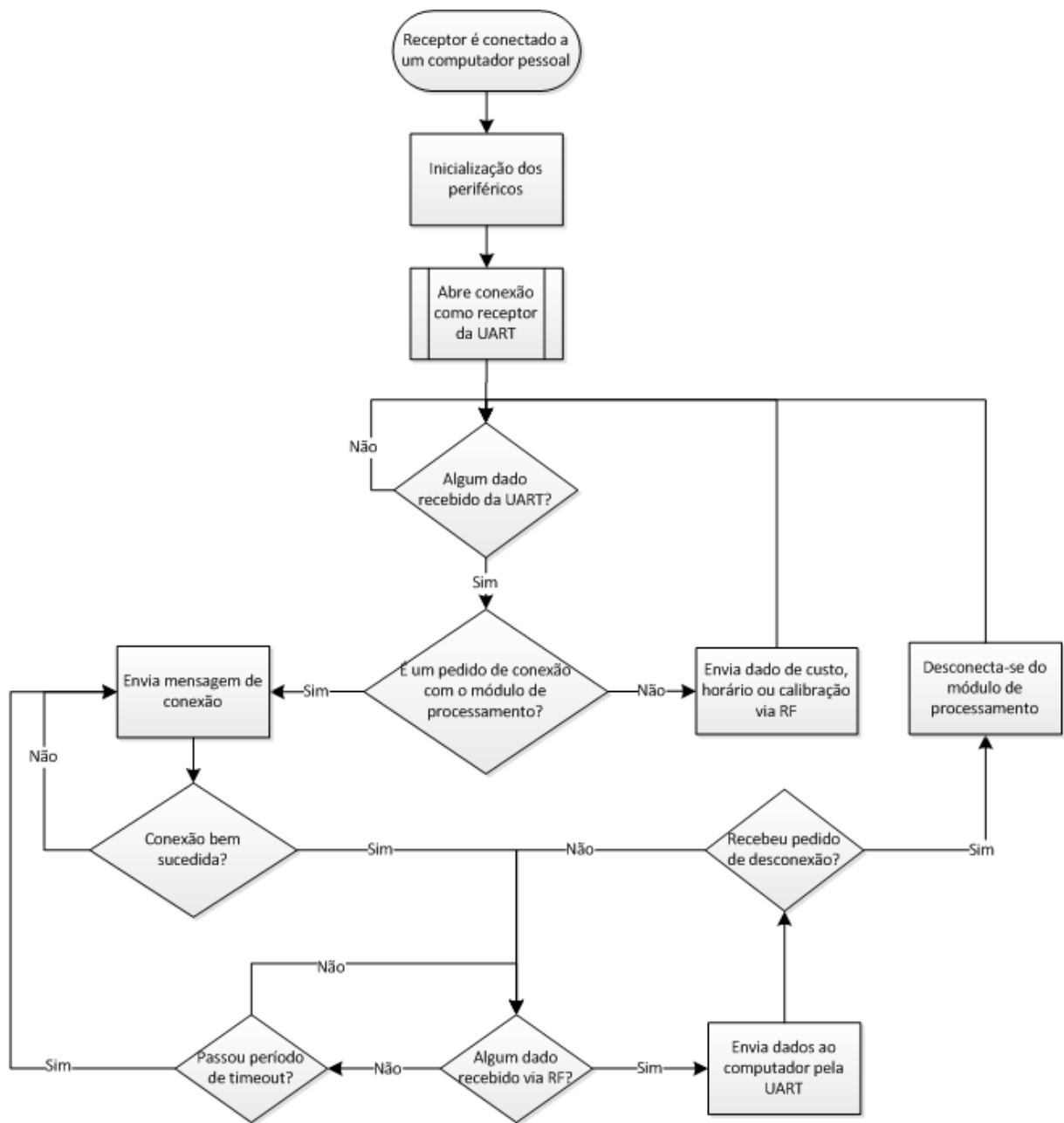


Figura 21: Fluxograma do *firmware* de recepção dos dados

Fonte: Autoria própria

execução. Os tópicos a seguir explicam cada ferramenta usada para a criação do código da aplicação gráfica

5.2.1.1 Microsoft.NET

O Microsoft.NET Framework é um ambiente de execução que proporciona uma variedade de serviços para as aplicações em execução. Este ambiente é composto por dois

componentes principais: CLR (*Common Language Runtime*) e a biblioteca de classes do *framework*.

O CLR consiste em um mecanismo que manipula os aplicativos em tempo de execução, como um agente que gere o código, prestando serviços essenciais, como gerenciamento de memória. Nesse exemplo o CLR torna-se responsável por liberar memória e determinar o tempo de vida dos objetos criado por uma aplicação. Já a biblioteca de classes fornece uma série de funções previamente programadas e testadas que podem ser utilizadas pelos desenvolvedores de *software* em suas aplicações. Assim, o desenvolvedor pode utilizar essas funções da biblioteca ao invés de ter que escrever uma grande quantidade de código para lidar com operações de programação de baixo nível comuns.

5.2.1.2 Linguagem de programação C#

A linguagem C# foi uma das linguagens desenvolvidas juntamente com a nova plataforma .NET. Embora ela suporte outras linguagens, como VB.NET, C++ e JScript, o C# é utilizado como linguagem de referência para o desenvolvimento em .NET. Isso se deve a diversos motivos, dentre os quais pode-se destacar o fato dela ter sido totalmente desenvolvida a partir do zero para funcionar sobre essa plataforma, portanto não existe a preocupação de compatibilidade com as classes e ferramentas presentes no .NET.

O C# englobou ideias de diversas linguagens de programação que já eram consolidadas na época em que foi desenvolvido, entre elas podemos citar o Delphi, Java e C++. Portanto, sua sintaxe é muito semelhante à utilizada em C++ e possui diversas características similares ao Java: Herança múltipla de interfaces, gerenciamento automático de memória com o *garbage collector* e tipagem forte.

Por ter sido criado do zero, o C# também trouxe algumas novidades que até então não haviam sido implementadas em nenhuma das linguagens de programação que influenciaram seu desenvolvimento. As principais novidades foram: criação do processo chamado *boxing*, que permite o armazenamento de diferentes tipos de variáveis em uma variável do tipo *object*, possibilidade de acessar e/ou alterar as propriedades de um componente em tempo de execução e a criação do tipo “decimal” para representar valores monetários.

E por se tratar de uma linguagem de fácil aprendizado e que possibilita a criação de uma interface gráfica de maneira fácil e rápida, além de estar consolidada na indústria, essa foi a linguagem escolhida para desenvolver a aplicação que servirá como interface gráfica entre o usuário e os dados coletados pelo DOLEEP.

5.2.1.3 Biblioteca ZedGraph

ZedGraph é uma biblioteca de classes *open-source* utilizada para criar gráficos lineares. Essa classe fornece um elevado grau de flexibilidade, possibilitando a edição de praticamente todas as propriedades referentes a um gráfico. Entretanto, a utilização dessa classe é extremamente simples de ser implementada e manipulada em tempo de execução (GEEKNET, 2013). Essa foi a biblioteca utilizada para gerar e gerenciar os gráficos apresentados nessa aplicação. Para utilizá-la, bastou compilar o arquivo “*ZedGraph.dll*”, disponível no sítio do grupo desenvolvedor, juntamente com o restante do projeto através do Visual Studio 2010.

5.2.2 INTERFACE GRÁFICA

A aplicação foi desenvolvida para possibilitar ao usuário a visualização, em tempo real, e a interpretação da tensão e corrente medidos pelo módulo de processamento. As duas grandezas provenientes da rede elétrica são processadas e combinadas entre si além de dados inseridos dentro do código de modo a apresentar para o usuário as seguintes informações:

1. Potências aparente e real;
2. Soma da energia consumida;
3. Tensão eficaz;
4. Corrente eficaz;
5. Fator de potência;
6. Tarifação do consumo;
7. Horário.

Essas informações são recebidas pela aplicação através de uma interface serial com o módulo de recepção. Apesar de ter um comportamento serial, a conexão não é feita por meio do conector RS-232, ausente na maioria dos computadores modernos, mas através de conexão USB, presente nos mesmos atualmente.

Os valores são apresentados ao usuário na forma de gráficos e de caixas de texto. Os gráficos permitem o usuário acompanhar visualmente a progressão dos dados mensurados e compará-los com os anteriores, dentro de períodos curtos. Com isso, pode-se facilmente observar se houve alguma variação instantânea em um dos parâmetros que estão sendo

monitorados. Das informações citadas anteriormente, apenas o custo total não é apresentado na forma de gráfico, pois seu valor deve ser interpretado como valor acumulado.

Para cada conjunto de dados enviado, a cada 500ms, o valor de cada um dos parâmetros é salvo em um banco de dados. A estrutura do banco de dados será explicada no item 5.2.3. Esses valores salvos podem ser utilizados pelo usuário para gerar relatórios históricos, ou seja, o usuário pode selecionar um período específico no qual desejar visualizar os valores de cada um dos parâmetros medidos. Essa facilidade permite medições por um longo período de tempo, já que o usuário não precisa permanecer acompanhando o monitoramento em tempo real. Pode-se o equipamento fazendo as medições e depois de certo tempo analisar todos os dados gerados para aquele período de tempo específico. Além disso, o usuário pode, de forma opcional, salvar uma medição específica em um arquivo de dados (extensão .dpl), e depois, de maneira rápida, recuperar e visualizar todos os dados que foram mensurados.

A interface da aplicação foi desenvolvida e forma a facilitar sua utilização por parte do usuário. A tela inicial é mostrada na figura 22.

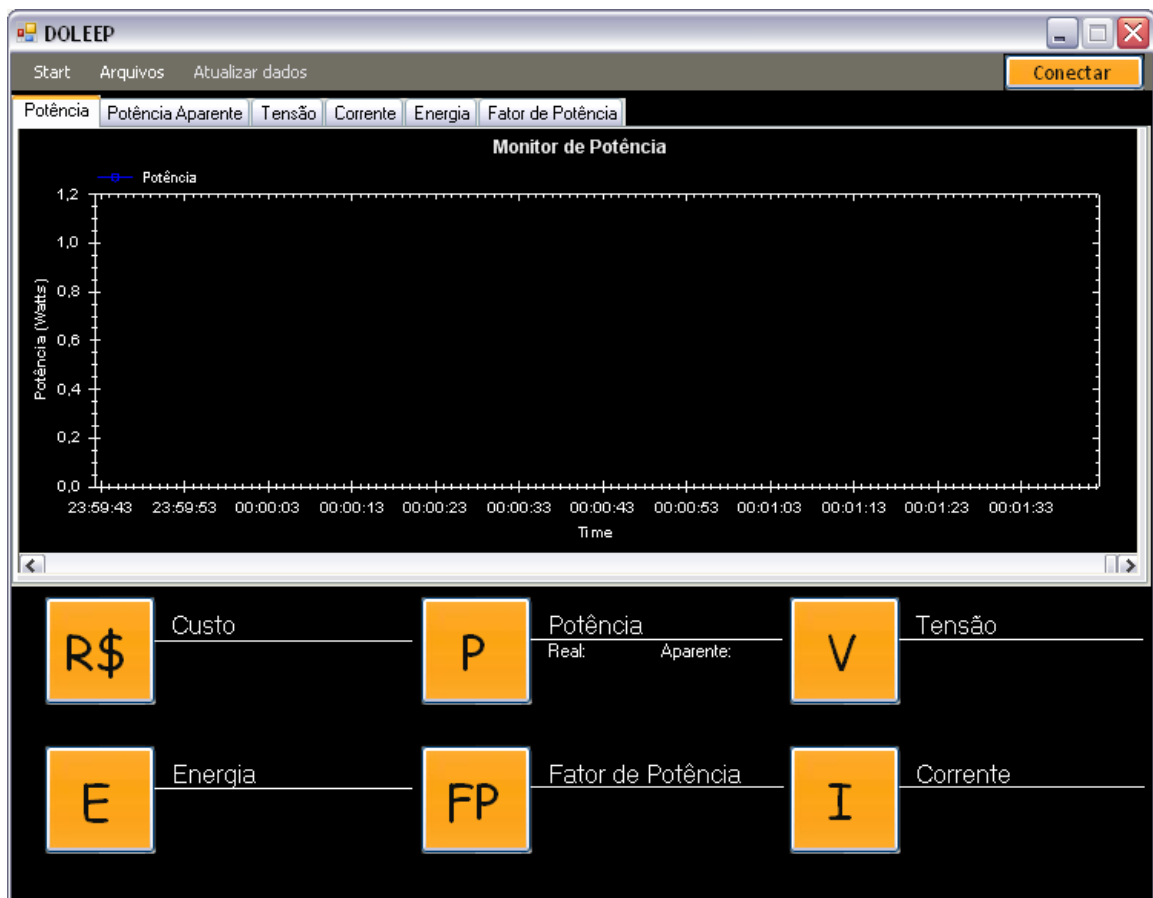


Figura 22: Tela inicial da aplicação

Fonte: Autoria própria

O menu apresentado na tela inicial permite o usuário abrir ou fechar conexão com uma porta serial do computador, gerar relatórios, salvar arquivos contendo uma medição e carregar algum desses arquivos. Quando o usuário selecionar a opção para abrir conexão com uma porta do computador, ele deverá selecionar a porta na qual o dispositivo receptor está conectado.

Também é possível visualizar os campos onde serão exibidos os valores instantâneos de cada um dos parâmetros e os seus respectivos gráficos. Para facilitar a navegação através dos gráficos, eles foram divididos em abas. Basta o usuário clicar em uma aba e o gráfico do respectivo parâmetro será mostrado.

Assim que o usuário selecionar a opção “Abrir Conexão”(“Menu»“Abrir Conexão”), e definir a porta serial da qual os dados serão recebidos, a aplicação tenta estabelecer conexão com o dispositivo ali conectado. Caso não seja possível concluir essa ação, uma mensagem de erro será exibida para o usuário. Com a conexão estabelecida, o aplicativo começará a exibir os valores recebidos. Para cada novo dado recebido, um evento para atualizar os gráficos e os valores instantâneos é disparado. Os dados são atualizados a cada 5 segundos. A figura 23 mostra o funcionamento do aplicativo durante a execução.

Como foi mencionado, outra opção que o usuário pode escolher é visualizar um relatório histórico, para poder analisar os dados mensurados em um determinado período de tempo. Quando o usuário seleciona a opção “Gerar Relatório”(“Menu»“Gerar Relatório”), uma nova janela é exibida, conforme a figura 24 ilustra. Nessa janela o usuário deve escolher o período do qual ele deseja gerar o relatório.

Após selecionar o período de tempo referente ao relatório, o usuário deve clicar no botão “Imprimir Relatório”. Um comando SQL é então estruturado, baseado nas datas que o usuário selecionou, para carregar todas as informações do banco de dados referente a esse período. Com esse comando SQL (*Structured Query Language*), uma consulta é feita no banco de dados e após retornar todos os registros requeridos, uma nova janela muito semelhante à tela inicial é exibida, conforme a figura 25. Nela, os dados são exibidos de forma estática, possibilitando o usuário navegar através da *scroll bar* por todo o período selecionado e visualizar os valores adquiridos para todos os parâmetros.

Como já citado, o usuário pode também salvar cada uma de suas medições em arquivos separados. Para isso, após fechar a conexão com a porta pela qual está recebendo os dados, o usuário deve clicar na opção “Salvar em um arquivo”(“Arquivos»“Salvar em um arquivo”), um *browser* então é exibido para que o usuário escolha o caminho e nome do arquivo que deseja salvar. Da mesma forma, quando o usuário seleciona a opção “Carregar Arquivo”(“Arquivos»“Carregar arquivo”), um *browser* também é exibido para que o usuário

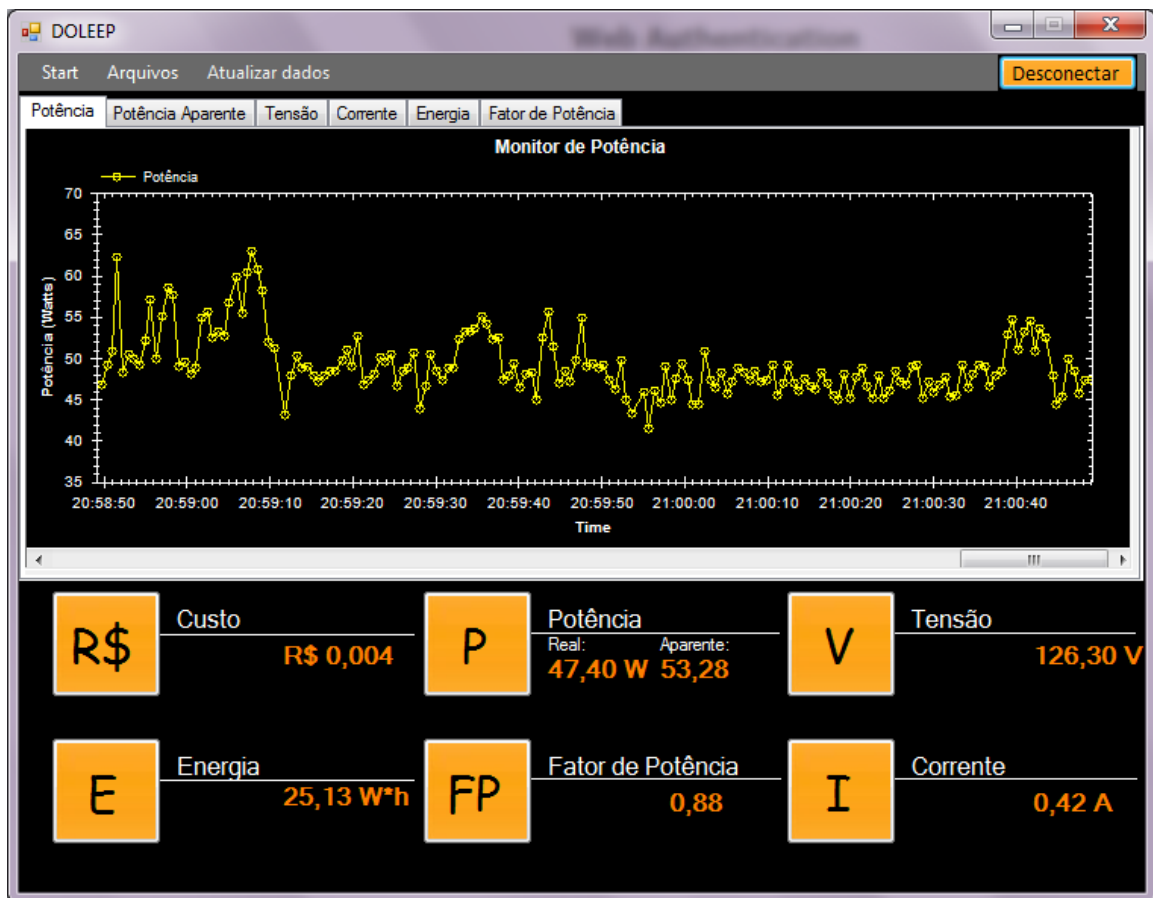


Figura 23: Aplicação recebendo dados através da interface serial

Fonte: Autoria própria

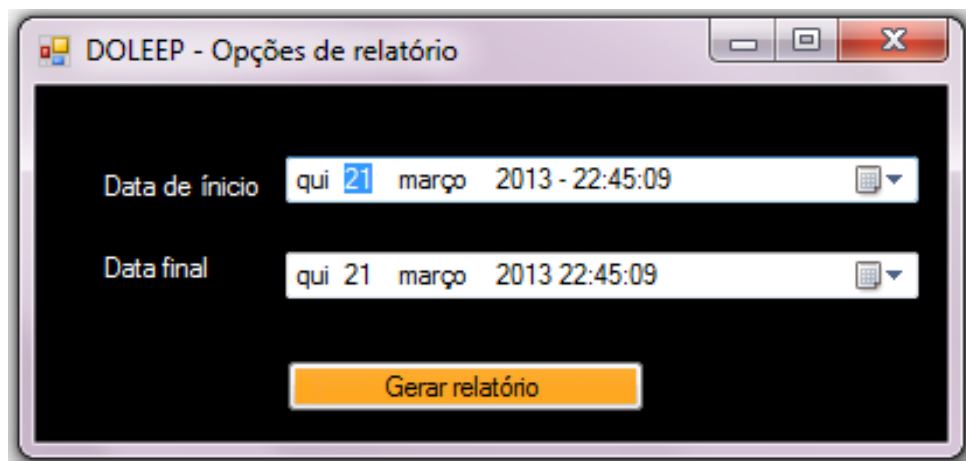


Figura 24: Janela para o usuário selecionar o período do qual o relatório deve ser gerado

Fonte: Autoria própria

encontre o arquivo que deseja carregar. Os arquivos são salvos no formato “dpl”, salvando de forma sequencial a data e hora do registro e os valores de potência, energia, tensão, corrente e

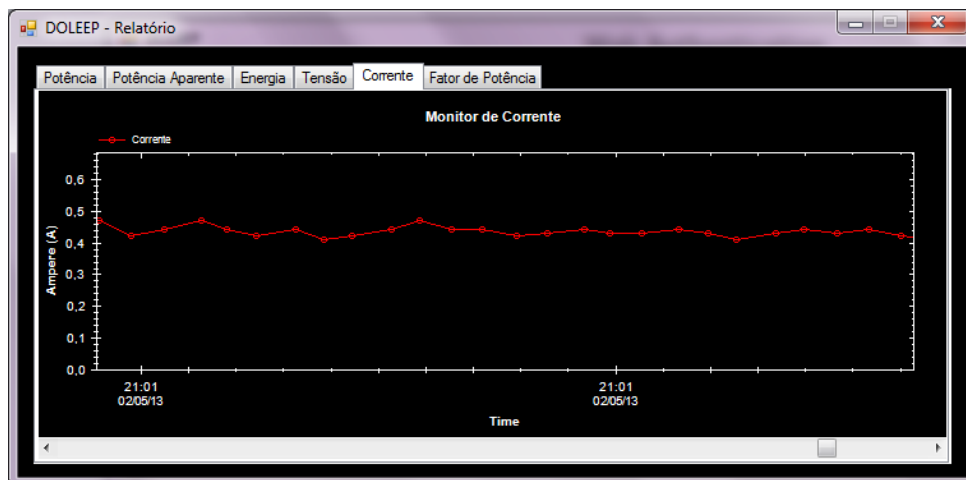


Figura 25: Relatório gerado pela aplicação

Fonte: Autoria própria

fator de potência.

5.2.3 BANCO DE DADOS

O sistema de gerenciamento de informação escolhido para desenvolver o banco de dados utilizado por essa aplicação foi o Microsoft Office Access (MSAccess). Combinando o Microsoft Jet Database Engine com uma interface gráfica, é possível o desenvolvimento rápido de aplicações que envolvem criação e acesso à banco de dados.

Algumas vantagens da utilização do *MSAccess* foram observadas e por isso essa plataforma foi escolhida. Entre essas vantagens podemos destacar: a facilidade da modelagem e desenvolvimento de estruturas de banco de dados, é integrado a outras aplicações do pacote *Office* e a aplicações desenvolvidas utilizando-se o *framework* .NET, possui ampla base de conhecimento disponível na internet.

Também foram observadas algumas desvantagens, tais como limitações para consultas complexas. Entretanto, as únicas operações realizadas pela aplicação no banco de dados são operações simples de “SELECT” e “INSERT” de registros, para as quais o MSAccess mostrou ser uma solução viável.

O banco de dados apresenta uma estrutura simples. É composto por apenas uma tabela, cujo nome é “Medicoes”. Sua estrutura é apresentada na tabela 2. A chave primária foi designada para o campo “Numero” que é um campo auto incrementável. Primeiramente optou-se por se usar o horário como chave única para salvar os dados. Devido à taxa de envio ser

de 0,5s e da resolução do formato de hora do Microsoft Access ser de 1s, as intenções tiveram que ser alteradas. As amostras, em pares, terão o mesmo horário de aquisição, de acordo com a capacidade de registro do banco. Assim, garante-se que as amostras são colocadas no banco sem erros e são recuperadas na ordem correta por meio é a chave primária que é o número de registro da amostra sendo incrementado a cada recepção de dados realizada.

Tabela 2: Estrutura da tabela Medicoes

Fonte: Autoria própria

Nome do campo	Tipo
HoraDado	Data/Hora
Energia	Número
Potência	Número
FatorPotência	Número
Tensão	Número

6 RESULTADOS

Este capítulo tem o objetivo de apresentar os resultados alcançados ao final do projeto. Esses resultados englobam:

- um dispositivo medidor de energia contido em uma caixa de plástico e formado por uma placa de circuito impresso, seus componentes e módulos instalados na mesma;
- um dispositivo receptor de dados RF ligado a uma placa de comunicação serial por porta USB que pode ser conectada a um computador pessoal;
- uma aplicação gráfica que apresenta os dados recolhidos pelo sistema.

6.1 APARÊNCIA FINAL DO MEDIDOR

As figuras 26 e 27 apresentam a aparência final dos protótipos desenvolvidos nesse projeto para o DOLEEP. Na figura 26, tem-se o módulo de processamento ilustrado e a figura 27 mostra o módulo de recepção a ser conectado a um computador pessoal.

6.2 MEDIÇÕES DE TESTE

O módulo de processamento, após sua montagem final, ilustrada na figura ??, foi submetido a testes de medição para estabelecer suas características de funcionamento. Para isso, foi estabelecido como sistema de medição padrão o wattímetro Minipa ET-4090, com especificações exatidão iguais ao modelo já citado neste trabalho. Suas especificações para a escala de funcionamento do DOLEEP são apresentadas nas tabelas 3, 4, 5. As especificações podem ser encontradas no manual do aparelho, disponível em (MINIPA, 2013).

Em relação às especificações de medição de potência do wattímetro, ressalta-se que caso a corrente sendo consumida for menor que 5A ou a tensão menor que 90V, a incerteza aumenta em $\pm 1,0\%$. Esses dados são para sinais medidos de sua componente fundamental até

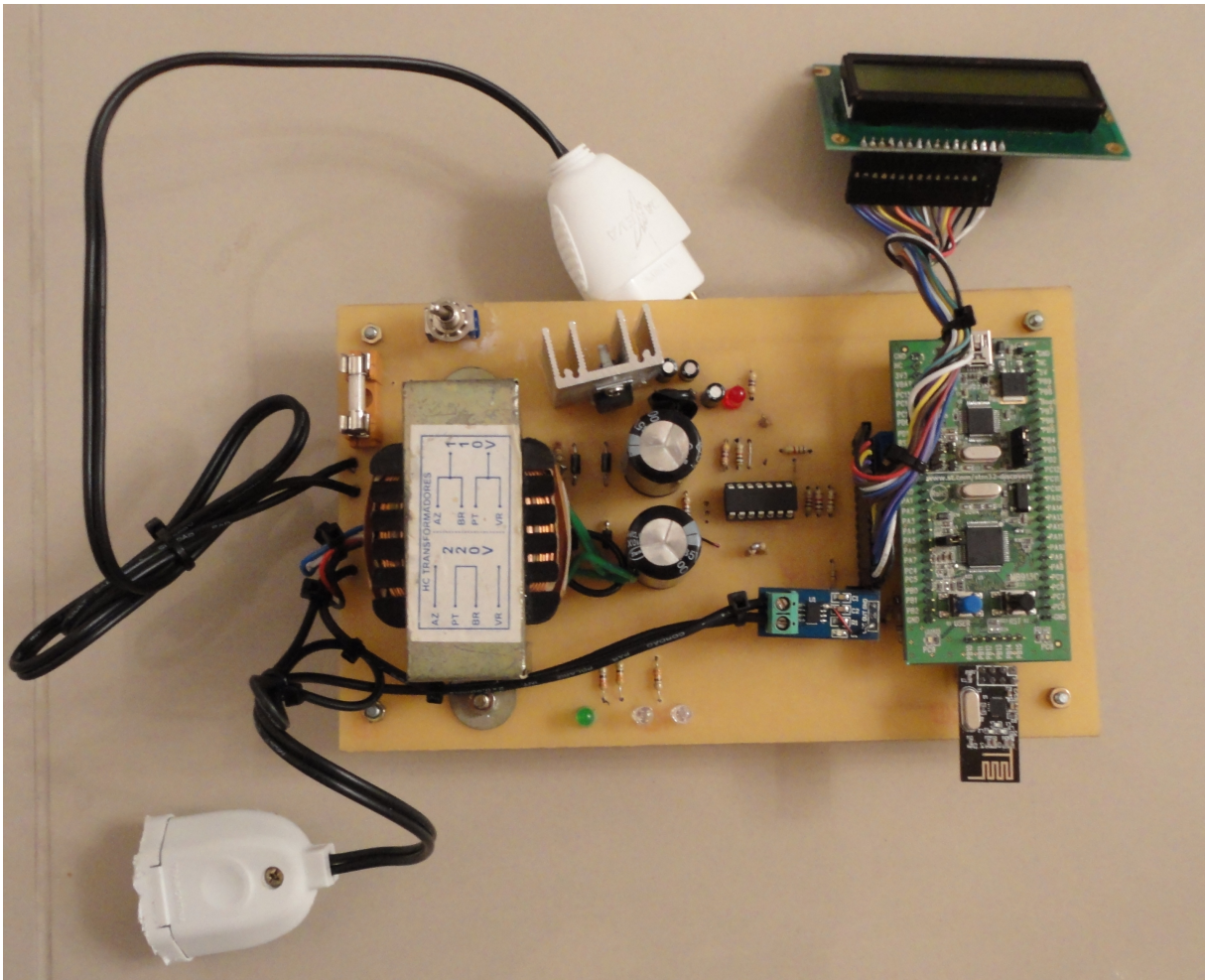


Figura 26: Aparência final do módulo de processamento

Fonte: Autoria própria

Tabela 3: Ficha técnica do wattímetro Minipa ET-4090 para corrente CA

Fonte: (MINIPA, 2013)

Escala	Exatidão (23°C ± 5°C)
50Hz/60Hz	
40,00A	± 2,0% + 5d

Tabela 4: Ficha técnica do wattímetro Minipa ET-4090 para tensão CA

Fonte: (MINIPA, 2013)

Escala	Exatidão (23°C ± 5°C)
50Hz/60Hz	
0 ~ 600,0V	± 0,5% + 5d

a 10^a harmônica. A medição de mais harmônicas (intervalo entre 11^a e 25^a) aumenta a incerteza do sistema e a sua exatidão resulta em: ± 4,5% + 5d.

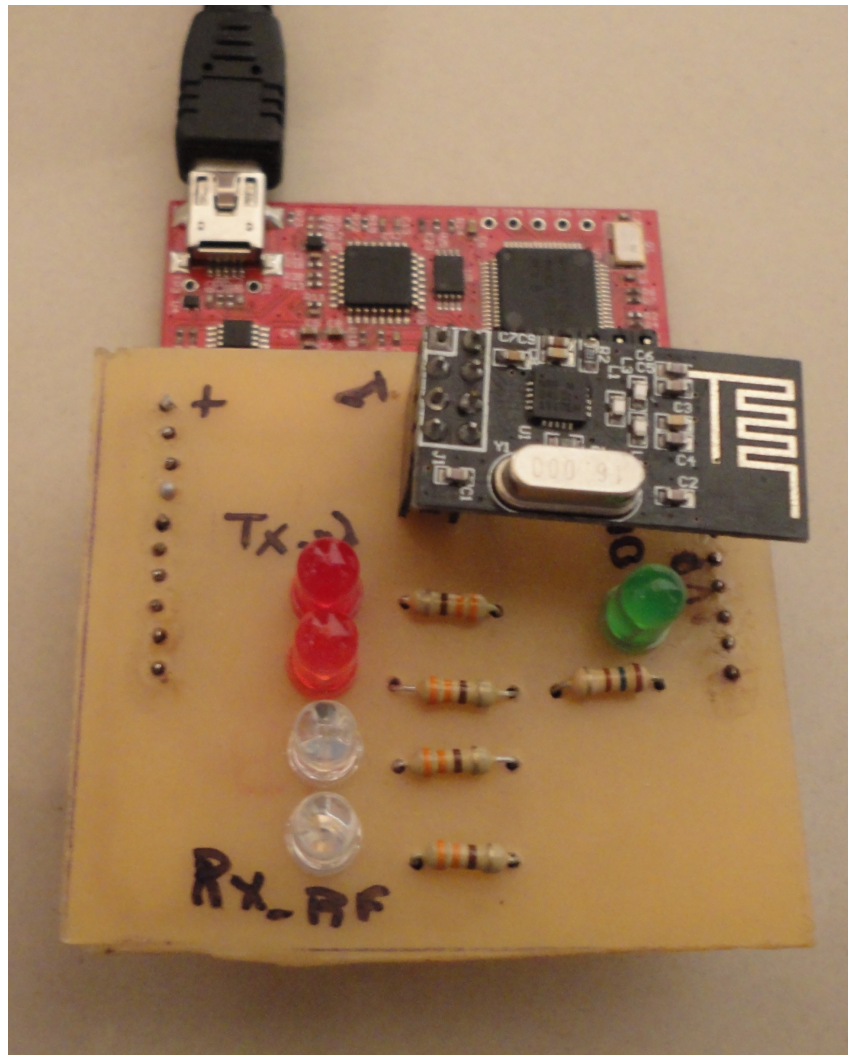


Figura 27: Aparência final do módulo de recepção

Fonte: Autoria própria

Tabela 5: Ficha técnica do wattímetro Minipa ET-4090 para potência monofásica

Fonte: (MINIPA, 2013)

Escala	Exatidão (23°C ± 5°C)
FP= 0,70 - 1	
0 ~ 600,0kVA	± 3,0% + 5d

Para uma verificação do desempenho do DOLEEP, as condições dos testes foram definidas do modo a simular o uso do dispositivo em residências para tomadas monofásica de tensão eficaz 127V. Outras condições do ensaio foram: Sinais CA provenientes da rede, com frequência de 60Hz e 3 medições realizadas para cada carga medida. A medida de comparação usada foi o erro relativo percentual demonstrada na equação 15 e descrita em (CABRAL, 2004).

$$E_r(\%) = \frac{E_c - E_p}{E_c} \cdot 100 \quad (15)$$

Na qual E_r é o erro relativo, E_c é o valor encontrado do sistema sob teste, E_p é o valor exato, ou padrão, da grandeza medida. Para esse teste, o wattímetro ET-4090 foi considerado o sistema padrão e o DOLEEP o sistema sob teste.

6.2.1 RESULTADOS

As tabelas 6, 7, 8 e 9 apresentam respectivamente os resultados das medições de corrente eficaz, tensão eficaz da rede, potência real e potência aparente de uma carga. Os aparelhos usados para os testes são enumerados a seguir. Essa sequência foi seguida para todos os testes e apresentação dos dados. Os gráficos apresentados para cada medida levam em conta os dados estatísticos recolhidos para o DOLEEP e comparam esses resultados com as tolerâncias máximas do ET-4090, que são ilustradas pelas linhas em vermelho nos gráficos.

1. Lampada (100W) e Solda(60W);
2. Lampada(100W);
3. Carregador de notebook (65W);
4. Espregedor de laranja (80W);
5. Ventilador (50W).

6.2.1.1 Corrente eficaz

Tabela 6: Comparação entre ET-4090 e DOLEEP para corrente eficaz

Fonte: Autoria própria

Carga	Valor ET-4090 (A)	Valor Doleep 1 (A)	Valor Doleep 2 (A)	Valor Doleep 3 (A)	Média Doleep (A)	Erro relativo (%)
1	1,06	1,06	1,05	1,05	1,05	-0,63
2	0,75	0,76	0,75	0,75	0,75	0,44
3	0,92	0,90	0,89	0,94	0,91	-1,09
4	1,47	1,46	1,45	1,48	1,46	-0,45
5	0,48	0,49	0,50	0,49	0,49	2,78

Analisando-se os dados de medição de corrente da tabela 6 e o gráfico ilustrado na figura 28, pode-se afirmar que os resultados de medição do DOLEEP para essa grandeza são

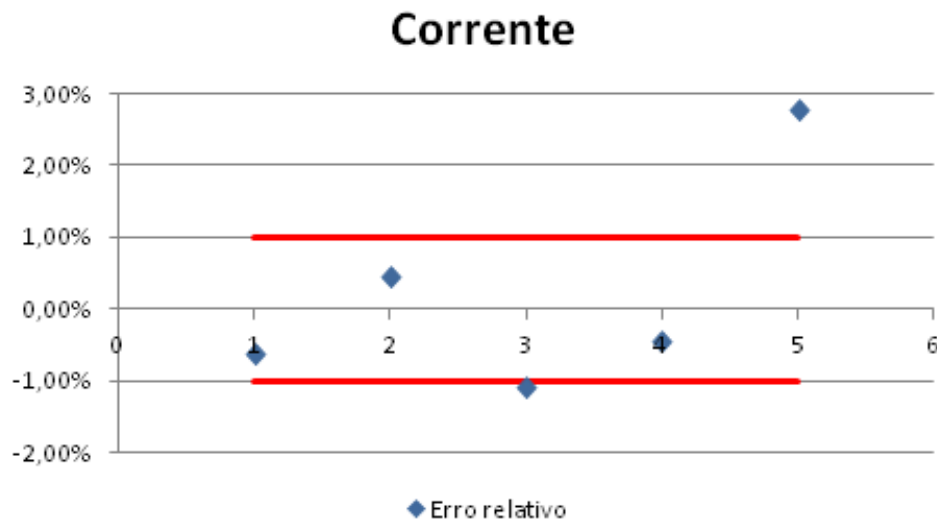


Figura 28: Erro relativo - Medição de corrente

Fonte: Autoria própria

satisfatórios. Dois testes tiveram resultados com erros acima da incerteza do sistema padrão, mas os dois podem ser explicados.

No caso do carregador de notebook, o comportamento da carga é muito dinâmico, uma vez que o carregador estava alimentando um notebook em uso. Nesse caso, uma diferença de segundos entre as medições já reflete em dados diferentes. Por isso, pode-se assumir que essa incerteza foi causada devido a flutuações na quantidade de corrente sendo fornecida ao carregador durante seu uso.

O caso do ventilador será analisado após a apresentação dos dados das medições de potência.

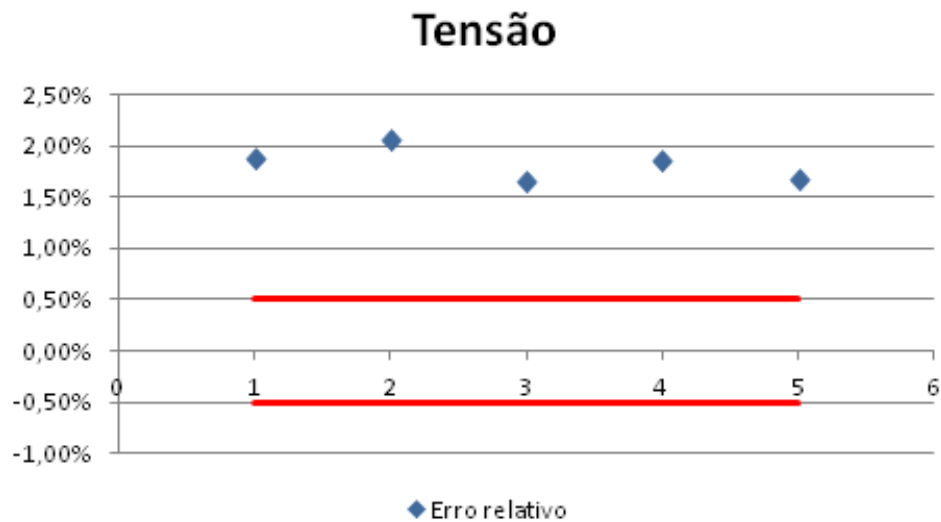
6.2.1.2 Tensão eficaz

A medição de tensão eficaz tem o objetivo de avaliar o quanto o sistema de medição é influenciado pelas cargas tendo seu consumo medido. Idealmente, todas tensões medidas deveriam ser iguais, pois independem da carga, sendo igualmente fornecidas em todas tomadas de uma casa. A tabela 7 e figura 29 apresentam os dados recolhidos.

Pode-se perceber que há um erro sistemático do DOLEEP em relação ao ET-4090. Todos dados medidos tem amplitude maior que os dados considerados padrão. Dessa maneira, a título de informação, as medições de tensão também foram acompanhadas por meio do osciloscópio TDS-1001B da Tektronix. Não foram recolhidos dados provenientes do

Tabela 7: Comparação entre ET-4090 e DOLEEP para tensão eficaz**Fonte: Autoria própria**

Carga	Valor ET-4090 (V)	Valor Doleep 1 (V)	Valor Doleep 2 (V)	Valor Doleep 3 (V)	Média Doleep (V)	Erro relativo (%)
1	125,9	128,48	128,1	128,18	128,25	1,87
2	126,1	128,66	128,77	128,66	128,70	2,06
3	127,1	129,6	129,11	128,91	129,21	1,66
4	125,4	127,8	127,63	127,72	127,72	1,85
5	126,1	128,31	128,2	128,08	128,20	1,66

**Figura 29: Erro relativo - Medição de tensão****Fonte: Autoria própria**

osciloscópio, mas notou-se que os dados do DOLEEP eram mais próximos do mesmo do que os do ET-4090. Como não havia certificado de calibração disponível para o ET-4090, não pode-se afirmar que o mesmo ainda guarda as especificações contidas em seu manual.

Sobre o DOLEEP, destaca-se ainda o baixo desvio padrão das amostras, que ficou em 0,56V, ou uma variação de $\pm 0,44\%$ da média. Desse dado, conclui-se que o DOLEEP não tem sua medição da tensão da rede afetada pelas cargas conectadas a si, e que outros fatores, como a própria flutuação da amplitude da tensão podem ter causado essas pequenas variações de medição.

6.2.1.3 Potência real

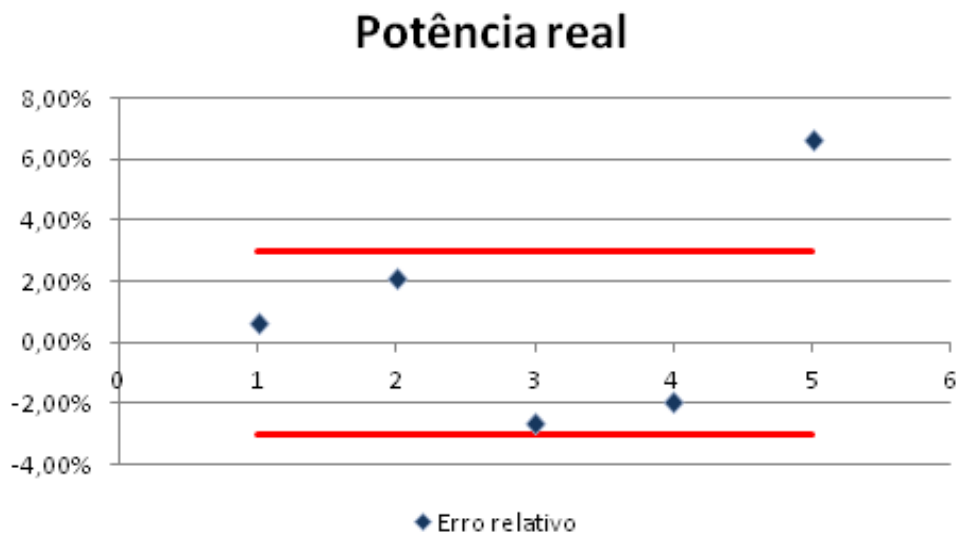
Os dados de potência real são apresentados a seguir na tabela 8 e na figura 30.

O ventilador foi o aparelho que teve dados recolhidos mais diferentes para os dois

Tabela 8: Comparação entre ET-4090 e DOLEEP para potência real

Fonte: Autoria própria

Carga	Valor ET-4090 (W)	Valor Doleep 1 (W)	Valor Doleep 2 (W)	Valor Doleep 3 (W)	Média Doleep (W)	Erro relativo (%)
1	133,70	135,42	132,44	135,72	134,53	0,62
2	95,20	96,57	97,05	97,92	97,18	2,08
3	58,35	58,14	54,10	58,17	56,80	-2,65
4	75,00	71,37	74,27	74,90	73,51	-1,98
5	55,80	59,43	59,05	60,04	59,55	6,64

**Figura 30: Erro relativo - Medição de potência real**

Fonte: Autoria própria

sistemas de medição. Um comentário desse caso será feito ao final dessa seção. Os outros aparelhos tiveram suas potências reais medidas dentro do intervalo de incerteza do ET-4090.

6.2.1.4 Potência aparente

A seguir, a tabela 9 e a figura 31 apresentam os dados para potência aparente.

Tabela 9: Comparação entre ET-4090 e DOLEEP para potência aparente

Fonte: Autoria própria

Carga	Valor ET-4090 (VA)	Valor Doleep 1 (VA)	Valor Doleep 2 (VA)	Valor Doleep 3 (VA)	Média Doleep (VA)	Erro relativo (%)
1	132,10	136,81	135,05	135,24	135,70	2,73
2	93,40	97,12	96,06	97,67	96,95	3,80
3	108,20	108,92	107,11	105,97	107,33	-0,80
4	178,20	180,11	179,48	180,92	180,17	1,11
5	54,20	60,56	61,62	61,06	61,08	12,69

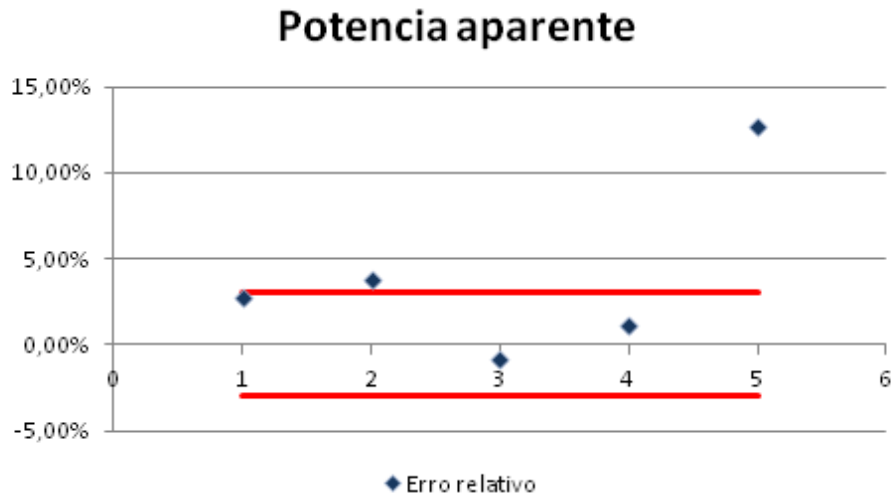


Figura 31: Erro relativo - Medição de potência real

Fonte: Autoria própria

Os resultados para potência aparente foram os que mais demandaram dedicação para buscar explicações pelas discrepâncias entre o DOLEEP e o ET-4090. Alguns pontos devem ser considerados

O primeiro deles é o fator de potência. Conforme detalhado no capítulo 3, o fator de potência é a razão entre a potência real e a potência aparente e também pode ser representando pelo cosseno do ângulo de defasagem entre a corrente e a tensão. Teoricamente, não há maneira de que a potência real seja maior que a potência aparente, mas esse caso ocorreu para testes no ET-4090, o que dá indícios para se acreditar que há problemas no aparelho para medição de potência;

O caso do ventilador é significativo para dar base ao argumento que a incerteza do ET-4090 pode estar maior devido à falta de calibração. A forma de onda da corrente sendo fornecida ao ventilador tinha aparência triangular, o que indica a presença de harmônicas no sinal. Para esse caso, o manual do ET-4090 indica que a tolerância deve ser aumentada em $\pm 1,00\%$, ainda sim longe de se aproximar do erro total medido para o DOLEEP. Mas há outra especificação no manual, que para esse caso extremo de significativa mudança da forma de onda, corrobora esse argumento (MINIPA, 2013):

“A precisão não é especificada @ ACA fundamental < 1A ou ACV fundamental < 30V. A precisão não é especificada @ ACA fundamental < 2A ou ACV fundamental < 50V”

Esse foi o caso das medições para todas as cargas sob teste. Para os outros aparelhos,

a especificação da escala como um todo funcionou bem, mas acredita-se que a soma desse fator com a forma de onda particular da corrente fornecida do ventilador foi determinante para a diferença de potência medida entre os dois aparelhos.

Ressalta-se, porém, a coerência dos dados de potência do medidor desenvolvido, obedecendo a teoria do fator de potência e aproximando-se de um aparelho técnico e com um preço de venda de até sete vezes maior que o planejado para o DOLEEP.

7 GESTÃO DE PROJETO

Para o bom andamento do projeto é necessário realizar um planejamento das atividades que serão realizadas, a avaliação dos fatores de risco, o levantamento dos custos envolvidos e constantes ações de controle para verificar se a evolução do projeto está seguindo conforme as especificações definidas em seu escopo.

7.1 ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO

Uma das ferramentas amplamente utilizadas na gerência de projetos para definir o escopo do projeto é a EAP (Estrutura Analítica do Projeto). Essa ferramenta auxilia a criação do planejamento por meio da decomposição do escopo do projeto, possibilitando um melhor nível de entendimento, e também garante que o mesmo seja gerenciável, i.e. que tenha um nível de decomposição que facilite a medição do progresso. A Figura 32 ilustra a EAP desenvolvida.

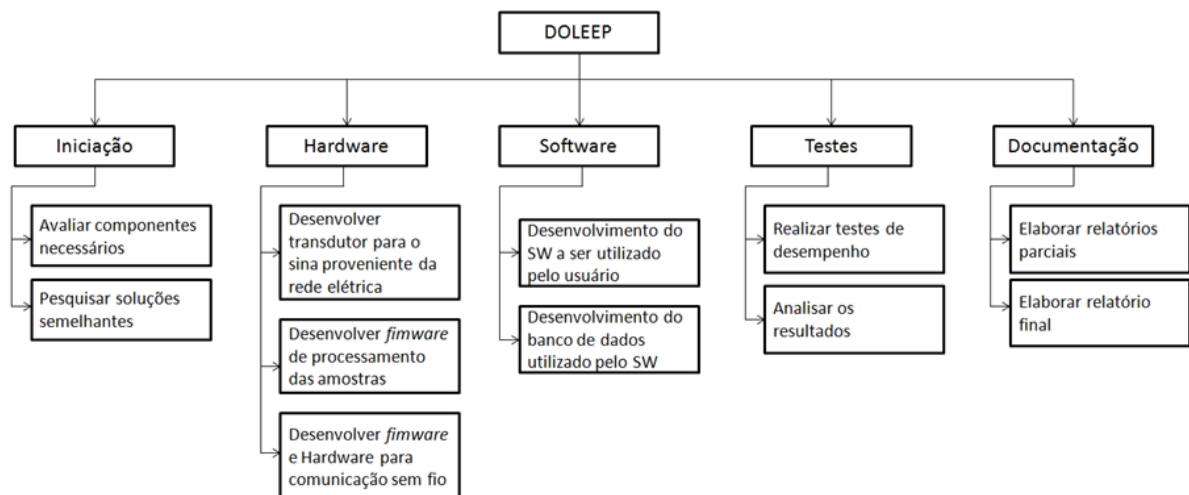


Figura 32: EAP desenvolvida

Fonte: Autoria própria

7.1.1 ANÁLISE DE CUSTOS

Essa seção tem por finalidade apresentar os gastos previstos e efetivos necessários para a realização do projeto.

7.1.2 EQUIPAMENTOS

A previsão de gastos envolvidos com a compra de equipamentos, frete, entre outros é apresentada na Tabela 10. Durante a execução do projeto, verificou-se que alguns gastos, além dos valores previstos, precisariam ser adicionados futuramente, como por exemplo, a mudança do microcontrolador utilizado no módulo do processamento. Na definição do escopo do projeto, o *hardware* escolhido para compor esse módulo foi a MSP430 LaunchPad, mas devido a limitações de suas especificações, essa placa foi substituída pela STM32VL Discovery gerando uma mudança nos custos do projeto. A Tabela 11 apresenta os gastos reais para a execução do projeto.

Tabela 10: Custos previstos do projeto

Fonte: Autoria própria

Item	Custo
2 Kits MSP430 Launchpad	R\$20,00
2 Sensores de efeito Hall ACS712 (1 de reserva)	R\$60,00
2 Módulos nRF24L01	R\$50,00
Componentes para circuito de tratamento da tensão	R\$60,00
Confecção de placa de circuito impresso	R\$120,00
Caixas de plástico e tomadas	R\$30,00
Total	R\$285,00

Tabela 11: Custos reais do projeto

Fonte: Autoria própria

Item	Custo
Kit MSP430 Launchpad	R\$10,00
2 Sensores de efeito Hall ACS712 (1 de reserva)	R\$60,00
2 Módulos nRF24L01	R\$15,00
Componentes para circuito de tratamento da tensão	R\$110,00
Confecção de placa de circuito impresso	R\$80,00
Caixas de plástico e tomadas	R\$40,00
Kit STM32 VL Discovery	R\$20,00
Total	R\$350,00

Comparando as duas tabelas, é possível observar que alguns dos valores são iguais, pois as aquisições foram feitas com antecedência, próximas ao período em que os valores foram cotados. Outros fatores, como por exemplo a confecção da placa de circuito impresso, tiveram seu custo diminuído. No caso da placa, decidiu-se pela confecção própria da mesma, o que acarretou um abatimento no custo de mão de obra.

O gasto no total foi de aproximadamente 23% maior do que o esperado. Destacam-se a substituição de um kit de desenvolvimento Launchpad para uma ST32VL e o custo não esperado dos componentes eletrônicos utilizados durante o desenvolvimento dos circuitos de teste.

7.1.3 PESSOAL

Essa seção apresenta como o trabalho foi dividido entre os membros da equipe. A Tabela 12 apresenta a quantidade de horas de dedicação previstas para cada integrante da equipe em cada uma das atividades. A Tabela 13 apresenta uma estimativa das horas efetivamente trabalhadas por cada integrante da equipe.

Analisando as tabelas 12 e 13 é possível observar que o tempo utilizado para o desenvolvimento do projeto foi aproximadamente 30% menor do que o tempo estimado. Esse resultado já era esperado, pois durante o projeto foi visto que a melhor maneira de se entregar o produto a tempo dos prazos estabelecidos era através da divisão de tarefas por cada membro com o auxílio temporário de outro recurso caso fosse necessário. No início do planejamento, a decisão havia sido de isolar cada componente em tarefas específicas, mas viu-se que sem integração e ajuda mútua entre os colegas a dificuldade de implementar seria maior. Além desse motivo, a estimativa tem somada a si uma margem de segurança para evitar que imprevistos venham a comprometer a entrega do projeto no prazo proposto.

7.2 ANÁLISE DE RISCOS

A análise de riscos é uma etapa muito importante no desenvolvimento de projetos e deve ser muito bem estruturada. Nessa etapa é que se devem prever possíveis riscos que possam existir e como eles podem interferir no andamento ou, até mesmo, no sucesso do projeto.

Para realizar essa análise, todos os riscos que possam de alguma forma interferir no projeto devem ser levantados e suas características documentadas. Também devem ser estudadas as probabilidades de ocorrência de cada um desses riscos e o impacto que sua ocorrência pode causar ao projeto.

Tabela 12: Horas previstas de trabalho**Fonte: Autoria própria**

Atividade	Adriano	Bruno	Leonardo	Total
Levantar as necessidades do projeto	36	0	0	36
Pesquisar sobre kits de desenvolvimento que utilizem o MSP430	0	30	0	30
Analisar preços e importação de produtos	0	0	30	30
Realizar pedido	10	10	10	30
Pesquisar soluções, propostas e regulamentações referentes a medidores eletrônicos	108	0	0	108
Implementar o <i>firmware</i> responsável por gerenciar o sistema	0	190	0	190
Desenvolver o transdutor e ADC para processar o sinal proveniente da rede elétrica	0	0	140	140
Implementar o <i>firmware</i> de processamento das amostras obtidas	140	50	130	320
Desenvolver o <i>firmware</i> e <i>hardware</i> responsáveis pela comunicação <i>wireless</i> entre o produto e o computador do usuário	0	60	0	60
Implementar o software a ser executado pelo usuário em seu computador para interagir com os dados vindos do produto	60	0	40	100
Realizar testes e analisar os resultados	70	70	70	210
Elaborar relatório	60	60	60	180
Total	484	470	480	1434

A tabela 14 apresenta os principais fatores de risco que tiveram influência sobre o andamento do projeto.

Legenda:

- Probabilidade (P): Valor entre 0 e 1, referente a 0 e 100%;
- Impacto (I): Valor entre 0 e 10;
- Grau: Probabilidade x Impacto, sendo classificado em:
 - Alto: 7,5 a 10;
 - Médio: 2,5 a 7,4;
 - Baixo: 0 a 2,4.

Tabela 13: Horas efetivas de trabalho**Fonte: Autoria própria**

Atividade	Adriano	Bruno	Leonardo	Total
Levantar as necessidades do projeto	20	10	10	40
Pesquisar sobre kits de desenvolvimento que utilizem o MSP430	0	30	20	50
Pesquisar documentos sobre a STM32VL Discovery	20	20	0	40
Analisar preços e importação de produtos	5	5	10	20
Realizar pedido	0	5	0	5
Pesquisar soluções, propostas e regulamentações referentes a medidores eletrônicos	10	15	10	35
Implementar o <i>firmware</i> responsável por gerenciar o sistema de processamento	50	30	0	80
Desenvolver o circuito de tratamento do sinais provenientes da rede elétrica	40	70	20	130
Desenvolver o <i>firmware</i> responsável pela comunicação <i>wireless</i> entre o produto e o computador do usuário	60	10	50	120
Desenvolvimento da placa de circuito impresso	90	15	15	120
Implementar a aplicação gráfica a ser executado em um computador pessoal	0	10	120	130
Realizar testes e analisar os resultados	30	30	30	90
Embalagem	5	5	5	15
Elaborar relatório	10	70	40	120
Total	340	325	330	995

Durante o desenvolvimento do projeto, alguns riscos que eram previstos na tabela ocorreram, como é o caso de não dominar a utilização de certos componentes e ferramentas de desenvolvimento. Nesse caso, como nenhum membro da equipe possuía conhecimento suficiente para ajudar na resolução do problema, foi necessário buscar ajuda de profissionais da área que já possuíam conhecimento e de colegas que passaram por experiências parecidas. De qualquer forma, esse risco, alterou em parte o cronograma, devido à necessidade de dedicar tempo de desenvolvimento para estudar referências sobre os dispositivos ou ferramentas.

7.3 CRONOGRAMA

O cronograma de atividades do projeto foi estabelecido no planejamento das atividades e dos prazos a serem cumpridos. Devido a alguns imprevistos que ocorreram ao longo do

Tabela 14: Riscos associados ao projeto**Fonte: Autoria própria**

Grau	Descrição	Efeito	Impacto	Probabilidade	Ação
4,5	Problemas com importação de componentes	Impossibilidade de testes com a placa	9	0,5	Mitigar: Desenvolver o <i>firmware</i> usando o simulador do ambiente de desenvolvimento.
3,6	Atraso no desenvolvimento	Atraso e alteração no cronograma	9	0,4	Eliminar: Deslocar membro da equipe para terminar a tarefa
1,6	Componente fundamental estragar	Atraso no cronograma	8	0,2	Mitigar: Comprar outro componente ou substituir por outro equivalente de fácil aquisição.
1,4	Não dominar as ferramentas de desenvolvimento	Atraso e alteração no cronograma	7	0,2	Eliminar: Deslocar membro da equipe para ajudar na tarefa.
1,0	Não dominar a utilização de certos componentes.	Atraso e alteração no cronograma	5	0,2	Eliminar: Deslocar membro da equipe para ajudar na tarefa.
Médio	Evasão de membro de equipe	Sobrecarga nos outros membros e atraso no cronograma	6	0,1	Conviver: Não tomar nenhuma ação
0,7	Componente não atende às especificações	Atraso no cronograma	7	0,1	Mitigar: Adquirir outro componente

período de desenvolvimento, foi necessário realizar algumas alterações no cronograma original do projeto. A Tabela 15 apresenta os itens detalhados que compuseram o cronograma do projeto:

Tabela 15: Cronograma detalhado do projeto**Fonte: Autoria própria**

Índice	Atividade
1	Avaliar componentes necessários
1.1	Levantar as necessidades do projeto
1.2	Pesquisar sobre kits de desenvolvimento ARM
1.3	Pesquisar sobre kits de desenvolvimento Launchpad
1.4	Analisar preços e importação de produtos
1.5	Realizar pedido
2	Pesquisar soluções, propostas e regulamentações referentes ao medidor eletrônico
2.1	Pesquisar regulamentações e requisitos desejados do medidor eletrônico propostos pela ANEEL
2.2	Analisar sistemas de banco de dados para o armazenamento dos dados extraídos do sinal proveniente da rede elétrica
2.3	Estudar produtos semelhantes em busca de ideias, melhorias e aperfeiçoamentos ao protótipo proposto
3	Implementar o <i>firmware</i> responsável por gerenciar o sistema
3.1	Planejar e implementar a máquina de estados responsável por gerenciar o sistema
3.2	Verificar a possibilidade de otimização da máquina de estados proposta
3.3	Examinar possibilidades de acesso ao serviço disponibilizado remotamente
4	Desenvolver o circuito de tratamento do sinal para interface com o ADC para processar o sinal proveniente da rede elétrica
4.1	Estudar o funcionamento, as maneiras de como realizar e as regulamentações existentes em torno do sensoreamento para medição da energia elétrica
4.2	Implementar o <i>hardware</i> de tratamento de sinal
5	Implementar o <i>firmware</i> de processamento das amostras obtidas
5.1	Examinar as maneiras de como extrair as informações desejadas das amostras obtidas pelo ADC e de como armazená-las
Continua na próxima página	

Tabela 15: Continuação da página anterior

Índice	Atividade
5.2	Implementar o <i>firmware</i> de processamento de dados
6	Desenvolver o <i>firmware</i> e <i>hardware</i> responsáveis pela comunicação <i>wireless</i> entre o produto e o computador do usuário
6.1	Estudo e implementação do protocolo utilizado pelo nRF24L01.
7	Implementar o software a ser executado pelo usuário em seu computador para interagir com os dados vindos do produto
7.1	Estudo da melhor maneira para apresentar os dados provenientes do protótipo e de como armazená-los no computador do usuário
7.2	Implementação do <i>software</i> e do banco de dados
8	Realizar testes e analisar os resultados
8.1	Realizar testes de acesso e desempenho do sistema
8.2	Analisar os resultados obtidos
9	Elaborar documentação
9.1	Elaborar relatório parcial
9.2	Elaborar relatório final
9.3	Defender o projeto

O cronograma previsto não foi inteiramente respeitado, principalmente no que diz respeito às divisões das tarefas e os prazos a serem cumpridos. Muitas das tarefas se mostraram mais complexas do que o previsto, demandando um estudo prévio antes de se iniciar a realização da tarefa propriamente dita. Nesses casos, a duração da tarefa continuou com o tempo esperado, mas o prazo de entrega teve de ser postergado.

8 PLANO DE NEGÓCIO

8.1 SUMÁRIO EXECUTIVO

O plano de negócio apresenta a análise das viabilidades técnica, mercadológica, econômica e financeira do produto desenvolvido, o DOLEEP. O dispositivo é composto de uma aplicação gráfica a ser usada em computadores pessoais, um módulo de RF para recepção remota dos dados processados e um módulo processador a ser conectado na rede elétrica que calculará o consumo de energia elétrica em tempo real.

O conceito de *smartgrid* ou rede inteligente é definido como a aplicação da tecnologia da informação para medição e tarifação de energia elétrica (SMARTGRID NEWS, 2012). Sua prática envolve o uso de sistemas de comunicação e medição eletrônica da potência consumida, além de outras grandezas, como corrente e tensão. O sistema então analisa as informações coletadas e entrega ao usuário uma visão geral, e em tempo real, do consumo de energia.

Nos últimos três anos a ANEEL vem definindo padrões para a implantação do *smartgrid* no Brasil. Uma das consequências da implantação desse conceito é o uso do sistema de cobrança diferenciada, i.e. a tarifação varia de acordo com o horário de consumo. A energia consumida em horários de baixo uso, chamada de Tarifa Branca, seria mais barata. Outras vantagens para o consumidor seriam: Energia pré paga, similar ao modelo existente para créditos de celular ou ainda a venda, por parte do consumidor domiciliar, da energia excedente produzida por células fotovoltaicas ou geradores eólicos, além do sistema ser capaz de comunicar às centrais de distribuição possíveis rupturas no fornecimento de energia, (SMARTGRID NEWS, 2012).

A longo prazo, cessaria a necessidade dos operadores responsáveis pela leitura dos medidores de energia eletromecânicos, que verificam o consumo de energia em cada residência e indústria. Com a integração por meio de sistemas de telecomunicação, a concessionária de energia receberia o consumo de cada unidade remotamente, reduzindo custos e aumentando a confiabilidade e precisão dos dados. Esses novos processos e melhorias dos atuais são dependentes da implementação da tecnologia da medição de energia elétrica de maneira digital,

de modo a ter os dados disponíveis para relatórios e processamento. A ANEEL, em agosto de 2012, publicou a resolução normativa N° 502/2012 na qual regulamenta os sistemas de medição de energia eletrônicos (ANEEL, 2012).

Esse projeto aproveita o movimento em direção ao gerenciamento eletrônico de energia para propor um aparelho capaz de medir o consumo energético em uma tomada, oferecendo as características de uso dos produtos a ele conectados. Serve de base para a criação de um sistema de gestão de energia residencial, no qual os usuários saberiam o quanto, e em quais tomadas, estão consumindo de energia. Através do DOLEEP é possível criar consciência de que produtos por vezes menosprezados podem influenciar na conta de energia elétrica, principalmente aqueles que possuem um estado de *stand by*, no qual mesmo o aparelho estando desligado ainda há consumo de energia.

8.2 DEFINIÇÃO DO NEGÓCIO

O produto desenvolvido está inserido no setor de tecnologia, especificamente na área de gerenciamento de energia. O negócio é caracterizado pela implementação de um produto portátil de monitoramento do consumo de energia para uso residencial por usuários não técnicos, pela oferta de um aplicativo a ser instalado em computadores pessoais capaz de criar um histórico do consumo de energia, pela ampliação do sistema ao se criar a mesma aplicação para dispositivos portáteis como *smartphones* e *tablets*, e pela possibilidade da criação de um controle ativo do consumo nas tomadas da casa por meio do sistema de automação residencial.

8.2.1 VISÃO

Dar possibilidade a usuários não técnicos de gerenciar o consumo de energia em suas residências de modo intuitivo, portátil e de fácil de instalação.

8.2.2 MISSÃO

Criar produtos inovadores capazes de serem pagos no decorrer do tempo pela eficiência adicionada ao modo que se consome energia em residências, de modo que o consumidor perceba a economia e mude seus hábitos de consumo.

8.2.3 VALORES

Usar a tecnologia para criação de produtos intuitivos e simples que respeitem o meio ambiente e usem a informação como principal canal para a conscientização das pessoas, de modo a se ter um consumo de energia livre de grandes desperdícios.

8.3 OBJETIVOS E METAS

O objetivo deste plano de negócio é analisar a viabilidade econômica e financeira do projeto DOLEEP, visando apresentar esse projeto como uma referência em soluções para gerenciamento de energia residencial. Para isso, deve-se realizar um estudo detalhado a respeito do mercado e da indústria nos quais o DOLEEP estará inserido. Posteriormente, deve-se planejar as estratégias de *marketing* do serviço e do produto oferecido. Por fim, será necessário realizar uma avaliação da viabilidade financeira do negócio proposto.

8.4 PRODUTO E SERVIÇO

Esta seção é destinada a descrever as características do produto, tecnologias usadas para sua implementação, seus diferenciais em relação aos concorrentes e o perfil do cliente alvo.

8.4.1 DESCRIÇÃO DO PRODUTO E DO SERVIÇO

O DOLEEP é um produto projetado para informar ao usuário a potência sendo consumida e o total de energia usada durante o tempo que o aparelho faz as medições. Além disso, é capaz de traduzir o consumo em valores financeiros, de acordo com as tabelas de tarifação das concessionárias de energia elétrica. É destinado a consumidores residenciais que gostariam de acompanhar os seus gastos com energia em tempo real. Também tem a funcionalidade de aferir se equipamentos estão funcionando de acordo com o especificado, i.e. a potência sendo consumida versus a potência nominal do aparelho informada pelo fabricante do mesmo.

O sistema adquire dados da tensão da rede elétrica e a corrente consumida de todos os produtos a ele conectados e calcula a potência e o consumo. A apresentação dos resultados é feita no DOLEEP através de um LCD e remotamente através de uma aplicação para computadores pessoais que recebe os dados via conexão serial com um módulo receptor de rádio frequência.

8.4.2 DIFERENCIAIS

O principal diferencial do produto é oferecer duas possibilidades para o usuário: Receber dados de forma resumida ou recebê-los remotamente de modo detalhado. O usuário que desejar apenas saber seu gasto com os aparelhos conectados ao DOLEEP, poderá facilmente vê-lo por meio do LCD conectado ao medidor. Caso queira mais detalhes, ele poderá receber os dados em um computador pessoal dentro da distância máxima de afastamento do DOLEEP, por meio do módulo receptor.

Se o sistema for comparado com os medidores conhecidos como alicates wattímetros, o DOLEEP pode ser diferenciado pelas seguintes características:

- **Facilidade:** O produto funciona logo após ser conectado a uma tomada. Não há necessidade de se montar um esquema de teste, apenas conectar o medidor ao aparelho sob teste.
- **Preço:** A faixa de preço de um wattímetro está em R\$1.000,00. O DOLEEP deve ter um preço final ao consumidor de 15% a 25% do valor do wattímetro.
- **Portabilidade:** Devido ao sistema automático de envio de dados por RF, o DOLEEP oferece duas alternativas para apresentação dos dados, prontamente após ser ligado, sem a necessidade de conexão por fios.
- **Flexibilidade:** O sistema pode receber atualizações dos preços cobrados pela concessionária por meio da aplicação gráfica instalada em um computador pessoal.

8.4.3 TECNOLOGIA

O código fonte dos módulos de processamento e de recepção foi criado por meio de compiladores, fornecidos pelos fabricantes dos microcontroladores comprados, com uma licença de uso limitada ao tamanho do código que foi respeitada. São eles: IAR Embedded Systems e Code Composer. Assim, as ferramentas de desenvolvimento do código não implicaram em um custo para o desenvolvimento do protótipo. Os circuitos de tratamento de sinal usam componentes comuns no mercado, o que diminui a possibilidade de mudança estrutural do produto caso um fornecedor pare de produzir os CIs usados.

A aplicação gráfica usada para apresentar os dados medidos foi desenvolvida com tecnologias amplamente utilizadas de forma a ser suportada pela maioria dos computadores no mercado, i.e. que usam o Windows, sistema operacional fabricado pela Microsoft.

8.4.4 PERFIL DO CLIENTE (REFERÊNCIA)

O perfil do cliente a ser utilizado como referência é:

- Sexo: Masculino;
- Formação: Terceiro grau na área de tecnologia/exatas;
- Idade: 30 a 50 anos;
- Renda: R\$3.000,00 a R\$5.000,00;
- Poder de decisão: baixo a médio.

O consumidor final do DOLEEP é aquele usuário de aparelhos eletrônicos que gostaria de um modo de diminuir o consumo de energia monitorando o quanto cada aparelho pesa na tarifa mensal cobrada pela concessionária de energia.

8.4.5 PRODUTOS SIMILARES

No Brasil, a CIAL Comércio importa um medidor de energia elétrica portátil que mede tensões de até 220V e uma soma das correntes de 20A. Apresenta a energia consumida em kWh por meio de um LCD. Sua precisão é de 1% e o preço de venda é de R\$550,00.

Outro produto semelhante é oferecido no exterior, o Kill a Watt EZ. Produzido pela P3 International. Apresenta dados através de um LCD na sua parte frontal que são escolhidos por meio de um menu com botões. Pode medir uma potência ativa de até 1900W.

8.4.6 PRODUTOS

A primeira versão do produto pode medir até 2.500W de potência ativa de qualquer produto a ele conectado. Apresenta os dados resumidos em um LCD e envia todos os dados calculados para um receptor remoto via RF. O receptor é conectado a um computador pessoal. Nele, é instalada uma aplicação que produz gráficos das grandezas recebidas através de conexão serial com o receptor, por meio de um conector USB. A aplicação também permite a criação de um banco de dados que salva os dados das medições para referência futura.

Essa primeira versão pode ser rapidamente incrementada para potências maiores ao se trocar o circuito medidor de corrente para outro de capacidade maior. Já é feito um sensor de

efeito Hall pela Allegro MicroSystems que possui uma faixa de valores mais extensa. O circuito de tratamento da tensão também pode ser adaptado para medições de 220V, chamadas bifásicas.

Em um futuro próximo deseja-se transformar o computador pessoal em um servidor de informação que repassa os dados guardados no banco de dados local para um armazenamento na rede de internet. Dessa forma, aplicativos para *smartphones* ou *tablets* também poderiam ter acesso aos dados gerados em tempo real, provendo uma facilidade a mais para os usuários que queiram monitorar seu consumo enquanto estiverem longe do aparelho.

Como solução final relacionada a esse projeto, propõe-se criar uma interatividade do usuário com a rede elétrica de sua casa. Cada tomada poderia ser controlada por meio de relés acionados via sinais enviados por uma aplicação instalada em computadores pessoais, *smartphones* ou *tablets*. O consumidor poderia programar horários para desconectar a energia de cada tomada elétrica individualmente, receber estatísticas de uso e ser notificado de qualquer suspeita de problema ou queda de energia.

8.5 ANÁLISE DE MERCADO RESUMIDA

Dada a crescente preocupação com o meio ambiente e com os fatores de sustentabilidade, o melhor gerenciamento de energia elétrica tem sido visto como prioridade tanto para o estado como para a população. A ANEEL vem buscando regulamentar rapidamente a implementação das redes inteligentes, *smartgrids*, de modo a aumentar a eficiência do sistema elétrico e dinamizar a distribuição aos domicílios. Contudo, apesar de já ser regulamentado e ter os parâmetros para homologação definidos, ainda são poucos os relógios medidores de energia eletrônicos. Dispositivos usados com o objetivo de acompanhar o consumo de aparelhos específicos, i.e. ligados no aparelho, são mais raros ainda, devido à histórica falta de interesse do perfil brasileiro em ter dados e os analisar.

Com o objetivo de melhorar a maneira como a energia elétrica é usada nas residências do país, este projeto pretende atuar diretamente com o consumidor final de energia elétrica. Essa seção é complementada pela Seção 8.6, que diz respeito à análise da indústria através da apresentação dos *players*, fornecedores, clientes e concorrentes.

8.5.1 SEGMENTAÇÃO DO MERCADO

O projeto desenvolvido está inserido no mercado de medição de energia elétrica. Analisando este mercado, pode-se destacar os seguintes segmentos:

- Energia industrial monofásica/bifásica/trifásica
- Energia domiciliar monofásica/bifásica
- Energia rural monofásica/bifásica
- Energia comercial monofásica/bifásica

O produto foi projetado usando-se como referência a tensão da cidade de Curitiba, que tem um valor eficaz de 127V. A adaptação para cidades de 254Vrms é possível de ser feita rapidamente sendo necessários apenas alguns ajustes. A limitação do sistema quanto ao valor da corrente é de 20A. O limite de potência real a ser medido então é de 2,54kW, considerando um aproveitamento total de energia. Isso equivale a 10 TVs de LCD de 42 polegadas ligadas ao mesmo tempo, considerando uma potência consumida de 250W para cada aparelho.

8.5.1.1 Energia industrial monofásica/bifásica/trifásica

O segmento de energia industrial envolve o uso de energia para manufatura, alimentação de grandes máquinas ou prédios. Geralmente a alimentação se dá em montagem trifásica ou bifásica. O produto poderia ser usado para dar informações resumidas de aparelhos isolados que consumam menos que 20A de corrente, e com tensão em 127V.

8.5.1.2 Energia domiciliar monofásica/bifásica e Energia rural monofásica/bifásica

Esse segmento é aquele com maior chances de venda. No Paraná a maioria dos aparelhos funciona em 127V e a corrente consumida para a maioria dos aparelhos é menor que 20A. Os dados apresentados pelo aparelho são suficientes para usuários leigos, que não sentem a necessidade de informações detalhadas da sua energia elétrica, diferente do segmento industrial, por exemplo.

8.5.1.3 Energia comercial monofásica/bifásica

O segmento comercial seria aquele que representa lojas, escritórios, conjuntos comerciais e etc. A maior dificuldade de entrada nesse mercado é ligada a limitações do sistema quanto ao consumo de corrente. Mas se o intuito for monitorar aparelhos específicos ou mesmo mostrar ao consumidor que a potência nominal está corretamente especificada, o DOLEEP pode ser usado.

8.5.2 SEGMENTO ALVO DE MERCADO

O segmento alvo para o DOLEEP é o segmento de energia residencial monofásica. Pelas limitações do produto e as características das informações que ele fornece como saída para o usuário, esse segmento é o que melhor se encaixa no perfil de consumidor. Ele também pode ser usado nos outros segmentos, mas terá sua aplicação restrita a alguns casos, de acordo com suas especificações.

Devido ao movimento das grandes empresas para o setor industrial e de medidores de instalação, viu-se a possibilidade de alcançar um nicho de mercado desprezado até então. Para uma empresa em início de atividade isso pode significar tempo sem a concorrência das grandes produtoras para se consolidar nessa área do mercado.

8.5.2.1 Necessidades do mercado

O mercado de medição de energia está atualmente concentrado no desenvolvimento de medidores eletrônicos para os consumidores que os solicitarem. Esse movimento na indústria ocorreu devido ao resultado da Audiência Pública nº 43, de 2010, realizada pela ANEEL. Nela, definiram-se as funcionalidades mínimas do medidor inteligente e as distribuidoras receberam prazo de até 18 meses após a publicação da resolução normativa, em Agosto de 2012, para disponibilizar os primeiros modelos.

Assim, devido a regulamentações do governo, o mercado das grandes companhias de medição de energia está voltado para medidores de energia que substituam os medidores eletromecânicos atuais.

8.5.2.2 Tendências do Mercado

Em um levantamento realizado com empresas de faturamento entre R\$20 milhões a R\$50 milhões do setor de medição e testes, 92% afirmam que o segmento de atuação industrial faz parte dos principais segmentos de atuação, seguido do setor comercial, com 62% (O SETOR ELÉTRICO, 2012). A figura 33 mostra os principais segmentos, de acordo com a pesquisa.

Esses dados mostram que junto com a produção de medidores de energia para serem usados pelas concessionárias de energia, os setores industrial e comercial são aqueles que mais devem receber a atenção das grandes corporações do setor de medição elétrica nos próximos anos.

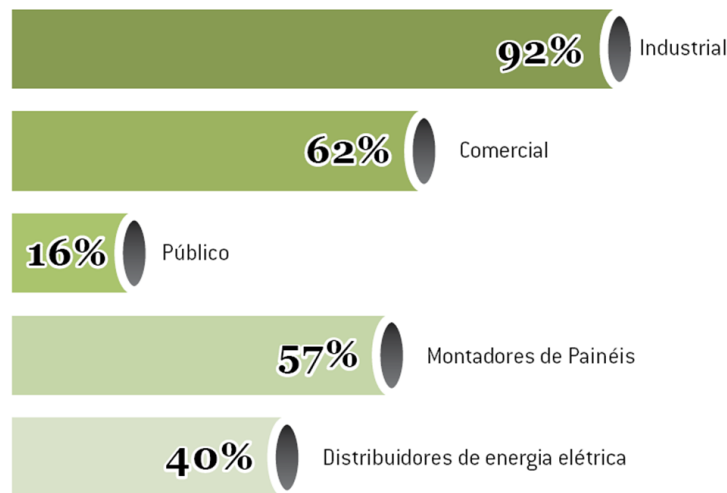


Figura 33: Principais segmentos de mercado de medição elétrica

Fonte: (O SETOR ELÉTRICO, 2012)

8.6 ANÁLISE DA INDÚSTRIA

Atualmente o mercado de medição é composto por diversas empresas estrangeiras, como Landis Gyr e Siemens, que oferecem medidores de energia para todos os tipos de consumidores. Há também empresas nacionais tentando tomar uma fatia do mercado, como é o caso da Ziv Brasil, sediada em Porto Alegre. O foco dessas empresas está na medição voltada ao *smartgrid* e os medidores de energia eletrônicos a serem implantados no país e também a medidores portáteis de alta precisão, com uma contrapartida de um preço mais alto. Nesse mercado de medidores portáteis, pode-se ressaltar a Minipa, empresa nacional, e a Agilent, empresa do exterior reconhecida pela qualidade de seus produtos.

8.6.1 PLAYERS

Os *players* do mercado em que se pretende inserir o produto são divididos em três tipos: fornecedores, clientes e concorrentes.

Os fornecedores do produto são caracterizados por fornecedores de *hardware* e fornecedores de tecnologia para implementação de *software*. Os dois principais fornecedores de *hardware* foram a Texas Instruments sediada nos EUA e a européia STM. A aplicação gráfica e a aplicação embarcada necessitam de uma série de programas e recursos de *software* para serem desenvolvidas. Apesar dessa dependência, a maioria dos *softwares* utilizados são livres e de código fonte aberto, o que oferece uma garantia de que os serviços não apresentam riscos ao

futuro do sistema.

Acredita-se que a primeira versão do DOLEEP possa ser usada em todas as residências do país em que haja o interesse de mudar os hábitos de consumo de energia de modo a se ter um uso mais econômico. Desse modo, uma residência precisaria de apenas um aparelho.

Os concorrentes do produto encontrados são todos fabricados fora do país. Importadoras que vendem o Kill a Watt no Brasil cobram em torno de R\$150,00 pelo produto. Algumas adaptações são necessárias para se usar esse produto, devido ao mesmo não ser fabricado nos padrões de energia brasileiros, e.g o padrão de tomadas do Brasil.

8.6.2 MODELO DE COMPETITIVIDADE

Atualmente existe pouca concorrência quanto a produtos portáteis para medição de energia elétrica. Há sim alta competitividade em setores de automação residencial e aplicações para *smartphones*. Exatamente por isso, é focada primeiro a consolidação no mercado através do DOLEEP, criando uma necessidade nos usuários que até então é inexistente. Em um segundo momento, com a empresa com suas bases já fixas inicia-se o processo de expansão para a área de automação residencial. Foram realizadas pesquisas com o objetivo de encontrar produtos similares ao desenvolvido e não foi encontrado nenhum sistema que apresente as mesmas características do DOLEEP produzido nacionalmente. Isso ocorre devido ao perfil brasileiro de não se importar muito com a escassez de energia ou as implicações financeiras de maus hábitos de consumo. O DOLEEP quer desempenhar um papel de vanguarda, aproveitando o movimento do mundo à procura de um desenvolvimento sustentável para mostrar que pode ser até lucrativo se conscientizar.

Se o mercado das grandes corporações se voltar para o nicho no qual o DOLEEP é vendido e começar a existir um cenário de competitividade, os requisitos que devem ser levados em consideração para o sucesso da comercialização do mesmo são os seguintes:

- Portabilidade do sistema: O sistema deve ser fácil de usar
- Precisão nos resultados: A precisão deve estar em nível similar ao de produtos mais caros.
- Custo de manutenção e atualização: O custo de manutenção deve ser baixo e as atualizações devem ser fáceis de ser feitas, de modo que o próprio usuário consiga as fazer.
- Facilidade de uso para os usuários: O usuário do sistema usa uma interface gráfica intuitiva e simples de usar para conhecer as grandezas medidas.

8.7 DEFINIÇÃO DA OFERTA E DA PROPOSTA DE VALOR

O mercado de medição de energia elétrica através de microcontroladores possui uma tendência de crescimento para os próximos anos e uma necessidade de melhoria constante, visando assim incentivar um maior número de pessoas a usar energia elétrica de modo mais consciente. Essa tendência é impulsionada pela tecnologia *smartgrid* que vai possibilitar uma gama de novas aplicações para os medidores de energia.

O projeto DOLEEP tem como mercado alvo os consumidores residenciais, a princípio em Curitiba e imediações. O objetivo é aproveitar a tendência de modernização dos métodos de medição de energia sem entrar em concorrência com as grandes corporações. Por isso, decidiu-se trabalhar nas imediações do nicho de mercado escolhido por elas. Através do produto os consumidores poderão saber o quanto gastam com cada aparelho que possuem, de modo a aumentar a consciência de como usam energia. Devido ao apelo, nos últimos anos, para uma sociedade mais preocupada com o meio ambiente, acredita-se que o DOLEEP possa somar esforços para um consumo mais eficiente, através da informação provida à população.

8.8 ESTRATÉGIA E IMPLEMENTAÇÃO - RESUMO

Esta seção tem o propósito de demonstrar qual é o planejamento para se comercializar o DOLEEP. Serão apresentados os métodos de comercialização, primeira versão do produto, estratégia para precificação, diferenciais competitivos e proposta de valor.

8.8.1 DIFERENCIAIS COMPETITIVOS E PROPOSTA DE VALOR

O diferencial do DOLEEP é sua portabilidade. Diferente dos medidores de energia convencionais, os eletromecânicos, o DOLEEP pode ser rapidamente levado de um lugar para o outro, sem qualquer dificuldade de conectá-lo a um aparelho, devido a sua entrada em tomada.

Exatamente por esse motivo ele também é mais fácil de ser usado que o Wattímetro portátil, sua instalação só requer que a carga a ser medida seja conectada ao mesmo.

Outra vantagem é o banco de dados. O DOLEEP pode armazenar dados históricos de medições, sendo possível fazer uma análise cuidadosa de várias grandezas durante diversos dias. Isso permite um maior controle da despesa com energia, uma vez que em tempo real poderá se saber quanto está sendo gasto e também ser realizado um levantamento histórico do consumo.

8.8.2 PROPOSTA DE VALOR E ESTRATÉGIA DE PREÇOS

A intenção da proposta de valor é de mostrar aos clientes a possibilidade de ter em mãos uma ferramenta capaz de auxiliar no controle de gastos com energia. Com o DOLEEP, os consumidores poderão ter acesso em tempo real a exatamente o que estão usando em energia elétrica. Como a maioria dos usuários não tem afinidade com grandezas de energia, o que realmente interessa a ele é mostrado, o custo, em moeda corrente, da energia consumida. Assim, ele pode ver qual é o peso na conta de luz de uma televisão, computador e etc. Para aqueles mais avançados, o sistema permite analisar a qualidade de energia, i.e. o fator de potência, e as outras grandezas associadas à potência.

Uma vez que o consumo consciente vem sendo estimulado pelo governo e sociedade em geral, o produto vem para auxiliar aqueles que gostariam de diminuir seu consumo de energia, mas não sabem qual é o peso de cada aparelho no gasto total. O DOLEEP pode dar essas informações, produto a produto, apenas sendo conectado aos mesmos.

A definição do preço foi realizada com base na análise de custos, na margem de comercialização, na pesquisa de mercado e no monitoramento dos preços de concorrentes, de forma a elaborar uma estratégia de preço que torne o produto competitivo e tenha os resultados maximizados.

Na estratégia dos preços foi considerada matéria prima para o produto, os custos com importação, produção, aproximação de impostos, lucro e também o valor adicionado ao produto devido às funcionalidades implementadas ao mesmo. Definiu-se então que o preço de cada aparelho será de R\$150,00. Entende-se por aparelho:

1. Módulo de processamento com um LCD para apresentação dos dados resumida
2. Módulo de recepção que deve ser conectado a um computador pessoal via USB
3. Aplicação gráfica que apresenta os dados em gráficos e os armazena em um banco de dados

Esses valores estão compatíveis com os valores exercidos pelo mercado e serão reajustados a cada ano de acordo com a inflação do período a fim de garantir a rentabilidade da empresa. A base para esse valor de produto foi o Kill a Watt, maior concorrente do DOLEEP. Se importado, esse produto custaria em torno do mesmo preço do aparelho proposto.

8.8.3 PUBLICIDADE E PROPAGANDA

Para convencer o consumidor que o DOLEEP deve ser comprado, o foco das ações de propaganda deve estar no ganho financeiro que o aparelho proporciona além de ter uma vocação verde, i.e. que se preocupa com o meio ambiente. Alguns dos benefícios que o produto oferece são: auxiliar em um consumo sustentável, redução do nível de desperdício, economia ao se desligar aparelhos da tomada.

A facilidade do uso do aparelho também deve ser destacada, demonstrando a facilidade de manuseio, rapidez e a confiabilidade dos resultados apresentados pelo produto. Para isso serão necessárias ações próximas aos usuários como em vídeos na internet e televisão, divulgação em lojas de eletrônicos e materiais de construção e anúncios em revistas e páginas da internet relacionadas ao setor.

O contato com o usuário será realizado de forma indireta, por meio de companhias que compram o produto do fabricante e os revendem ao consumidor final em suas lojas ou representantes. O objetivo da empresa fabricante do DOLEEP é convencer os revendedores da vantagem do produto e do apelo que ele tem. Como não é um nicho muito explorado, o aparelho pode ser considerado de vanguarda, mesmo sendo suas tecnologias amplamente conhecidas no mercado.

8.9 GESTÃO

8.9.1 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL

A empresa do DOLEEP possui a estrutura organizacional com base nos três integrantes que desenvolveram o produto. Nos primeiros anos a empresa possuirá três setores: Pesquisa & Desenvolvimento, Produção e Administrativo. Cada sócio será responsável por um setor com as seguintes responsabilidades:

- Pesquisa & Desenvolvimento: setor responsável pelo desenvolvimento de novas versões do produto com novas funcionalidades, além da pesquisa e desenvolvimento de novos produtos para a empresa.
- Produção - setor responsável pela montagem dos módulos de processamento e de recepção, além da aplicação gráfica.
- Administrativo: setor responsável pelo contato com os fornecedores e clientes, pelas vendas, publicidade, divulgação dos produtos e pelas finanças da empresa.

Nos primeiros anos do desenvolvimento, a produção e a venda dos primeiros produtos serão executados exclusivamente pelos sócios. A partir do crescimento da empresa, com o aumento da demanda pelo produto e dos contratos com novos clientes, novos funcionários serão contratados para auxiliar a equipe inicial. Esse crescimento deve acarretar em uma transformação do setor Administrativo em uma área mais gerencial, com foco na busca de investimentos, gestão de custos e despesas, buscando manter um bom desempenho financeiro da empresa. Outro setor que deve ser criado é o de Vendas. Ele será responsável pela divulgação do produto e contato direto com o cliente. Inclui-se no contato direto com o cliente o serviço de pós-venda, que inclui atendimento aos clientes como manutenção, dúvidas e consertos dentro da garantia. Outros setores poderão ser criados no decorrer da operação da empresa.

As principais decisões serão tomadas pelo Conselho Diretor formada pelos três sócios. O Conselho Diretor tem a função de estabelecer e cumprir o planejamento estratégico e definir novos rumos para os próximos anos da empresa.

8.9.2 EQUIPE

Para o primeiro ano a equipe será formada pelos três sócios e desenvolvedores do DOLEEP, cada um responsável por cada um dos três setores da empresa: Pesquisa&Desenvolvimento, Produção e Administrativo. As contratações de novos colaboradores serão de acordo com a necessidade de cada um dos setores da empresa e de acordo com a demanda pelos produtos. Dessa forma estima-se a contratação de um técnico a cada ano e a contratação de pessoal para o setor de produção. Já para o setor de Pesquisa&Desenvolvimento estima-se a contratação de um engenheiro e estagiários para a pesquisa e desenvolvimento de novas funcionalidades para o produto a partir do segundo ano. Por fim, para o setor Administrativo estima-se a contratação de um administrador e de um publicitário a partir da divisão do setor em Administrativo e Vendas e Marketing. Para esse primeiro momento as contratações serão escolhidas pelo Conselho Diretor, mas a partir do crescimento da empresa cada setor será responsável pelas escolhas de suas contratações.

8.10 PLANO FINANCEIRO

O plano financeiro demonstra as ações planejadas para o sucesso do negócio, apresentando os investimentos necessários, programa de vendas, custos e resultados financeiros. Por meio do plano financeiro demonstra-se a viabilidade financeira e econômica do negócio.

8.10.1 INVESTIMENTOS

Para o investimento inicial são considerados os investimentos pré-operacionais, os investimentos financeiros e os investimentos fixos para a produção.

Os investimentos fixos são relativos aos recursos operacionais da empresa como instalações, equipamentos e licenças. A maior parte desse investimento é referente à aquisição de matéria-prima para a produção dos primeiros produtos e à formação do escritório da empresa.

Os investimentos financeiros são relativos aos recursos necessários para formar as atividades da empresa, para suprir os custos e as despesas fixas, até que exista um aumento do volume de vendas que possibilite a rentabilidade da empresa.

Os investimentos pré-operacionais são relativos as despesas da organização da empresa, as licenças para a produção e comercialização do produto, a propaganda do produto e os contratos com os clientes.

Dessa forma o investimento inicial será de R\$ 41.000,00 conforme apresenta a Tabela 16. Grande parte desse valor inicial de investimento é devido a infraestrutura necessária para a produção do produto através de equipamentos, matéria-prima e capital de giro.

Tabela 16: Investimentos

Fonte: Autoria própria

Investimentos	Valor (R\$)
Investimentos fixos	
Equipamentos	9.000,00
Softwares	3.000,00
Hardware	4.000,00
Móveis	5.000,00
Subtotal	22.000,00
Investimentos financeiros	
Capital de Giro	15.000,00
Subtotal	15.000,00
Investimentos pré-operacionais	
Legalização	4.000,00
Subtotal	4.000,00
Total	41.000,00

8.10.2 PROGRAMA DE VENDAS

O aumento no número de vendas ocorrerá a partir do sucesso dos primeiros produtos vendidos. No primeiro ano é esperada a venda de 1000 unidades do produto. No segundo ano,

com o sucesso da utilização do produto, novas vendas serão realizadas, atingindo o número de 1200 produtos vendidos. A partir do terceiro ano o produto começa a se estabelecer no mercado, podendo o território de influência ser expandido para fora de Curitiba, totalizando 1600 produtos vendidos, conforme mostra a Tabela 17. Para efeito de cálculo, a inflação anual foi definida a 6% ao ano

Tabela 17: Programação de vendas

Fonte: Autoria própria

Programa de vendas (R\$)			
Descrição/Ano	1	2	3
Quantidade	1000	1200	1600
Preço unitário	150,00	159,00	169,50
Faturamento	150.000,00	190.800,00	271.200,00

8.10.3 CUSTOS

No primeiro anos os custos são os menores possíveis, até que a empresa tenha maior estabilidade financeira. A partir do segundo e terceiro ano os custos serão maiores devido ao crescimento da empresa. Dessa forma os custos são divididos em fixos e variáveis, como mostra a Tabela 18.

Tabela 18: Custos

Fonte: Autoria própria

Custos (R\$)			
Descrição/Ano	1	2	3
Custos fixos			
Custo com pessoal	72.000,00	90.000,00	108.000,00
Aluguel	14.400,00	18.000,00	27.600,00
Administrativos	10.000,00	11.000,00	12.500,00
Manutenção	2000,00	3.000,00	4.000,00
Subtotal	98.400,00	122.200,00	152.100,00
Custos Variáveis			
Matéria prima	30.000,00	35.000,00	50.000,00
Pesquisa e desenvolvimento	2.000,00	3.000,00	5.000,00
Marketing	1.100,00	2.000,00	4.800,00
Gastos gerais	1100,00	2.500,00	5.700,00
Subtotal	34.200,00	42.500,00	65.600,00
Total	132.600,00	164.500,00	217.600,00

Os custos fixos são provenientes principalmente dos dividendos e da estruturação da empresa. Por outro lado os custos variáveis são provenientes principalmente da matéria-prima

e dos equipamentos para produção. Por ser tratar de um produto que necessita sempre de novidades para adicionar valor ao consumidor, um custo maior é necessário na área de pesquisa e desenvolvimento para a criação de novas funcionalidades e novos produtos.

8.10.4 RESULTADOS FINANCEIROS

Através da análise dos valores de vendas, faturamento, custos, impostos é possível obter a projeção dos resultados financeiros, como mostra a Tabela 19. Nota-se que no primeiro ano de operação da empresa o lucro líquido é nulo, sendo necessário um aporte financeiro para cumprir os compromissos além do investimento inicial apresentado na Seção 8.10.1. Entretanto, a partir do segundo ano de operação há um resultado positivo do lucro líquido, sendo que para os anos seguintes os lucros esperados são crescentes. Em comparação entre o segundo e terceiro ano de operação da empresa, o lucro líquido apresenta um crescimento seis vezes maior.

Dessa forma demonstra-se a viabilidade do negócio a partir do investimento inicial, sendo que a partir do quinto ano o lucro alcançado deverá superar o valor investido. Contudo, para atingir esses resultados é necessário um investimento inicial de R\$ 49.000,00 e um total de 3800 produtos comercializados até o final do terceiro ano, conforme apresentado na Seção 8.10.2.

Tabela 19: Projeção de resultados financeiros

Fonte: Autoria própria

Projeção de resultados financeiros (R\$)			
Descrição/Ano	1	2	3
Faturamento de vendas	150.000,00	190.800,00	271.200,00
Impostos de vendas	-18.000,00	-22.896,00	-32.544,00
Custos e despesas	-132.600,00	-164.500,00	-217.600,00
Lucro Operacional	-600,00	3.404,00	21.056,00
Receitas financeiras	600,00		
Contribuição Social	-	-306,36	-1.895,04
Imposto de Renda	-	-510,60	-3.158,4
Lucro Líquido	-	2.587,04	16.002,56

O plano financeiro demonstra um resultado promissor a longo prazo. Com o aumento do número de vendas e a conquista de novos clientes no mercado a tendência é que a empresa consiga suprir o investimento inicial ao término do quinto ano e busque novas fontes de investimento para financiar novos produtos, e assim, conquiste novos mercados.

8.11 CONSIDERAÇÕES

Por meio do plano de negócios apresentado conclui-se que o negócio é viável econômica, financeira e mercadologicamente. O produto DOLEEP também é viável em termos técnicos, conforme apresentado nos capítulos 4 e 5. Além disso, o produto apresenta grandes diferenciais competitivos através da inovação no mercado, explorando uma área deixada de lado pelas grandes empresas. Dessa forma, como o negócio apresenta viabilidade em todos os sentidos e possui diferenciais competitivos, existe uma possibilidade de sucesso, com perspectivas de crescimento desde os primeiros anos de funcionamento da empresa.

Para o estudo do modelo de negócio foi usado o Business Model Canvas como ferramenta. Esse modelo pode ser definido como um diagrama com nove divisões que mapeiam os principais itens dentro de uma empresa. É um método interessante para se criar as primeiras opiniões sobre o planejamento estratégico de uma empresa. Os nove blocos do modelo Canvas são:

- Rede de parceiros: quem são os principais parceiros, que materiais estão sendo comprados dos mesmo ou quais atividades eles fazem que impactam sobre o produto;
- Principais Atividades: que atividades a proposta de valor requer que sejam feitas;
- Principais Recursos: quais recursos são necessários para criar valor para o cliente;
- Proposta de Valor: o que é oferecido aos consumidores, quais são os diferenciais adicionados e quais as necessidades do usuário que são satisfeitas ao se usar o produto.
- Relacionamento com o Cliente: quais relacionamentos com o consumidor serão estabelecidos, o quanto eles custam e quais são suas vantagens;
- Canais: qual o meio pelo qual a empresa fornece produtos e serviços aos clientes;
- Segmentos de clientes: para quem o produto está sendo desenvolvido, quem deve se interessar mais pelo produto.
- Estrutura de custos: quais são os custos mais importantes do modelo de negócio. Quais atividades e recursos são mais caros;
- Fluxos de receita: quanto os consumidores querem pagar pelo produto, e porque o produto vale esse preço.

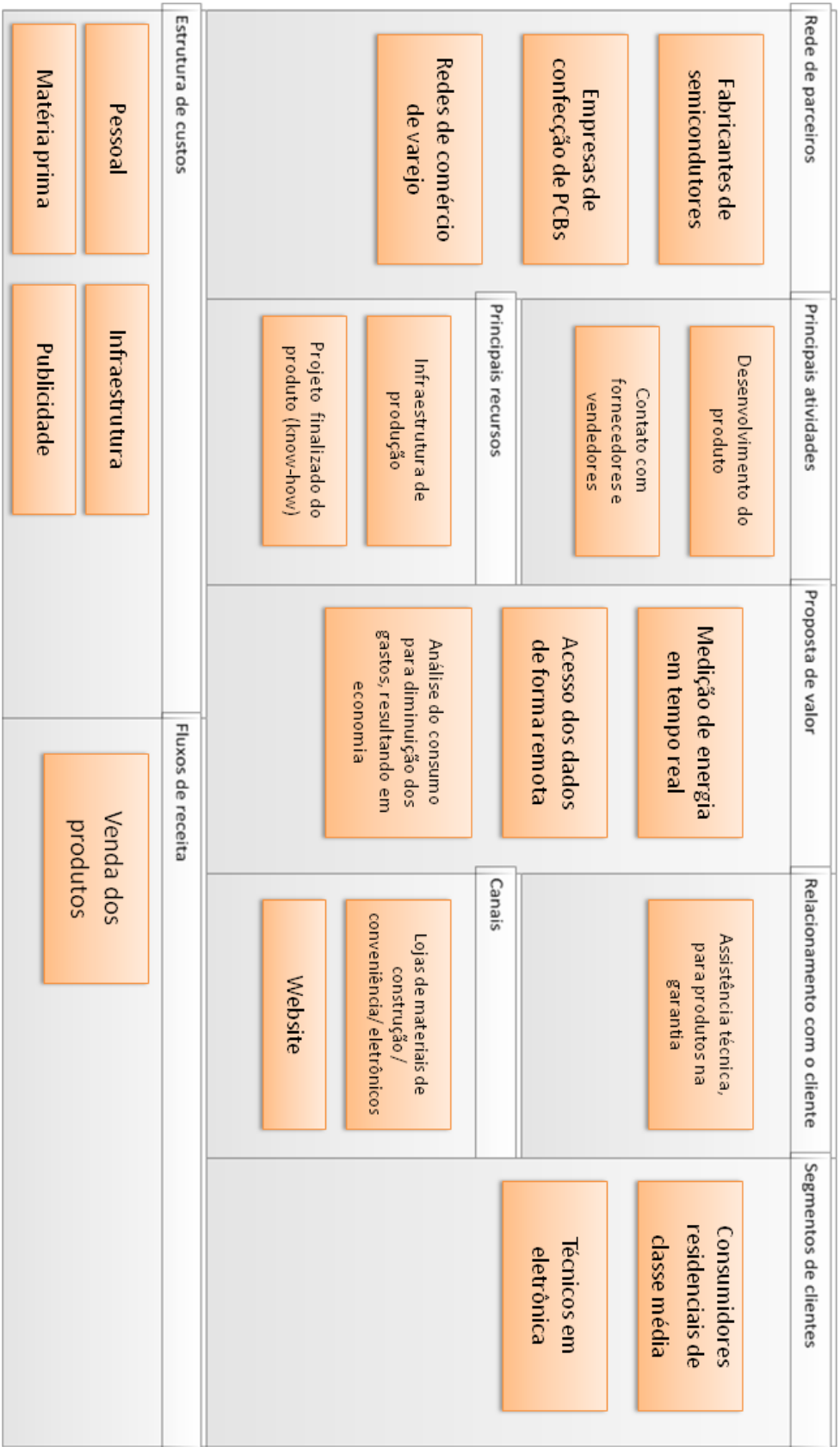


Figura 34: Modelo de negócio Canvas para o DOLEEP

A estrutura básica do plano de negócio foi criada por meio do modelo de negócio desenvolvido usando-se essa ferramenta, ilustrado na figura 34.

9 CONCLUSÃO

Nesse capítulo são apresentadas as considerações finais do projeto DOLEEP, desde a parte inicial de pesquisa e planejamento, de todas as fases de desenvolvimento e testes, até a parte de gestão do projeto e pesquisa de mercado.

A pesquisa inicial de modo a definir a posição atual dos medidores de energia e quais seriam os pontos a serem priorizados no projeto mostrou ser de grande importância enquanto o projeto era desenvolvido. Logo na concepção do conceito, através da proposta do projeto entregue na disciplina de TCC1 o conhecimento acumulado foi de extrema valia para definir os objetivos do projeto, assim como as especificações do produto a ser entregue. A metodologia de divisão das atividades e o cronograma também contribuíram de modo significativo para o avanço em busca dos resultados.

A contextualização do projeto permitiu realizar uma análise de prováveis clientes, usuários e concorrentes. O estudo dos concorrentes e trabalhos acadêmicos similares possibilitou entender a tendência que orienta o desenvolvimento dos medidores e qual é o desejo dos consumidores em geral. O estudo das patentes mostrou que o projeto não usa tecnologias que possam vir a ser contestadas em uma eventual aplicação do direito de exclusividade proporcionado por uma patente. Mas, além disso, tiveram uma função adicional de mostrar que essa tecnologia vem chamando a atenção de desenvolvedores e pode ser um bom mercado para os próximos anos.

A fundamentação teórica criou o embasamento para entender como implementar o projeto e orientar quais deveriam ser as maiores preocupações durante o desenvolvimento. Por meio dela foram estabelecidos certos critérios de qualidade esperados e como definir se os resultados estavam corretos ou não.

No desenvolvimento do projeto houve a divisão em dois módulos distintos: processamento e apresentação dos dados. Dessa forma foi possível estabelecer metas e prazos para cada módulo e realizar os devidos testes de forma independente. Por fim, na integração entre os módulos foi constatado que o processamento é suficiente para atender as demandas do

produto de modo a calcular as grandezas de modo fiel ao que está sendo consumido. O módulo de apresentação foi desenvolvido para ter seu uso intuitivo e útil, servindo como ferramenta de auxílio na educação e conscientização do consumidor no tocante ao uso eficiente de energia elétrica.

O resultado do projeto é um dispositivo medidor de energia portátil. Compõem o equipamento: um módulo de aquisição da tensão da rede elétrica e corrente sendo fornecida ao aparelho sob teste que processa essas amostras e tem como saída o quanto de energia está sendo consumida; um módulo de apresentação dos resultados que envolve o recebimento dos dados via RF e a passagem dos mesmos a uma aplicação instalada em um computador pessoal que traça gráficos ilustrando o consumo e os salva em um banco de dados para registro histórico.

A comparação de dados entre o DOLEEP e o wattímetro ET-4090 da Minipa foi determinante para definir o sucesso do aparelho projetado. As medições de corrente apresentaram um erro relativo máximo de 1,09% em relação ao dispositivo de medição padrão. Exclui-se desse resultado a medição de potência do ventilador de 50W, devido a dúvidas quanto ao funcionamento correto do ET-4090 para esse caso. A medição de tensão eficaz teve erro relativo máximo de 2,06%, mas ao ser verificada em mais um aparelho de medição, dessa vez um osciloscópio, teve os resultados mais próximos que o medidor da Minipa. Destaca-se também o baixo desvio padrão, 0,44% da média, para essa grandeza, que, em teoria, deve ser constante para todas as cargas. As medições de potência real e aparente seguiram a tendência de aproximação com os resultados padrão, com erro máximo de 3,80% para o carregador de bateria de *notebooks*, que pode ser explicado devido ao funcionamento dinâmico do aparelho sob teste. Ressalta-se desses resultados a coerência do fator de potência ter sempre valores entre 0 e 1, de acordo com a teoria de eletrônica de potência, algo que não ocorreu no ET-4090, um dispositivo no mínimo quatro vezes mais caro que o DOLEEP.

Esses resultados demonstram que o projeto cumpriu com sucesso o objetivo geral de desenvolver um dispositivo leitor de energia elétrica portátil. Da mesma forma, foram alcançados os objetivos específicos de amostrar os sinais que compõem a energia consumida de modo a conseguir retirar informações sobre potência através de um processamento do sinal, de transmitir os dados para um computador remoto e os apresentar de forma simples e intuitiva, de criar um banco de dados para armazenar as informações geradas e de apresentar, de forma resumida, os resultados em um LCD acoplado ao módulo de processamento.

Por meio da gestão de projeto, foi possível gerir os custos, financeiros e temporais, envolvidos na execução do projeto, analisar os riscos envolvidos e dividir as atividades por meio de um cronograma. Essa etapa foi essencial para o sucesso do projeto, mesmo sofrendo

alterações no calendário devido a fatores externos ao projeto.

A partir do plano de negócios, envolvendo pesquisa de mercado, clientes e concorrentes, também do planejamento de investimentos no negócio para torná-lo uma realidade, e projeção dos resultados financeiros, verificou-se a viabilidade técnica, econômica e financeira do produto. Conclui-se que o produto tem a possibilidade de atender necessidades da população e ser benéfico, útil e eficiente.

9.1 TRABALHOS FUTUROS

O conhecimento sobre medidores de energia e seu mercado foi crescendo gradativamente durante o desenvolvimento do projeto. Várias sugestões surgiram para incrementar e/ou criar linhas diferentes de produtos relacionados a gerenciamento doméstico de energia. Essa seção lista algumas dessas ideias para trabalhos futuros.

9.1.1 MEDIDOR DE MAIOR CAPACIDADE

Duas frentes de trabalho podem ser abertas nesse item. O sistema pode medir uma fase de tensão de até 180V CA e uma corrente de até 20A. Há casos que duas fases de tensão são usadas, como em chuveiros ou alguns estados do Brasil. Pode-se alterar o equipamento para que o mesmo seja capaz de incluir as duas fases de tensão no cálculo de potência. Da mesma forma, o sistema pode ter a sua capacidade de medição de corrente aumentada por meio da troca de outro sensor de corrente.

Essas duas mudanças são relacionadas a melhorias no circuito de tratamento dos sinais atual, mas não alteram a funcionalidade do produto. Portanto, são inovações incrementais no produto atual e pode ser implementadas de em um curto período de tempo.

9.1.2 APLICAÇÃO PARA CELULARES E INTERNET

Assim como o trabalho futuro proposto na seção anterior, essa mudança também é incremental, i.e. não altera a funcionalidade do produto. O uso de celulares *smartphones* e *tablet* cresce significativamente a cada ano. Desenvolver um modo de acessar os dados produzidos pelo DOLEEP pela Internet seria uma funcionalidade acrescentada que poderia ser útil para consumidores que gostariam de monitorar o consumo em suas residências de qualquer lugar do mundo. Essa melhoria pavimenta o caminho para a criação da central de gerência de consumo de energia, comentada a seguir.

9.1.3 CENTRAL DE GERÊNCIA DO CONSUMO DE ENERGIA

Essa mudança seria uma inovação de rompimento, ou *breakthrough*. Sua ideia básica é criar uma interatividade do usuário com a rede elétrica de sua casa, escritório, indústria. Cada tomada poderia ser controlada por meio de uma aplicação que poderia ser usada em computadores pessoais, celulares ou *tablets*. O consumidor poderia programar horários para desconectar a energia das tomadas elétricas, cada uma individualmente, receber estatísticas de uso, ser notificado de qualquer suspeita de problema ou queda de energia. Um dos motivos que trouxeram à tona essa ideia foi a de que vários aparelhos eletrônicos mesmo quando desligados continuam consumindo energia, devido ao estado de *standby*. Mesmo que o consumo nesse estado seja baixo, a soma do consumo de todos os aparelhos durante um mês pode ser significativa. Nesse caso o usuário poderia programar as tomadas dos eletrônicos não essenciais para serem desligadas durante a madrugada ou quando não está em casa, por exemplo. Essa inovação parece fazer parte da tendência, para os próximos anos, de envolver conceitos de automação nos projetos de residências.

REFERÊNCIAS

- ABDALA, V. **Consumo de energia elétrica cresce 6,3% em novembro**. Dezembro 2012. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2012-12-28/consumo-de-energia-eletrica-cresce-63-em-novembro>>. Acesso em: 25 de março de 2013.
- ALLEGRO MICROSYSTEMS. **ACS712 - Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor**. Novembro 2005. Disponível em: <<http://www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/ACS712-Datasheet.ashx>>. Acesso em: 10 de abril de 2013.
- ANEEL. **Resolução normativa nº502**. Agosto 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012502.pdf>>. Acesso em: 22 de abril de 2013.
- ATMEL. **AVR465: Single-Phase Power/Energy Meter with Tamper Detection**. Julho 2004. Disponível em: <<http://www.atmel.com/Images/doc2566.pdf>>. Acesso em: 10 de abril de 2013.
- CABRAL, P. **Erros e Incertezas nas medições**. Julho 2004. Disponível em: <<http://www.peb.ufrj.br/cursos/ErrosIncertezas.pdf>>. Acesso em: 28 de abril de 2013.
- GEEKNET. **Zedgraph**. 2013. Disponível em: <<http://zedgraph.sourceforge.net/index.html>>. Acesso em: 10 de abril de 2013.
- GUEDES, M. V. **Galileo Ferraris**. Abril 1998. Disponível em: <<http://paginas.fe.up.pt/histel/GalFerraris.pdf>>. Acesso em: 10 de abril de 2013.
- INMETRO. **Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE / Eficiência Energética**. 2013. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/eficiencia.asp>>. Acesso em: 25 de março de 2013.
- IRWIN, J. D. **Análise de circuitos em engenharia**. 4. ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 2000.
- LEACH, J. W. M. **Ideal Op Amp Circuits**. 2003. Disponível em: <<http://users.ece.gatech.edu/mleach/ece3050/sp04/OpAmps01.pdf>>. Acesso em: 10 de abril de 2013.
- MICROCHIP. **SPITM - Overview and User of the PICmicro Serial Peripheral Interface**. 2012. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/spi.pdf>>. Acesso em: 10 de abril de 2013.
- MILLMAN, J.; HALKIAS, C. C. **Integrated Electronics: Analog and Digital Circuits and System**. 1. ed. [S.l.]: McGraw-Hill Book Company, 1972.

MINIPA. **Alicate Wattímetro Digital - ET-4091**. 2013. Disponível em: <http://www.minipa.com.br/Caracteristicas.aspx?ID_Sub_Categoria=38&ID=468>. Acesso em: 10 de abril de 2013.

NORDIC SEMICONDUCTOR. **nRF24L01- Single Chip 2.4GHz Transceiver - Product Specification**. Julho 2007. Disponível em: <http://www.nordicsemi.com/eng/nordic/download_resource/8041/1/18917878>. Acesso em: 10 de abril de 2013.

O SETOR ELÉTRICO. **Instrumentos de teste e medição**. [S.l.]: O setor Elétrico, Dezembro 2012.

P3 INTERNATIONAL. **Kill a Watt EZ - Electricity Usage Monitor**. 2012. Disponível em: <<http://www.p3international.com/brochures/p4460.pdf>>. Acesso em: 10 de abril de 2013.

PEDUZZI, P. **Aneel busca evitar que redução de tarifas incentive aumento no consumo de energia**. Fevereiro 2013. Disponível em: <<http://www.ebc.com.br/noticias/brasil/2013/02/aneel-busca-evitar-que-reducao-de-tarifas-incentive-aumento-no-consumo-de>>. Acesso em: 10 de abril de 2013.

PHILIPS SEMICONDUCTORS. **Low power quad op amps**. Novembro 1995. Disponível em: <<http://www.datasheetcatalog.com/>>. Acesso em: 10 de abril de 2013.

REUTERS. **Governo refaz conta e prevê desconto menor de energia elétrica: 16%**. Dezembro 2012. Disponível em: <http://economia.terra.com.br/noticias/noticia.aspx?idNoticia=201212041933_RTR_SPE8B306Q>. Acesso em: 25 de março de 2013.

SILVA, R. L. da. **Medidor de energia elétrica de baixo custo com interface serial compatível com a NBR 14522**. Florianópolis, Abril 2007.

SMARTGRID NEWS. **Aneel aprova regulamento dos medidores eletrônicos**. Agosto 2012. Disponível em: <<http://smartgridnews.com.br/aneel-aprova-regulamento-dos-medidores-eletronicos>>. Acesso em: 22 de abril de 2013.

STMICROELECTRONICS. **UM0919 - User Manual STM32VLDISCOVERY**. Junho 2011. Disponível em: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/user_manual/CD00267113.pdf>. Acesso em: 10 de abril de 2013.

STMICROELECTRONICS. **STM32F100XX Datasheet**. Junho 2012. Disponível em: <<http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00251732.pdf>>. Acesso em: 10 de abril de 2013.

TEIXEIRA, L. L. **Medidor de energia eletrônico**. Porto Alegre, Dezembro 2009.

TEXAS INSTRUMENTS. **MSP-EXP430G2 LaunchPad Experimenter Board User's Guide**. Março 2012. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ug/slau318c/slau318c.pdf>>. Acesso em: 10 de abril de 2013.

TEXAS INSTRUMENTS. **MSP430G2x53, MSP430G2x13 - Mixed Signal Microcontroller**. Fevereiro 2013. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430g2553.pdf>>. Acesso em: 10 de abril de 2013.

WIKIPEDIA. **Fator de potência.** 2012. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Fator_de_potência>. Acesso em: 10 de abril de 2013.

WIKIPEDIA. **Patente.** 2012. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Patente>>. Acesso em: 10 de abril de 2013.

WIKIPEDIA. **Serial Peripheral Interface Bus.** 2012. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface_Bus>. Acesso em: 10 de abril de 2013.

APÊNDICE A - ESQUEMÁTICOS

A seguir são representados os esquemáticos desenvolvidos para as conexões elétricas entre os componentes.

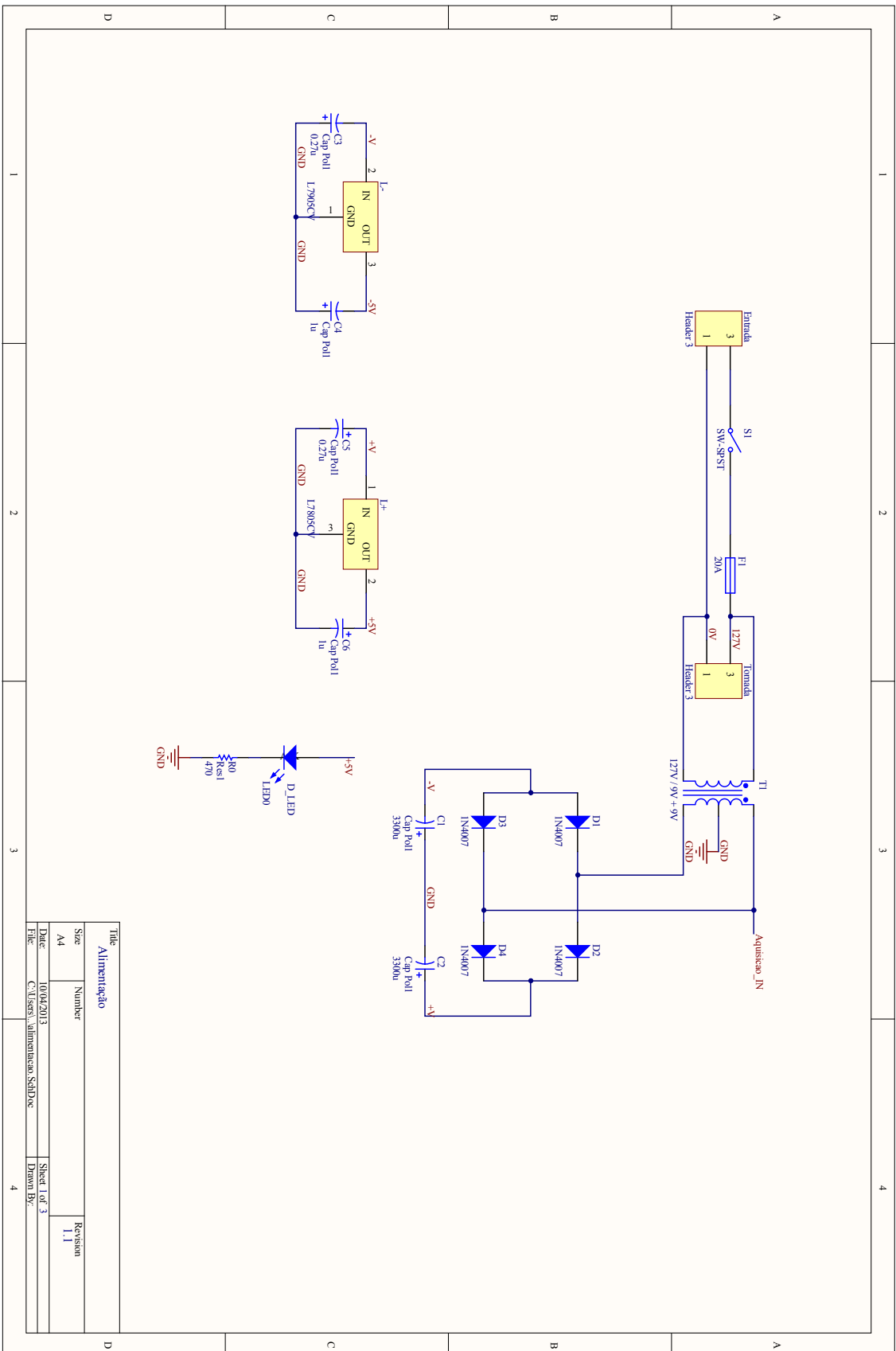


Figura 35: Circuito de alimentação

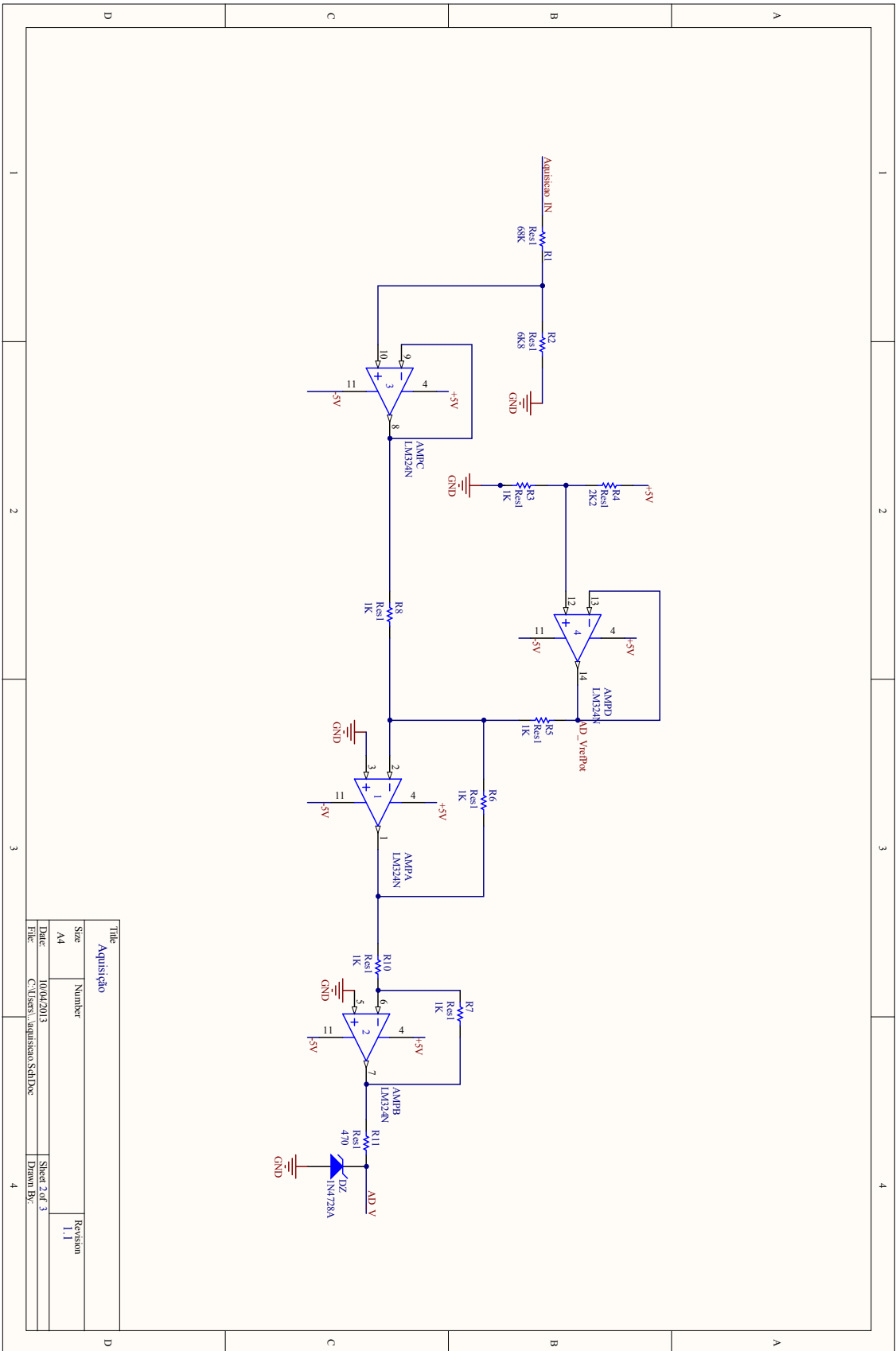


Figura 36: Circuito de tratamento de tensão

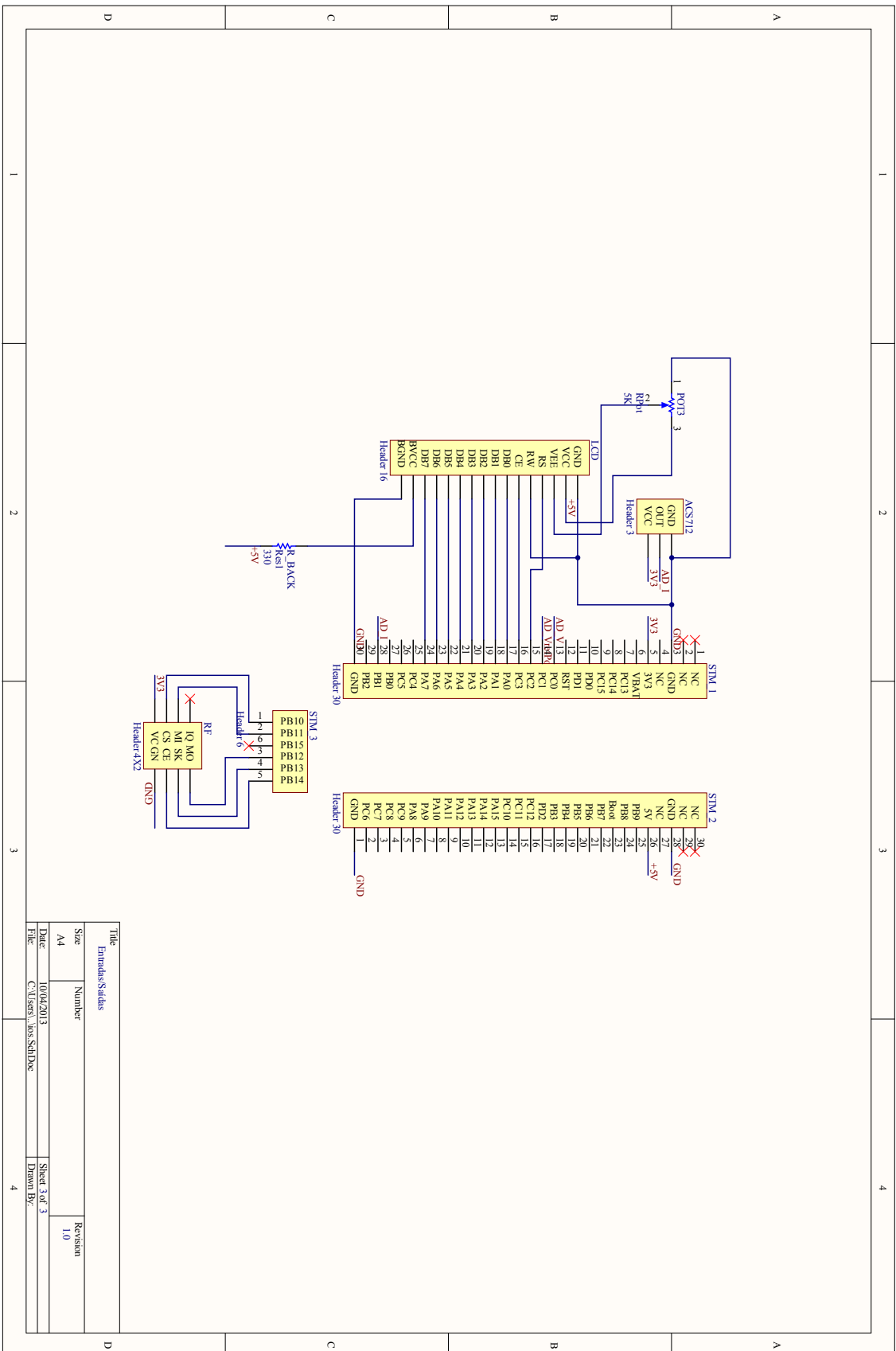


Figura 37: Esquema de conexão dos módulos à STM32VL

Title		Entradas Saldas	
Size	Number	Revision	
A4		1.0	
Date	10/04/2013	Sheet 3 of 3	
File	C:\Users\...nos\SchDoc	Drawn By:	