

Medidor de Energia Elétrica Residencial para Consumo Sustentável

Jonathas de A. Rodrigues¹, Paula P. Lemes¹, Jeveson C. da Silva², Cláudio A. Fleury³

¹ Orientados em Trab. de Conclusão de Curso – IFG. e-mails: jonathasandrade@hotmail.com, paulla_lemes@hotmail.com

² Aluno em Disciplina - IFG. e-mail: jeveson.eng@gmail.com

³ Orientador - IFG. e-mail: kaw@ifgoias.edu.br

Resumo: O artigo aborda o desenvolvimento de um dispositivo digital destinado à medição de energia elétrica. O dispositivo é capaz de fornecer os dados relativos ao consumo de energia de uma carga ou de uma instalação residencial de baixa tensão monofásica, através da medição de amostras instantâneas de tensão e de corrente elétrica na mesma. O uso do dispositivo proporciona, em tempo real, um maior conhecimento da curva de carga da residência, permitindo aos usuários a identificação dos equipamentos da unidade residencial com respectivos quantitativos de energia consumida. Esse conhecimento propicia aos usuários um uso consciente da energia elétrica, podendo otimizar a utilização dos equipamentos instalados na unidade residencial, avaliando o custo benefício de cada um deles, um caso particular de controle de demanda pelo lado do usuário. São apresentados ainda os detalhes técnicos construtivos de um medidor digital de baixo custo, com plataforma Arduino, além de dados oriundos de medições realizados em bancada pelo protótipo construído.

Palavras-chave: Arduino, consumo sustentável, controle de demanda, energia elétrica, medidor digital

1. INTRODUÇÃO

O desperdício de qualquer que seja o recurso, ou insumo, já não é mais admissível às nações que entenderam os alertas propalados pelos cientistas reunidos em diversas conferências mundiais, como a Rio+20.

O mundo contemporâneo já dá mostras da escassez de recursos para geração de energia, o que resulta na necessidade de aproveitamento eficaz de tais recursos. Aliado a isso, se faz necessário também encontrar novas fontes de geração de energia limpa e gerenciamento do uso sustentável dessas fontes para que possam atender satisfatoriamente a crescente demanda contemporânea de energia. Estudos demonstram a voracidade no aumento do consumo de energia com a evolução da humanidade, e principalmente com o aumento do conforto atrelado aos índices de qualidade de vida.

Racionalidade no uso da energia elétrica fica premente a cada dia, também no Brasil, pois com a estabilização econômica e a melhoria das condições sociais de sua população (aumento considerável do PIB na última década), tem-se a necessidade no aumento do quantitativo energético geral, mas o descompasso entre as taxas de crescimento dessas variáveis demonstra que além dos investimentos em novas hidrelétricas também a otimização do uso dos recursos disponíveis propiciará o equilíbrio da relação entre a oferta e a demanda de energia [ONS-EPE].

Assim, esse trabalho buscou contribuir com a otimização do consumo de energia elétrica residencial monofásica, ainda que isso represente um pequeno percentual no consumo geral de energia elétrica do Brasil, mas se trata de diminuir o desperdício onde for possível.

Os moradores de uma unidade residencial monofásica possuem pouco, ou nenhum, entendimento da curva de carga de sua moradia. De modo geral o leigo sabe que o chuveiro elétrico e o ferro de passar roupas são os maiores consumidores de energia elétrica na residência, mas poucos sabem que outros equipamentos, como ar condicionado, freezers, fornos e geladeiras também possuem consumos consideráveis, seja por funcionarem continuamente ou por uso inadequado. É preciso mostrar o consumo em tempo real da unidade residencial para que os usuários consigam avaliar o custo de cada operação, tendo assim um sentimento mais real do consumo de energia por cada tipo de equipamento usado, percebendo que além da potência do equipamento, o tempo de uso do equipamento também é importante na quantificação do consumo da energia elétrica.

Para tanto, propõe-se informar os dados relativos ao consumo em tempo real ao consumidor, com o medidor digital ligado às cargas que se queira medir, favorecendo o controle desse consumo pelo lado usuário, otimizando assim o uso dos recursos energéticos disponíveis.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O protótipo foi desenvolvido a partir da plataforma Arduino, muito utilizada em computação física e de baixo custo. Ele opera em dois estágios de funcionamento: monitorando e condicionando os sinais de corrente e de tensão. Estes sinais, ao serem monitorados pelo protótipo, precisam ser adequados para trabalharem dentro das especificações da plataforma aonde ele foi implementado, neste caso, o Arduino.

A parte do protótipo referente ao monitoramento e condicionamento dos sinais de corrente pode ser observada na figura 1. Esse circuito conta como principal componente um sensor de efeito Hall, com comportamento de transdução eletromagnética passiva capaz de transformar uma amplitude de corrente em uma amplitude de tensão que, por sua vez, será aplicado à entrada analógica do microcontrolador. Isto é necessário, pois o protótipo opera com tensões de entrada de até 5 volts. Assim, a tensão de saída estará em uma escala de -2,5 V a 2,5 V, de modo que se tenha uma amostragem real do sinal elétrico em uma escala menor [6].

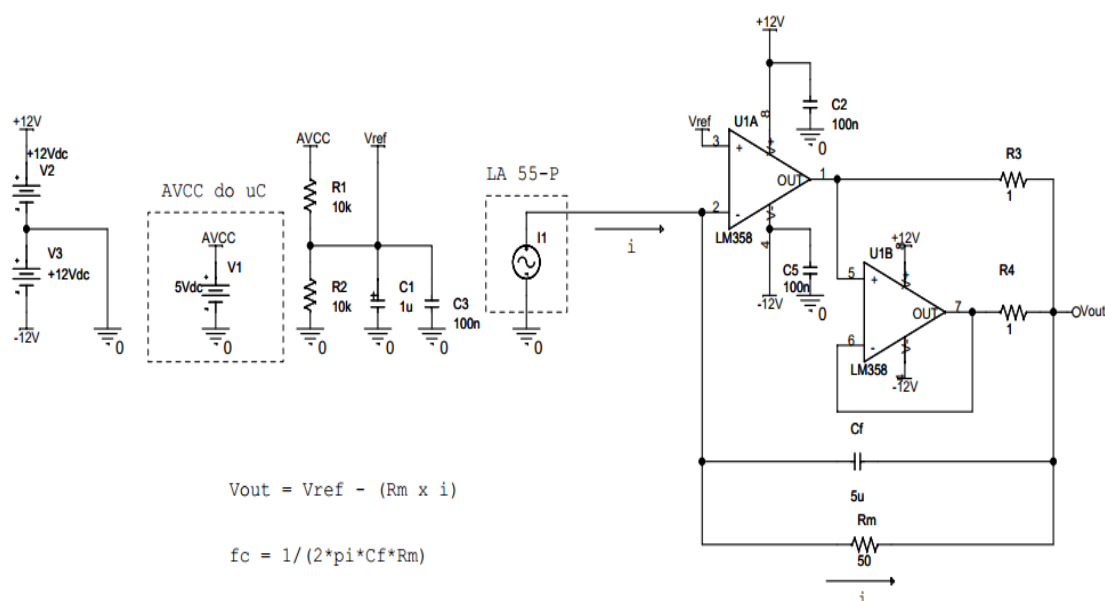


Figura 1 – Diagrama esquemático do circuito referente ao processamento e condicionamento dos sinais de corrente.

O sensor utilizado (marca LEM e modelo LA 55-P) possibilita uma circulação de corrente primária de até 50A. Ele recebe alimentação externa simétrica de 12V. Uma tensão V_H surge perpendicularmente à direção da corrente i que cruza o semicondutor quando colocado na presença de um campo magnético B . A Figura 2 ilustra o sensor usado no protótipo e o Efeito Hall.

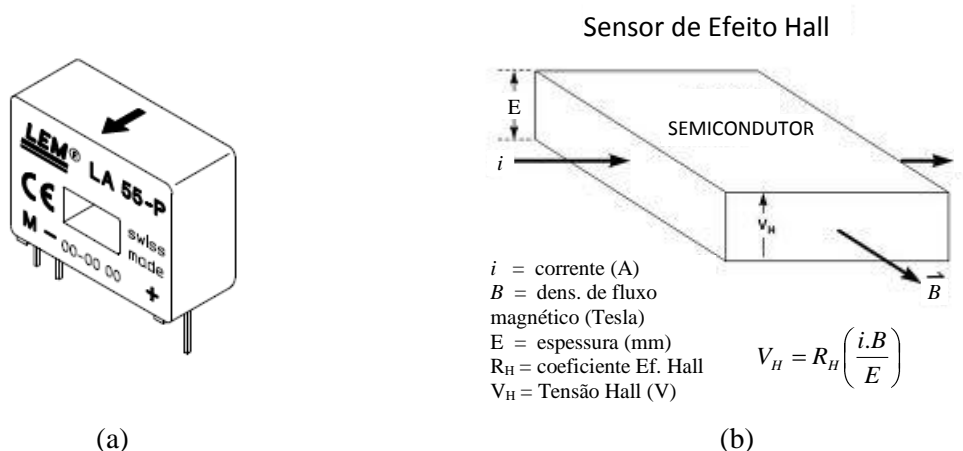


Figura 2 – Sensor de Efeito Hall: a) Dispositivo usado. b) V_H surge quando o semiconductor atravessado pela corrente i é posto na presença de um campo magnético B .

O sinal de corrente, entregue pelo sensor de efeito Hall, é proporcional à corrente primária, ou seja, também será alternada. O conversor A/D do Arduino trabalha com uma faixa dinâmica de tensões de entrada de 0 a 5V. Portanto foi necessário o condicionamento do sinal de corrente, convertido em tensão, se tomado nos terminais do resistor de carga, colocado em paralelo com a entrada do conversor A/D. O circuito do sensor de tensão utiliza um transformador 220V_{AC} : 12V_{AC}, o qual faz o isolamento galvânico dos circuitos de alta e baixa tensões, gerando um sinal de saída proporcional à tensão de entrada. Do mesmo modo do sinal de corrente, o sinal de tensão na saída estará na faixa de -2,5V a 2,5V, necessitando também de condicionamento (polarização). A Figura 3 ilustra o circuito de condicionamento do sinal de tensão.

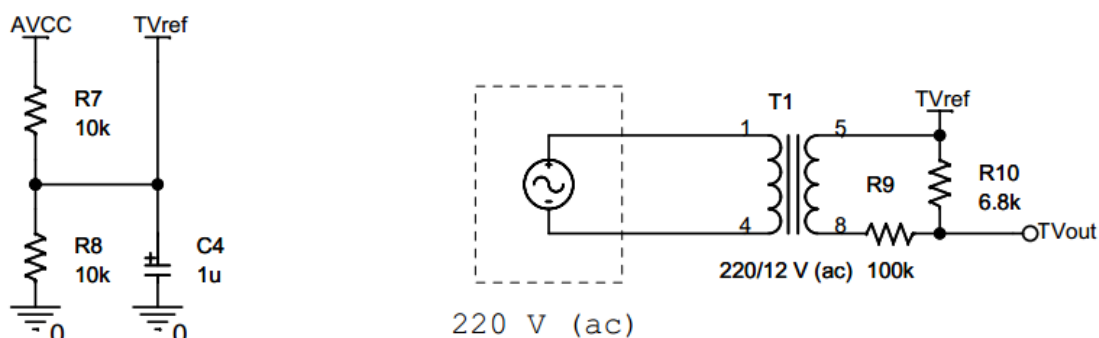


Figura 3 – Diagrama esquemático do circuito referente ao condicionamento dos sinais de tensão.

A Figura 4-a ilustra as formas de onda dos sinais que são obtidos na saída dos respectivos terminais de tensão e corrente.

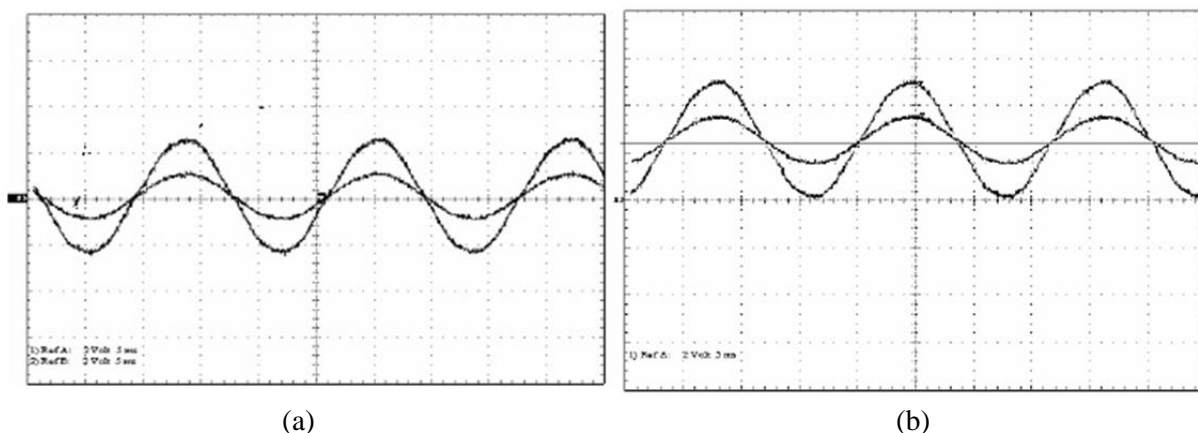


Figura 4 – a) Representação das formas de onda dos sinais de tensão e corrente provenientes dos terminais de saída dos circuitos desenvolvidos. b) Representação das formas de onda dos sinais de tensão e corrente polarizados, a serem conectados às entradas analógicas do Arduino. [6]

Ao escolher um determinado dispositivo digital para implementar esse circuito, deve-se analisar algumas características de operação próprias desse dispositivo. Para este experimento foi utilizada a plataforma de desenvolvimento e prototipagem Arduino e uma de suas características é o fato de em suas entradas analógicas só poderem ser aplicados sinais contínuos com amplitude máxima de 5V. Ou seja, valores negativos serão descartados pelo microcontrolador o que vai eliminar praticamente 50% dos dados de medição, levando-se em conta que os sinais monitorados estão numa faixa de -2,5V a 2,5V. Para evitar isso é necessário que haja um condicionamento dos sinais de saídas de tensão e corrente para as entradas analógicas do Arduino, ou seja, é necessário deslocar o sinal para que não haja mais componente negativa.

Para condicionar os sinais monitorados, o circuito desenvolvido conta com a função de somar um sinal contínuo aos sinais monitorados com o intuito de deslocar o sinal alternado de modo que possibilite a aplicação do sinal resultante na entrada do conversor A/D do microcontrolador. Uma vez realizada a conversão A/D, via software, pode ser subtraído o valor de tensão adicionada externamente, resultando numa amostra correspondente ao sinal medido. [6] A característica do sinal deslocado pode ser visto na Figura 4.b.

O programa de medição foi desenvolvido em linguagem C e compilado pelo ambiente de desenvolvimento próprio do Arduino. O programa foi criado para adquirir amostras dos sinais provindos dos sensores, para calcular o consumo, a potência ativa, a potência aparente, o fator de potência e apresentar os resultados desses cálculos na saída serial da própria IDE do Arduino.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes realizados para a avaliação do comportamento do protótipo tiveram como base apenas cargas resistivas, de modo que fosse possível simplificar a análise de funcionamento de seus resultados, permitindo facilmente a realização de ajustes e modificações sem que fosse comprometida a interpretação dos valores obtidos para este experimento. As cargas utilizadas foram as seguintes:

- Lâmpada 100W/220V Phillips.
- Secador de cabelo 1000W/220V marca Tany, modelo Pro 3000, multivelocidades.

Para validar a eficácia do medidor, foram utilizados equipamentos como voltímetros e amperímetros a fim de realizar as mesmas medições e comparar os valores obtidos com os valores entregues pelo medidor. Isso permitiu verificar a capacidade do protótipo em entregar dados precisos em tempo real ante as variações dos valores de tensão e corrente.

As amostras obtidas pelo protótipo foram processadas pelo software desenvolvido e instalado no Arduino e entregues via comunicação serial pela saída USB do microcontrolador. Os dados de



medição coletados foram registrados em planilhas do software Microsoft Excel e importadas no software Microsoft Word.

O objetivo desses testes foi monitorar as cargas durante um determinado intervalo de tempo e assim poder observar as características de funcionamento do protótipo e da própria carga que foi monitorada. Os resultados provenientes deste experimento podem ser vistos nas Tabelas 1 e 2.

Cabe mencionar que potência ativa é a potência usada por um dispositivo para produzir o trabalho útil, potência aparente se caracteriza pelo produto da tensão RMS e da corrente RMS e fator de potência, em termos simples, indica o quão eficiente é um dispositivo elétrico.

Tabela 1 – Dados de potência ativa, potência aparente, fator de potência, tensão, corrente e consumo dado em W.h relativos à carga **Secador de Cabelos**.

Potência ativa (W)	Potência aparente (VA)	Fator de potência (%)	Tensão RMS (V)	Corrente RMS (A)	Consumo (watts/hora)
981,03	1245,42	78,77	214,76	5,8	18
976,02	1198,13	81,46	214,66	5,58	18,31
975,96	1216,49	80,23	214,84	5,66	18,62
971,29	1205,75	80,55	214,67	5,62	18,92
969,79	1212,47	79,98	215,08	5,64	19,23
966,94	1157,09	83,57	214,88	5,38	19,53
996,3	1255,34	79,37	215,11	5,84	19,84
979,09	1232,63	79,43	214,91	5,74	20,15
985,13	1275,79	77,22	215,26	5,93	22,92
959,77	1115,99	86	215,06	5,19	23,22
976,74	1253,91	77,9	215,25	5,83	23,53
971,54	1247,99	77,85	215	5,8	23,83
964,85	1186,7	81,31	215,16	5,52	24,14
977,31	1220,32	80,09	214,93	5,68	24,44
986,2	1268,57	77,74	215,11	5,9	24,75
974,13	1212,43	80,35	214,83	5,64	25,06
972,99	1201,05	81,01	214,87	5,59	25,37
989,44	1327,46	74,54	214,63	6,18	25,68

Tabela 2 – Dados relativos à medição com carga **Lâmpada Incandescente**.

Potência ativa (W)	Potência aparente (VA)	Fator de potência (%)	Tensão RMS (V)	Corrente RMS (A)	Consumo (W.h)
83,21	83,98	99,08	218,74	0,38	0,53
84,1	85,01	98,93	218,2	0,39	0,54
82,7	83,56	98,97	217,75	0,38	0,69
82,31	83,21	98,92	217,16	0,38	0,7
82,57	83,43	98,97	217,52	0,38	0,71
82,84	83,62	99,07	217,49	0,38	0,72
82,59	83,54	98,87	218,01	0,38	0,72
84,03	84,83	99,06	218,33	0,39	0,73
83,57	84,41	99,01	218,79	0,39	0,74
84,12	84,97	99	218,54	0,39	0,75
83,2	84,13	98,89	218,46	0,39	0,76

Após observar as características apresentadas pelo medidor e os dados obtidos pela medição e visando explorar e expandir a capacidade do equipamento, foi possível observar a possibilidade de implementações e melhorias do mesmo como:



- Implantar microprocessadores específicos para realizar medições de energia, memórias EEPROM para armazenagem dos dados e posterior descarga em outros sistemas, relógio de tempo real para indicar o momento em que se faz a medição e por quanto tempo o dispositivo está monitorando uma carga;
- Utilizar outros tipos de sensores de medição de corrente e tensão;
- Utilizar protocolos de comunicação para permitir a comunicação do protótipo com outros dispositivos variados.

6. CONCLUSÕES

O uso de medidores eletrônicos tem se difundido cada vez mais, ganhando mercado e conquistando os consumidores, levando-os a substituir os convencionais medidores eletromecânicos por soluções mais baratas e eficientes. Isso é resultado de vários fatores positivos que contam favoravelmente, como:

- A possibilidade de se medir vários parâmetros de energia utilizando apenas as informações de tensão e corrente presentes numa determinada carga;
- A facilidade em poder exportar os dados de medição para diversas outras aplicações e assim possibilitar o gerenciamento do consumo da energia pelo lado do usuário, sem que seja necessária uma comunicação intermediária entre a fornecedora de energia e o consumidor;

O estudo sobre circuitos eletrônicos, sensores de medição e dispositivos microcontroladores possibilitou a realização de um protótipo capaz de efetuar medições de energia e se comunicar a uma unidade computacional a fim de enviar os dados de medição e disponibilizá-los numa saída serial de dados. Para validação dos experimentos foram realizados testes com cargas resistivas durante um período de tempo aonde se pode observar as características do protótipo em funcionamento.

Tomando por base os resultados obtidos pelas medições, foi possível constatar que o dispositivo apresentou acuidade de resultados dentro das expectativas, mostrando que sua resposta ante as variações dos níveis de tensão e corrente foi satisfatória, entregando valores precisos quando comparados aos valores monitorados pelos voltímetros e amperímetros de bancada.

Após a análise de operação do dispositivo, observou-se a possibilidade de implementações que visem melhorias no equipamento desenvolvido e no método de funcionamento do mesmo. Eis algumas sugestões de trabalhos futuros:

- Realizar uma bateria de testes com cargas diversas, que possuam características capacitivas, indutivas e comportamentos não lineares;
- Implementar a utilização de microprocessadores próprios para medição de energia em sistemas monofásicos e trifásicos;
- Estudar a possibilidade de se trabalhar com outros sensores de medição como, por exemplo, a bobina de Rogowski, transdutores de tensão, transformadores de tensão e corrente;
- Realizar testes com medidores eletromecânicos e comerciais a fim de comparar os resultados obtidos, traçar um quadro com as características apresentadas por cada equipamento e a partir daí, verificar o quão eficiente o medidor proposto é em vista destes outros equipamentos;

O fato do protótipo ser um circuito relativamente simples e de baixo custo, mas tão eficiente quanto os medidores convencionais utilizados serve de motivação para difundir o seu uso ao maior número possível de unidades consumidoras, a fim de que os efeitos de seu emprego possam se fazer sentir tanto pelo lado do consumidor quanto no sistema de distribuição, possibilitando a redução de perdas e melhor aproveitamento do sistema como um todo.

É importante frisar que o monitoramento realizado aqui não tem o objetivo de informar o valor tarifário do consumo de uma determinada carga, mas apenas informar a potência consumida e as informações em W.h de modo que o cliente, sabendo o quando de energia certo produto consome, possa reeducar a sua forma quanto à utilização do mesmo.



REFERÊNCIAS

ANDREOLI, A. L. **Controlador de demanda e fator de potência de baixo custo para unidades consumidoras de energia elétrica**. 2005. 217 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2005.

BRASIL, MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Balanco energético nacional 1999**, Brasília, 1999, 153p. ilustradas. p.43. ISSN0101-6636.

BRASIL, MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Programa de educação ambiental: energia recurso de vida**: Livro Zero. Rio de Janeiro, CIMA, 1996. p. 5 – 29.

FURLANETTO, C.; POSSAMAI, O. **Uso da Energia Elétrica no Ambiente Residencial**; *In*: Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP. 2001. Salvador. Anais.

KOON, W. **Current sensing for energy metering**. Disponível em: <http://www.analog.com/static/imported-files/tech_articles/16174506155607IIC_Paper.pdf>. Acesso em: 29 de julho de 2012.

LIMA, E. S. **Protótipo de tarifador digital de energia elétrica**. 2007. 78 p. Monografia (Graduação em Engenharia) – Faculdade de Engenharia – Pontífice Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2007.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS) e EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE); **Segunda Revisão Quadrimestral das Previsões de Carga para o Planejamento Anual da Operação Energética 2012-2016**. Disponível em: <www.ons.org.br/analise_carga_demanda/carga_pen.aspx>. Acesso em: 9 de agosto de 2012.