

Protótipo de um medidor de energia elétrica monofásico para monitoramento de consumo residencial, baseado em microcontrolador de baixo custo

Rachel B. de Lima¹, Edgard Luciano O. da Silva¹

¹Núcleo de Computação – Universidade do Estado do Amazonas (UEA)
CEP 69.050-020 – Manaus – AM – Brasil

{rbd1.eng, elsilva}@uea.edu.br

Abstract. *This article describes the prototype of a single-phase electric energy meter in order to monitor the residential consumption in a microcontroller of low cost, which through sensors found in the values referring to the current after that, will send the data to a server and consumer accesses through a web application to achieve real control of the electrical energy consumption of your electrical appliances.*

Resumo. *Este artigo descreve o protótipo de um medidor de energia elétrica monofásico com o intuito de monitorar o consumo residencial baseado em um microcontrolador de baixo custo, o qual através de sensores obterá os valores referentes a corrente após isso, enviará os dados para um servidor e o consumidor obterá acesso por meio de uma aplicação web para assim conseguir um controle real do consumo de energia elétrica dos seus aparelhos elétricos.*

1. Introdução

O consumo de energia elétrica no Brasil vem crescendo substancialmente ao longo dos anos. Embora possa refletir o aquecimento econômico e a melhoria da qualidade de vida, a intensa expansão do consumo de energia tem aspectos negativos. O impacto ambiental produzido por essa atividade e a possibilidade do esgotamento dos recursos utilizados para a produção de energia são dois desses aspectos. Finalmente, um terceiro são os elevados investimentos exigidos na pesquisa de novas fontes e construção de novas usinas. Uma das maneiras mais modernas e utilizadas no mundo para conter a expansão do consumo sem comprometer qualidade de vida e desenvolvimento econômico tem sido o estímulo ao uso eficiente da energia elétrica.

No setor residencial esse crescimento é justificado por fatores como o aumento no número de domicílios, cuja previsão é de que passará de 58 milhões em 2009 para cerca de 75 milhões de unidades em 2020, e a posse de equipamentos também cresce de forma perceptível [MME/EPE 2011]. O setor residencial (Consumidores do grupo B (Baixa Tensão) que consiste dos consumidores ligados em tensão inferior a 2,3kV (110V, 220V e 440V), do subgrupo B1 (Residencial e Residencial de Baixa Renda) corresponde a cerca de 24,9% do consumo total de energia elétrica no Brasil [ANEEL 2010].

Entretanto, mesmo sendo responsável, o consumidor residencial não tem a noção do seu consumo de energia em uma hora deixando uma luz acesa, assistindo televisão, deixando equipamentos no modo “stand by”, utilizando o chuveiro elétrico, forno de

microondas entre outras atividades dependentes da energia elétrica. Sem esta noção, consumo de forma eficiente parece ser um objetivo difícil de se alcançar. O preço pago pelo consumidor final, para o recebimento da energia elétrica, é estabelecido individualmente e varia, em cada concessionária, conforme a classe de consumo em que se enquadra, bem como em função dos montantes e características requeridas. Para quantificar toda essa energia, em seus diferentes percursos até o consumidor final, utiliza-se um equipamento denominado “Medidor”. A energia elétrica, na grande maioria dos consumidores residenciais, é medida de forma direta, onde o fornecimento é feito na baixa tensão (127V / 220V).

Na distribuição de energia ocorrem perdas técnicas e comerciais influenciam na qualidade da energia entregue ao consumidor. Soma-se a isto, o fato de que os medidores de energia utilizados hoje, não retornam nenhuma informação sobre nível de tensão e corrente das unidades consumidoras residenciais. Essa falta de monitoramento dificulta a identificação de possíveis pontos de falha pela concessionária, impede uma melhor análise do consumo e não permite o conhecimento em relação a qualidade do produto que está sendo entregue. A concessionária só obtém a medida de consumo da unidade ao final de cada mês o que dificulta o fato de ter o controle das perdas do sistema, furtos de energia e alterações na rede elétrica.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Eficiência Energética

A utilização racional de energia chamada também de eficiência energética consiste em obter o melhor desempenho na produção de um serviço com o menor gasto de energia [CELPE 2017]. O fato é que as principais atividades na sociedade moderna necessitam do uso intensivo de alguma forma de energia, seja por meio de usinas hidrelétricas, solares, eólicas, entre outras. Consequentemente, se faz necessário o estudo de sistemas, metodologias, tecnologias, materiais e equipamentos com o intuito de evitar perdas e desperdício na produção e no uso da energia.

Devido a preocupação com o uso de energia no Brasil, políticas públicas foram traçadas como a Lei Nacional de Eficiência Energética [UNIFEI and FUPAI 2012] que busca atingir os seguintes objetivos:

- Retirar do mercado, no médio e longo prazo, os equipamentos menos eficientes energeticamente;
- Obter economia de energia ao longo do tempo;
- Promover o desenvolvimento tecnológico, através da fabricação de equipamentos energeticamente mais eficientes;
- Promover o aumento da competitividade industrial do país;
- Reduzir os gastos dos consumidores; e
- Contribuir para a redução dos impactos sócio-ambientais através do uso de equipamentos que consomem menos energia.

Com a utilização do uso eficiente de energia espera-se postergar a necessidade de construir novas usinas geradoras e sistemas elétricos relacionados, viabilizando recursos para outras áreas, assim como colaborando para a preservação do meio ambiente.

2.2. Medidas Elétricas

A energia está associada à capacidade de produção de ação e/ou movimento. Para se obter um melhor entendimento sobre o assunto é necessário conhecer alguns conceitos técnicos que envolvem essa temática. São estes: Corrente(A), Tensão(V) e Potência(W).

A tensão é a energia por unidade de carga criada pela separação entre cargas, a qual tem sua unidade de medida em volt(V). A variação dos efeitos elétricos em relação ao tempo causadas por cargas em movimento é denominada corrente a qual tem sua unidade de medida em ampères(A). A potência é a energia por unidade de tempo e é igual ao produto da corrente no elemento pela tensão em seus terminais, a qual é expressa em watt(W) [Nilsson et al. 2009].

2.3. Sistemas Microprocessados

Um sistema embarcado é um sistema microprocessado completamente encapsulado, onde sua arquitetura pode ser vista na Figura 1, é dedicado ao dispositivo ou sistema que ele controla [Architects 2017]. Diferente de computadores de propósito geral, como o computador pessoal, um sistema embarcado realiza um conjunto de tarefas predefinidas, geralmente com requisitos específicos. O microcontrolador, presente neste sistema, é um dispositivo semicondutor em forma de um circuito integrado em um único chip que integra todas as unidades básicas de um microcomputador [Gimenez 2002].

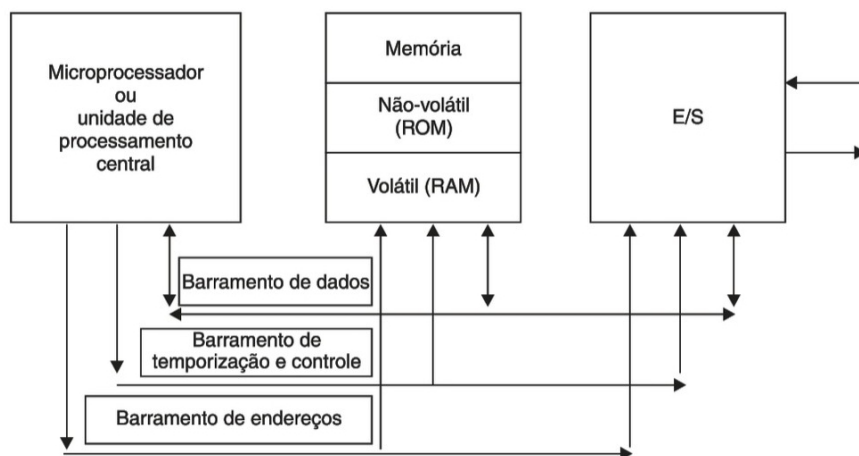


Figura 1. Arquitetura dos Sistemas Microprocessados

Arduino Uno, como pode ser visto na Figura 2, é uma placa de microcontrolador baseada no ATmega328P. Possui 14 pinos de entradas/saídas digitais (dos quais 6 podem ser utilizados como saídas PWM), 6 entradas analógicas, um cristal de quartzo de 16 MHz, uma conexão USB, uma tomada de energia, e um botão de reset [Arduino 2017]. É chamado de plataforma de hardware livre com várias bibliotecas e documentação, possui o ambiente de desenvolvimento de software livre e gratuito, com uma linguagem de programação bastante similar à Linguagem C.

O componente principal da placa Arduino UNO é o microcontrolador ATMEL ATmega328P, um dispositivo de 8 bits da família AVR com arquitetura RISC avançada e com encapsulamento DIP28. Ele conta com 32 KB de Flash (mas 512 Bytes são utilizados

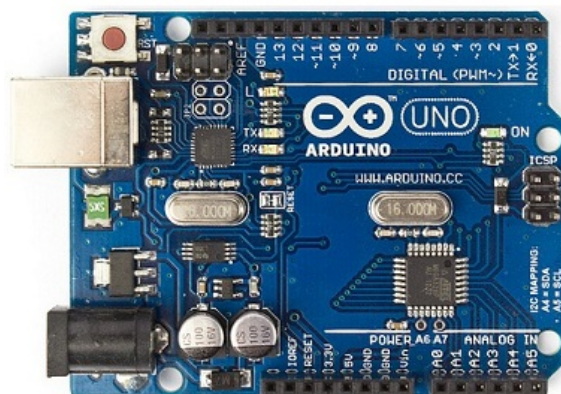


Figura 2. Arduino Uno

pro bootloader), 2 KB de RAM e 1 KB de EEPROM. Pode operar a até 20 MHz, porém a placa Arduino UNO opera em 16 MHz, valor do cristal externo que está conectado aos pinos 9 e 10 do microcontrolador [Atmel 2017].

3. Trabalhos Relacionados

Os medidores de energia elétrica residencial utilizados atualmente são do tipo eletromecânicos tradicionais, onde os campos gerados pelas bobinas de corrente e de potencial, induzem correntes em um disco, provocando a sua rotação [Creder 2007]. Nesse tipo de medidor há muitos elementos envolvidos o que aumenta a probabilidade de erros assim como o furto de energia, pois a concessionária não conseguirá identificar naquele instante essa perda, sendo necessário aguardar no mínimo até a próxima medição do faturamento.

No caso dos medidores inteligentes há uma nítida evolução no processo de medição, os mesmos podem realizar medição, cálculos, calibração e comunicação por meio de hardware e software. Para tal, devem ser projetados para armazenar e transmitir dados de acordo com padrões estabelecidos pelos órgãos responsáveis. Uma das principais vantagens da medição inteligente é o monitoramento em tempo real para o abastecimento de um banco de dados o qual deve possibilitar a melhoria do serviço prestado e permitir ao consumidor conhecer melhor seu consumo [Silva 2016].

Neste panorama o trabalho de [Lemos 2014] apresenta os conceitos de hardware livre com a utilização da plataforma Arduino e um sensor de corrente SCT-013-100. Para as devidas medições elétricas foi utilizado a biblioteca emonLib que faz parte de um projeto open source denominado Open Energy Monitor [OpenEnergyMonitor 2011], o qual é um programa de monitoramento de código aberto para entender a energia explorando o contexto das energias renováveis e zero carbono. Os dados obtidos com o sensor de corrente são enviados através da placa ethernet shield que está conectada em conjunto com o arduino para um servidor desenvolvido em ruby on rails onde são apresentados o cálculo da energia consumida e demais resultados.

O presente trabalho se diferencia dos anteriormente citados, pois propõe uma conexão em tempo real com a aplicação cliente desenvolvida através do protocolo http e o *backend* sendo feito em php e o *frontend* em html e css. Para validar os resultados utilizou-se um medidor de energia AC 4 em 1 PZEM-061, o qual possui as funções de Wattímetro, Voltímetro, Amperímetro e além de medir o consumo de energia.

4. Abordagem da Proposta

O medidor de energia elétrica proposto foi implementado em duas etapas, como pode ser visto na Figura 3:

- Circuito aferidor de corrente;
- Aquisição de dados.

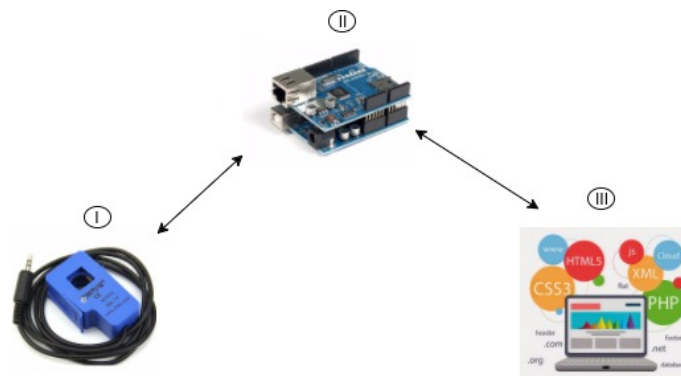


Figura 3. Medidor Elétrico Proposto

Esse sistema é realizado de acordo com as seguintes etapas:

- A medição da corrente é realizada pelo sensor de corrente não invasivo 30A SCT-013, o qual envia os dados através do circuito para o Arduino;
- A placa ethernet shield está acoplada ao Arduino pronta para fazer a conexão via cabo ethernet com o computador;
- A aplicação web cliente recebe os dados, os quais são atualizados em tempo real no navegador da preferência do usuário.

4.1. Circuito aferidor de corrente

O circuito medidor de corrente está ilustrado na Figura 4. O nível de tensão de saída que chega ao sensor de corrente não invasivo tem a capacidade de medir até 30 A, o qual é limitado pelo divisor de tensão formado pelos resistores R1 e R2. O capacitor C1 é utilizado para reduzir o nível de ruído que eventualmente possa existir no sinal de entrada. O conector P2 é utilizado para um melhor acoplamento do sensor com os demais componentes.

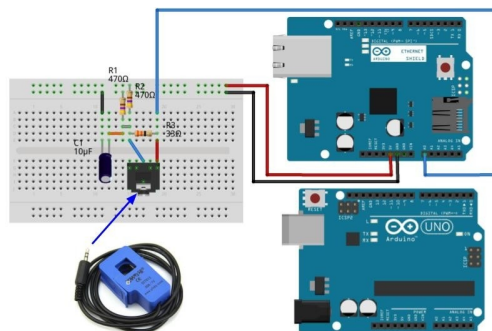


Figura 4. Circuito medidor de corrente

4.2. Fluxograma do Medidor Elétrico Monofásico

O fluxograma do medidor elétrico monofásico proposto no trabalho pode ser visto na Figura 5. Seus estágios são: (i) Entrada de dados por meio da aquisição do sensor de corrente, (ii) Processamento do cálculo da corrente e potência, (iii) Após isso, os dados são enviados para a aplicação web cliente, (iv) onde serão apresentados os resultados que são atualizados a cada 5 segundos no navegador.

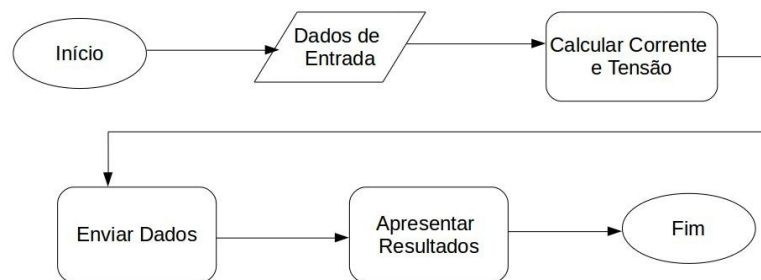


Figura 5. Fluxograma do Medidor Elétrico

5. Experimentos e Resultados

Os experimentos realizados neste trabalho tiveram como objetivo testar o sensor de tensão e a comunicação com a placa ethernet shield. Assim sendo, para efeitos de validação das medições foi utilizado um medidor de energia PZEM-061 AC, no qual pode-se usar nas funções de multímetro, wattímetro e amperímetro, esse medidor possui precisão de 1%. A primeira medição foi em uma lâmpada de 20W, Fator de potência $\geq 0,50$, corrente = 280 mA, tensão= 110V-127V. Na Figura 6, podemos observar a lâmpada ligada a rede elétrica e o sensor de corrente conectado ao circuito, obtendo assim as devidas medidas elétricas.



Figura 6. Medição da corrente e potência na lâmpada

Na aplicação cliente, os dados são recebidos através da placa ethernet shield, utilizando protocolo HTTP que é baseado em requisições e respostas entre clientes e servidores. Os dados apresentados são das últimas dez amostras em uma tabela como pode ser observado na Figura 7. Os valores obtidos de corrente e potencia podem ser vistos, na Tabela 1.

Medidor de Energia - Google Chrome	
Medidor de Energia	
192.168.1.177	
Medidor de Energia Elétrica Versão 1.0	
Aluna: Rachel Lima	
Corrente(A)	Potência(W)
0.21	26.79
Corrente(A)	Potência(W)
0.23	29.07
Corrente(A)	Potência(W)
0.23	28.96
Corrente(A)	Potência(W)
0.23	28.93
Corrente(A)	Potência(W)
0.23	29.23
Corrente(A)	Potência(W)
0.23	28.89
Corrente(A)	Potência(W)
0.23	29.06
Corrente(A)	Potência(W)
0.24	30.07
Corrente(A)	Potência(W)
0.24	30.40
Corrente(A)	Potência(W)
0.24	29.91

Figura 7. Aplicação web cliente

Corrente(A)	Potência(W)
0.21	26.79
0.23	29.07
0.23	28.96
0.23	28.93
0.23	29.23
0.23	28.89
0.23	29.06
0.24	30.07
0.24	30.40
0.24	29.91

Tabela 1. Valores das medições na lâmpada

Para fins de validação e comparação foi utilizado um medidor de energia AC 4 em 1 PZEM-061, onde são mostrados os valores de tensão, corrente, potência e energia. A faixa de tensão que o mesmo funciona é de 80-260V. A faixa de corrente que o mesmo funciona é de 0-100A. A medição pode ser vista na Figura 8.



Figura 8. Medidor PZEM-061

O esquema elétrico pode ser observado na Figura 9. Basicamente a tensão do medidor é ligada e coloca-se o fio da carga por dentro da bobina para aferir a corrente. Há dois fios que são ligados diretamente da bobina ao medidor e os outros dois fios é a ligação da tensão e o outro da corrente.

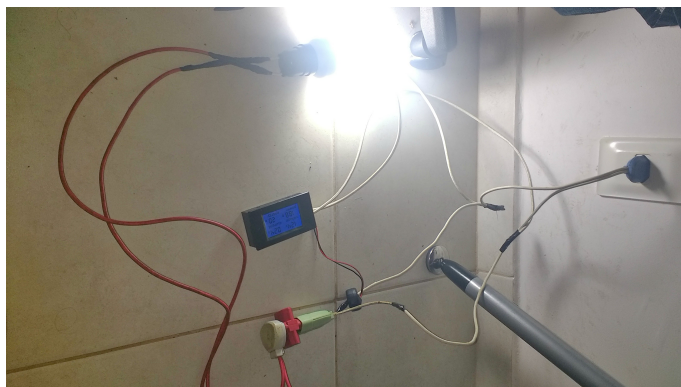


Figura 9. Ligação do Medidor PZEM-001

6. Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste trabalho, foi apresentado um protótipo de um medidor de energia elétrica monofásico para monitoramento de consumo residencial, baseado em microcontrolador de baixo custo. Os resultados foram satisfatórios para uma primeira versão. Houve variações nos valores da potência, devido a utilização um valor estático para a tensão, o qual foi definido como 127V.

Com trabalhos futuros será implementado o uso de um sensor de tensão para assim obter medições mais precisas, assim como o estudo para evoluir o presente protótipo até um medidor trifásico para rede residencial com microprocessado de baixo custo, fazendo uso de dois sensores de corrente e tensões, bem como um banco de dados com medidas de consumo de equipamentos domésticos.

Referências

- ANEEL (2010). Direitos e deveres do consumidor de energia elétrica – resolução normativa nº 414. Agência Nacional de Energia Elétrica.
- Architects, E. (2017). O que é um sistema embarcado? url = <http://www.embarc.com.br/p1600.aspx>. [Acessado em Agosto/2017].
- Arduino (2017). Arduino uno. url = <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>. [Acessado em Agosto/2017].
- Atmel (2017). Atmega328/p - datasheet. url = <https://goo.gl/QKKpZJ>. [Acessado em Agosto/2017].
- CELPE (2017). O que é eficiência energética? url = <https://goo.gl/XW9MKW>. [Acessado em Agosto/2017].
- Creder, H. (2007). *Instalações elétricas*. Livros Tecnicos e Científicos.
- Gimenez, S. P. (2002). Microcontroladores 8051: Teoria do hardware e do software/aplicações em controle digital/laboratório e simulação.

- Lemos, M. (2014). Medidor de consumo de energia elétrica conectado à nuvem com arduino. url = <https://github.com/mlemos/energy-monitor-cpbr7>. [Acessado em Julho/2017].
- MME/EPE (2011). Plano decenal de expansão de energia 2020. Ministério de Minas e Energia e Empresa de Pesquisa Energética.
- Nilsson, J. W. R., Nilsson, S. A. J. W., and Riedel, S. A. (2009). Circuitos eléctricos.
- OpenEnergyMonitor (2011). Openenergymonitor. url = <https://openenergymonitor.org/>. [Acessado em Julho/2017].
- Silva, C. M. (2016). Medidor inteligente para monitoramento de falhas em redes de baixa tensão.
- UNIFEI, ELEKTRO, E. and FUPAI (2012). *Eficiência Energética: Fundamentos e aplicações*. Campinas- SP, 1th edition.