

**Sistema de Medição de Energia
Baseado no Medidor de Energia
Teridian 71M6515H**

PROJETO DE MESTRADO

Priscilla Mendes de Moraes

MESTRADO EM ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES
E REDES DE ENERGIA



UNIVERSIDADE da MADEIRA

A Nossa Universidade

www.uma.pt

fevereiro | 2013

UMA

DR Sis

.1

T/M Uteca
62
MOR SIS
Ex.1

71980

**Sistema de Medição de Energia
Baseado no Medidor de Energia
Teridian 71M6515H**

PROJETO DE MESTRADO

Priscilla Mendes de Moraes

MESTRADO EM ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES
E REDES DE ENERGIA

UNIVERSIDADE DA MADEIRA
SECTOR DE DOCUMENTAÇÃO
E ARQUIVO

ORIENTAÇÃO
Luís Armando de Aguiar Oliveira Gomes

Resumo

Esta tese de mestrado descreve o desenvolvimento, implementação e teste de um sistema de medição de energia concebido para um ambiente doméstico, baseado no circuito integrado medidor de energia *Teridian 71M6515H*. O sistema desenvolvido envia periodicamente os valores monitorizados para uma base de dados, através de uma rede sem fios com base no protocolo IEEE 802.11 (*Wi-Fi*). Os dados podem ser acedidos remotamente em tempo real, através de uma página na internet, onde é possível consultar a quantidade de energia consumida acumulada.

Na primeira fase deste trabalho realizou-se o enquadramento do tema no contexto atual, realizando-se o estudo de alguns sistemas domésticos de monitorização do consumo de energia elétrica existentes no mercado. Numa segunda fase foi realizado o estudo dos componentes a serem utilizados, o desenho da placa de circuito impresso e o desenvolvimento do *firmware*, para que todo o processamento e manipulação dos dados fossem realizados pela unidade de aquisição de dados. Em seguida procedeu-se à construção da unidade de aquisição e à programação para o registo dos valores numa base de dados. A última fase consistiu nos testes de funcionamento da unidade de aquisição em conjunto com a aplicação de registo de dados.

Com a implementação do sistema desenvolvido o consumidor doméstico poderá ter conhecimento, em tempo real, do custo de funcionamento dos equipamentos que possui e assim tomar decisões para os utilizar de forma mais racional, o que se pode traduzir numa economia dos recursos energéticos.

Palavras-Chave: Monitorização da energia, domótica, *Wi-Fi*, *smart meter*.

Abstract

This master thesis describes the development, implementation and testing of a measurement system designed to measure the energy consumption in an home environment, based on the integrated circuit energy meter Teridian 71M6515H. The developed system periodically sends the monitored data to a database, via a wireless network, based on IEEE 802.11 (*Wi-Fi*) protocol. The data can be accessed remotely, in real time, through a web page, where the user can see the accumulate amount of energy consumed.

In the first phase of this work the framework of the theme was established, with the study of some systems for home power consumption monitoring, available on the market. In a second phase, the study was directed at the components to be used, to the design of the printed circuit board and to the development of the firmware, with the aim of leaving all the processing and data handling to be performed by the data acquisition unit. Then the construction of the acquisition unit was performed and it was programmed for the recording of the values in a database. The last step consisted in testing the operation of the acquisition unit together with the database.

With the implementation of the developed system a domestic consumer can have real-time knowledge of the cost of operation of all the home equipment, and thus he can make decisions in a more rational manner, which can be translated into energy savings.

Keywords: energy monitoring, home automation, Wi-Fi, smart meter.

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Luís Armando de Aguiar Oliveira Gomes, orientador desta tese de mestrado, agradeço por todo o apoio prestado, pela disponibilidade e pela partilha dos seus conhecimentos académicos.

À todos os professores do mestrado em Engenharia de Telecomunicações e Redes de Energia da Universidade da Madeira, pelo auxílio na construção dos conhecimentos adquiridos durante esta jornada.

Ao Eng. Filipe Santos pela paciência e pela disponibilidade em partilhar todos os seus conhecimentos em eletrónica e programação, os quais foram fundamentais para o desenvolvimento de algumas fases deste trabalho.

Ao meu marido Paulo e à minha filha Sofia, que sempre me motivaram nos momentos mais difíceis, encorajando-me sempre a seguir em frente.

Aos meus pais pelo apoio incondicional durante toda a vida e por acreditarem sempre na minha capacidade.

Aos meus colegas, Alice, Guido, Jorge Lopes, Cristina, Ivo, Carla, pelos momentos de descontração passados juntos e pelas palavras de ânimo.

Lista de abreviaturas e terminologia

- ADC – *Analog-to-digital converter*
- AMI – *Advanced metering infrastructure*
- AMR – *Automatic meter reading*
- DIO – *Digital input/output*
- DSP – *Digital signal processing*
- EMP – *Energy management platform*
- E/S – *Entrada/Saída*
- IAM – *Individual appliance monitors*
- IPC – *Association connecting electronics industries*
- JTAG – *Joint test action group*
- PC – *Personal computer*
- PCB – *Printed circuit board*
- PLC – *Power line communications*
- RF – *Radio frequency*
- RMS – *Root mean square*
- RTC – *Real-time clock*
- RTM – *Real-time monitor*
- SPI – *Serial peripheral interface bus*
- SSI – *Synchronous serial interface*
- TCP/IP – *Transmission control protocol/Internet protocol*
- UART – *Universal asynchronous receiver transmitter*
- UE – *União europeia*
- USB – *Universal serial bus*

Índice

<i>Resumo</i>	i
<i>Abstract</i>	iii
<i>Agradecimentos</i>	v
<i>Lista de abreviaturas e terminologia</i>	vii
<i>Índice de figuras</i>	xiii
<i>Índice de tabelas</i>	xv
1. Introdução	1
1.1 Motivação	2
1.2 Objetivos	2
1.3 Organização e conteúdos	3
2. Estado da Arte	5
2.1. Sustentabilidade e eficiência energética residencial	6
2.2. Conceitos teóricos	7
2.3. Redes inteligentes de energia	10
2.3.1. <i>Smart meter</i>	11
2.4. Sistemas de monitorização de energia elétrica (<i>Home energy monitor</i>)	12
2.4.1. Sistemas de monitorização do tipo <i>plug-in</i>	13
2.4.2. Sistemas de monitorização do tipo <i>split-core</i>	16
2.5. Circuitos integrados para medição de energia	21
3. Caracterização do sistema desenvolvido	25
3.1. Requisitos para o desenvolvimento do protótipo	26
3.2. Descrição do sistema	26
3.3. <i>Hardware</i>	28
3.3.1. Medidor de energia	28
3.3.2. Sensores	40

3.3.2.1. Sensor de corrente.....	40
3.3.3. Condicionamento dos sinais.....	41
3.3.4. Microcontrolador.....	43
3.3.5. Transceter.....	44
3.3.6. Fonte de Alimentação.....	45
3.4. Comunicação.....	46
3.4.1. Comunicação entre <i>ATmega 324P</i> e 71M6515H.....	47
3.4.2. Comunicação entre <i>ATmega 324P</i> e <i>Wifly RN-171</i>	49
3.5. Configurações.....	50
3.5.1. Medidor de energia 71M6515H.....	50
3.5.2. Configuração do transceter sem fios <i>Wifly RN-171</i>	53
4. Desenvolvimento.....	55
4.1. Processo de fabrico do medidor de energia.....	56
4.1.1. Desenho do circuito (<i>Layout</i>).....	56
4.1.2. Impressão do <i>layout</i> do circuito na placa de cobre.....	58
4.1.3. Montagem dos componentes e soldadura.....	59
4.1.4. Instalação na caixa.....	59
4.1.5. Componentes utilizados e custo do medidor de energia.....	60
4.2. <i>Firmware</i>	61
4.2.1. Interrupção.....	65
4.2.2. Calibração.....	67
4.2.3. <i>Upload</i> do <i>firmware</i>	70
4.3. Unidade de registo de dados.....	71
5. Testes e Resultados.....	73
5.1. Testes de funcionamento.....	74
5.1.1. Valor eficaz da tensão.....	75
5.1.2. Valor eficaz da corrente.....	76

5.1.3. Energia	78
6. Conclusões e trabalhos futuros	83
6.1. Conclusões.....	84
6.2. Trabalhos futuros.....	85
Referências	87
Anexo A - Esquemático do circuito.....	89
Anexo B – Características do medidor de energia 71M6515H	91
Anexo C – Características do <i>Wifly RN-171</i>	93
Anexo D – Código em linguagem C do <i>firmware</i>	95
Anexo E – Código em linguagem <i>php</i> da base de dados.....	105

Índice de figuras

Figura 2. 1 – Triângulo de potências.	8
Figura 2. 2 – Diagrama de blocos de um sistema de monitorização de energia elétrica. 13	
Figura 2. 3 – Dispositivo de Monitorização do consumo elétrico Plogg [11].	14
Figura 2. 4 – Arquitetura da rede do sistema <i>Plogg</i> [11].	15
Figura 2. 5 – Dispositivo de monitorização <i>Eco-eye Elite</i> [12].	16
Figura 2. 6 – Sistema de monitorização <i>OWL</i> [14].	17
Figura 2. 7 – Sistema de Monitorização <i>Elite</i> [15].	18
Figura 2. 8– Sistema de medição elétrica <i>Envir Amb</i> [16].	19
Figura 2. 9 – Medidor de energia <i>ADE 7753</i> [17].	21
Figura 2. 10 – Medidor de potência <i>CS5463</i> [18].	22
Figura 2. 11 – Medidor de energia <i>Maxim 78M6610</i> [19].	23
Figura 2. 12 – Medidor de energia <i>STPM01</i> [20].	23
Figura 2. 13 – Medidor de energia <i>Teridian 71M6515H</i> [21].	24
Figura 3. 1 – Diagrama de blocos geral do sistema de medição de energia.	27
Figura 3. 2 – Diagrama de blocos da unidade de aquisição de dados.	27
Figura 3. 3 – Medidor de Energia [21].	29
Figura 3. 4 – Diagrama de Blocos do <i>71M6515H</i>	30
Figura 3. 5 – Conexão entre o <i>71M6515H</i> e o microcontrolador ou <i>PC</i> [21].	33
Figura 3. 6 – Configuração trifásica com neutro (ligação em estrela).	37
Figura 3. 7 – Configuração trifásica em triângulo.	38
Figura 3. 8 - Configuração trifásica em triângulo com neutro.	38
Figura 3. 9– Sensor de corrente <i>SCT – 019</i> [22].	41
Figura 3. 10 – Transformador de tensão <i>AC-AC 230V-6V</i>	41
Figura 3. 11 – Condicionamento de sinal da corrente.	42
Figura 3. 12 – Condicionamento do sinal de tensão.	43
Figura 3. 13– Microcontrolador <i>ATmega 324P</i> [24].	44
Figura 3. 14- Transceter sem fios <i>WiFly RN-171</i> [25].	45
Figura 3. 15 – Fonte de alimentação <i>XP POWER ECL10US03</i> [26].	46
Figura 3. 16 – Operação de leitura do <i>71M6515H</i> [20].	47
Figura 3. 17 – Operação de escrita no <i>71M6515H</i>	48

Figura 3. 18 - Configuração do Registo <i>CONFIG</i> do bit 0 ao bit 15	50
Figura 3. 19 - Configuração do Registo <i>CONFIG</i> do bit 16 ao bit 31	50
Figura 3. 20– Esquemático com as configurações do medidor de energia 71M6515H. 53	
Figura 3. 21 – Janela de configuração do programa X-CTU.....	54
Figura 4. 1 – <i>Layout</i> da placa de circuito impresso da unidade de aquisição de dados..	57
Figura 4. 2 – Imagem virtual da face superior da PCI com os componentes implementados.....	57
Figura 4. 3 – Imagem virtual da face inferior da PCI com os componentes implementados.....	57
Figura 4. 4 – Aparelho de UV Mega AZ – 210.....	58
Figura 4. 5 – Unidade de aquisição de dados com a respetiva caixa.....	59
Figura 4. 6 – Janelas de configuração do AVR STUDIO 6.0.	61
Figura 4. 7 – Fluxograma do <i>firmware</i>	64
Figura 4. 8 – Programador AVR MKII [31].....	70
Figura 4. 9 – Bloco <i>Header SPI</i>	70
Figura 4. 10 – Janela <i>device programming</i> do STUDIO AVR 6.0.	71
Figura 5. 1 – Sistema <i>Termotec 220 – B</i> . (a) Consola de controlo; (b) Simulador de painel solar; (c) Aerotermo [33].	74
Figura 5. 2 – Analisador de potência C.A. 8332 B [34].	75
Figura 5. 3 – Gráfico da energia acumulada consumida durante o intervalo de teste.	80
Figura 5. 4 Visualização dos dados com o programa <i>Phpmyadmin</i>	81

Índice de tabelas

Tabela 1 – Comparação entre diferentes sistemas de monitorização	20
Tabela 2 - Comparação entre diferentes integrados para medição de energia.	24
Tabela 2 – Valores possíveis para o fator X.....	31
Tabela 3 – Equações implementadas pelo processador CE.....	34
Tabela 4 – Seleção das fases para a medição da frequência no registo <i>TMUX</i>	35
Tabela 5 - Modo de operação do processador CE de acordo com o tipo de sensor.	36
Tabela 6 - Valores possíveis para o fator X.....	36
Tabela 7 – Exemplo de leitura do valor eficaz da corrente na fase A.	48
Tabela 8 – Exemplo de escrita no registo <i>CONFIG</i>	49
Tabela 9 – Relação de componentes utilizados.	60
Tabela 10 – Sequências para ativação da interrupção <i>IRQZ</i>	65
Tabela 11 – Tempo de processamento do pós-processador.	66
Tabela 12 – Comando de escrita no registo de calibração da corrente na fase A (<i>CAL_IA</i>).	68
Tabela 13 – Comando de escrita no registo de calibração da corrente na fase A (<i>CAL_VA</i>).	69
Tabela 14 – Descrição do teste realizado.	75
Tabela 15 – Erro de medição do valor eficaz da tensão.	76
Tabela 16 – Erro de medição com a consola de controlo a funcionar.....	76
Tabela 17 – Erro de medição do valor eficaz da corrente com o simulador de painel solar ligado.	77
Tabela 18 – Erro de medição do valor eficaz da corrente com o aerotermo ligado.	77
Tabela 19 – Erro de medição do valor eficaz da corrente com todo o sistema a funcionar.....	77
Tabela 20 – Erro de medição da energia aparente.....	78
Tabela 21 – Erro de medição da energia ativa.....	79
Tabela 22 – Erro de medição da energia reativa	79

1. Introdução

Este capítulo introdutório da tese de mestrado em Engenharia de Telecomunicações e Redes de Energia sob o tema de sistema de medição de energia baseado no medidor de energia *Teridian 71M6515H*, contém a motivação que deu origem à investigação desenvolvida, os objetivos e a estrutura deste documento.

1.1 Motivação

Atualmente grande parte das fontes de energia elétrica têm origem em recursos não renováveis e poluentes. Nos últimos anos têm surgido algumas iniciativas por parte das autoridades políticas a nível mundial para tentar reverter este quadro, através do incentivo à implementação de sistemas de captação de energia provenientes de fontes renováveis, e da aplicação de outras iniciativas, como por exemplo as tarifas bi-horárias por parte dos operadores de energia elétrica.

Um dos princípios para a redução do consumo energético é a consciência de quando, de quanto e de como é realizado o consumo, ou seja, grande parte dos utilizadores só tem esta perceção quando têm acesso instantâneo aos dados do consumo. Os tradicionais contadores eletromecânicos não oferecem ao consumidor nenhuma informação acerca dos padrões de consumo, para que os utilizadores possam alterar os seus hábitos e assim reduzir o consumo.

Por outro lado, o desenvolvimento na área da eletrónica trouxe uma enorme variedade de circuito integrados para a medição de energia, com elevada precisão e baixo custo, facilitando o desenvolvimento de aplicações para a monitorização do consumo de energia.

Assim, é de grande interesse desenvolver um sistema de monitorização do consumo de energia, capaz de guardar os registos históricos e que ofereça aos utilizadores domésticos informação em tempo real acerca da quantidade de energia que está a ser consumida, para que seja possível tomar decisões tão simples como ligar ou desligar aparelhos que estejam ligados devido a algum esquecimento, ou então optar por ligar aparelhos durante as horas em que o custo energético é mais reduzido.

1.2 Objetivos

Os objetivos propostos para a realização deste projeto eram os seguintes:

- ✓ Estudar a constituição básica dos sistemas de monitorização existentes;
- ✓ Estudar os circuitos integrados disponíveis para a medição da energia e os sensores apropriados;

- ✓ Implementar um sistema capaz de adquirir dados relativos às grandezas elétricas: tensão, corrente e frequência;
- ✓ Realizar o desenho de uma placa de circuito impresso, com dimensões reduzidas, que integrasse o *chip* de medição de energia, um microcontrolador para tratar os dados e o transceptor sem fios para enviar os dados para uma base de dados.
- ✓ Desenvolver o *firmware* para gerir todos os componentes envolvidos na aquisição e encaminhamento dos dados para uma base de dados;
- ✓ Permitir a visualização dos dados através de um interface gráfica disponível *on-line*.

1.3 Organização e conteúdos

Este relatório está organizado em seis capítulos e cinco anexos, sendo que a divisão dos capítulos segue a seguinte ordem:

Capítulo 1 – **Introdução**

Neste capítulo foi realizada a introdução desta dissertação, sendo apresentada a motivação para a realização desta tese, e foram descritos os objetivos pretendidos e a organização deste relatório.

Capítulo 2 – **Estado da arte**

Neste capítulo é realizada uma abordagem ao tema, no que diz respeito à sustentabilidade e eficiência energética, aos parâmetros de medição fundamentais, e são descritas as redes inteligentes de energia, analisando-se os sistemas de monitorização e os circuitos integrados para a medição de energia disponíveis atualmente no mercado, sendo apresentadas as suas vantagens e desvantagens.

Capítulo 3 – **Caraterização do sistema desenvolvido**

Neste capítulo pretende-se dar a conhecer todos os componentes que constituem este projeto, e descrever as decisões tomadas a nível de *hardware*. É apresentada ainda uma descrição mais pormenorizada do medidor de energia 71M6515H no que diz respeito à sua constituição, ao modo de comunicação e à sua configuração.

Capítulo 4 – **Desenvolvimento**

Neste capítulo são descritas todas as etapas de construção do protótipo, desde o desenho do circuito, passando pelo desenvolvimento do *firmware* até à construção do protótipo.

Capítulo 5 – **Resultados**

Neste capítulo são apresentados os testes realizados e os resultados obtidos no decorrer deste trabalho.

Capítulo 6 – **Conclusão**

Neste capítulo estão contidas as conclusões principais do trabalho realizado, e são apresentadas as recomendações para trabalhos futuros, a fim de dar sequência ao trabalho efetuado.

Anexos A, B, C, D, E

Os anexos incluem, respetivamente, o esquemático do circuito impresso, as caraterísticas do medidor de energia 71M6515H, as caraterísticas do módulo *Wifly* RN-171, o código em linguagem *C* do *firmware*, e o código em linguagem *php* da base de dados.

2. Estado da Arte

Este capítulo apresenta o estudo realizado acerca do estado da arte dos sistemas de monitorização do consumo de energia elétrica para ambientes doméstico, sendo exposto o seu enquadramento no contexto atual. São ainda descritos os conceitos teóricos associados à medição de energia, as características dos sistemas de monitorização e os componentes que os constituem, as soluções dos sistemas comercializados atualmente, e é realizada uma comparação entre eles. Na última secção são apresentados alguns circuitos integrados que se destinam à medição do consumo de energia elétrica.

2.1. Sustentabilidade e eficiência energética residencial

A sustentabilidade da produção de energia tem despertado a atenção por parte dos governos mundiais nos últimos anos, devido às mudanças climáticas e ao aumento das emissões dos gases de efeito de estufa, cuja principal fonte é a produção de energia a partir dos combustíveis fósseis. Trata-se pois de um desafio importante, tanto ao nível político, uma vez que os grandes produtores, na sua maioria, deste tipo de matéria-prima são oriundos de países politicamente instáveis, como ao nível tecnológico, uma vez que os sistemas de produção a partir de energias renováveis devem apresentar valores de eficiência mínimos de forma a serem economicamente viáveis.

Estudos indicam que 80% da energia consumida na União Europeia (UE) provém da queima de combustíveis fósseis (2008) [1]. Foi publicado em 2008 um relatório com as orientações e metas a serem adotadas pelos países da União Europeia até o ano de 2020. Os principais objetivos dessa iniciativa, intitulada “20-20-20”, consistem na redução de 20% na emissão dos gases de efeito de estufa (em relação aos valores de emissão registados no ano de 1990), no aumento para 20% do peso da produção de energia proveniente de fontes renováveis, e na redução em 20% do consumo de energia primária.

O aumento do consumo de energia elétrica observado na UE nos últimos anos, confirma a importância da implementação das medidas de redução no consumo doméstico. Dados demonstram que 34% do consumo de energia elétrica deve-se ao aquecimento das habitações [2]. Verificou-se também que 60% da energia consumida pelos sistemas de climatização é dissipada em zonas que podem facilmente ser isoladas [3], logo a importância da implementação de soluções, algumas ainda na fase de projeto, tais como isolamentos térmicos em paredes, chão e tetos, podem corresponder a uma redução de 30% nas perdas de energia dos sistemas de climatização.

Numa segunda fase, a diminuição do consumo consegue-se através de alterações tecnológicas e comportamentais. A iluminação, por exemplo, é responsável por 10% a 15% do consumo de energia elétrica [3], sendo que atualmente existem várias alternativas às tradicionais lâmpadas incandescentes, mais eficientes e com maior durabilidade, tais como as lâmpadas fluorescentes compactas e as lâmpadas de *leds*. Para além da utilização de alguns dispositivos que podem reduzir o consumo energético, a utilização de sistemas de monitorização constitui um importante mecanismo no que

diz respeito à mudança de comportamentos por parte do consumidor doméstico. Ao fornecerem informações detalhadas acerca da potência utilizada, os sistemas de monitorização ensinam e motivam o consumidor a mudar os seus hábitos, o que torna possível alcançar-se uma redução na fatura de energia elétrica.

2.2. Conceitos teóricos

Nesta secção são apresentados os conceitos teóricos subjacentes à medição de energia elétrica, nomeadamente a potência aparente, ativa e reativa, o fator de potência e a energia aparente, ativa e reativa.

Potência

A potência pode ser definida como a quantidade de trabalho realizado por unidade de tempo, ou seja, a capacidade de um sistema em realizar trabalho durante um segundo. Ao nível das grandezas elétricas, a potência pode ser definida como o produto entre a diferença de potencial nas extremidades de uma carga e a corrente que a atravessa. Na rede elétrica de energia, tanto a corrente como a tensão fornecidas possuem uma forma aproximadamente sinusoidal, com uma frequência de 50Hz ou de 60 Hz. Sendo que a potência elétrica instantânea fornecida por uma fonte ou absorvida por uma carga é dada pela equação 2.1 [4]:

$$P_{inst} = v(t) \cdot i(t) \quad (2.1)$$

Onde, $v(t)$ e $i(t)$ são as funções que caracterizam respetivamente as formas de onda da tensão e da corrente.

A impedância da carga pode ser linear e não-linear, ou seja puramente resistiva ou possuir uma componente reativa. Numa impedância puramente resistiva toda a potência consumida corresponde à potência efetivamente transformada. Numa impedância com componente reativa é gerado um desfasamento entre os sinais de corrente e de tensão, fazendo com que uma parte da potência seja devolvida à rede, ou seja, existe uma fração da potência que oscila entre o gerador e a carga, resultado da variação da energia magnética ou elétrica armazenada nos elementos indutivos ou capacitivos existentes nas cargas [5].

Assim, define-se a existência de três tipos de potência, sendo elas: potência aparente (S), potência ativa (P) e potência reativa (Q). Na Figura 2. 1 é apresentado o triângulo das potências, sendo que a relação entre as referidas potências é dada pela equação 2.2 [5].

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (2. 2)$$

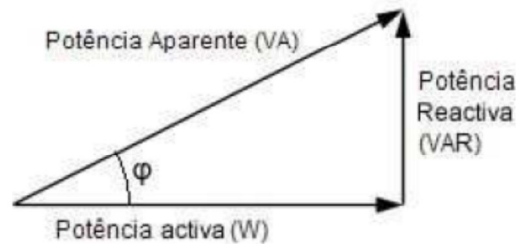


Figura 2. 1 – Triângulo de potências.

A divisão da potência em diferentes componentes faz surgir o conceito de fator de potência, sendo este definido pela razão entre a potência ativa e a potência aparente, e expresso pela equação 2.3:

$$FP = \frac{P}{S} = \cos(\varphi) \quad (2. 3)$$

Potência Aparente

A potência aparente é obtida pela soma vetorial das potências ativa e reativa, sendo apresentada nas unidades VA (volt ampere) [6].

A potência aparente pode ser obtida através do produto entre os valores eficazes da tensão e da corrente, de acordo com a equação 2.4:

$$S = V_{ef} I_{ef} \quad (2. 4)$$

Potência Ativa

A potência ativa representa a potência que é convertida em trabalho na carga, sendo expressa em W (watt) [6]. Esta componente da potência pode ser descrita como o valor médio da potência absorvida, sendo definida pela equação 2.5:

$$\mathbf{P} = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{p}(t) dt = V_{ef} I_{ef} \cos(\varphi) \quad (2.5)$$

Potência Reativa

A potência reativa não produz de trabalho útil, no entanto circula entre a carga e o gerador, o que exige do sistema gerador uma corrente adicional [6]. É expressa nas unidades VAR (volt ampere reativo), sendo obtida pela equação 2.6:

$$\mathbf{Q} = V_{ef} I_{ef} \sen(\varphi) \quad (2.6)$$

Energia

Por definição a energia elétrica consumida ou fornecida é definida como o integral da potência $P(t)$ ao longo do tempo, conforme equação 2.7 [6]:

$$\mathbf{E} = \int_0^t \mathbf{P}(\tau) d\tau \quad (2.7)$$

Se a função $P(\tau)$ for uma função periódica de período T e o sistema estiver em regime permanente, a energia pode ser obtida de acordo com a equação 2.8:

$$\mathbf{E} = \int_0^t \mathbf{P}(\tau) d\tau = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{P}(\tau) d\tau = \mathbf{P} \cdot t \quad (2.8)$$

Energia aparente

A energia aparente é obtida pela equação 2.9, sendo expressa em VAh (volt ampere hora) [6]:

$$\mathbf{E}_{ap} = \mathbf{S} \cdot t \quad (2.9)$$

Energia ativa

A energia ativa é definida pela expressão 2.10, sendo expressa nas unidades Wh (watt hora) [6]:

$$E = P \cdot t \quad (2.10)$$

Energia reativa

A energia reativa é dada pela equação 2.11, sendo expressa em VARh (volt ampere reativo hora) [6]:

$$E_{re} = Q \cdot t \quad (2.11)$$

2.3. Redes inteligentes de energia

Uma rede inteligente de energia, designada habitualmente por *Smart Grid*, para além de ser vista com uma tecnologia ou equipamento particular, tem que ser vista como um conceito ao qual está subjacente a ideia da intensa utilização de tecnologias de informação e comunicação, tornando deste modo possível a implementação de estratégias de controlo para tornar as futuras redes energéticas muito mais eficientes do que as tradicionais [7].

Dentro deste conceito o utilizador assume um novo papel: para além de consumir, passa também a produzir pequenas quantidades de energia através de fontes renováveis que podem ser injetadas na rede. Deste modo o conhecimento, em tempo real, da produção e do consumo permitem delinear novas formas de entendimento acerca das necessidades da rede elétrica, permitindo também uma coordenação conjunta entre produtor e consumidor/microprodutor, visando um consumo sustentável, eficiente e seguro.

Uma *Smart Grid* deve possuir as seguintes características [8] [9]:

- Detetar, analisar e restaurar falhas na rede automaticamente;
- Incluir os equipamentos e comportamentos dos consumidores nos procedimentos de planeamento e operação da rede;
- Resistir a ataques físicos ou virtuais;

- Garantir a qualidade no fornecimento da energia;
- Reunir diferentes tipos de fontes de energia quanto à dimensão e tecnologia de forma transparente (*plug and play*);

Para se poderem alcançar as características supracitadas é necessário envolverem-se as seguintes áreas tecnológicas [9]:

- Dispositivos de eletrónica de potência: Dispositivos capazes de suportar potências elevadas com maior velocidade e precisão, tais como tirístores e transístores;
- Geração distribuída e microgeração: Produção próxima do ponto de consumo;
- Dispositivos de armazenamento de energia: Garantia de qualidade para cargas sensíveis a flutuações na energia fornecida.
- Sistema integrado de comunicação: Comunicação entre equipamentos críticos da rede, permitindo a monitorização, o controlo e a correção;
- Sensores: Redes de sensores inteligentes.

Este trabalho centrou-se nas questões relacionadas com os sensores (medição dos consumos) e com o sistema de comunicação (transmissão dos dados através de uma rede informática).

2.3.1. *Smart meter*

Um sistema de medição eletrónico designado por *Smart Meter* apresenta novas funcionalidades face aos tradicionais “contadores de energia” eletromecânicos, tais como [9]:

- AMR (*Automatic Meter Reading*): Os dados obtidos através da monitorização com recurso aos medidores de energia são enviados para um sistema central de processamento de dados, através de diferentes redes de comunicação, tais como, *Wi-Fi*, *WiMax*, *Zigbee* ou *PLC (Power line communications)*.
- AMI (*Advanced Metering Infrastructure*): Estes sistemas representam uma evolução dos sistemas AMR, pois, para além de coletarem informações acerca

do consumo, possibilitam a análise da demanda, de forma a interagirem relativamente a alterações dos preços praticados, e atuarem sobre dispositivos pertencentes ao consumidor final. Para tal, é necessário que exista uma infraestrutura de comunicação bidirecional, entre o produtor de energia e o consumidor.

2.4. Sistemas de monitorização de energia elétrica (*Home energy monitor*)

Atendendo às exigências de redução do consumo energético, que se têm observado em muitos países, surgiram variadas soluções comerciais para a medição do consumo energético em tempo real. Esses dispositivos constituem ferramentas importantes, no que diz respeito à perceção que o utilizador da rede elétrica tem sobre o seu comportamento como consumidor. Assim, o utilizador pode ter um papel ativo, uma vez que pode identificar e conseqüentemente alterar os seus hábitos de consumo, com um impacto imediato na redução da fatura a pagar.

Os sistemas *Home Energy Monitor* têm por objetivo auxiliar o consumidor no controlo e redução do consumo energético, mas no entanto não substituem os contadores tradicionais. É de referir que estes sistemas são menos complexos que os sistemas designados por *Smart Meters*, pois esses fornecem informação do consumo de energia elétrica quer ao consumidor quer ao produtor através de uma rede de comunicação.

Um sistema inteligente de medição de energia, como o ilustrado na Figura 2. 2, é constituído de forma geral pelos seguintes componentes [10]: i) Sensores analógicos/digitais para a leitura da tensão e da corrente; ii) Circuito integrado para calcular o consumo da energia; iii) Memória para armazenar os dados; iv) Visor para mostrar em tempo real a informação referente ao consumo; v) Microcontrolador para comandar os restantes componentes; vi) Comunicação sem fios para o envio dos dados relativos ao consumo.

Os sensores de tensão e corrente podem ser implementados através de um divisor resistivo, e/ou através do recurso a um transformador de corrente ou tensão. Os valores de tensão e corrente, medidos pelos sensores, são enviados para um circuito

integrado, sendo este designado por Medidor de Energia. A sua principal função é realizar o processamento dos dados adquiridos, de forma a obter os valores de algumas grandezas, tais como, o valor eficaz da tensão e da corrente, a potência ativa, a potência reativa, a potência aparente, a energia, e o fator de potência.

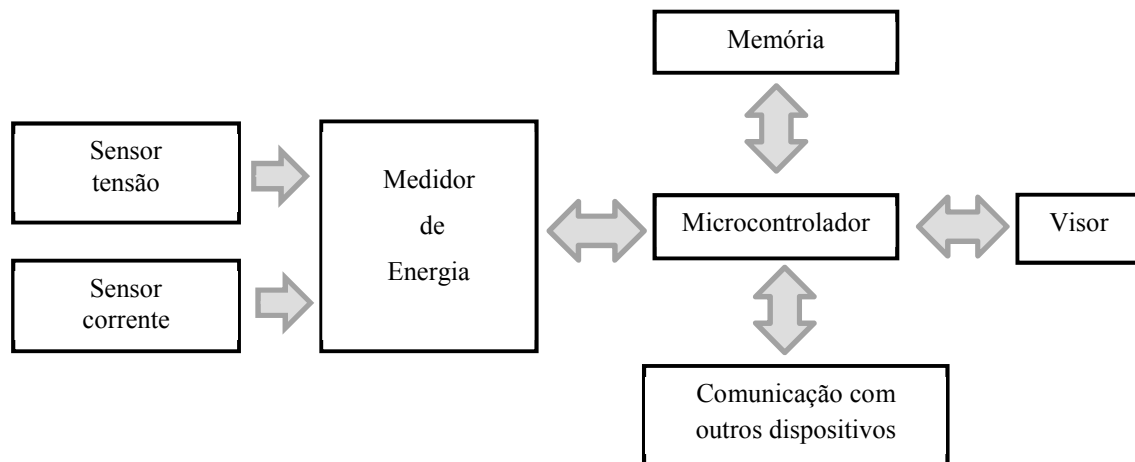


Figura 2. 2 – Diagrama de blocos de um sistema de monitorização de energia elétrica.

O microcontrolador pode ser visto como a unidade central de processamento do sistema, e detém a função de estabelecer a comunicação entre o medidor de potência/energia, solicitar os dados monitorizados, guardar o histórico de consumo na memória e enviar os dados para o visor. Pode também estabelecer uma comunicação sem fios, USB (*Universal serial bus*) ou Ethernet com outros dispositivos [10].

2.4.1. Sistemas de monitorização do tipo *plug-in*

Para alguns tipos de aplicações é desejável um sistema de monitorização que possa medir o consumo de apenas um equipamento elétrico. Nesses casos a monitorização é realizada através de aparelhos de baixo custo designados por *plug-in*. Estes dispositivos são colocados entre a tomada da habitação e o aparelho que se pretende monitorizar, e os dados são apresentados num visor ou enviados através de comunicação sem fios para um computador ou telemóvel. Atualmente existem diversos dispositivos desenvolvidos que se enquadram nesta categoria, sendo de seguida apresentado um exemplo deste tipo.

PLOGG

Desenvolvido por uma empresa britânica, o *Plogg*, ilustrado na Figura 2. 3, pode ser utilizado para monitorizar o consumo de energia em aparelhos domésticos isolados, tais como frigoríficos e ar condicionados, etc. Para além de realizar medições acerca do consumo de energia numa tomada elétrica, efetua também o controlo remoto do aparelho, permitindo por exemplo desligar aparelhos que não estejam programados para funcionar num determinado horário.

A unidade de medição e processamento deste sistema é constituída por um circuito integrado *Teridian 6511*. É comercializada também uma versão com um sensor de corrente externo, do tipo transformador de corrente *split-core* (como os que serão descritos na secção seguinte), para ser instalada no quadro elétrico geral, tornando assim possível a monitorização dos consumos de energia elétrica de toda a habitação. O envio dos dados monitorizados, assim como o controlo, é realizado através de transmissão *Zigbee* ou *Bluetooth* [11].



Figura 2. 3 – Dispositivo de Monitorização do consumo elétrico Plogg [11].

Uma das vantagens deste sistema é o acesso aos dados a partir de qualquer localização, através de uma página *Web*, sendo neste caso, e segundo a arquitetura de rede apresentada na Figura 2. 4, os dados coletados são enviados para um servidor central via Internet. O fabricante também disponibiliza um programa de gerenciamento dos dados (*Plogg Manager*), tanto para computador como para telemóvel.

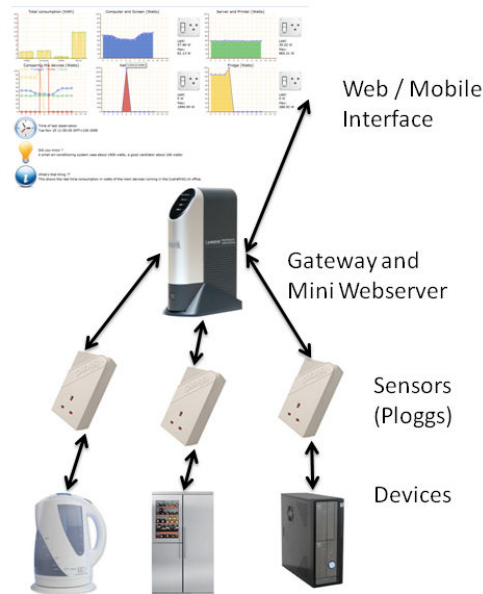


Figura 2. 4 – Arquitetura da rede do sistema *Plogg* [11].

As principais características que esse sistema apresenta são as seguintes [11]:

- Erro de medição <1%;
- O utilizador pode definir o intervalo de registo, de no mínimo 2 segundos até 1 mês;
- Memória não-volátil de 64kB para registos de dados;
- Resultados em kWh, kVArh, watts, amperes e volts;
- Permite a comparação do desempenho de aparelhos ou máquinas similares;
- Admite aplicações monofásicas, bifásicas ou trifásicas.

Uma equipa da Universidade do Chipre utilizou o *Plogg* para efetuar um estudo do impacto da utilização de dispositivos de monitorização do consumo de energia sobre a redução da fatura final a pagar, para utilizadores com tarifas de preço variável. Esta investigação mostrou que a ativação de aparelhos nos períodos de tarifa reduzida pode permitir 15% de redução na fatura mensal de uma habitação média típica [9].

2.4.2. Sistemas de monitorização do tipo *split-core*

Para se ter uma noção do panorama geral do consumo de uma habitação são utilizados sistemas de monitorização ligados ao quadro geral, onde são verificados os consumos totais. Estes sistemas são em geral de fácil instalação, visto que não implicam a interrupção dos cabos elétricos, pois utilizam sensores do tipo *split-core* que podem ser colocados à volta dos cabos.

Estes sistemas apresentam geralmente duas unidades que comunicam entre si através de comunicação sem fios. A unidade a que está acoplado o sensor *split-core* possui a função de leitura, medição e transmissão dos dados da energia para a outra unidade, unidade essa que possui um visor para visualização dos dados, e que usualmente comunica ainda com um computador ou telemóvel. De seguida são apresentados alguns exemplos dos sistemas descritos acima.

ECO-EYE ELITE

O *Eco-Eye Elite*, ilustrado na Figura 2. 5, é constituído por um sensor de corrente, um transmissor sem fios e um módulo de visualização portátil. Uma característica importante deste sistema é o seu visor LCD especialmente concebido para ser lido à distância, assim como uma interface com o utilizador simples, e com apenas três teclas.



Figura 2. 5 – Dispositivo de monitorização *Eco-eye Elite* [12].

Este sistema permite a monitorização de ligações elétricas com uma ou mais fases e efetua a amostragem da corrente a cada 4 segundos. O módulo de visualização exibe o custo da energia consumida por hora, por dia, por semana, por mês ou por ano em libras e em euros, permite a programação de até sete tarifas diferentes e também

apresenta os valores equivalentes de emissão de CO₂ para a atmosfera e o tempo de vida útil da bateria. Outra característica importante é a seleção de 30 canais diferentes para a transmissão dos dados, um recurso muito útil para evitar possíveis interferências quando há uma grande densidade destes dispositivos numa habitação [12].

OWL CM 160

O sistema de monitorização *OWL*, ilustrado na Figura 2. 6, possui um sensor de corrente, um transmissor sem fios e uma unidade de visualização que pode ser colocada até 30 metros do transmissor. Este sistema efetua a medição da corrente que flui no cabo para calcular o consumo de eletricidade em euros ou em kWh, assim como das emissões de gases de efeito estufa. Permite ainda guardar os dados das medições efetuadas, assim como realizar uma comparação entre os períodos de consumo [13].



Figura 2. 6 – Sistema de monitorização OWL [14].

Este sistema possibilita ao utilizador inserir os valores das tarifas variáveis aplicadas nos países que utilizam o dólar ou o euro como moedas oficiais. Assim, é permitido ao utilizador definir os seguintes parâmetros:

- Programar até 4 tarifas (moeda/ kWh);
- Definir alarmes (alarme ligado / desligado ou definir o valor máximo do consumo moeda / hora, a partir do qual o alarme soa);
- Tensão nominal fornecida (110, 120, 220, 230, 240 ou 250 V);
- Escolher o canal de comunicação sem fios.

EFERGY ELITE

O sistema de monitorização *Elite*, ilustrado na Figura 2. 7, é constituído por um sensor de corrente, módulo de transmissão sem fios e módulo de visualização. Este sistema possibilita um acompanhamento instantâneo, diário, semanal ou mensal do consumo de energia. O módulo de visualização disponibiliza também ampla informação, nomeadamente os respetivos custos por hora de acordo com vários tarifários, sendo possível configurar no máximo dois tarifários, assim como a emissão estimada de CO₂ para a atmosfera.



Figura 2. 7 – Sistema de Monitorização Elite [15].

No entanto este sistema não possui nenhuma plataforma de acesso aos dados através do computador ou telemóvel, sendo esta desvantagem minimizada pelo facto deste sistema possuir memória interna capaz de armazenar dados durante um período de até 24 meses. [15].

ENVIR AMB

O sistema de medição de energia *Envir Amb*, ilustrado na Figura 2. 8, foi lançado pela empresa *Current Cost* em 2011, e é constituído por um sensor de corrente, módulo de transmissão sem fios e módulo de visualização [16].

Para além de efetuar a monitorização ao nível do quadro elétrico, uma das funcionalidades que este sistema apresenta é a monitorização de até nove equipamentos individuais, através de dispositivos opcionais do tipo *plug-in* designados por “*Individual Appliance Monitors (IAM)*”. Através de uma ligação USB e de *Software Open Source* é possível visualizar a monitorização dos nove aparelhos em simultâneo.

O visor deste sistema disponibiliza diversa informação, nomeadamente o número de sensores instalados, a energia consumida e o custo instantâneo, energia e custo acumulados durante o mês. Apresenta também um gráfico do consumo durante três períodos de tempo, das 7 horas da manhã às 3 horas da tarde, das 3 horas da tarde às 11 horas da noite, e por fim das 11 horas da noite às 7 horas da manhã. Esta opção é muito útil para os casos em que o consumidor possui tarifários diferentes de acordo com o horário de utilização.



Figura 2. 8– Sistema de medição elétrica *Envir Amb* [16].

A Tabela 1 resume as principais características técnicas dos sistemas de monitorização apresentados.

Tabela 1 – Comparação entre diferentes sistemas de monitorização

Sistemas	PLOGG	ECO-EYE ELITE	OWL CM160	EFERGY ELITE	ENVIR AMB
Transmissão sem fios entre unidade de aquisição de dados e visor LCD	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Visor de LCD	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Ligação ao computador	Sim	-	Sim	-	Sim
Armazenamento de dados (Anos)	-	2,6	2	8	2
Gama de tensão (V)	120-230	90-255	110-250	110-400	240
Corrente máxima (A)	100/200	70	70	90	100
Erro de medição (%)	<1	<1	<1	<1	<1
Alcance indoor (m)	-	30	30	40	30
Vida útil da bateria	-	até 12 meses	até 4 anos	até 12 meses	até 12 meses
Taxa de transmissão de amostras (seg)	-	4	6	6, 12 ou 18	6
Preço	65€	52€	44€	84€	59€

Relativamente aos sistemas de monitorização de energia estudados nesta secção, verificou-se que grande parte deles comunica com o computador somente através de uma interface USB. Para além de não comunicarem com um *host* através de uma rede sem fios, não possuem uma solução que permita o acesso remoto aos dados.

2.5. Circuitos integrados para medição de energia

Nesta secção são apresentados alguns circuitos integrados, desenvolvidos pelos principais fabricantes mundiais, para a monitorização do consumo de energia elétrica.

ADE7753

O medidor de energia monofásico ADE7753, apresentado na Figura 2. 9, produzido pela empresa *Analog Devices* é caracterizado por apresentar um baixo custo e baixo consumo. Possui duas entradas analógicas de 16bits e realiza os cálculos para obtenção da energia ativa, reativa e aparente. Este dispositivo recebe à entrada da porta ADC (*Analog-to-digital converter*) um valor máximo de amplitude de $\pm 0,5V$, sendo que esta possui um amplificador de ganho programável, onde são admitidos os seguintes valores de ganho: 1; 2; 4; 8 e 16. Os dados de monitorização da energia são armazenados em registos, que podem ser acedidos com recurso à interface de comunicação série (SPI – *Serial peripheral interface bus*). A tensão de alimentação é de 5V DC [17].



Figura 2. 9 – Medidor de energia ADE 7753 [17].

CS5463

O medidor de potência CS5463, representado na Figura 2. 10, é produzido pela empresa *Cirrus Logic*, e é composto por dois conversores analógico/digital (ADC), amplificadores com ganho programável, filtros digitais Sinc³, IIR, e HPF para retirar a componente DC dos sinais de tensão e corrente, e processador de cálculo. Possui

também uma interface série (SPI) que permite a comunicação e configuração dos parâmetros de funcionamento do CS5463.

Este dispositivo apresenta uma precisão de 0,1%, somente se a entrada de tensão estiver entre 5% e 100%, e se a entrada de corrente estiver entre 0,2% e 100%, do valor máximo recebido pelo ADC, que é de 0,25V. É alimentado por uma tensão de 5V DC, funciona a uma frequência de oscilação de 4,096MHz e apresenta um consumo máximo de 5,8mA.

O processador recebe os sinais analógicos, convertidos através do ADC, para assim calcular alguns parâmetros energéticos, tais como: potência aparente, potência ativa e reativa, valor eficaz da tensão e corrente e fator de potência [18].



Figura 2. 10 – Medidor de potência CS5463 [18].

78M6610+LMU

O *78M6610+LMU*, apresentado na Figura 2. 11, é um processador de medição de energia (*EMP – Energy management platform*) trifásico produzido pela empresa *MAXIM*, que possui quatro entradas analógicas para sensores e um processador interno de 24bit. Este *chip* contempla duas interfaces de comunicação, uma interface *UART* (*Universal asynchronous receiver transmitter*) e uma interface *SPI*. Apresenta uma memória *flash* que permite um armazenamento não-volátil dos dados de configuração e dos coeficientes de calibração. Este componente realiza o cálculo da potência ativa, reativa e aparente, assim como do fator de potência. Funciona à tensão de alimentação de 3,3V. Uma das vantagens deste *chip* é o facto de possuir um *firmware* definido pelo fabricante, o que dispensa o uso adicional de um microcontrolador, o que é comum em projetos de medidores de energia [19].



Figura 2. 11 – Medidor de energia Maxim 78M6610 [19].

STPM01

O medidor de energia *STPM01*, apresentado na Figura 2. 12, é um medidor de energia monofásico produzido pela empresa *STMicroelectronics*. Possui dois ADC para a corrente e um ADC para a entrada analógica de tensão, sendo que as entradas ADC têm um ganho programável de até quatro vezes. Este *chip* realiza a medição da potência ativa, potência reativa, potência aparente, frequência de rede elétrica, valores eficazes da tensão e da corrente, valor instantâneo da energia ativa, reativa e aparente. O acesso aos dados de medição e de configuração é realizado através de uma interface SPI com comandos específicos. O erro é inferior a 0,1%. É possível realizar a calibração da tensão, correção de fase e compensação de temperatura [20].



Figura 2. 12 – Medidor de energia STPM01 [20].

71M6515H

O medidor de energia 71M6515H, apresentado na Figura 2.13, é um medidor de energia trifásico produzido pela empresa Teridian. Possui seis ADC de 21 bits, sendo três para o sinal de corrente e três para o sinal de tensão, sendo que cada ADC admite um ganho programável de até oito vezes. É alimentado por uma tensão de 3,3V com um consumo de 30 mW, opera a uma máxima 64 MHz e apresenta um erro de medição inferior a 1%. Possui duas interfaces de comunicação, uma interface UART e uma interface DSP.

Este chip realiza a medição da energia ativa, energia reativa, energia aparente, frequência de rede elétrica, valores eficazes da tensão e da corrente, fator de potência e distorção harmônica total [21].



Figura 2. 13 – Medidor de energia Teridian 71M6515H [21].

A Tabela 1 resume as principais características técnicas dos integrados de medição de energia apresentados.

Tabela 2 - Comparação entre diferentes integrados para medição de energia.

	ADE7753	CS5463	78M66104	STMP	71M6515 H
Número de ADC	2	2	4	2	6
Tensão de Alimentação (V)	5V	5V	3,3V		3,3V
Interface de comunicação	SPI	SPI	UART SPI	SPI	UART DSP
Ganho	16		4		8
Parâmetros de energia calculados	Wh, VARh, VAh	Wh, VARh, VAh, Vrms, Irms, FP	Wh, VARh, VAh	Wh, VARh, VAh, Vrms, Irms	Wh, VARh, VAh, Vrms, Irms, FP, THD

3.

Caraterização do sistema desenvolvido

Neste capítulo são apresentados os requisitos que fundamentaram a elaboração do protótipo.

Pretende-se ainda introduzir os conceitos principais acerca dos elementos que compõem o sistema desenvolvido, sendo realizada uma descrição dos elementos constituintes, e das respetivas interligações, segundo um diagrama de blocos.

A seguir é descrito o *hardware*, dando maior relevância à escolha dos componentes utilizados, ao seu dimensionamento e à sua configuração.

A última parte deste capítulo incide sobre a comunicação e configuração dos componentes.

3.1. Requisitos para o desenvolvimento do protótipo

O protótipo criado nesta tese de mestrado devia respeitar determinados requisitos, de forma a oferecer a resposta mais adequada ao problema proposto. Assim, ao longo deste trabalho pretendeu-se desenvolver um sistema de monitorização do consumo elétrico de uma habitação, que comunicasse os parâmetros energéticos monitorizados com recurso à comunicação sem fios. Além disso era importante que as características físicas do sistema permitissem a sua fácil integração em qualquer tipo de quadro elétrico, pelo que deveria possuir as seguintes características:

- Uma unidade cuja função fosse a aquisição das amostras relativas à tensão e corrente, por meio de sensores específicos de tensão e de corrente, com dimensões reduzidas e *standard* para uma integração fácil num quadro elétrico doméstico;
- Uma aplicação para registo dos dados provenientes do sistema de monitorização numa base de dados, para serem disponibilizados para visualização através de uma página *Web*;
- Baixo custo, em conformidade com os valores praticados no mercado.

3.2. Descrição do sistema

O sistema é composto pela unidade de aquisição de dados e a pela aplicação de registo de dados.

A unidade de aquisição de dados consiste num dispositivo eletrónico responsável por medir os consumos de energia. Possui as seguintes funções: i) Recolha dos sinais analógicos provenientes dos sensores que medem a tensão e a corrente, situados no quadro elétrico; ii) Cálculo dos parâmetros energéticos; iii) Comunicação dos valores relativos a esses sinais para o registo de dados.

Por outro lado a aplicação de registo de dados tem como função guardar numa base de dados os dados enviados pela unidade de aquisição de dados, sendo que depois podem ser acedidos pelo utilizador através de um Website. O diagrama geral do sistema é apresentado na Figura 3. 1.



Figura 3. 1 – Diagrama de blocos geral do sistema de medição de energia.

A unidade de aquisição de dados pode ser subdividida em seis blocos principais: i) Condicionamento de sinal; ii) Medidor de energia, iii) Microcontrolador; iv) Transceter; v) Transformador; vi) *Header SPI*. A Figura 3. 2 ilustra o diagrama de blocos da unidade de aquisição de dados.

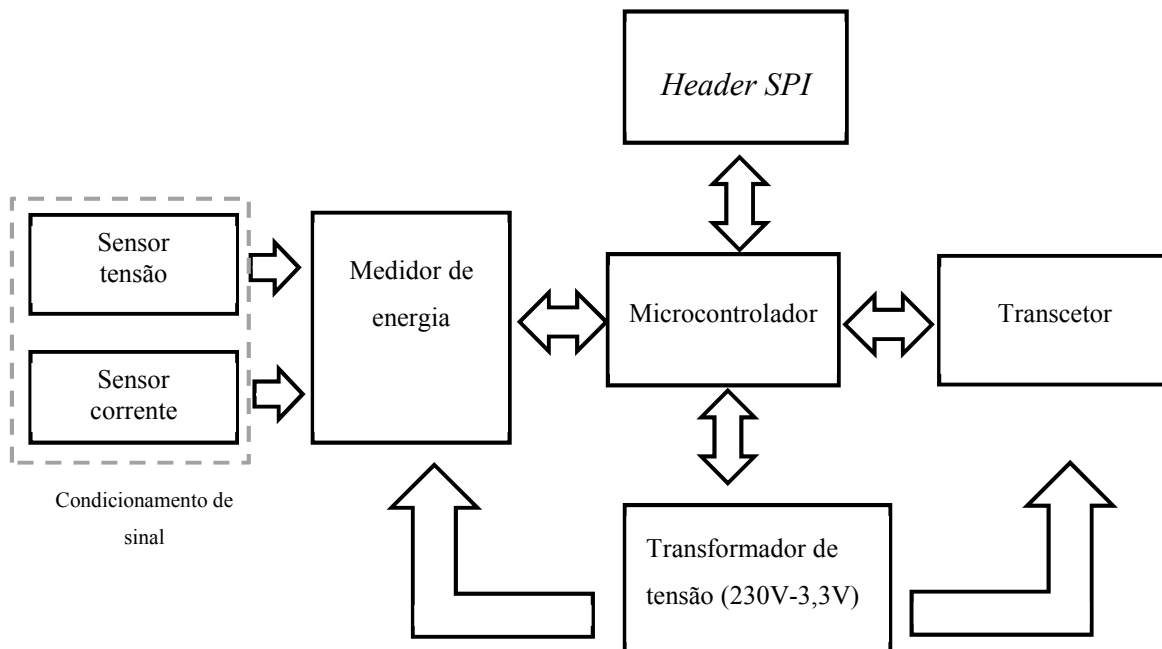


Figura 3. 2 – Diagrama de blocos da unidade de aquisição de dados.

A unidade de aquisição de dados inicia a leitura dos sinais analógicos através dos sensores apropriados de tensão e de corrente, sendo que a seguir estes passam por um circuito de condicionamento de sinal constituído por divisores resistivos, que realizam a redução dos sinais para os níveis impostos pelo medidor de energia. Por sua vez o medidor de energia mede os dados relativos ao valor eficaz e de pico, tanto da tensão como da corrente, para assim realizar o cálculo dos vários parâmetros, tais como, potência ativa e reativa, e energia consumida num determinado intervalo de tempo.

O microcontrolador controla todo o fluxo de informação, entre o medidor de energia e o transceptor, sendo que as principais funções são: i) Enviar as configurações necessárias para que o medidor de energia inicialize as suas funções; ii) Solicitar os dados referentes às medições dos vários parâmetros disponíveis e reencaminhá-los para o transceptor sem fios; iii) Efetuar o envio dos comandos necessários para que o transceptor estabeleça uma conexão TCP/IP (*Transmission control protocol/internet protocol*) com o servidor.

O transceptor tem como função enviar os dados obtidos pelo medidor de potência, através de uma comunicação sem fios, para a unidade de visualização de dados.

A alimentação de todas as unidades do sistema é de 3,3V DC, obtidos através de transformação e retificação do sinal recebido da rede elétrica de 230V AC.

O bloco designado por *Header SPI* é constituído por um conjunto de seis *headers* com a função de permitir carregar o *firmware* para o microcontrolador. Na secção 4.2.3 é feita uma descrição em maior detalhe desse bloco.

A aplicação de registo de dados possui a função de guardar os dados de medição, enviados pelo transceptor, numa base de dados, permitindo posteriormente a sua visualização.

3.3. Hardware

Nesta secção são apresentados os componentes eletrónicos utilizados na construção da unidade de aquisição de dados, designadamente os sensores, o circuito de condicionamento de sinal, o medidor de energia, o microcontrolador, o transceptor e o transformador. São também apresentados os cálculos de dimensionamento para o circuito de condicionamento de sinal.

3.3.1. Medidor de energia

Durante o desenvolvimento deste projeto e após o estudo e análise de algumas formas de medir a energia consumida, optou-se pela utilização de um circuito integrado, que para além da vantagem de centralizar todo o cálculo num só *chip* (tecnologia *on-chip*), apresentasse baixo preço e elevada precisão. Com base nos requisitos apresentados optou-se pelo componente da marca *Teridian* designado por 71M6515H.

são para a tensão e três são para a corrente. A referência analógica para os pinos de entrada é de 3,3V (V_{3P3A}), ou seja, o ADC processa valores entre a tensão de entrada (V_{in}) e V_{3P3A} . Assim, torna-se necessário realizar o condicionamento dos sinais de entrada por duas razões, a primeira para converter os valores medidos pelo sensor de corrente para valores em tensão, e a segunda para ajustar os sinais aos valores máximos permitidos pelo ADC, uma vez que este componente suporta somente baixas tensões, entre os 0V e os 3,3V.

Portanto, é necessário replicar o sinal de entrada a uma escala reduzida, sendo esta refletida nos parâmetros do sistema V_{MAX} e I_{MAX} . Esta redução de escala é implementada fisicamente através de resistências (divisores resistivos). Os parâmetros I_{MAX} e V_{MAX} representam o valor RMS (*Root mean square*) máximo dos sinais que os sensores recebem, sendo que após serem condicionados resultam em sinais de 250mVp ou 177mV RMS à entrada dos respectivos ADC (V_{in}), sendo os pinos VA , VB e VC para cada uma das fases da tensão, e os pinos IA , IB e IC para cada uma das fases da corrente. O condicionamento realizado está descrito em pormenor na secção 3.3.3.

Na Figura 3.4 é apresentado o diagrama de blocos do medidor de energia 71M6515H, sendo este constituído por cinco blocos funcionais: i) Relógio de tempo real (RTC – *Real-time clock*); ii) Processador (CE); iii) Tensão de referência; iv) Memória RAM.

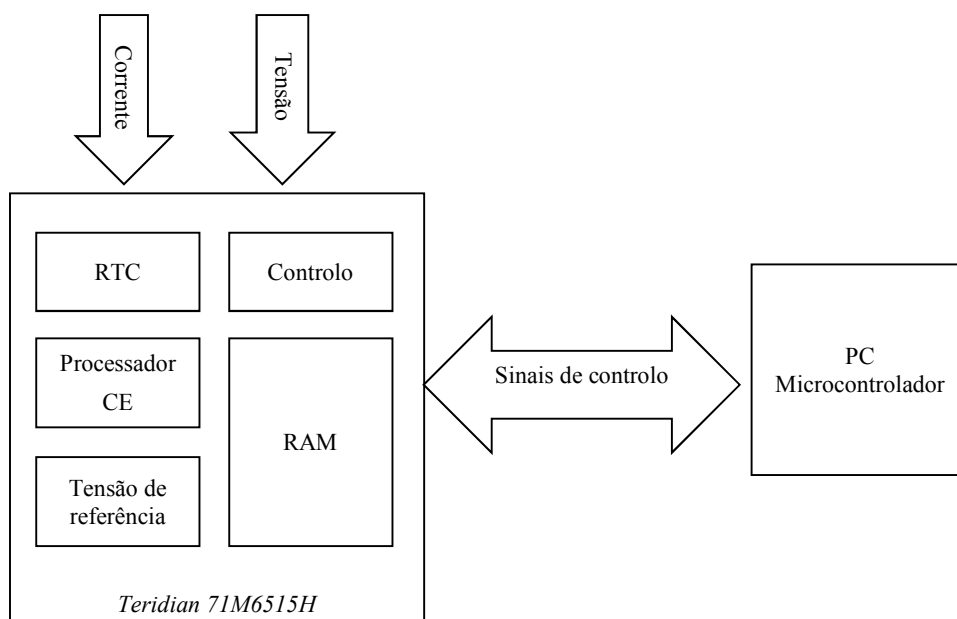


Figura 3. 4 – Diagrama de Blocos do 71M6515H [21].

O bloco RTC é comandado pelo oscilador de cristal, sendo composto por um banco de registros. Este banco é formado por registros para segundos, minutos, horas, dias da semana, dia do mês, mês e ano. É de referir que este bloco é capaz de processar os anos bissextos.

O processador CE dedicado realiza os cálculos necessários para a medição da energia durante um intervalo de acumulação, cujo número de amostras pode variar de 42 até 2520 por segundo. O processador CE calcula diretamente a energia em watt hora, a energia reativa em VARh, o quadrado da tensão (V^2) e o quadrado da corrente (I^2). Ao fim de cada ciclo de cálculo do CE os dados acumulados são enviados para o pós-processador para o cálculo das amplitudes RMS, dos ângulos de fase, e da energia aparente em VAh. Quando o pós-processamento está completo, ao fim do intervalo de acumulação, o sinal IRQZ é ativado a *low*, o que indica que todo o processamento foi concluído e que os dados estão prontos para serem lidos.

Os dados são enviados (“pulsados”) para a saída após o intervalo de acumulação, sendo que a taxa de pulso é expressa em kh (Wh por pulso), e obtida através da equação 3.1, onde V_{MAX} e I_{MAX} são os máximos de tensão e corrente permitidos à entrada do sistema, SUM_CYCLES é uma constante que assume valores entre 24 e 60, I_{N8} é o fator de ganho do ADC e X é a velocidade de pulso, sendo que os valores admitidos pela variável X são apresentados na Tabela 3.

$$kh = \frac{V_{MAX} \cdot I_{MAX}}{I_{N8} \cdot SUM_CYCLES \cdot X} \quad (3.1)$$

Tabela 3 – Valores possíveis para o fator X.

X
$1,5 \cdot 2^2 = 6$
$1,5 \cdot 2^6 = 96$
$1,5 \cdot 2^{-4} = 0,09375$
1,5

O tempo mínimo de processamento do CE e do pós-processador é de 400ms (intervalo de acumulação), o que implica numa frequência máxima do sinal IRQZ de 2,5Hz. Contudo, a frequência do sinal IRQZ pode ser aumentada desligando o pós-processador e atribuindo os cálculos a um DSP externo, ligado através da interface SSI

(*Synchronous serial interface*). Os tempos de processamento serão descritos em maior detalhe na secção 4.2.1.

A referência de tensão interna é calibrada a 25°C, durante o fabrico do dispositivo. Contudo, é realizada no medidor de energia 71M6515H uma calibração adicional de temperatura que corresponde a uma compensação do ganho do ADC que lhe permite atingir 10PPM/°C numa gama de temperatura $\pm 60^\circ\text{C}$.

O bloco de controlo é responsável pelo envio dos sinais de controlo para os restantes blocos, os quais contêm informação acerca das configurações básicas de funcionamento, assim como dos sinais essenciais para a comunicação deste dispositivo com um microcontrolador ou um PC (*Personal computer*).

Na Figura 3. 5 são apresentados os sinais de controlo utilizados na comunicação entre o 71M6515H e o *host*, sendo estes os seguintes:

- *TX*: Sinal de transmissão de dados da interface *UART*;
- *RX*: Sinal de receção de dados da interface *UART*;
- *IRQZ*: Sinal de interrupção, utilizado para indicar que os dados estão prontos para leitura (ativo a *low*);
- *RESETZ*: Sinal para efetuar o *reset* do componente, o pino que produz este sinal deve ser ligado a *V3P3A* uma vez que o sinal é ativo a *low*;
- *UARTCZ*: Sinal que realiza o *reset* da interface *UART* (ativo a *low*);
- *BAUD_RATE*: O valor do sinal determina o valor do *baud rate* escolhido para a transmissão dos dados. Se o sinal estiver a *low* o *baud rate* é de 19200bps, por outro lado se estiver a *high* o *baud rate* é de 38400bps;
- *PULSE_INIT*: Este sinal indica a polaridade inicial do sinal de pulso, ou seja, se este sinal estiver a *low*, o sinal de pulso inicializa a *low*, sendo este sinal de pulso utilizado para determinar o intervalo de acumulação.

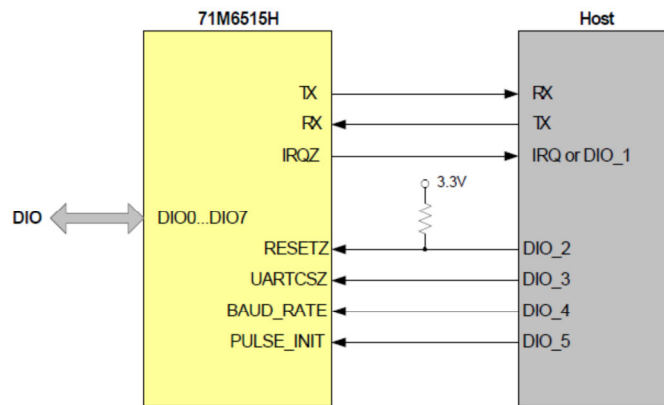


Figura 3. 5 – Conexão entre o 71M6515H e o microcontrolador ou PC [21].

O bloco *RAM* é constituído por registos de 32 *bit* que são essenciais para o funcionamento geral deste componente, uma vez que a configuração e o acesso aos dados de monitorização consistem num processo de leitura e escrita nos registos. Os métodos de comunicação com este dispositivo estão descritos em maior detalhe na secção 3.4.

Os registos podem ser divididos nos seguintes grupos funcionais:

- Geradores de pulso;
- Calibração;
- Controlo das funções básicas;
- Temperatura;
- Compensação de temperatura;
- Sinais de saída;
- Energia acumulada; valores de tensão e de corrente;
- Alarmes e limites;
- Tempo (RTC);
- Teste;
- Controlo digital E/S (pinos D0...D7);

Um dos registos mais importantes do medidor de energia 71M6515H é o registo de endereço 0x16 designado por *CONFIG*, pois contém toda a informação acerca das operações básicas suportadas, e também porque este componente somente inicializa as suas funções quando este registo contém a sequência correta. O papel de cada um dos 32 *bits* utilizados para a configuração é explicado a seguir:

- Bit 0 (*VAH_SELECT*): Este bit determina o método utilizado pelo pós-processador para determinar a energia aparente. No caso em que o bit é '0' o cálculo é baseado nos valores eficazes de tensão e corrente e pela variável de tempo, como se pode verificar na equação 3.2, onde VAh é a energia aparente, V_{rms} o valor eficaz da tensão, I_{rms} o valor eficaz da corrente e t é o tempo.

$$VAh = V_{rms} \times I_{rms} \times t \quad (3.2)$$

A precisão do cálculo pode ser melhorada alterando o método de cálculo, sendo que este passa a basear-se nas variáveis Wh e VARh. Nesse caso o bit 0 deverá ser '1'. Assim, a energia aparente é dada pela equação 3.3.

$$VAh = \sqrt{Wh^2 + VARh^2} \quad (3.3)$$

Este método é útil para manter a precisão quando o valor da corrente medida apresenta uma baixa amplitude.

- Bit 1: Não utilizado.
- Bit 2: Não utilizado.
- Bit 3 (*RTM_EN*): Este bit ativa o monitor de tempo real (RTM – *Real-time monitor*) quando assume o valor '1'.
- Bit 4 (*CE_EN*): Este bit quando é '1' ativa o funcionamento do processador CE, responsável por realizar grande parte das funções de medição.
- Bits 7 – 5 (*EQU*): Estes três bits definem a equação implementada pelo processador CE. Na Tabela 4 estão representadas as equações possíveis.

Tabela 4 – Equações implementadas pelo processador CE.

EQU	Fórmula
0	$V_A I_A$
1	$\frac{V_A(I_A - I_B)}{2}$
2	$V_A I_A + V_B I_B$
3	$\frac{V_A(I_A - I_B)}{2} + V_C I_C$
4	$\frac{V_A(I_A - I_B)}{2} + \frac{V_B(I_C - I_B)}{2}$
5	$V_A I_A + V_B I_B + V_C I_C$

- Bits 13 – 8 (*SUM_CYCLES*): Estes seis bits definem o tamanho do intervalo de acumulação τ , obtido a partir da equação 3.4. O intervalo de acumulação depende da variável *SUM_CYCLES*, que pode assumir valores entre 24 (400ms) e 60 (1000ms).

$$\tau = \frac{SUM_CYCLES \times 42}{2520,6} \quad (3.4)$$

- Bit 14 (*CKOUT_DISB*): Este bit desativa o pino *CKOUT* quando é '1'. A função deste pino é de diagnóstico. Por indicação do fabricante este bit deve estar sempre definido a '0' ou a '1'.
- Bit 15 (*ADC_DIS*): Este bit desativa os ADC quando é '1'. Por indicação do fabricante este bit deve estar definido a '1' quando o ADC não estiver a ser utilizado.
- Bits 18 – 16 (*TMUX*): Estes três bits selecionam a fonte para o pino de saída de diagnóstico *tmux*. Por indicação do fabricante, o bit deve ser zero, caso não seja utilizado.
- Bits 20 – 19 (*F_SELECT*): Estes dois bits selecionam a fase que está a ser utilizada para a medição da frequência. A frequência será mostrada nos bits 31-16 do registo *FREQ_DELTA_T*. Na Tabela 5 estão representadas as sequências de bits para cada uma das fases.

Tabela 5 – Seleção das fases para a medição da frequência no registo *TMUX*

Bit 20	BIT 19	<i>F_SELECT</i>	Fase Selecionada
0	0	0	Fase A
0	1	1	Fase B
1	0	2	Fase C
1	1	3	Nenhuma

- Bit 21 (*CE_ONLY*): Este bit desativa o pós-processador quando é definido como '1'. Quando o pós-processador é desativado, os cálculos que requerem um esforço maior do processador não são realizados, podendo deste modo o sistema assumir intervalos de acumulação menores. Neste caso, o microcontrolador ou o PC é responsável pelo cálculo dos parâmetros relativos ao consumo de energia.

- Bits 23 – 22 (*IMAGE*): Estes dois bits determinam o modo de operação do processador CE de acordo com o tipo de sensor adotado. Quando são utilizados sensores com transformadores de corrente ou resistências *Shunt*, o processador opera em modo normal. Caso seja utilizado um sensor com bobinas de *Rogowski* o processador opera no modo de *Rogowski*. Uma bobina de *Rogowski* consiste num toróide constituído por um enrolamento uniformemente distribuído num núcleo de material não magnético. O princípio de funcionamento está fundamentado na Lei de *Ampère*, e na Lei da Indução de *Faraday-Lenz*. Esta bobina fornece um sinal de saída em tensão com uma amplitude relativamente baixa, acompanhado da presença de ruídos elétricos sobrepostos ao sinal medido, logo, este deve ser tratado e amplificado [22]. Na Tabela 6 estão representadas as sequências binárias para selecionar o modo de operação.

Tabela 6 - Modo de operação do processador CE de acordo com o tipo de sensor.

Bit 23	BIT 22	<i>IMAGE</i>	Tipo de Sensor
0	0	0	Standard (CT/shunt)
0	1	1	Rogowski coil
1	0	2	Standard (CT/shunt)
1	1	3	Standard (CT/shunt)

- Bit 24 (*RESET*): Este bit quando definido a ‘1’ realiza uma transição de *reset* mais suave, sendo este de 245ms \pm 10%.
- Bit 26 (*PULSE_SLOW*) e Bit 25 (*PULSE_FAST*): Esses dois bits modificam a taxa de pulsos, ou seja, determinam o fator *X* na equação utilizada para obter *Kh* (Wh por pulso) como mostrado na Tabela 7. Estes dois parâmetros afetam o funcionamento de todas as quatro saídas de pulso

Tabela 7 - Valores possíveis para o fator X

PULSE SLOW	PULSE FAST	<i>X</i>
0	0	$1,5 \cdot 2^2 = 6$
0	1	$1,5 \cdot 2^6 = 96$
1	0	$1,5 \cdot 2^{-4} = 0,09375$
1 (default)	1(default)	1,5

- Bits 29 – 27 (*IA_8X*, *IB_8X*, *IC_8X*): Estes três bits definem o ganho dos *ADC* de medição da corrente *IA*, *IB* e *IC*. O ganho pode assumir valores

inteiros entre 1 e 8. Esta é uma ferramenta útil quando os sinais de entrada são muito pequenos. Contudo, é preciso ter em conta alguns cuidados na utilização deste recurso, uma vez que a entrada não pode exceder o valor de um oitavo de I_{MAX} , pois ultrapassa os níveis máximos admitidos.

- Bit 30 (*DEFAULT_PPM*): Este bit define a fonte de compensação de temperatura. Quando definido a '1' o 71M6515H automaticamente aplica os coeficientes de compensação provenientes das características de temperatura V_{ref} , armazenadas nos registos *PPMC* e *PPMC2*. Quando definido a '0' é permitido ao *host* escrever os valores dos coeficientes nos registos *PPMC* e *PPMC2*.
- Bit 31: Não utilizado

Como foi referido, os bits nas posições de 5 a 7 do registo *CONFIG* determinam a equação a ser utilizada no cálculo da energia, sendo que esta depende da topologia do circuito de ligação dos sensores de corrente à entrada dos respetivos ADC. Na Figura 3. 6 é apresentada a configuração de topologia mais comum, em estrela, em que o neutro é ligado ao pino *V3P3A*, sendo que neste caso para calcular a energia deve ser selecionada a equação 5 da Tabela 3.

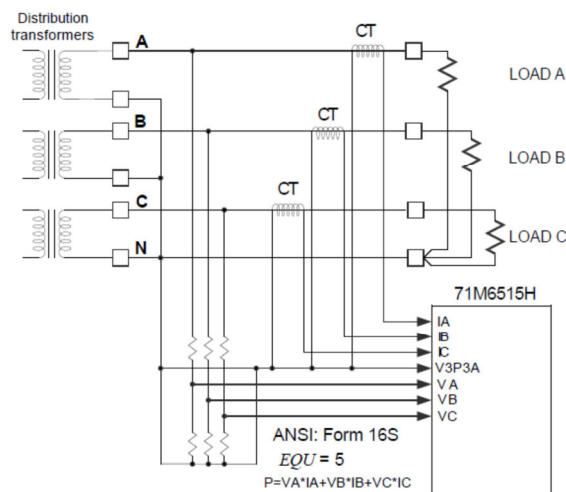


Figura 3. 6 – Configuração trifásica com neutro (ligação em estrela).

Na Figura 3. 7 é apresentada a configuração de topologia trifásica em triângulo. Neste tipo de configuração uma das fases é ligada à terra. Como a tensão de referência são os 3,3V, uma das fases é ligada ao pino *V3P3A*. Para realizar o cálculo da energia nesta configuração deve ser selecionada a equação 2 da Tabela 4.

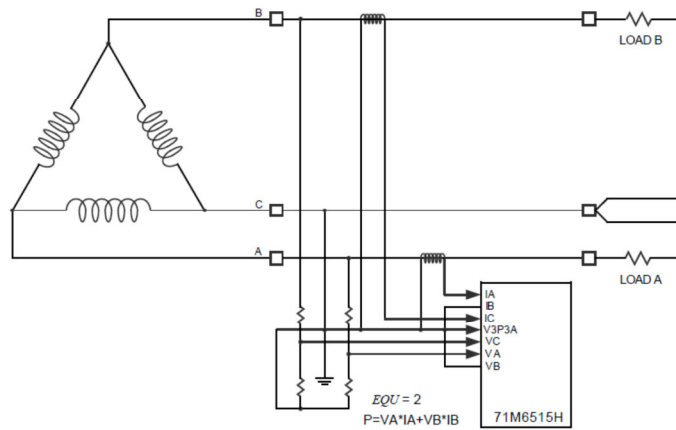


Figura 3. 7 – Configuração trifásica em triângulo.

Na Figura 3. 8 é apresentada a configuração de topologia em triângulo com neutro. Neste caso, a derivação central do transformador (neutro), que fornece a tensão de CA está ligado à tensão de referência, sendo neste caso ligado ao pino V3P3A. Para esta configuração deve ser selecionada a equação 3 da Tabela 4 para efeitos de cálculo de energia.

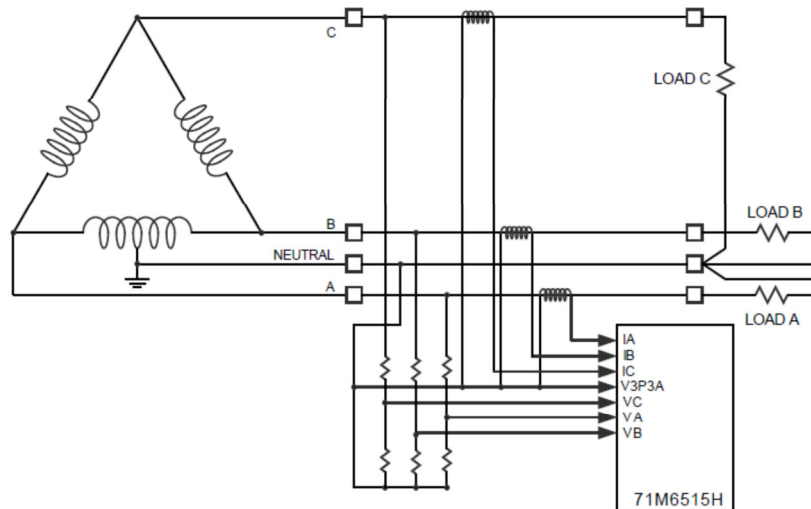


Figura 3. 8 - Configuração trifásica em triângulo com neutro.

O microcontrolador (ou PC) pode realizar o controlo do 71M6515H através de dois métodos distintos, um por sincronização com recurso ao pino IRQZ, e outro por monitorização do bit *READY* do registo *STATUS*.

Sincronização utilizando o pino IRQZ

- Método de interrupção:

Neste método pino IRQZ é ligado a um pino do microcontrolador, que pode gerar uma interrupção. O registo *CONFIG* do 71M6515H está configurado para gerar uma interrupção no pino IRQZ sempre que novos dados estão prontos. No microcontrolador é necessário implementar uma rotina para tratar a interrupção, que deve conter o comando e ser enviado para o 71M6515H, através da comunicação série, para a leitura dos dados.

- Método de leitura do pino DIO (pinos de E/S):

Neste método o pino IRQZ do 71M6515H está ligado a um pino DIO (*Digital input/output*) do microcontrolador, e um *timer* controla os períodos de tempo em que são realizadas as leituras ao pino IRQZ. O registo *CONFIG* está configurado para ter o pino IRQZ a *low* sempre que existam novos dados prontos a serem lidos. A cada interrupção gerada pelo *timer* é realizada a leitura do pino IRQZ. Caso este esteja a *high* é inicializada a comunicação série para a leitura dos dados. Para que este método seja eficaz, o *firmware* do microcontrolador deve configurar a interrupção do *timer* como de prioridade mais elevada.

Monitorização do bit *READY*

Este método baseia-se na leitura do bit *READY* (bit 11) do registo *STATUS*. Se este bit estiver definido a '1' existem dados prontos para serem lidos. Este método requer que o microcontrolador utilize um *timer* (de 1ms até 5ms), configurado como uma interrupção de maior prioridade. A rotina que trata a interrupção deve iniciar a leitura do registo de *STATUS*, preferencialmente, pelo menos a cada 10ms, de forma a aguardar a resposta do 71M6515H, entre um e outro pedido de leitura.

Aos dados, relativos à energia, recebidos por meio da função de receção da interface UART, são aplicadas as respetivas funções de conversão (através das equações 3.5, 3.6 e 3.7), sendo que VAH_A é o valor lido no registo que guarda a energia aparente da fase A, WH_A é o valor lido no registo que guarda a energia ativa da fase A, e $VARH_A$

o valor lido no registo que guarda a energia reativa da fase A. Os parâmetros I_{MAX} e V_{MAX} representam o valor RMS máximo dos sinais que os sensores recebem, sendo que após serem condicionados resultam em sinais de 250mVp ou 177mV RMS, e I_{n_8} é o ganho do ADC.

- Energia aparente

$$VAh = VAH_A \times 9,4045 \times 10^{-13} \frac{V_{MAX} \times I_{MAX}}{I_{n_8}} \quad (3.5)$$

- Energia ativa

$$Wh = WH_A \times 9,4045 \times 10^{-13} \frac{V_{MAX} \times I_{MAX}}{I_{n_8}} \quad (3.6)$$

- Energia reativa

$$VARh = VARH_A \times 9,4045 \times 10^{-13} \frac{V_{MAX} \times I_{MAX}}{I_{n_8}} \quad (3.7)$$

3.3.2. Sensores

Nesta subsecção serão descritos os sensores utilizados para a medição de corrente e de tensão.

3.3.2.1. Sensor de corrente

A monitorização da corrente foi realizada através de um sensor de corrente do tipo *split-core*. Como mencionado anteriormente a utilização deste tipo de sensor dispensa a interrupção do circuito para realizar a medição.

No que se refere a escolha do sensor de corrente, os requisitos tidos em conta foram os seguintes: Corrente máxima que se pretendia medir; Secção máxima do condutor; Dimensões reduzidas; Preço acessível.

O transformador de corrente *split-core* escolhido foi o SCT – 019. Na Figura 3.9 é apresentado um exemplar deste tipo de sensor. A corrente máxima de entrada suportada por este sensor é de 200A, a qual produz à saída uma corrente de 33mA. A precisão deste sensor é de $\pm 1\%$ [23]. A escolha deste sensor deve ser atribuída ao fato

deste estar disponível em laboratório, e por outro lado por cumprir os requisitos supracitados.



Figura 3. 9– Sensor de corrente SCT – 019 [23].

3.3.2.2. Sensor de tensão

A monitorização da tensão foi realizada através de um transformador de tensão AC-AC, como uma relação de transformação de 230V – 6V.

Quanto a escolha do sensor de tensão, os requisitos tidos em conta foram os seguintes: Tensão máxima que se pretendia medir; Dimensões reduzidas; Preço reduzido.

A Figura 3. 10 apresenta um exemplar do transformador de tensão escolhido. A razão pela qual se optou por este transformador de tensão, foi por este se adequar melhor às características pretendidas dentre aqueles que estavam disponíveis em laboratório.



Figura 3. 10 – Transformador de tensão AC-AC 230V-6V.

3.3.3. Condicionamento dos sinais

Para adequar os sinais de tensão e de corrente aos níveis impostos pelo medidor de energia 71M6515H, foram utilizados um divisor de tensão resistivo e uma resistência. O dimensionamento das resistências foi efetuado de forma a se ter no máximo, nas entradas do medidor de energia 71M6515H, valores eficazes de tensão de 250mV, visto ser este o máximo de tensão suportado pelo ADC. Teve-se naturalmente em conta os valores máximos produzidos à saída dos sensores de tensão e corrente.

Nos terminais do sensor de corrente é produzida uma corrente proporcional à corrente de entrada, com um valor máximo de 33mA na saída equivalente a 200A na entrada. Atendendo ao fato de que o ADC interpreta somente valores de tensão, introduziu-se uma resistência entre a saída do sensor de corrente e a entrada do ADC, de forma a produzir uma queda de tensão. A Figura 3. 11 ilustra o circuito utilizado no condicionamento do sinal de corrente, onde, a relação entre a tensão à entrada do ADC (V_1) proporcional ao sinal de corrente lido (i_1) é dada pela equação 3.5.

$$V_1 = V_{in} = R_1 \times i_1 \quad (3. 8)$$

Sabendo que $V_{1_{MAX}} = 250mV$ e $i_{1_{MAX}} = 33mA$, resulta que $R_1 = 7,57 \Omega$. Uma vez que o valor de resistência não está disponível no mercado, optou-se por uma resistência de $6,8\Omega$.

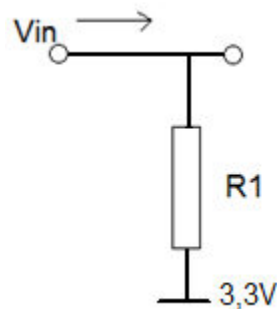


Figura 3. 11 – Condicionamento de sinal da corrente.

A Figura 3. 12 ilustra o circuito elétrico utilizado no condicionamento do sinal da tensão, no qual as resistências R_1 e R_2 compõem um divisor de tensão. O valor da tensão (V_{out}) à entrada do ADC do medidor de energia 71M6515H, é dado pela equação 3.6.

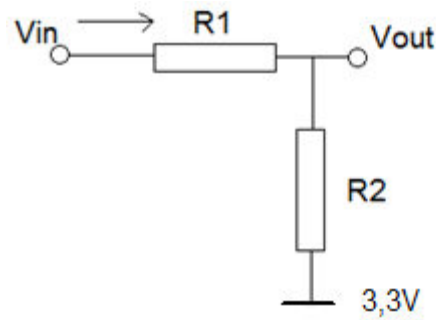


Figura 3. 12 – Condicionamento do sinal de tensão.

$$V_{OUT} = (V_{IN} - 3,3V) \times \left(\frac{R2}{R1+R2} \right) + 3,3V \leftrightarrow \quad (3.9)$$

$$250mV = (12,4V - 3,3V) \times \frac{R2}{R1 + R2} + 3,3V \leftrightarrow$$

$$0,0274 = \frac{R2}{R1 + R2}$$

Na escolha dos valores das resistências considerou-se $R1 = 80 k\Omega$ e $R2 = 1,8 k\Omega$.

3.3.4. Microcontrolador

Os principais fatores que influenciaram a escolha do microcontrolador utilizado neste projeto foram: O tipo de interface de comunicação; A existência de pelo menos duas portas UART (uma para ligar ao medidor de energia e outra para ligar ao transceptor); A capacidade de processamento; As interrupções disponíveis; E a possibilidade de programação em linguagem C utilizando o protocolo USB ISP.

Por estes motivos, optou-se pelo microcontrolador *ATmega 324P* produzido pela empresa *Atmel* [24].

O *ATmega 324P*, representado na Figura 3. 13, é um microcontrolador de 8 bit de tecnologia *CMOS*, da família *AVR*² e baseado na arquitetura *RISC* (*Reduced instruction set computing*). Este componente possui 40 pinos E/S, uma memória *Flash* de 32 kB, 2 *timers* de 8 bit, 1 *timer* de 16 bit, 8 canais ADC multiplexados para um ADC de 10 bit, 6 canais PWM, interface SPI mestre/escravo, duas UART programáveis, tensão de operação entre 1,8V e 5,5V, velocidade de processamento entre

² *AVR* - *Arquitectura Harvard modificada de 8bits*

0 e 4 MHz, consumos de 0,4 mA a uma frequência de 1 MHz no modo ativo e 0,6 μ A no estado adormecido, para uma tensão de 1,8V.

Outra característica que este componente apresenta é que um ciclo de instrução corresponde a um ciclo de relógio, sendo que a frequência utilizada foi de 32,768 kHz, o que resulta num processamento de 32768 instruções por segundo. Na sua constituição apresenta 32 registos, todos ligados diretamente à unidade de lógica e aritmética, sendo que estes podem ser acedidos aos pares num único ciclo de relógio.



Figura 3. 13– Microcontrolador ATmega 324P [25].

Este microcontrolador terá a função de gestão de todos os componentes que constituem a unidade de aquisição de dados.

3.3.5. Transcetor

O módulo de rádio a ser adotado na unidade de aquisição de dados é produzido pela empresa *Roving Networks*, sendo designado por *Wifly RN-171* [26]. Esta escolha teve como base o preço, o tipo de protocolo de comunicação e de frequência de operação. Na Figura 3. 14 está representado um exemplar deste componente.

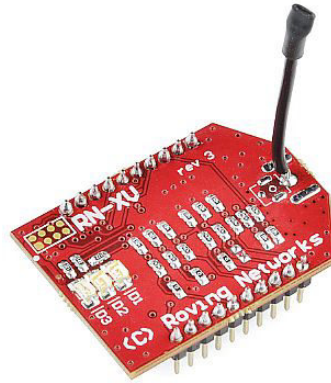


Figura 3. 14- Transceptor sem fios *WiFly RN-171* [26].

Este módulo de rádio é caracterizado por apresentar um consumo energético baixo, e tamanho reduzido. Apresenta 8 canais E/S digitais, 3 interfaces para sensores analógicos de 14 *bit*, frequência de operação na banda dos 2,4 GHz; pilha protocolar TCP/IP, potência de transmissão entre 0dBm e 12 dBm, consumos de 4 μ A em modo adormecido, 40 mA em modo de receção e 180 mA em modo de transmissão com uma potência de transmissão de 10 dBm. A taxa de transmissão é de 464 Kbps, possuindo uma memória RAM de 128 Kbytes, e uma tensão de operação entre 3,0V a 3,7V. O processador da unidade é um *SPARC* de 32 *bits*, e possui uma interface UART. Outras características deste módulo podem ser consultadas no anexo C.

Este dispositivo foi especialmente concebido para projetos que pretendessem migrar da arquitetura 802.15.4 (*Xbee*) para a plataforma TCP/IP (*Wi-Fi*) sem que fosse necessário alterar o *hardware*. O fato de vir pré-programado de fábrica com o *firmware*, simplifica toda a programação para aplicações comuns.

Na configuração de *hardware* mais simples requer apenas quatro ligações (PWR, TX, RX e GND) para criar uma conexão de dados sem fios.

3.3.6. Fonte de Alimentação

Todos os componentes inseridos nesta unidade funcionam a uma tensão de 3,3V DC. Para realizar a conversão da tensão alternada fornecida pela rede de energia elétrica, de 230V AC em 3,3V DC, optou-se pela fonte de alimentação XP POWER ECL10US03 com uma relação de transformação de 240V – 3,3V. Na Figura 3. 15 está ilustrado um exemplar deste equipamento.

A escolha desta fonte de alimentação deveu-se ao seu tamanho compacto, preço acessível e por encontrar-se disponível em laboratório.

Esta fonte de alimentação aceita tensões de entrada entre 85 e 264V AC, e frequências entre 47 Hz e 63 Hz. Realiza também a regulação da tensão, sendo que a regulação de linha é no máximo de $\pm 0,5\%$ e a regulação de carga é no máximo de $\pm 1\%$ [27].

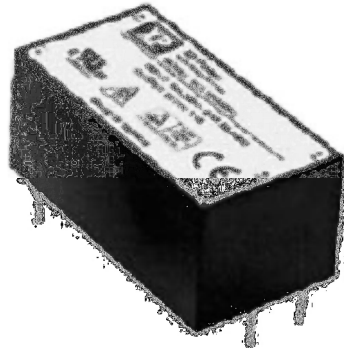


Figura 3. 15 – Fonte de alimentação XP POWER ECL10US03 [27].

3.4. Comunicação

A transmissão de dados e de comandos entre o microcontrolador *ATmega 324P*, o medidor de potência 71M6515H e o transceptor *Wifly RN-171*, é realizada através da interface de controlo UART.

A interface UART caracteriza-se por ser assíncrona e operar em modo *full duplex* em que o envio e a receção das mensagens são realizados simultaneamente, sendo que os dados são enviados para o recetor sem que seja necessário o envio de um sinal de relógio. O emissor e o recetor combinam parâmetros de tempos de antecedência e bits especiais, que são adicionados à informação para sincronizar o envio e a receção da informação. Portanto, na transmissão de uma palavra é adicionado um bit de início, com a função de alerta, para que o recetor reconheça a sua chegada. Após o envio do bit de início, os restantes bits da palavra são enviados, sendo o bit menos significativo (LSB) enviado primeiro [28] [29].

3.4.1. Comunicação entre *ATmega 324P* e *71M6515H*

A comunicação de dados entre o microcontrolador *ATmega 324P* e o medidor de energia *71M6515H* foi realizada a um *baud rate* de 19200Baud.

O medidor de potência *71M6515H* possui múltiplos registos de 32 *bits*, com endereçamento entre o 0 e 127 (0x7F), onde são guardados tanto os dados de configuração como os dados relativos à energia medida. Os comandos interpretados pelo medidor de potência *71M6515H* possuem duas categorias distintas: podem ser de leitura ou de escrita, com um tamanho das mensagens de 2 *bytes* ou 6 *bytes* respetivamente, sendo que a estrutura do primeiro e segundo *byte* é comum a ambos os comandos. Os *bytes* são processados na ordem "*big-endian*", ou seja, o *byte* mais significativo primeiro.

O primeiro *byte* é constituído por uma sequência que contém o endereço do registo e um *bit* de controlo, '1' para a escrita e '0' para a leitura. A construção desta sequência consiste em realizar um *shift* à esquerda de todos os *bits* que contém o endereço, sendo que a posição do *bit* menos significativo passa a ser ocupada pelo *bit* de controlo. O segundo *byte* contém o número de *bytes* a serem lidos para o caso do comando de escrita, ou o número de *bytes* a serem escritos para o caso do comando de escrita.

Na Figura 3.16 está ilustrada a sequência de envio dos *bytes* para o comando de leitura de dados, em que, o *byte* mais significativo contém o endereço do registo. Dentro desse *byte* o *bit* menos significativo é '1', o que indica ser uma operação de leitura. O *byte* seguinte indica o número de *bytes* da informação que se pretende ler. Caso seja indicado um número de *bytes* superior ao tamanho do registo em questão, os registos subsequentes serão lidos.

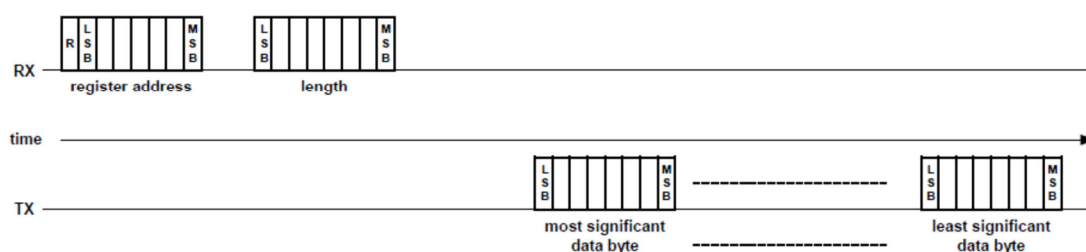


Figura 3. 16 – Operação de leitura do *71M6515H* [21].

Na Tabela 8 é exemplificada a construção das sequências necessárias para o comando de leitura do valor eficaz da corrente na fase A (I_{rms_A}).

Tabela 8 – Exemplo de leitura do valor eficaz da corrente na fase A.

	Binário	Hexadecimal
Endereço do registo I_{rms_A}	0000 1100	0x0C
<i>Shift</i> à esquerda para introdução do bit ‘1’	0001 1001	0x19
Número de bytes a serem lidos	0000 0100	0x04
Sequência a ser enviada	0001 1001 0000 0100	0x1904

Na Figura 3. 17 está representada a sequência de envio dos bytes do comando de escrita de dados nos registos. O primeiro *byte* refere-se ao endereço do registo onde se pretende escrever a informação, sendo que no *bit* menos significativo é colocado ‘0’, o que indica a operação de escrita. O segundo *byte* contém o número total de *bytes* que serão escritos no registo, seguidos pelos *bytes* onde está contida a informação. Como referido anteriormente cada registo comporta no máximo 4 *bytes*, ou seja, 32 *bits*, caso a informação ultrapasse este número os *bits* em excesso serão escritos no próximo registo.

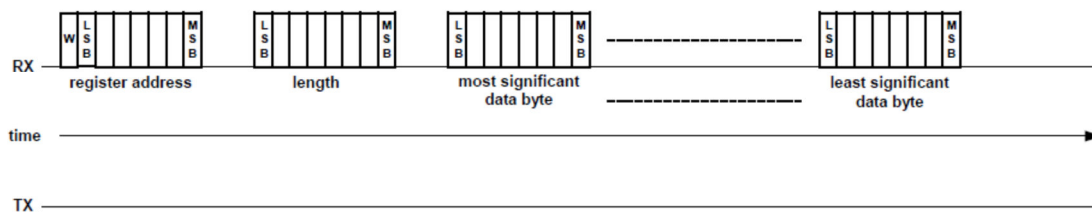


Figura 3. 17 – Operação de escrita no 71M6515H.

Na Tabela 9 está exemplificada a construção das sequências necessárias para escrever no registo de configuração CONFIG.

Tabela 9 – Exemplo de escrita no registo *CONFIG*.

	Binário	Hexadecimal
Endereço do registo <i>CONFIG</i>	0001 0110	0x16
<i>Shift</i> à esquerda para introdução do bit '0'	0010 1100	0x2C
Número de bytes escritos	0000 0100	0x04
Dados	0000 0110 0000 0000 0111 1100 0001 0000	0x06007CA0
Sequência a ser enviada	0010 1100 0000 0100 0000 0110 0000 0000 0111 1100 0001 0000	0x2C0406007CA0

3.4.2. Comunicação entre *ATmega 324P* e *Wifly RN-171*

A comunicação de dados entre o microcontrolador *ATmega 324P* e o transceptor sem fios *Wifly RN-171* é realizada a um *baud rate* de 9600Baud.

O módulo RF (*Radio frequency*) *Wifly* opera em dois modos distintos: o modo de dados e o modo de comandos. No modo de dados, o módulo pode aceitar um pedido de ligação exterior ou iniciar uma ligação. Para configurar os parâmetros ou visualizar a configuração atual, é necessário que o módulo esteja no modo de comandos.

Por padrão o módulo inicializa-se no modo de dados. Para entrar no modo de comandos é necessário enviar através da ligação UART os caracteres '\$\$\$' seguidos do comando *carriage return*. Como indicação de que entrou em modo de comando o módulo envia como resposta os caracteres 'CMD'. A partir deste momento é possível configurar o módulo através de comandos ASCII, sempre seguidos do comando *carriage return*.

Após um comando válido o módulo retorna a sequência 'AOK'. Caso contrário retorna a sequência 'ERR'. Para sair do modo de comandos deve ser enviada a sequência 'exit', o módulo retorna a sequência 'EXIT' para indicar que saiu do modo de comandos.

3.5. Configurações

Nesta secção serão descritas as configurações necessárias quer para o funcionamento do medidor de energia 71M6515H, quer para o transceptor sem fios *Wifly RN-171*.

3.5.1. Medidor de energia 71M6515H

Para que o medidor de energia inicie o seu funcionamento é necessário que o primeiro passo a ser realizado seja o envio da sequência de configuração, que consiste numa operação de escrita no registo CONFIG, esta operação tem de ser realizada cada vez que o *chip* de medição de energia é ligado, visto que ao deixar de ser alimentado as configurações não são guardadas. Neste projeto os bits do registo CONFIG foram configurados de acordo com as Figura 3. 18 e 3.19.

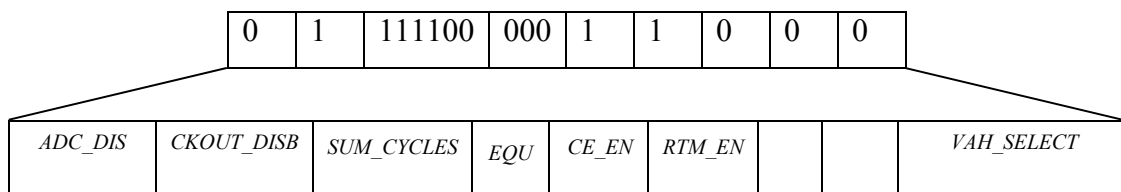


Figura 3. 18 - Configuração do Registo *CONFIG* do bit 0 ao bit 15

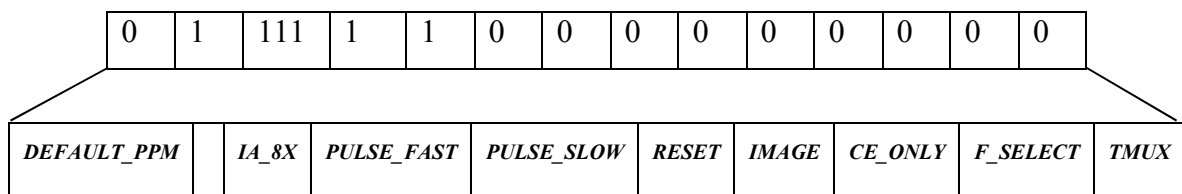


Figura 3. 19 - Configuração do Registo *CONFIG* do bit 16 ao bit 31

As opções tomadas na configuração das funções do medidor de energia são explicadas a seguir:

- Bit 0 (*VAH_SELECT*): Para o cálculo da energia aparente optou-se por escolher a equação 3.2, baseada nos valores eficazes da tensão e corrente.
- Bit 1: Não utilizado.

- Bit 2: Não utilizado.
- Bit 3 (*RTM_EN*): Monitor de tempo real (RTM) ativo.
- Bit 4 (*CE_EN*): Funcionamento do processador CE ativo, para realizar os cálculos de medição da energia.
- Bits 7 – 5 (*EQU*): Uma vez que o sistema está projetado para instalações monofásicas, a equação escolhida para o cálculo da potência é equação 0 da Tabela 4.
- Bits 13 – 8 (*SUM_CYCLES*): Nestes 6bits definiu-se o valor da variável *SUM_CYCLES* igual a 60, o que implica um intervalo de acumulação (τ), definido pela equação 3.4, de 1 segundo.
- Bit 14 (*CKOUT_DISB*): Optou-se por desabilitar o pino de diagnóstico *CKOUT*, uma vez que não é utilizado neste projeto.
- Bit 15 (*ADC_DIS*): Este bit foi configurado de forma a se ter os ADC ativos.
- Bits 18 – 16 (*TMUX*): Como este pino de diagnóstico não é utilizado neste projeto, e por indicação do fabricante, esses bits foram postos a zero.
- Bits 20 – 19 (*F_SELECT*): Como o sistema utiliza apenas umas das fases, selecionou-se a fase A para ser utilizada nas medições, sendo deste modo os bits configurados de acordo com a tabela 5.
- Bit 21 (*CE_ONLY*): Pós-processador ativo.
- Bits 23 – 22 (*IMAGE*): Estes bits foram configurados a zero, para selecionar o modo de operação do processador CE para sensores *standard*, conforme mostra a tabela 6.
- Bit 24 (*RESET*): Optou-se por deixar a transição do *reset* como *default*.
- Bit 26 (*PULSE_SLOW*) e Bit 25 (*PULSE_FAST*): Selecionou-se o fator X igual a 6, conforme tabela 7.
- Bits 29 – 27 (*IA_8X*, *IB_8X*, *IC_8X*): O ganho do ADC de entrada da corrente nas três fases, foi configurado para ter o ganho máximo (igual a 8), de forma a aumentar a sensibilidade na medição de correntes mais reduzidas.
- Bit 30 (*DEFAULT_PPM*): Optou-se por utilizar a fonte interna de compensação da temperatura, ou seja, os coeficientes provenientes dos registos *PPMC* e *PPMC2*.
- Bit 31: Não utilizado.

Para além da configuração através da escrita nos registos, foi necessário efetuar uma a configuração a nível de *hardware*. Conforme indicação no *datasheet* [21] e de acordo com a utilização que se pretendia, realizaram-se as ligações dos pinos do medidor de energia 71M6515H representadas na Figura 3. 20. As implementações efetuadas foram as seguintes:

- No pino 7 (V3P3D) e no pino 50 (V3P3A), ligaram-se condensadores de desacoplamento de 100nF, com o objetivo de filtrar ruídos provenientes da fonte que possam afetar o funcionamento deste *chip*.
- O pino 16 (Baud_Rate) determina o baud rate da UART, quando é ligado ao nível *high* (3,3V) este é definido a 38,4kbps. Caso esteja ligado ao nível lógico *low* (0V) assume o valor de 19,2kbps. Optou-se por definir esta porta para um baud rate de 19,2 kbps.
- O pino 24 (SRDY) por indicação do fabricante deve estar ligado ao *ground* (0V).
- O pino 40 (Pulse_Init) por *default* é ligado ao nível lógico *high* (3,3V), este pino define o pulso inicial dos geradores de pulsos (0: 0V ; 1: 3,3V).
- O pino 45 (VBAT) é o pino de entrada para alimentação do chip através de uma bateria. Neste projeto não está prevista a utilização de baterias, uma vez que os dados de configuração são guardados pelo microcontrolador. Este pino, quando não é utilizado, deve estar ligado aos 3,3V por indicação do fabricante.
- Os ADC quando não utilizados devem estar ligados aos 3,3V. Neste projeto os pinos 51 (VB), 52 (VC), 54 (IB), 55 (IC) foram ligados a 3,3V uma vez que o sistema implementado é monofásico.
- Os pinos 57 (Vref) e 58 (Vx) estão ligados entre si por indicação do fabricante.
- Entre os pinos 60 (GND) e 61 (XIN) está ligado um condensador de 15pF por indicação do fabricante.

- Entre os pinos 60 (GND) e 63 (XOUT) foi ligado um condensador de 15pF por indicação do fabricante.
- Entre os pinos 61 (XIN) e 63 (XOUT) foi ligado um cristal de 32768 Hz, por indicação do fabricante.

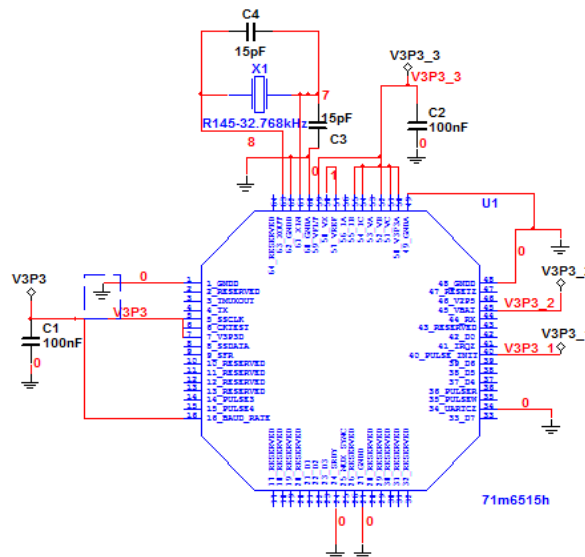


Figura 3. 20– Esquemático com as configurações do medidor de energia 71M6515H.

No anexo A estão contidas as configurações de *hardware* do microcontrolador *ATmega 324P* e do transceptor *Wifly RN-171*, conforme indicações dos respectivos fabricantes.

3.5.2. Configuração do transceptor sem fios *Wifly RN-171*

Para que o transceptor sem fios *Wifly RN-171* possa iniciar a transmissão dos dados deve ser configurado de modo a ligar-se a uma rede *Wi-Fi*. Após ser realizada a configuração este módulo efetua o acesso à rede de forma automática, permitindo assim o envio e recepção de dados sobre uma interface UART. A configuração foi realizada através de uma interface USB, utilizado o programa X-CTU desenvolvido pela empresa DIGI, obtido gratuitamente em www.digi.com. Para inicializar a comunicação com o transceptor foi necessário escolher a porta COM à qual este estava ligado, a taxa de transmissão de 9600Baud, e por fim a configuração dos bits de acordo com a norma 8N1, como se pode observar pela Figura 3. 21.

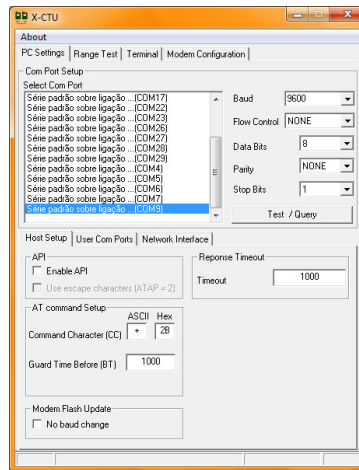


Figura 3. 21 – Janela de configuração do programa X-CTU.

Os comandos foram enviados na seguinte ordem:

- Para entrar no modo de comando enviou-se a sequência:
\$\$\$
- Indicou-se a rede a que o módulo irá associar-se (neste caso a rede WHARDLAB):
set wlan ssid WHARDLAB
- Indicou-se a palavra passe da rede:
*set wlan pass ******
- Guardou-se a configuração da rede:
save
- Pedido de reiniciação do módulo:
reboot

Após esta configuração o transceptor sem fios ficou pronto a ser utilizado.

4. Desenvolvimento

Este capítulo descreve os processos de desenvolvimento, assim como os métodos e ferramentas intervenientes no processo de fabrico do protótipo. A seguir é apresentada a ferramenta de *software* utilizada no desenvolvimento do *firmware* a ser implementado no microcontrolador, e são descritos os respetivos fluxogramas para uma melhor compreensão do código desenvolvido.

4.1. Processo de fabrico do medidor de energia

Após se efetuar a escolha dos componentes a serem adotados, recorreu-se ao programa *Ultiboard 11.0* da empresa *National Instruments* para desenvolver o desenho da placa de circuito impresso (PCB – *Printed circuit board*). O cumprimento do requisito de tamanho reduzido (6,0 cm x 8,0 cm), refletiu-se num posicionamento complexo e moroso dos componentes na PCB, uma vez que foi necessário garantir o espaço tanto para os componentes como para as suas ligações. Outro critério importante a ser satisfeito foi o espaçamento mínimo de 0,5 mm entre ligações, componentes e plano de massa, evitando assim, contactos indesejados entre estes, provocados por erros durante a impressão da placa. Como nem todos os componentes utilizados para a construção do medidor de energia existiam nas bibliotecas do *software*, foi necessário criar alguns componentes, como foi o caso do medidor de energia 71M6515H. O fabrico do protótipo do medidor de energia contemplou seis procedimentos distintos: desenho do circuito (*layout*), impressão, sensibilização por UV, revelação, perfuração e soldadura.

4.1.1. Desenho do circuito (*Layout*)

A elaboração do desenho da PCB guiou-se por algumas regras estabelecidas por protocolos estabelecidos pela IPC – *Association Connecting Electronics Industries* [30]. Após a consulta do tutorial do programa *Ultiboard* [31] iniciou-se o desenho da PCB, tendo-se definido alguns parâmetros, tais como, as dimensões da placa e tecnologia utilizada (sendo que neste caso optou-se por uma placa com pré-sensibilização com dupla face, de forma a agrupar os componentes do circuito tanto na face superior como inferior, mantendo assim as dimensões desejadas).

Na Figura 4. 1 é apresentado o *layout* da placa do medidor de energia, em que as linhas vermelhas significam as ligações na parte superior da placa, sendo as linhas a verde referentes às ligações na face inferior da placa. Nas Figuras 4. 2 e 4. 3 são apresentadas imagens virtuais da unidade de aquisição de dados, onde é possível observar os pinos que foram implementados ao redor do medidor de energia 71M6515H com a função de diagnóstico, sendo que no futuro poderão ser retirados.

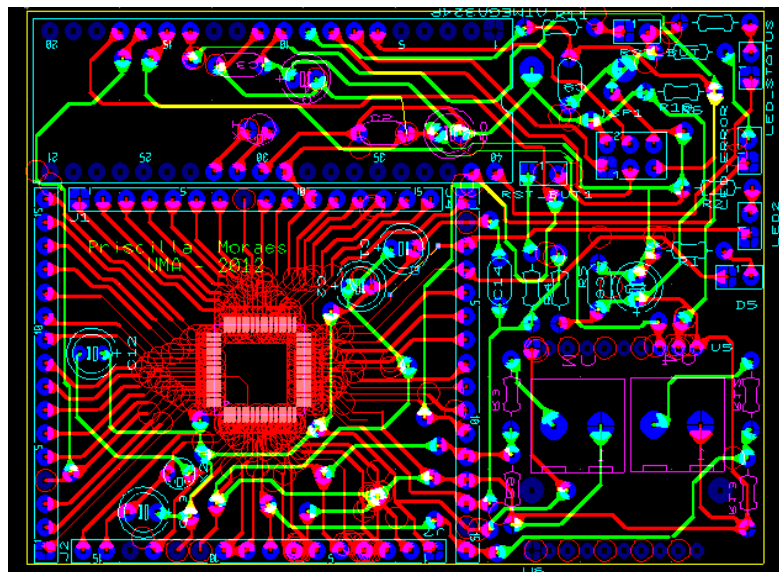


Figura 4. 1 – *Layout* da placa de circuito impresso da unidade de aquisição de dados.

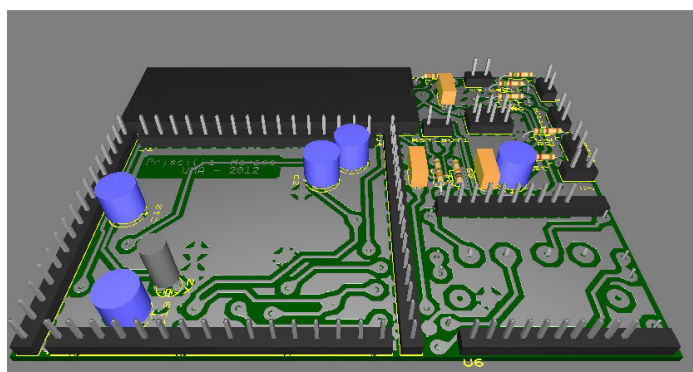


Figura 4. 2 – Imagem virtual da face superior da PCI com os componentes implementados.

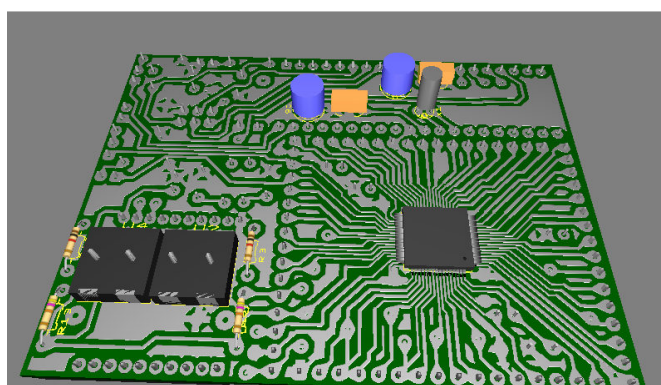


Figura 4. 3 – Imagem virtual da face inferior da PCI com os componentes implementados.

4.1.2. Impressão do *layout* do circuito na placa de cobre

Esta etapa consistiu primeiro na impressão, com recurso a uma impressora *laser*, do *layout* do circuito das faces superior e inferior em folha de acetato. A seguir sobrepueram-se as duas faces alinhadas pelos alvos impressos nas laterais da impressão, e entre estas colocou-se a placa pré-sensibilizada de dupla face. De referir que a impressão da face superior foi refletida, uma vez que o face da folha em que é realizada a impressão deve ficar em contacto direto com a placa pré-sensibilizada, tal como a face inferior, evitando assim diferenças de sensibilização por UV (ultravioleta) entre as faces.

A transferência do *layout* do circuito impresso das folhas de acetato para a placa pré-sensibilizada de dupla face foi realizada por meio da exposição, do verniz fotossensível que recobre a placa, aos raios ultravioletas. Assim colocou-se o conjunto composto por uma placa pré-sensibilizada entre as duas folhas de acetato impressas com o circuito, dentro de um equipamento apropriado (Mega AZ - 210), apresentado na Figura 4. 4, durante 120 segundos.



Figura 4. 4 – Aparelho de UV Mega AZ – 210.

Após a exposição ao UV a placa passou por duas imersões distintas em líquidos corrosivos: i) Solução composta por água e soda cáustica para revelar o desenho transferido; ii) Solução composta por água e perclorato de ferro para remoção das partes excedentes de cobre.

A seguir, para remoção das substâncias corrosivas, a placa foi limpa em água abundante. Foi efetuada a remoção com álcool da película fotossensível e por fim utilizou-se verniz transparente para isolar a placa contra a oxidação.

4.1.3. Montagem dos componentes e soldadura

A etapa seguinte consistiu na furação, com recurso a um berbequim, das vias da PCB para a respetiva interligação entre as pistas da face superior e inferior, e para o encaixe de cada um dos componentes. Foram utilizados diferentes diâmetros de brocas, de acordo com o componente a ser montado, tendo os diâmetros variado entre 0,8, 1,0 e 1,1mm.

Por fim procedeu-se à colocação dos componentes nos seus respetivos lugares, seguindo-se a sua fixação com ferro de soldar e solda de estanho.

4.1.4. Instalação na caixa

Após concluir a montagem e soldadura dos componentes a placa PCB foi colocada numa caixa de plástica, para proteção do circuito e fácil instalação no quadro elétrico. A Figura 4. 5 ilustra a placa finalizada e pronta para realizar os testes de funcionamento.

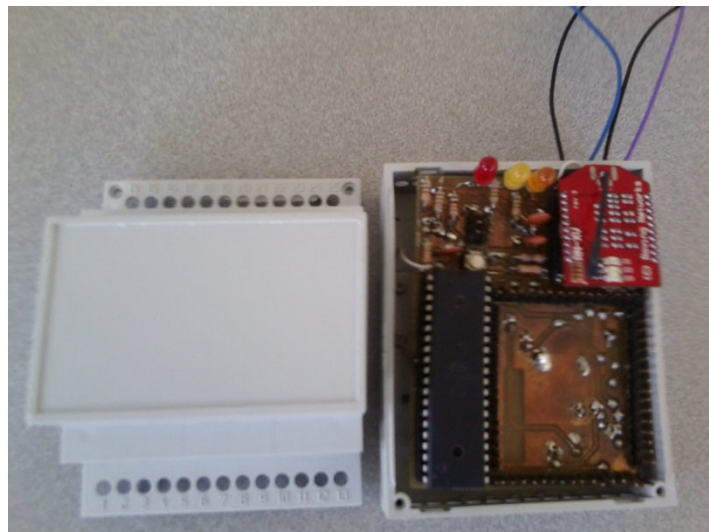


Figura 4. 5 – Unidade de aquisição de dados com a respetiva caixa.

4.1.5. Componentes utilizados e custo do medidor de energia

Na Tabela 10 são apresentados os componentes utilizados na construção da unidade de aquisição de dados, com uma breve descrição, respetivos fabricantes e preço unitário estimados para lotes de 100 unidades. Os preços dos componentes foram pesquisados na empresa Farnell, através do Website: <http://pt.farnell.com>. É de referir que os preços apresentados datam de 10 de Junho de 2012.

Tabela 10 – Relação de componentes utilizados.

Qtd	Descrição componente	Fabricante	Preço/un. (€)
1	Condensador cerâmico 6,8pF	Vishay	0,02
2	Condensador cerâmico 15pF	Vishay	0,02
1	Condensador cerâmico 1µF	Vishay	0,03
2	Condensador 10µF	Vishay	0,04
5	Condensador cerâmico 100nF	Vishay	0,03
1	Resistência 330Ω , 0,25W, 5%	Sunsphere	0,021
4	Resistência 1,5kΩ, 0,25W, 5%	Sunsphere	0,026
1	Resistência 10kΩ ,0,25W, 5%	Sunsphere	0,026
2	Cristal 32,768 kHz, 12.5pF	Citizen America	0,30
4	Led, 5mm	Led Technology	1,21
2	Socket Vertical, 10 way ,1 row	Harwin	1,31
1	Header, Straight, 2x3way	Te Connectivity	0,38
2	Switch, flat, spno	Omron	0,37
1	ATmega 324P	Atmel	4,36
1	71M6515H	Maxim/Teridian	4,64
1	<i>Wifly</i> RN-171	Sparkfun	23,96
1	ECL10US03-E	Xp-Power	23,99
1	Caixa		2,00
Total			62,91

O preço final estimado do medidor de energia é de 62,91 euros. Verifica-se que os componentes mais dispendiosos estão relacionados com o envio dos dados (módulo *Wifly* RN-171) e com a fonte de alimentação (ECL10US03-E).

4.2. Firmware

Após realizar as etapas de construção física do medidor de energia, seguiu-se a etapa de desenvolvimento do *firmware* do microcontrolador, que encontra-se no anexo D, para que este execute as tarefas de controlo sobre o medidor de energia 71M6515H e o módulo *Wi-Fi*. O microcontrolador é responsável por executar várias tarefas em resposta a uma interrupção que é ativada pelo medidor de energia 71M6515H, esta função é muito importante para que exista sincronização entre estes dois componentes.

O *firmware* foi desenvolvido em linguagem *C* e compilado com recurso ao programa AVR STUDIO 6.0. Ao criar um novo projeto no AVR STUDIO 6.0 surgem duas janelas, representadas na Figura 4. 6. Na primeira janela é possível seleccionar o tipo de linguagem a ser utilizada e o nome do projeto. Na segunda janela define-se a referência do microcontrolador para o qual se está a programar.

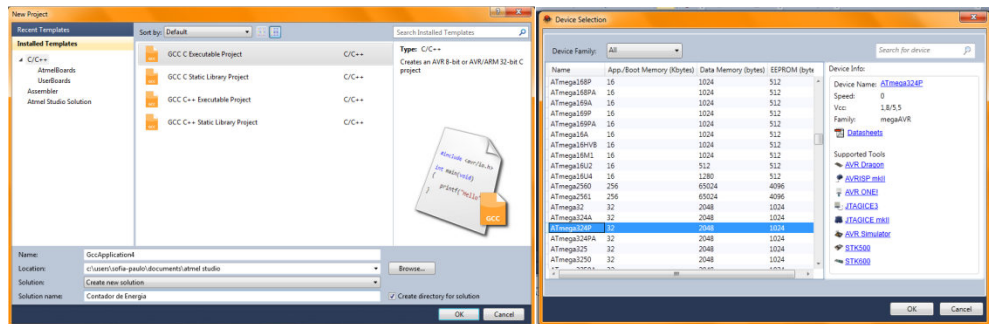


Figura 4. 6 – Janelas de configuração do AVR STUDIO 6.0.

O programa desenvolvido compreende vários aspetos. Na primeira parte do programa são executadas diversas tarefas de inicialização, nomeadamente são declaradas as bibliotecas, as variáveis, e as portas utilizadas nas funções implementadas.

Na rotina principal as tarefas a serem realizadas pelo *firmware* são:

- Estabelecer o *baud rate* das portas UART (9600 e 19200) para comunicação;
- Configurar o 71M6515H através do envio da sequência ilustrada na Figura 3. 18 e 3.19.;

- Ler o valor que se encontra no registo *TEMP_RAW* referente ao valor medido pelo sensor interno de temperatura e escrevê-lo no registo *TEMP_NOM*, que guarda o valor de referência da temperatura;
- Escrever os coeficientes de calibração da corrente e da tensão da fase A nos respetivos registos: *CAL_IA*, *CAL_VA*;
- Configurar *WRATE* com o valor requerido para gerar a frequência de pulso desejado;
- Definir *creep*, cvas, limites máximos e mínimos de corrente/tensão, através da escrita nos registos *CREEP_THRSLD SAG*, *VI_PTHRESH* e *VI_THRSHLD*;
- Indicar o pino 40 (*PCINT0*) do microcontrolador para receber um sinal de interrupção;
- Colocar a '1' o bit '11', posição designada por *READY*, no registo *STMASK* (máscara do registo *STATUS*) para ativar a interrupção;
- Ler o último valor acumulado no registo *WATTH_X*, responsável por guardar o valor da energia ativa, ou no registo *VAH_X*, responsável por guardar o valor da energia aparente ou no registo *VARH_X*, responsável por guardar o valor da energia reativa;
- Aguardar até que o pino *IRQZ* volte a '0';
- Após receber a interrupção, ler o último valor acumulado num dos registos (*WATTH_X* ou *VAH_X* ou *VARH_X*), de forma a manter a interrupção ativa;
- Aplicar as fórmulas de conversão da energia, de acordo com as expressões;
- Enviar para o transceptor sem fios a mensagem, de acordo com o protocolo '*php*', com os dados medidos, já devidamente convertidos.

Na Figura 4.7 é apresentado o fluxograma para uma melhor compreensão do *firmware* desenvolvido para a unidade de aquisição de dados. Para a comunicação série, existem algumas vantagens em trabalhar com números inteiros, assim, no decorrer do processo de desenvolvimento do código em linguagem C, optou-se por guardar o valor da energia acumulada, já convertida na unidade final (Wh), numa variável do tipo inteiro. Contudo, como esta unidade de aquisição funciona também como um contador do consumo de energia, para que não se perca a resolução da medição, criou-se uma variável auxiliar com a precisão de até 1 μ Wh. Em cada medição esta variável auxiliar acumula os valores referentes às casas decimais, sendo que ao atingir 1Wh será incrementado este valor na próxima medição a ser enviada para a base de dados, pelo que o valor da variável auxiliar na medição seguinte retorna a zero.

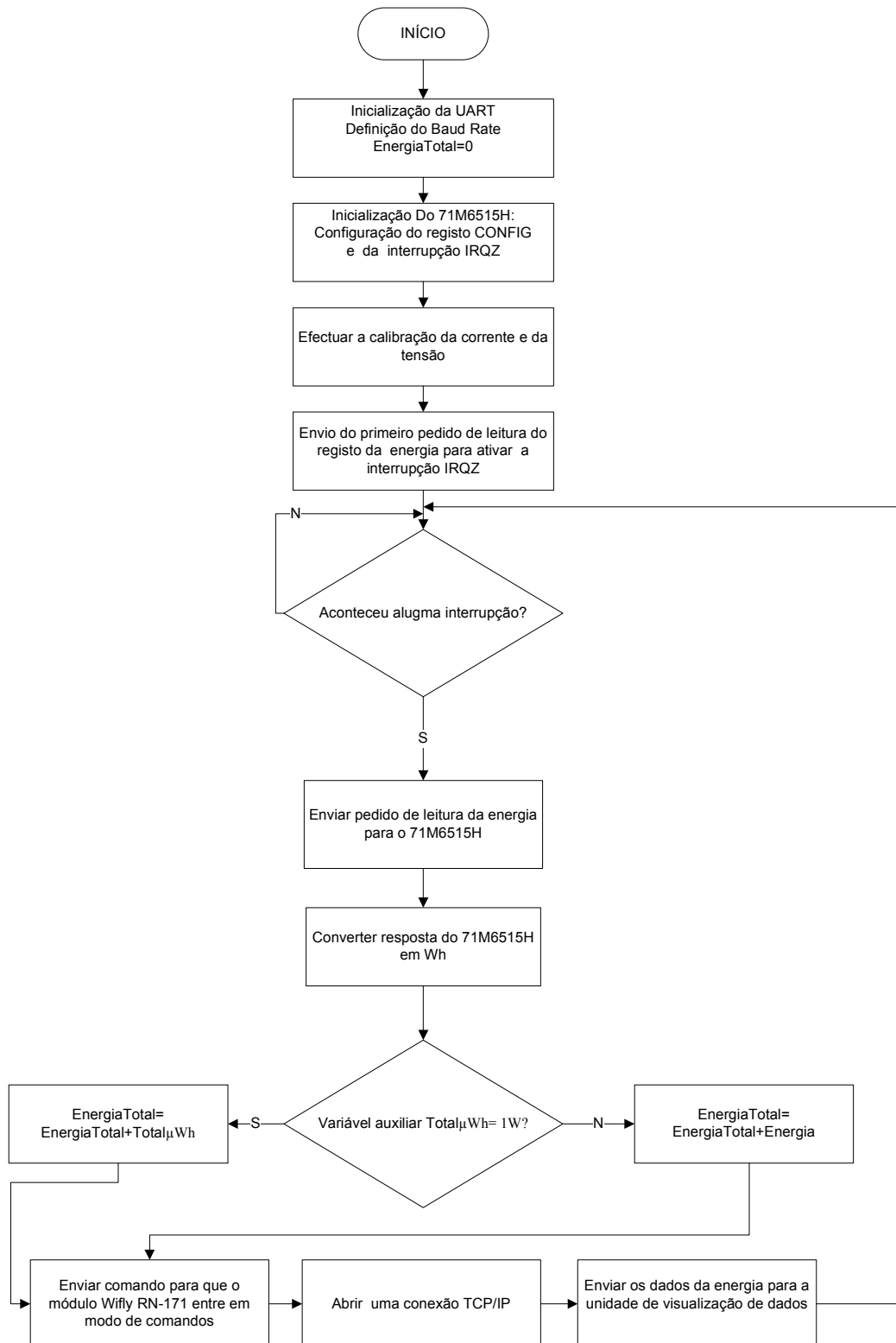


Figura 4. 7 – Fluxograma do *firmware*.

4.2.1. Interrupção

Esta interrupção pode ser vista como uma sincronização entre o microcontrolador e o medidor de energia 71M6515H, no qual o registo CONFIG está configurado para gerar uma interrupção no pino 41 (IRQZ) sempre que novos dados estão prontos para serem lidos. A saída deste pino é ativada a um nível lógico '0', sendo que a transição ascendente indica o fim de um intervalo de medição, e o pino volta ao nível lógico '1' após se efetuar a leitura do registo.

Para ativar a interrupção no pino de saída PIN 41 (IRQZ) é necessário por a '1' o bit *READY*, na posição 11, do registo STMASK. Por defeito os quatro bytes do registo STMASK são zero. Na Tabela 11, são apresentadas as várias etapas de construção dos bytes que constituem a sequência a ser enviada para ativação da interrupção IRQZ.

Tabela 11 – Sequências para ativação da interrupção IRQZ.

Etapas	Descrição	Binário	Hexadecimal
1	Endereço do registo STMASK	0001 0101	0x15
2	<i>Shift</i> à esquerda para introdução do bit de escrita '0'	0010 1010	0x2A
3	Número de bytes a serem escritos	0000 0100	0x04
4	Dados (bit <i>READY</i> a '1')	0000 0000 0000 0000 0000 1000 0000 0000	0x00000800
5	Sequência a ser enviada	0010 1010 0000 0100 0000 0000 0000 0000 0000 1000 0000 0000	0x2A0400000800

O pino 40 do microcontrolador ATmega 324P é ligado ao pino 41 (IRQZ) do medidor de energia 71M6515H, para receber o sinal de interrupção.

O período de ocorrência da interrupção é determinado pelo parâmetro *SUM_CYCLES*, uma vez que este determina o comprimento do intervalo de acumulação, dado pela equação 4.1. Os cálculos realizados pelo pós-processador e a comunicação com o microcontrolador têm que ser concluídos dentro do intervalo τ , se a leitura for realizada fora deste intervalo os dados são perdidos.

$$\tau = \frac{SUM_{CYCLES} \times 42}{2520,6 \text{ Hz}} \quad (4.1)$$

O valor do SUM_CYCLES por defeito é de 60. Se este for igual a 30 a taxa de ocorrência da interrupção é de 2 Hz (500 ms), caso seja igual a 60 a taxa passa a ser de 1 Hz (1 s). O valor mínimo adequado para o SUM_CYCLES é de 24, gerando um intervalo de 400 ms.

O tempo de cálculo do pós-processador pode ser reduzido através da utilização dos valores eficazes da corrente e tensão. Para tal é necessário por a '1' o bit '0' do registo *CONFIG*. Outra opção para melhorar o tempo passa pela desativação do pós-processador, ao colocar a '1' o bit 21, designado por CE_ONLY, do registo *CONFIG*. Tal só é possível em aplicações que não necessitem dos valores dos seguintes registos: IPHASE, IRMS, VAh e VRMS.

De acordo com a Tabela 12, torna-se evidente a razão pela qual o valor mínimo para o SUM_CYCLES é de 24, pois na pior situação o pós-processador leva 350 ms para realizar o cálculo da energia, restando somente 50 ms para efetuar a comunicação com o microcontrolador.

Tabela 12 – Tempo de processamento do pós-processador.

CE_ONLY	Cálculo VAh	Tempo de cálculo
Ativa	Método vetorial	350ms
Ativa	Vrms*Irms	80ms
Desativada	x	40ms

Na rotina de interrupção é enviado para o medidor de energia 71M6515H, através da função de comunicação com a interface UART, um pedido dos seguintes parâmetros de energia na fase A: energia ativa, energia aparente e energia reativa. Aos valores recebidos por meio da função de receção da interface UART, são aplicadas as respetivas funções de conversão. através das equações 3.5, 3.6 e 3.7.

4.2.2. Calibração

O procedimento de calibração é realizado com o objetivo de aferir os valores medidos pelo medidor de energia 71M6515H. Este método consiste no ajuste dos coeficientes de calibração dos valores eficazes da corrente e da tensão.

A calibração da unidade de aquisição de dados foi aferida através da realização de alguns ensaios, nomeadamente pela comparação entre os valores eficazes da tensão e da corrente medidos através do protótipo construído e do multímetro Fluke 115.

Para a calibração da corrente e da tensão introduziu-se à entrada dos respetivos *ADC* um sinal sinusoidal com amplitude de 250mV, de forma a simular a gama máxima de entrada que esses sensores podem medir.

Na calibração da corrente o primeiro passo consistiu em ler o registo que guarda o valor referente ao valor eficaz da corrente, o registo *IRMS_A*. Obteve-se o valor de 0x418B0000 (hexadecimal) ou 1099628544 (decimal).

Sabendo-se que o valor eficaz correspondente à amplitude máxima que o sensor de corrente pode ler é:

$$I_{MAX} = \frac{180}{\sqrt{2}} = 127,3 \text{ A} \quad (4.2)$$

Aplicou-se a equação de conversão do valor obtido no registo *IRMS_A*, indicada no *datasheet* [21] do medidor de energia 71M6515H, que resultou num valor eficaz de corrente de:

$$I_{rms} = IRMS_A \frac{6,8781 \times 10^{-9} \times I_{MAX}}{IN_8 \times \sqrt{SUM_CYCLES}} \quad (4.3)$$

$$I_{rms} = 1099628544 \frac{6,8781 \times 10^{-9} \times 127,3}{1 \times \sqrt{60}} = 124,3 \text{ A}$$

Ou seja, o valor eficaz da amplitude máxima de corrente, obtido para uma tensão de 250mV à entrada foi de 124,3A e não 127,3A. Para realizar a correção deste valor, foi calculada a relação entre estes dois valores, sendo aplicada a equação 4.7. A seguir foi utilizado esse valor na equação 4.8 [21], a qual fornece o valor a ser escrito no

registo de calibração da tensão CAL_IA. O comando utilizado para a escrita desse valor está descrito na Tabela 13.

$$\Delta I_{rms} = 1 - \frac{124,3 V}{127,3V} = 0,0235 = 2,35\% \quad (4.7)$$

$$CAL_{IA} = \frac{16384}{1-0,0235} = 16779 \quad (4.8)$$

Tabela 13 – Comando de escrita no registo de calibração da corrente na fase A (CAL_IA).

Etapas	Descrição	Binário	Hexadecimal
1	Endereço do registo CAL_IA	0010 0100	0x24
2	Shift à esquerda para introdução do bit de escrita '0'	0100 1000	0x48
3	Número de bytes escritos	0000 0100	0x04
4	Dados	000 0000 0000 0000 0100 0001 1000 1011	0x418B
5	Sequência a ser enviada	0100 1000 0000 0100 0000 0000 0000 0000 0100 0001 1000 1011	0x48040000418 B

Para calibrar a entrada de tensão realizou-se a leitura do registo que contem o valor referente a leitura do valor eficaz da tensão (VRMS_A). Obteve-se um valor de 0x41B00000 (hexadecimal) ou 1102053376 (decimal).

Sabendo-se que o valor eficaz correspondente à amplitude máxima que o sensor de tensão pode ler é:

$$V_{MAX} = \frac{325,27}{\sqrt{2}} = 230 V \quad (4.9)$$

Aplicou-se a equação de conversão ao valor obtido no registo VRMS_A, que resulta num valor eficaz da tensão de:

$$V_{rms} = VRMS_A \frac{6.8781 \times 10^{-9} \times VMAX}{IN_8 \sqrt{SUM_CYCLES}} \quad (4.10)$$

$$V_{rms} = 1102053376 \frac{6.8781 \times 10^{-9} \times 230}{\sqrt{60}} = 215,29 V$$

O valor eficaz da amplitude máxima de tensão obtido, para uma tensão de 250mV à entrada foi de 215,29V e não 230V. Para realizar a correção deste valor, foi calculado o erro associado entre estes dois valores e aplicada a equação 4. 10. A seguir foi utilizado esse valor na equação 4. 11, a qual fornece o valor a ser escrito no registo de calibração da tensão CAL_VA.

$$\Delta V_{rms} = 1 - \frac{215,29 V}{230V} = 0,0214 = 2,14\% \quad (4.11)$$

$$CAL_{VA} = \frac{16384}{1-0,0214} = 16743 \quad (4.12)$$

Na Tabela 14 são apresentadas as etapas de construção dos bytes que constituem a sequência a ser enviada, para que o medidor de energia 71M6515H realize a operação de escrita no registo de calibração.

Tabela 14 – Comando de escrita no registo de calibração da corrente na fase A (CAL_VA).

Etapas	Descrição	Binário	Hexadecimal
1	Endereço do registo CAL_VA	0010 0101	0x25
2	Shift à esquerda para introdução do bit de escrita '0'	0100 1010	0x4A
3	Número de bytes escritos	0000 0100	0x04
4	Dados	0000 0000 0000 0000 0100 0001 0110 0111	0x4167
5	Sequência a ser enviada	0100 1010 0000 0100 0000 0000 0000 0000 0100 0001 0110 0111	0x4A0400004167

4.2.3. Upload do firmware

Após se concluir a construção do código em linguagem C e se verificar a não ocorrência de erros, realizou-se a compilação do código, que originou um ficheiro *.hex*. Para carregar este ficheiro no microcontrolador ATmega 324P recorreu-se a um programador de microcontroladores AVR designado por *MKII* apresentado na Figura 4.8.



Figura 4. 8 – Programador AVR MKII [32].

A interface de comunicação utilizada entre o programador AVR MKII e a unidade de aquisição de dados, é a SPI (*Serial Peripheral Interface Bus*) que opera em modo *full duplex* e a comunicação é realizada em modo mestre/escravo.

Este programador é acoplado à unidade de aquisição de dados através do bloco *Header SPI*, apresentado na Figura 4. 9, sendo este constituído pelos seguintes pinos: 1) MISO – Pino de saída do escravo 2) VCC – Este pino é ligado à tensão de alimentação de 3,3V; 3) SCK – Sinal de relógio do mestre; 4) MOSI – Pino de saída do mestre; 5) RESET – Este pino é mantido a *low* para que o microcontrolador fique em modo de programação; 6) GND – Este pino é ligado aos 0V.

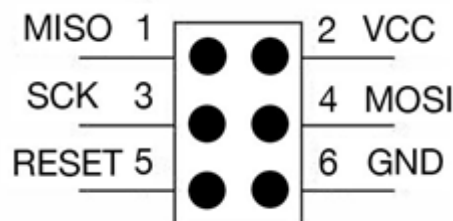


Figura 4. 9 – Bloco *Header SPI*.

Para realizar o *upload* do *firmware* com recurso a uma interface SPI é necessário ainda realizar uma configuração essencial para permitir a comunicação, paraevitar que a interface JTAG entre em conflito com a interface SPI, através da janela *device programming* do STUDIO AVR 6.0, é necessário desativar o *fuse JTAGEN*, tal como se representa na Figura 4. 10. Esta configuração é importante visto que o microcontrolador pode reservar as portas utilizadas pela interface SPI para serem utilizadas somente pela interface JTAG.

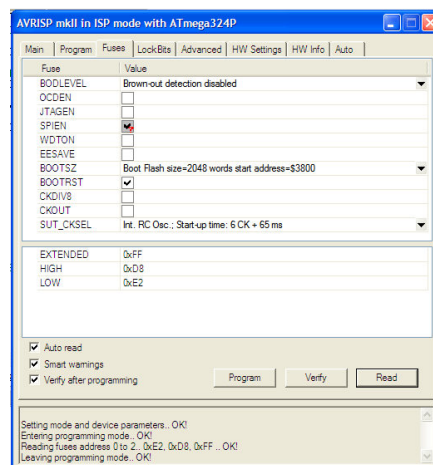


Figura 4. 10 – Janela *device programming* do STUDIO AVR 6.0.

4.3. Unidade de registo de dados

A unidade de registo de dados compreende o registo dos valores obtidos pela unidade de aquisição de dados numa base de dados, que podem ser acedidos em tempo real através de um *website*.

Numa primeira fase foi instalado o programa Xampp, que contempla um servidor Apache utilizado como servidor de Internet, um sistema de base de dados MySQL e um motor *php*, os quais são necessários para manipular uma página da Internet.

Foi desenvolvido um pequeno *script* em linguagem *php* de modo a registar os dados recebidos através da porta 80, referentes a valores de energia monitorizados pela unidade de aquisição de dados enviados através da rede Wi-Fi. A listagem desse código encontra-se disponível no anexo E.

A visualização dos dados foi realizada com recurso a ferramenta de software Phpmyadmin, este programa destina-se à gestão de base de dados através da internet, possui uma ampla gama de operações sobre o sistema de gerenciamento de banco de dados MySQL, que permite criar e remover bases de dados, alterar tabelas , editar campos, etc.

5.

Testes e Resultados

Neste capítulo são apresentados os testes experimentais realizados com o protótipo do sistema de medição de energia desenvolvido no decorrer deste trabalho. É apresentado um comparativo entre medições de tensão, corrente e energia do protótipo e de um equipamento disponível em laboratório. Os resultados obtidos foram analisados para se verificar se estão em conformidade com o resultado esperado.

5.1. Testes de funcionamento

Para aferir a validade dos resultados obtidos com o protótipo construído realizaram-se alguns testes, que consistiram na medição dos valores de consumo do sistema *Termotec 220 - B* [33], utilizado para o estudo teórico-prático de instalações solares térmicas, nomeadamente para a obtenção de água quente e climatização, entre outros fins. Esse sistema, apresentado na Figura 5. 1, é composto por três elementos principais: i) Consola de controlo, composta por um visor digital; ii) Simulador de painel solar, que pretende simular o aquecimento da água através de uma fonte solar; iii) Aerotermo, que é um simulador de carga.



Figura 5. 1 – Sistema *Termotec 220 – B*. (a) Consola de controlo; (b) Simulador de painel solar; (c) Aerotermo [33].

Foi realizada a comparação dos valores eficazes da tensão, corrente e energia obtidos com a unidade de aquisição de dados desenvolvida e com um analisador de potência C.A. 8332 B, Figura 5.2, produzido pela empresa *Chauvin Arnaux* [34].



Figura 5. 2 – Analisador de potência C.A. 8332 B [34].

Durante o teste realizado os elementos que constituem o sistema *Termotec 220 - B* foram sendo ligados de forma faseada, para permitir a observação e registo do consumo de cada um dos elementos de forma isolada e em conjunto. No decorrer do teste foram analisadas quatro situações diferentes, descritas na Tabela 15, que permitiram comparar em diferentes momentos, os valores obtidos com o protótipo desenvolvido e os valores esperados, de acordo com as características do equipamento utilizado no teste.

Tabela 15 – Descrição do teste realizado.

Situação	Descrição
1	Consola de controlo
2	Simulador de painel solar (4 kW)
3	Aerotermo (1,5 kW)
4	Todo o sistema (Situação 1+2+3)

5.1.1. Valor eficaz da tensão

Para determinar o erro na medição do valor eficaz da tensão, procedeu-se à realização de algumas leituras ligando o sensor de tensão diretamente a uma tomada da rede elétrica de 230V, sendo que esta pode ter uma variação de $\pm 10\%$. A Tabela 16 apresenta os resultados da estimativa do erro de medição do valor eficaz da tensão.

Tabela 16 – Erro de medição do valor eficaz da tensão.

Vrms (V)		Erro de Medição
71M6515H	C.A. 8332 B	
234,3	234,5	0,09%
234,3	234,8	0,21%
234,4	234,5	0,04%
234,5	234,7	0,09%
234,7	234,8	0,04%
234,8	235	0,09%
234,9	235,2	0,13%
235	235,3	0,13%
235,1	235,4	0,13%

Pelos dados apresentados na Tabela 16, verifica-se que a unidade de aquisição de dados apresenta um erro na medição da tensão eficaz inferior a 0,14%, sendo este valor aceitável considerando o tipo de aplicação a que o protótipo é destinado.

5.1.2. Valor eficaz da corrente

A unidade de aquisição de dados desenvolvida pode medir correntes AC até 180A, pelo que foi necessário medir valores de correntes para diferentes cargas, conforme foi descrito na secção 5.1.

De forma a registar o comportamento da unidade de aquisição de dados para valores de I_{rms} baixos, realizou-se a medição somente com a consola de controlo ligada, sendo apresentados na Tabela 17 os valores obtidos.

Tabela 17 – Erro de medição com a consola de controlo a funcionar.

I_{rms} (A)		Erro de Medição
71M6515H	C.A. 8332 B	
0,148	0,136	8,82%

Para se obterem valores de corrente intermédios, testou-se de seguida a medição com o simulador de painel solar ligado, tendo-se obtido os valores apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Erro de medição do valor eficaz da corrente com o simulador de painel solar ligado.

I_{rms}		Erro de Medição
71M6515H	C.A. 8332 B	
12,10	12,15	0,41%
12,22	12,15	0,57%
12,27	12,23	0,33%

De seguida ligou-se apenas o aerotermo, e registaram-se os valores que são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Erro de medição do valor eficaz da corrente com o aerotermo ligado.

I_{rms}		Erro de Medição
71M6515H	C.A. 8332 B	
4,62	4,61	0,22%
4,64	4,63	0,22%
4,58	4,56	0,44%

Finalmente registaram-se alguns valores com todo o sistema a funcionar, valores esses que são apresentados na Tabela 20

Tabela 20 – Erro de medição do valor eficaz da corrente com todo o sistema a funcionar.

I_{rms}		Erro de Medição
71M6515H	C.A. 8332 B	
16,85	16,8	0,30%
16,76	16,65	0,66%
16,84	16,72	0,71%

Como se pode observar pela Tabela 17, a unidade de aquisição de dados possui um erro de medição elevado para valores de entrada no ADC fora dos limites da gama de entrada (indicada pelo fabricante como sendo entre 0,2% e 100% do valor máximo de 180A). Com base nos restantes resultados obtidos, foi possível verificar que o erro tende a reduzir-se para valores de I_{rms} mais elevados. Infelizmente, não se pôde testar o funcionamento do sistema de medição para correntes superiores às apresentadas.

É de referir que os valores de consumo dos outros elementos que constituem o sistema *Termotec 220 – B*, que aqui não foram mencionados, foram ignorados por serem muito reduzidos face aos apresentados, e por isso situarem-se fora da margem de detenção do equipamento.

5.1.3. Energia

O ensaio para determinar o erro na medição da energia foi realizado nas mesmas condições descritas na secção 5.1. Nas Tabelas 21, 22 e 23 são apresentados, respetivamente, os valores de energia aparente, ativa e reativa, obtidos no intervalo de 1 segundo em cada uma das situações. De referir que os valores utilizados pelo medidor de energia 71M6515H para o cálculo baseiam-se nos valores eficazes da tensão e da corrente. Conforme o esperado o erro de medição é mais alto para valores de energia mais baixos.

Tabela 21 – Erro de medição da energia aparente

Energia (kVA)			Erro de Medição
Situação	71M6515H	C.A. 8332 B	
1	0,009	0,0081	11,11%
2	0,770	0,765	0,65%
3	0,361	0,358	0,84%
4	0,944	0,935	0,96%

Tabela 22 – Erro de medição da energia ativa.

Energia (kWh)			Erro de Medição
Situação	71M6515H	C.A. 8332 B	
1	0,009	0,0081	11,11%
2	0,59	0,585	0,85%
3	0,361	0,359	0,56%
4	0,833	0,829	0,48%

Tabela 23 – Erro de medição da energia reativa

Energia (kVAr)			Erro de Medição
Situação	71M6515H	C.A. 8332 B	
1	0,009	0,0081	11,11%
2	0,527	0,525	0,38%
3	0,004	0,0031	22,58%
4	0,515	0,51	0,98%

Verificou-se que os valores de erro da energia ativa e reativa estão dentro dos intervalos apresentados nos gráficos do anexo B.

Para verificar o funcionamento geral do sistema de medição de energia desenvolvido, ou seja da unidade de aquisição em conjunto com a aplicação de registo de dados, foi realizado um teste em que gradualmente foram postos a funcionar os componentes que constituem o sistema *Termotec 220 - B*.

Os dados da energia acumulada foram gravados na base de dados durante 21 minutos. Na Figura 5.3 é apresentado o gráfico dos valores da energia acumulada obtidos a partir dos dados registados na aplicação de registo de dados.

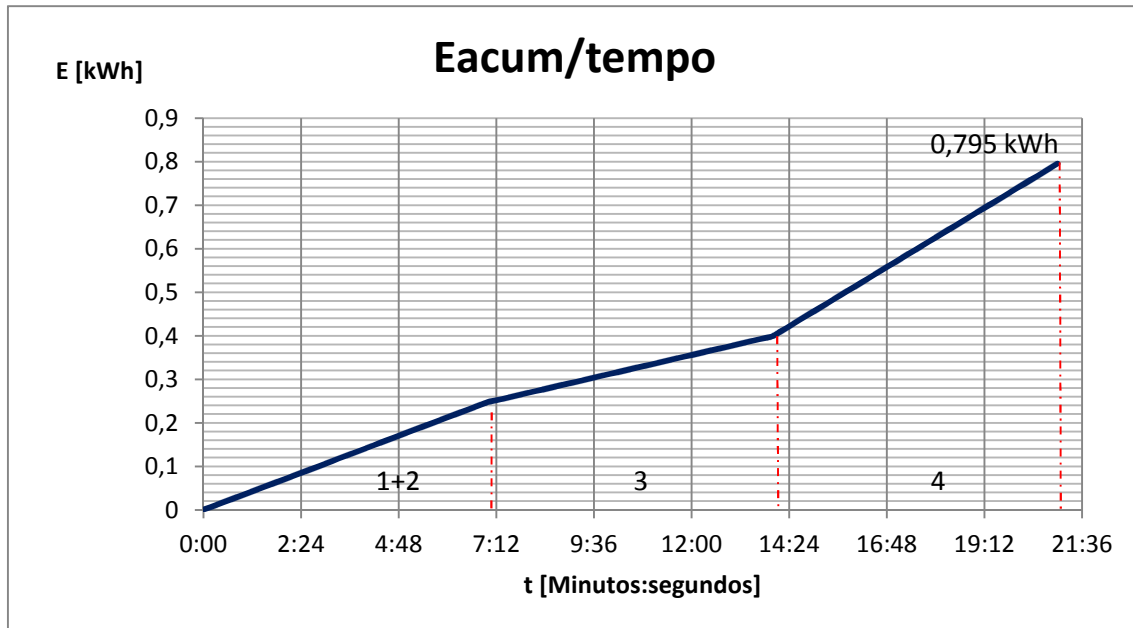


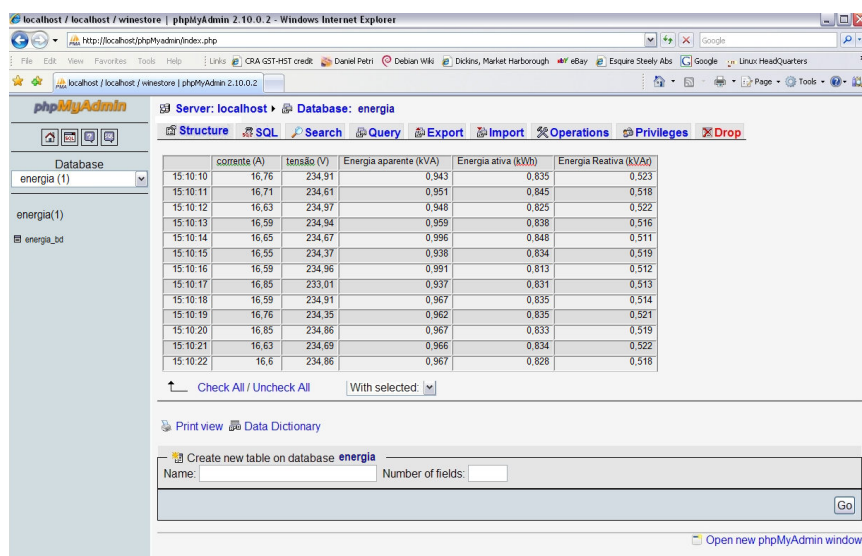
Figura 5.3 – Gráfico da energia acumulada consumida durante o intervalo de teste.

Os resultados conseguidos neste teste estão de acordo com o esperado, uma vez que a forma de variação da energia acumulada está de acordo com o início da atividade dos elementos que foram sendo ligados no decorrer deste teste, e os valores estão dentro dos valores esperados.

Foi assim possível validar o correto funcionamento de todos os elementos que constituem o sistema desenvolvido, os quais apresentaram uma integração apropriada e um funcionamento adequado.

Em resumo, e no que diz respeito à unidade de aquisição de dados, por comparação com um outro aparelho de medição, comprovou-se o seu correto funcionamento, no que diz respeito aos sensores de corrente e de tensão, assim como do transceptor sem fios.

Quanto à unidade de registo de dados, os valores registados na base de dados corroboraram os dados medidos diretamente da unidade de aquisição de dados, e a sua consulta apresentada na Figura 5.4, através do *software Phpmyadmin*, foi realizada de forma simples, uma vez que esta ferramenta permite efetuar pesquisas, aplicar filtros e alterar os campos de uma base de dados sem que seja necessário alterar o código, o que reforça a utilidade desta ferramenta nesta fase do trabalho.



The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a database named 'energia'. The table 'energia' is displayed with the following columns: 'corrente (A)', 'tensão (V)', 'Energia aparente (kVA)', 'Energia ativa (kWh)', and 'Energia Reativa (kVAr)'. The data is organized into 13 rows, each representing a time interval from 15:10:10 to 15:10:22. Below the table, there are options to 'Check All / Uncheck All' and 'With selected:'. At the bottom, there is a section for 'Create new table on database energia' with fields for 'Name:' and 'Number of fields:'. The interface is viewed through a Windows Internet Explorer browser window.

	corrente (A)	tensão (V)	Energia aparente (kVA)	Energia ativa (kWh)	Energia Reativa (kVAr)
15:10:10	16,76	234,91	0,943	0,835	0,523
15:10:11	16,71	234,61	0,951	0,845	0,518
15:10:12	16,63	234,97	0,948	0,825	0,522
15:10:13	16,59	234,94	0,959	0,838	0,516
15:10:14	16,65	234,67	0,996	0,848	0,511
15:10:15	16,55	234,37	0,938	0,834	0,519
15:10:16	16,59	234,96	0,991	0,813	0,512
15:10:17	16,85	233,01	0,937	0,831	0,513
15:10:18	16,59	234,91	0,967	0,835	0,514
15:10:19	16,76	234,35	0,962	0,835	0,521
15:10:20	16,85	234,86	0,967	0,833	0,519
15:10:21	16,63	234,69	0,966	0,834	0,522
15:10:22	16,6	234,86	0,967	0,828	0,518

Figura 5. 4 Visualização dos dados com o programa *Phpmyadmin*.

6. **Conclusões e trabalhos futuros**

Neste capítulo são expostas as principais conclusões acerca ao trabalho efetuado, assim como são apresentadas algumas recomendações para melhorar o protótipo criado, a fim de se dar prosseguimento ao trabalho realizado.

6.1. Conclusões

O estudo dos diversos sistemas de monitorização proporcionou uma visão mais abrangente a respeito da constituição, das funcionalidades, assim como das limitações de um sistema de monitorização do consumo de energia, contribuindo para reunir os conceitos necessários para iniciar o desenvolvimento do sistema proposto nesta dissertação.

O sistema desenvolvido nesta tese de mestrado atingiu os objetivos propostos, no que concerne a monitorização ao nível do quadro elétrico, o envio dos dados para uma base de dados através de uma comunicação sem fios e a visualização dos dados em tempo real.

As opções tomadas durante o projeto acerca dos materiais utilizados permitiram o desenvolvimento de um possível produto de baixo custo com destino ao mercado residencial. Por outro lado as dimensões reduzidas da placa de circuito impresso, assim como a utilização de uma caixa com dimensões *standard*, e o uso da comunicação sem fios, conferem a este projeto um reduzido impacto visual, facilidade de instalação e mobilidade.

Refira-se que no decorrer da implementação e construção deste sistema surgiram variados problemas, nomeadamente em termos da comunicação com o medidor de energia 71M6515H, na programação da interrupção, e no estabelecimento da comunicação sem fios. Esses problemas foram solucionados, graças aos conhecimentos que foram sendo adquiridos em várias áreas, desde a eletrónica, passando pela programação, às redes informáticas.

Para finalizar, refira-se que o sistema de medição do consumo de energia elétrica desenvolvido, pode motivar a redução do consumo energético num ambiente doméstico, através da apresentação de alguns dados, tais como os valores eficazes da corrente e da tensão, as potências ativa, reativa e a energia consumida. Assim o utilizador poderá tomar decisões para alterar os seus hábitos de consumo, ou decidir efetuar a substituição de equipamentos menos eficientes do ponto de vista energético.

6.2. Trabalhos futuros

Durante o desenvolvimento deste trabalho surgiram algumas ideias para aperfeiçoar ou explorar outros aspetos do sistema, entre os quais se destacam:

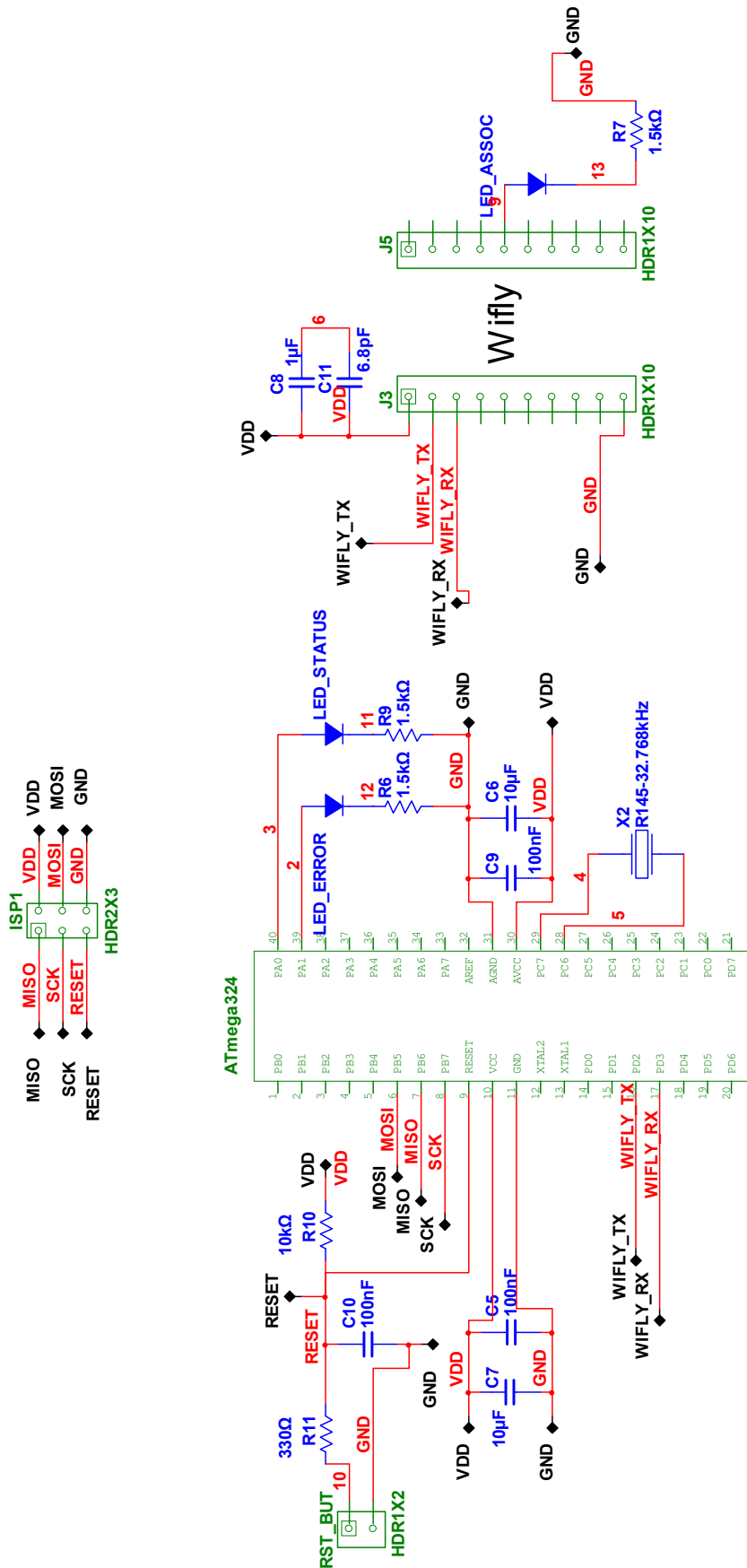
- Atuação remota sobre a carga, para permitir ligar ou desligar a alimentação, mediante um comando enviado a partir da aplicação de visualização de dados.
- Reconhecimento do padrão de consumo para sugestão de alterações na utilização de equipamentos de acordo com os tarifários, visando a redução do consumo e do valor a pagar.
- Introdução de um visor LCD.

Referências

- [1] Barroso, J.M., *Europes Climate Change Opportunity. Speech to th eEuropean Parliament*. Brussels : s.n., 2008.
- [2] Centre, Joint Research., *EU energy efficiency measures contribute to stabilise electricity consumption – drop in domestic use*. Bruxelas : s.n., 2009.
- [3] EDP., "Eficiência Energética." *EDP*. [Online] [Citação: 02 de 20 de 2012.] <http://www.eco.edp.pt/>.
- [4] Ferreira, Nuno António dias., *Sistema de medição de energia baseado em tecnologia GSM*. s.l. : FEUP, 2010.
- [5] Tulcidás, Grisha., *Contador de energia eléctrica inteligente*. s.l. : IST, 2010.
- [6] Meireles, Vitor Cancela., *Circuitos Eléctricos 5ª Edição*. s.l. : Lidel, 2009.
- [7] FALCÃO, DJALMA M., "SMART GRIDS E MICROREDES: O FUTURO JÁ É PRESENTE." Rio de Janeiro - Brasil : COPPE/UFRJ.
- [8] , "SmartGrids - Strategic Deployment Document." *Smart Grids European Technology Platform*. [Online] [Citação: 06 de 03 de 2012.] <http://www.smartgrids.eu/>.
- [9] Azuri, Calvin., "Smart Grid." [Online] [Citação: 04 de Dezembro de 2011.] <http://smart-grid.tmcnet.com/topics/smart-grid/articles/162137-plogg-future-integration-platform-the-smart-grid.htm>.
- [10] Josué, João Gil., *Projecto e Construção de um Sistema de Monitorização de Energia Eléctrica para uma Habitação*. Lisboa : s.n., 2010.
- [11] , PLOGG - Wireless energy management. [Online] [Citação: 02 de Dezembro de 2011.] <http://www.plogg.co.uk/>.
- [12] Home Automation Direct. [Online] [Citação: 04 de 12 de 2011.] http://www.homeautomation-direct.com/shop/Eco-Eye_Elite_Energy_Monitor.html.
- [13] EcoFreak. [Online] [Citação: 04 de 12 de 2011.] <http://www.ecofreak.co.uk/products/0/98/Owl-Energy-Monitor.html>.
- [14] Home Automation Direct . [Online] [Citação: 04 de Dezembro de 2011.] http://www.homeautomation-direct.com/shop/OWL_Energy_Monitor__CM119_.html.
- [15] Monitor, Datasheet - Elite Electricity., Ecofreak. [Online] [Citação: 20 de 02 de 2012.] <http://www.ecofreak.co.uk/pdf15001/Efergy%20Elite%20Datasheet.pdf>.
- [16] Cost, Datasheet Envir - Current., [Online] [Citação: 20 de 02 de 2012.] <http://www.electricity-monitor.com/datasheets/CurrentCost%20Envir%20Man-Singles-HR.pdf>.
- [17] , [Online] [Citação: 07 de 02 de 2013.] <http://lianlilai.en.alibaba.com/product/334684095-209486752/ADE7753.html>.
- [18] Logic, Cirrus., "Datasheet CS5463." [Online] [Citação: 07 de 02 de 2013.] http://www.cirrus.com/en/pubs/proDatasheet/CS5463_F3.pdf.
- [19] , "Maxim Integrated." [Online] [Citação: 10 de 01 de 2013.] <http://www.maximintegrated.com/datasheet/index.mvp/id/7793>.

- [20] STMicroelectronics., *Datasheet STPM01*. 2011.
- [21] TERIDIAN., *Datasheet 71M6515h Energy Meter IC*. 2011.
- [22] , Wikipédia. [Online] [Citação: 06 de 03 de 2013.]
http://pt.wikipedia.org/wiki/Bobina_de_Rogowski.
- [23] *Global Market*. [Online] [Citação: 15 de 11 de 2012.] <http://xhdianzi.portuguese.globalmarket.com>.
- [24] ATMEL., *Datasheet Atmega 324P*. 2007.
- [25] , Octopart. [Online] [Citação: 15 de 10 de 2012.] <http://octopart.com/atmega324p-20pu-atmel-666804>.
- [26] Networks, Roving., *Datasheet Wifly rn-171*.
- [27] , XP POWER. [Online] [Citação: 2012 de 11 de 15.] <http://www.xppower.com>.
- [28] [Online] [Citação: 20 de 11 de 2011.] <http://www.freebsd.org/doc/en/articles/serial-uart/index.html>.
- [29] [Online] 23 de 11 de 2012. <http://babbarge.cs.qc.edu/courses/cs343/UART/>.
- [30] Electronic, The Institute for Interconnecting and Packaging., *Generic Standard on Printed Board Design*. 1998.
- [31] , [Online] [Citação: 27 de 12 de 2012.] <http://www.ni.com/pdf/manuals/371585a.pdf>.
- [32] Atmel. [Online] [Citação: 10 de 01 de 2013.]
<http://www.atmel.com/tools/AVRISPMKII.aspx>.
- [33] <http://www.jroma.pt/solar.htm>., J.ROMA Lda. [Online] [Citação: 25 de 02 de 2013.]
<http://www.jroma.pt/solar.htm>.
- [34] , Chauvin Arnoux. [Online] [Citação: 10 de 01 de 2013.] <http://www.chauvin-arnoux.fr>.
- [35] Eco-Eye., Eco Eye - Electricity Montiors. [Online] [Citação: 04 de Dezembro de 2011.]
<http://www.eco-eye.com/>.
- [36] , [Online] [Citação: 07 de 02 de 2013.] <http://octopart.com/cs5463-isz-cirrus+logic-505106>.
- [37] [Online] [Citação: 10 de 02 de 2013.] <http://www.khk.be/khk04/>.

Anexo A - Esquemático do circuito



Anexo B – Características do medidor de energia 71M6515H

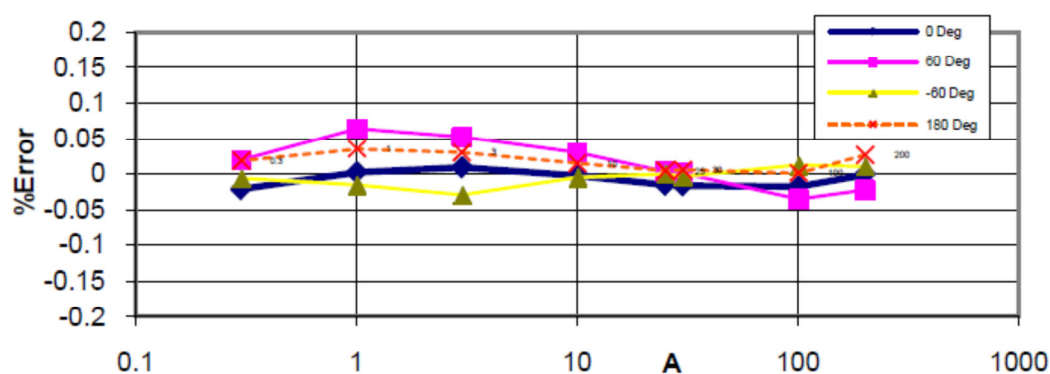


Figura B. 1 Precisão Wh para 0,3A – 200^a/240V [19].

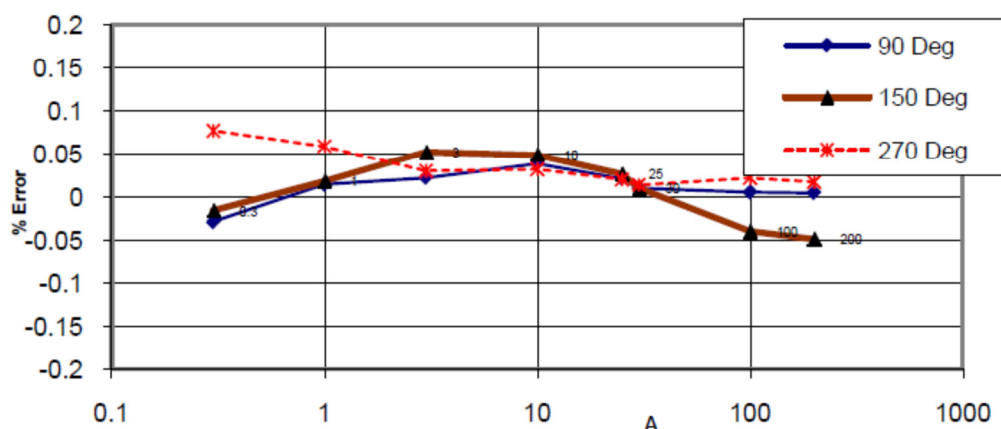


Figura B. 2 Precisão VARh para 0,3A – 200^a/240V [19].

Anexo C – Características do *Wifly RN-171*

Supply Voltage	Min	Typ.	Max.	Unit
Supply Voltage (VBATT option)	3.0	3.3	3.7	VDC
Digital Input				
Input logic HIGH VIH	2.3V			VDC
Input logic LOW VIL			1.0V	VDC
Digital Output drive				
PIO 4,5,6,7,8		24		mA
PIO 9,10,11,12,13		8		mA
Power consumption				
Sleep		4		uA
Standby (doze)	-	15	-	mA
Connected (idle, RX)		40		mA
Connected (TX)*	0dBm	120		mA
	12dBm	190		mA

Figura C. 1 – Características do *Wifly RN-171* [26].

Analog Sensor Inputs

Parameter	Value
Sense 0,1,2,3 wakeup detect threshold	500mV
AD sense 0-7 measurement range	0-400mV (Do not exceed 1.2V DC)
Resolution	14 bits = 12uV
Accuracy	5% un-calibrated, .01% calibrated
Minimum conversion time	35us (5kHz over Wi-Fi)
Sensor Power (pin 33) output resistance 3.3V	10 ohms, max current = 50mA

Figura C. 2 – Características dos ADC do *Wifly RN-171* [26].

Radio Characteristics

Parameter	Specifications
Frequency	2402 ~ 2480MHz
Modulation	802.11b compatibility : DSSS(CCK-11, CCK-5.5, DQPSK-2, DBPSK-1) 802.11g : OFDM (default)
Channel intervals	5MHz
Channels	1 - 14
Transmission rate (over the air)	1 – 11Mbps for 802.11b / 6 – 54Mbps for 802.11g
Receive sensitivity	-83dBm typ.
Output level (Class1)	-2dBm to +12dBm (configurable via software)

Figura C. 3 – Características de transmissão do *Wifly RN-171* [26].

Anexo D – Código em linguagem C do *firmware*

```

#define F_CPU 8000000UL
#include <avr/io.h>
#include <stdio.h>
#include <util/delay.h>
#include <stdint.h>
#include <string.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/sleep.h>
#include <util/delay.h>
#include <inttypes.h>
#define USART0_RX_vect _VECTOR(25)

//-----Inicializações 71M6515H-----

char config[] = {0x2c,0x04,0x06,0x00,0x7c,0x18}; // Configurações do 71M6515H
char stmask[] = {0x2a,0x04,0x00,0x00,0x08,0x00}; // Ativação da interrupção IRQZ

char dados_config[] = {0x2d,0x04}; // comando para ler a registo CONFIG
char tensao[] = {0x13,0x04}; // comando para ler a tensao
char corrente[] = {0x19,0x04}; // comando para ler a corrente
char energia_aparente[] = {0x0D,0x04}; // comando para ler a energia aparente
char energia_reactiva[] = {0x07,0x04}; // comando para ler a energia reativa
char energia[] = {0x01,0x04}; // comando para ler a energia
char deg_scale[] = {0x39,0x04}; // comando para ler a temperatura

// vetores para guardar os dados enviados pelo 71M6515H
char dados_tensao[] = {0x0,0x00,0x00,0x00};
char dados_corrente[] = {0x0,0x00,0x00,0x00};
char dados_energia_aparente[] = {0x0,0x00,0x00,0x00};
char dados_energia_reactiva[] = {0x0,0x00,0x00,0x00};
char dados_energia[] = {0x0,0x00,0x00,0x00};

//-----

uint32_t valor = 66000;
uint32_t valorVA = 66000;

```

```
uint32_t valorVAR= 66000;
uint32_t totalW = 0;
uint32_t totalVA = 0;
uint32_t totalVAR = 0;
uint32_t totaluW = 0;
uint32_t totaluVA = 0;
uint32_t totaluVAR = 0;
uint32_t aux=0;
uint32_t auxVA=0;
uint32_t auxVAR=0;
uint8_t char_atual=0;

//-----
void uart_putchar(char c, FILE *stream);
char uart_getchar(FILE *stream);

FILE uart_output = FDEV_SETUP_STREAM(uart_putchar, NULL, _FDEV_SETUP_WRITE);
FILE uart_input = FDEV_SETUP_STREAM(NULL, uart_getchar, _FDEV_SETUP_READ);

FILE uart_io = FDEV_SETUP_STREAM(uart_putchar, uart_getchar, _FDEV_SETUP_RW);
/-----Comunicação USART 0 -----/

void USART0_Init( unsigned int baud )
{
    /* definição do baud rate */
    UBRR0H = (unsigned char)(baud>>8);
    UBRR0L = (unsigned char)baud;

    /* rx habilita interrupção , ativa a transmissão e recepção */
    UCSR0B = (1<<RXCIE0)|(1<<RXEN0)|(1<<TXEN0);

    /* define o formato dos dados: 8data, 1stop bit */
    UCSR0C = (0<<USBS0)|(3<<UCSZ00);
}

void USART0_Transmit( unsigned char data )
{
    /* Aguarda até o buffer ficar vazio */
    while ( !( UCSR0A & (1<<UDRE0)) )
    ;
}
```

```
    /* Coloca os dados no buffer, envio os dados */
    UDR0 = data;
}

unsigned char USART0_Receive( void )
{
    /* Aguarda pelo recebimento dos dados */
    while ( !(UCSR0A & (1<<RXC0)) )
        ;
    /* Obtém e retorna os dados recebidos no buffer */
    return UDR0;
}

static int UART0_putChar(char c, FILE *stream)
{
    if(c == '\n') UART0_putChar('\r',stream);
    USART0_Transmit(c);
    return 0;
}

void uart_putchar(char c, FILE *stream) {
    if (c == '\n') {
        uart_putchar('\r', stream);
    }
    loop_until_bit_is_set(UCSR0A, UDRE0);
    UDR0 = c;
}

char uart_getchar(FILE *stream) {
    loop_until_bit_is_set(UCSR0A, RXC0); /* Espera até que existam dados. */
    return UDR0;
}

/***** Comunicação USART 1 *****/

void USART1_Init( unsigned int baud )
{
    /* define a taxa de transmissão */
    UBRR1H = (unsigned char)(baud>>8);
    UBRR1L = (unsigned char)baud;
}
```

```

    /* habilita interrupção rx, Ativa receptor e transmissor */
    UCSR1B = (1<<RXCIE1)|(1<<RXEN1)|(1<<TXEN1);
    /* Define formato dos dados: 8data, 1stop bit */
    UCSR1C = (0<<USBS1)|(3<<UCSZ10);
    /* Set divider */
    UCSR1A |= (1<<U2X1);
}
void USART1_Transmit( unsigned char data )
{
    /* Aguarda até o buffer ficar vazio */
    while ( !( UCSR1A & (1<<UDRE1)) )
        ;
    /* Coloca os dados no buffer, envio os dados */
    UDR1 = data;
}

unsigned char USART1_Receive( void )
{
    /* Aguarda pelo recebimento dos dados */
    while ( !(UCSR1A & (1<<RXC1)) )
        ;
    /* Obtém e retorna os dados recebidos no buffer */
    return UDR1;
}

static int UART1_putChar(char c, FILE *stream)
{
    if(c == '\n') UART1_putChar('\r',stream);

    USART1_Transmit(c);

    return 0;
}
//-----

int main(void) {
//-----INTERRUPÇÃO-----
    DDRA |= (1 << 1); //define PA1 é uma porta de saída
    PORTA |= (1 << PORTA1); // turn On the Pull-up
    // PA1 is now set to 1
    // SETUP da leitura da int

```

```
//Set PCINT0 bit in pin change mask register PCMSK0
PCMSK2 |= (1<<PCINT20);
//Enable pin change interrupt bits
PCICR |= (1<<PCIE2);
USART0_Init(51);
USART1_Init(51);
stdout = &uart_output;
stdin = &uart_input;
char input;
// Envia comando para wifly para garantir que não está no modo de comandos

printf("exit\r\n");

//-----CONFIGURAÇÃO 71M6515H-----
// rotina responsável por enviar os pedidos de escrita no registo de configuração
int i;
for (i=0;i<6;i++)
{
    USART1_Transmit(config[i]);
}

_delay_ms(1000);

// rotina responsável por enviar os pedidos de escrita no registo de stmask para ativar
interrupção IRQZ
for (i=0;i<6;i++)
{
    USART1_Transmit(stmask[i]);
}

// Ler primeira vez o registo de energia para reativar a interrupção IRQZ
int j;
for (j=0;j<2;j++)
{
    USART1_Transmit(energia[j]);
}
//uint32_t aux=0;
aux = USART1_Receive();
```

```
//valor += aux<<24;
aux = USART1_Receive();
//valor += aux<<16;
aux = USART1_Receive();
//valor += aux<<8;
aux = USART1_Receive();
//valor += aux<<0;

//Habilita as interrupções globais
sei();

//-----WI-FI-----
while(1) {

    _delay_ms(1000); //espera 1 segundo

    printf("$$$"); // envia comando para o módulo Wifly entrar em modo
de comandos
    _delay_ms(1000);
    printf("open\r\n"); // Abre uma conexão TCP/IP
    _delay_ms(1000);
    printf("GET    /energia/save.php?VA=%lu&VAR=%lu&energia=%lu\r\n",
totalVA,totalVAR,totalW; // envio dos dados para a base de dados

}

return 0;
}
//pin change interrupt ISR
ISR(PCINT2_vect)
{
    // Verifica se o pino PCINT0 foi a 0
    _delay_ms(1);
    if( !(PINC & (1<<PC4))){
        PORTA &= ~(1 << PORTA1); // desliga led
        // manda comando de leitura da energia durante um segundo
        int i;
        for (i=0;i<2;i++){
            {
                USART1_Transmit(energia[i]);
```

```
}
uint32_t aux=0;
valor = 0;
aux = USART1_Receive();
//aux = 0x10;
valor |= (aux<<24)&0xFF000000;

aux = USART1_Receive();
//aux = 0x30;

valor |= (aux<<16)&0x00FF0000;

aux = USART1_Receive();
//aux = 0xEF;
valor |= (aux<<8)&0x0000FF00;

aux = USART1_Receive();
//aux = 0xFC;
valor |= aux&0x000000FF;

// conversão energia
//total= (valor*230*127*9.4045*exp(-13))

totaluW+= valor*0.026276173; // uW

// divide por mil mantém o resto e adiciona o resultado ao totalW
aux = totaluW /1000000;
totalW+=aux;
totaluW = totaluW-(aux*1000000);

PORTA |= (1 << PORTA1); // Liga led

for (i=0;i<2;i++)
{
    USART1_Transmit(energia_aparente[i]);
}

valorVA = 0;
auxVA = USART1_Receive();
```

```
//aux = 0x10;
valorVA |= (auxVA<<24)&0xFF000000;

auxVA = USART1_Receive();
//aux = 0x30;

valorVA |= (auxVA<<16)&0x00FF0000;

auxVA = USART1_Receive();
//aux = 0xEF;
valorVA |= (auxVA<<8)&0x0000FF00;

auxVA = USART1_Receive();
//aux = 0xFC;
valorVA |= auxVA&0x000000FF;
totaluVA+= valorVA*0.026276173;
auxVA = totaluVA /1000000;
totalVA+=auxVA;
totaluVA = totaluVA-(auxVA*1000000);

for (i=0;i<2;i++)
{
    USART1_Transmit(energia_reactiva[i]);
}

valorVAR = 0;
auxVAR = USART1_Receive();
//aux = 0x10;
valorVAR |= (auxVAR<<24)&0xFF000000;

auxVAR = USART1_Receive();
//aux = 0x30;

valorVAR |= (auxVAR<<16)&0x00FF0000;

auxVAR = USART1_Receive();
//aux = 0xEF;
valorVAR |= (auxVAR<<8)&0x0000FF00;

auxVAR = USART1_Receive();
```

```
//aux = 0xFC;
valorVAR |= auxVAR&0x000000FF;

totaluVAR+= valorVAR*0.026276173;
auxVAR = totaluVAR /1000000;
totalVAR+=auxVAR;
totaluVAR = totaluVAR-(auxVAR*1000000);

}
}

ISR(USART1_RX_vect)
{
    return 0;
}
ISR(USART0_RX_vect)
{
    return 0;
}
```


Anexo E – Código em linguagem *php* da base de dados

```

<?php
/*
 *   Receives GET data from the Remote Meter system and save it to database
 *   @autor Priscilla Moraes
 *   @date 13/04/2012
 *   @version 0.2
 *
 */
//var_dump($_GET);
$serverIP = "localhost";
$dataBaseName = "bd1_energia";
$dbUser = 'root';
$dbPassword = "";

require('mysql4.php');
$dbObject = new sql_db($serverIP, $dbUser, $dbPassword, $dataBaseName, false);

$corrente = 0;
$tensao = 0;
$energia = 0;
$factor_potencia = 0;
if(isset($_GET['corrente'])){
    // agarrar valores
    $corrente = $_GET['corrente'];
    if(isset($_GET['tensao'])){
        $tensao = $_GET['tensao'];
    }
    if(isset($_GET['energia'])){
        $energia = $_GET['energia'];
    }
    if(isset($_GET['factor_potencia'])){
        $factor_potencia = $_GET['factor_potencia'];
    }
}

// aplicar conversao
// $corrente = $corrente * (2 ^ 16);

// $corrente = ($corrente <<16);
// $temp_int = (int) (0x7fffffff & $corrente);
// $temp_int |= (int) (0x80000000 & ($corrente >>16))

// $corrente = ($corrente <<16);
// $corrente = (($corrente*0.0000000068781*3.1)/sqrt(60));
// $tensao = ($tensao <<16);
// $tensao = ($tensao*0.0000000068781*110)/sqrt(60);

// gravar na bd
$sql="INSERT INTO `bd1_energia`.`sensor1` (`id`, `corrente`, `tensao`, `energia`,
`factor_potencia`, `time`) VALUES (NULL, ''.$corrente.'', ''.$tensao.'', ''.$energia.'',
''.$factor_potencia.'', ''.$date('Y-m-d H:i:s').'');";

//echo $sql;
$queryResult = $dbObject->sql_query($sql);
if($dbObject->query_result == false){

```

```

        //echo "ERR: SAVE MEASURE\r\n";
        exit;
    }
    //echo "OK: STORED\r\n";
    exit;
}
//echo "ERR: NO DATA\r\n";
exit;

?>

<?php
/*****
*
*          mysql4.php
*          -----
* begin      : Saturday, Feb 13, 2001
* copyright   : (C) 2001 The phpBB Group
* email       : supportphpbb.com
*
* $Id: mysql4.php,v 1.5 2002/04/02 21:13:47 the_systech Exp $
*
*****/

/*****
*
* This program is free software; you can redistribute it and/or modify
* it under the terms of the GNU General Public License as published by
* the Free Software Foundation; either version 2 of the License, or
* (at your option) any later version.
*
*****/

if(!defined("SQL_LAYER"))
{
define("SQL_LAYER","mysql4");

class sql_db
{
    var $db_connect_id;
    var $query_result;
    var $row = array();
    var $rowset = array();
    var $num_queries = 0;
    var $in_transaction = 0;

    //
    // Constructor
    //
    function sql_db($sqlserver, $sqluser, $sqlpassword, $database, $persistence = true)
    {
        $this->persistence = $persistence;
        $this->user = $sqluser;
        $this->password = $sqlpassword;
        $this->server = $sqlserver;
        $this->dbname = $database;

        $this->db_connect_id = ($this->persistence) ? mysql_pconnect($this->server, $this->user,
        $this->password) : mysql_connect($this->server, $this->user, $this->password);
    }
}

```

```

    if( $this->db_connect_id )
    {
        if( $database != "" )
        {
            $this->dbname = $database;
            $dbselect = mysql_select_db($this->dbname);

            if( !$dbselect )
            {
                mysql_close($this->db_connect_id);
                $this->db_connect_id = $dbselect;
            }
        }

        return $this->db_connect_id;
    }
    else
    {
        return false;
    }
}

//
// Other base methods
//
function sql_close()
{
    if( $this->db_connect_id )
    {
        //
        // Commit any remaining transactions
        //
        if( $this->in_transaction )
        {
            mysql_query("COMMIT", $this->db_connect_id);
        }

        return mysql_close($this->db_connect_id);
    }
    else
    {
        return false;
    }
}

//
// Base query method
//
function sql_query($query = "", $transaction = FALSE)
{
    //
    // Remove any pre-existing queries
    //
    unset($this->query_result);

    if( $query != "" )
    {
        $this->num_queries++;
        if( $transaction == 'BEGIN_TRANSACTION' && !$this->in_transaction )
    
```

```

        {
            $result = mysql_query("BEGIN", $this->db_connect_id);
            if(!$result)
            {
                return false;
            }
            $this->in_transaction = TRUE;
        }

        $this->query_result = @mysql_query($query, $this->db_connect_id);
    }
    else
    {
        if( $transaction == 'END_TRANSACTION' && $this->in_transaction )
        {
            $result = mysql_query("COMMIT", $this->db_connect_id);
        }
    }

    if( $this->query_result )
    {
        unset($this->row[$this->query_result]);
        unset($this->rowset[$this->query_result]);

        if( $transaction == 'END_TRANSACTION' && $this->in_transaction )
        {
            $this->in_transaction = FALSE;

            if ( !mysql_query("COMMIT", $this->db_connect_id) )
            {
                mysql_query("ROLLBACK", $this->db_connect_id);
                return false;
            }
        }

        return $this->query_result;
    }
    else
    {
        if( $this->in_transaction )
        {
            mysql_query("ROLLBACK", $this->db_connect_id);
            $this->in_transaction = FALSE;
        }
        return false;
    }
}

//
// Other query methods
//
function sql_numrows($query_id = 0)
{
    if( !$query_id )
    {
        $query_id = $this->query_result;
    }

    return ( $query_id ) ? mysql_num_rows($query_id) : false;
}

```

```
function sql_affectedrows()
{
    return ( $this->db_connect_id ) ? mysql_affected_rows($this->db_connect_id) : false;
}

function sql_numfields($query_id = 0)
{
    if( !$query_id )
    {
        $query_id = $this->query_result;
    }

    return ( $query_id ) ? mysql_num_fields($query_id) : false;
}

function sql_fieldname($offset, $query_id = 0)
{
    if( !$query_id )
    {
        $query_id = $this->query_result;
    }

    return ( $query_id ) ? mysql_field_name($query_id, $offset) : false;
}

function sql_fieldtype($offset, $query_id = 0)
{
    if( !$query_id )
    {
        $query_id = $this->query_result;
    }

    return ( $query_id ) ? mysql_field_type($query_id, $offset) : false;
}

function sql_fetchrow($query_id = 0)
{
    if( !$query_id )
    {
        $query_id = $this->query_result;
    }

    if( $query_id )
    {
        $this->row[$query_id] = mysql_fetch_array($query_id, MYSQL_ASSOC);
        return $this->row[$query_id];
    }
    else
    {
        return false;
    }
}

function sql_fetchrowset($query_id = 0)
{
    if( !$query_id )
    {
        $query_id = $this->query_result;
    }
}
```

```

if( $query_id )
{
    unset($this->rowset[$query_id]);
    unset($this->row[$query_id]);

    while($this->rowset[$query_id] = mysql_fetch_array($query_id, MYSQL_ASSOC))
    {
        $result[] = $this->rowset[$query_id];
    }

    return $result;
}
else
{
    return false;
}
}

function sql_fetchfield($field, $rownum = -1, $query_id = 0)
{
    if( !$query_id )
    {
        $query_id = $this->query_result;
    }

    if( $query_id )
    {
        if( $rownum > -1 )
        {
            $result = mysql_result($query_id, $rownum, $field);
        }
        else
        {
            if( empty($this->row[$query_id]) && empty($this->rowset[$query_id]) )
            {
                if( $this->sql_fetchrow() )
                {
                    $result = $this->row[$query_id][$field];
                }
            }
            else
            {
                if( $this->rowset[$query_id] )
                {
                    $result = $this->rowset[$query_id][$field];
                }
                else if( $this->row[$query_id] )
                {
                    $result = $this->row[$query_id][$field];
                }
            }
        }

        return $result;
    }
    else
    {
        return false;
    }
}

```

```

    }

    function sql_rowseek($rownum, $query_id = 0)
    {
        if( !$query_id )
        {
            $query_id = $this->query_result;
        }

        return ( $query_id ) ? mysql_data_seek($query_id, $rownum) : false;
    }

    function sql_nextid()
    {
        return ( $this->db_connect_id ) ? mysql_insert_id($this->db_connect_id) : false;
    }

    function sql_freeresult($query_id = 0)
    {
        if( !$query_id )
        {
            $query_id = $this->query_result;
        }

        if ( $query_id )
        {
            unset($this->row[$query_id]);
            unset($this->rowset[$query_id]);

            mysql_free_result($query_id);

            return true;
        }
        else
        {
            return false;
        }
    }

    function sql_error()
    {
        $result['message'] = @mysql_error($this->db_connect_id);
        $result['code'] = @mysql_errno($this->db_connect_id);

        return $result;
    }
} // class sql_db

} // if ... define

?>

```