

DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO ELETRÔNICO SEM FIO PARA MEDIÇÃO DE CARGAS ELÉTRICAS RESIDENCIAIS UTILIZANDO O MÉTODO NÃO-INVASIVO

ANDRÉ. PEREIRA, ANTONIO. LIMA, JOSÉ. SOUZA, RAIMUNDO. MENEZES

*Laboratório de Eficiência Energética em Acionamentos Motrizes, Departamento de Engenharia Elétrica,
Universidade Federal da Bahia*

Rua Professor Aristides Novis, 2 – Federação, 40210-630, Salvador – BAHIA,

*E-mails: andre_kuhn@hotmail.com, acdcl@ufba.br, souza_edleuson@hotmail.com,
raimundo.menezes@gmail.com*

Abstract - Increase in electricity demand in recent decades have forced final electricity consumers to adopt rationing measures. However, these effort, expressed in small intuitive actions to reduce consumption, are not enough to achieve the goal of energy efficiency. Consumer awareness for this issue must be accompanied by increasingly interactive and autonomous ways to enable them to know the true extent of unnecessary expenditure due to misuse of electronic equipment in their home. In order to accomplish this goal, we devise an electronic wireless device, suitable to be install in an electricity distribution board, to allow the acquisition of appliance voltage and current signals in a nonintrusive way. After measuring the aggregate load, the data are sent to a cloud server to be processed. This server runs an algorithm capable of identify power consumption patterns from appliances connected to the home network. In this paper, voltage and current signals were acquired and catalogued in laboratory. Measurement patterns obtained non-invasively, by means of the developed device, were compared with those measured directly. Despite the simple approach, by correlating the signals it was found that the developed system could be used with some reliability.

Keywords – NIALM, load desegregation, energy monitoring, wireless instrument.

Resumo – O aumento da demanda da energia elétrica nas últimas décadas tem obrigado os consumidores a adotarem medidas de racionamento cada vez mais contundentes. No entanto, essas ações, muitas vezes evidenciadas em pequenos gestos intuitivos de redução do consumo, não são o bastante para a melhoria da eficiência energética. A conscientização do usuário precisa ser acompanhada de ferramentas cada vez mais interativas e autônomas que o permitam saber a verdadeira dimensão do impacto financeiro sobre o uso inadequado de equipamentos eletroeletrônicos em sua residência. Neste sentido, foi desenvolvido um dispositivo eletrônico sem-fio capaz de adquirir, de forma não-invasiva, sinais de tensão e corrente provenientes de eletrodomésticos instalados em uma residência. Após a medição de carga agregada, os sinais são enviados por este dispositivo a um servidor em nuvem para serem processados. O servidor roda um algoritmo capaz de identificar padrões de potências consumidas de eletrodomésticos ligados à rede. Neste trabalho, sinais de tensão e corrente foram adquiridos e catalogados em laboratório. Os padrões de medição obtidos de forma não-invasiva, com dispositivo desenvolvido, foram comparados com aqueles medidos de forma direta. Apesar da abordagem simples, através de correlação dos sinais foi constatado que o sistema desenvolvido pode ser utilizado com certa confiabilidade.

Palavras-chave – NIALM, desagregação de cargas, monitoramento de energia, instrumentos sem-fio.

1 Introdução

Nos últimos anos, a conscientização da sociedade em relação às mudanças ambientais e aos elevados custos energéticos tem aumentado. Na figura 1 é possível observar algumas mudanças no consumo em residências, indústrias e comercios durante um período de 10 anos (GWh). É notório o crescimento nas classes de consumo residencial e comercial. Em contrapartida, houve uma estagnação da classe de consumo industrial nos últimos quatro anos do período observado, tendo uma queda em 2014.

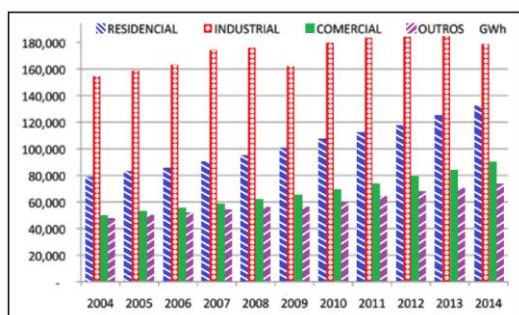


Figura 1. Consumo de energia por classes no Brasil.
Fonte: EPE, 2015 (modificado)

As principais razões da mudança de consumo, esta relacionado com a melhoria da renda das famílias, com a aquisição de novos aparelhos eletroeletrônicos. E também na mudança de hábitos de consumo que podem estar associados à política de ampliação ao acesso da energia elétrica e das políticas sociais de distribuição de renda (Andrade & Pinheiro, 2014).

O consumo detalhado por eletrodoméstico pode ser um excelente recurso para o consumidor economizar energia, conduzindo-o a escolhas embasadas em mudanças de comportamentos, uma vez que os mesmos terão em tempo real relatórios de uso e consumo de seus aparelhos.

Os sistemas de monitoração não-invasiva de cargas elétricas, conhecidos como NIALM (*Non-intrusive appliance load monitoring*), possibilitam a previsão de consumo energético e monitoramento do uso de eletrodomésticos, constituindo uma solução atrativa para permitir ao consumidor uma avaliação dos seus gastos com energia elétrica geral e por equipamento (Hart, 1992).

O dispositivo apresentado neste artigo, tem a proposta de agregar inteligência nos processos de captação de sinais de tensão e corrente elétrica das

cargas oriundas de eletrodomésticos, podendo tornar-se um instrumento contínuo de medição nas instalações residenciais, haja vista o baixo custo previsto de fabricação e a versatilidade de instalação.

Cerca de 76% dos consumidores em geral dão mais ênfase a números, quando estes estão representados em forma de gráfico e com cores chamativas que denotem perigo, atenção e permissividade (Heller, 2014).

Diante deste panorama, o hardware proposto é uma ferramenta de aquisição dos dados das cargas elétricas. Estes dados serão tratados e enviados para um PC. E posteriormente compilado em linguagem gráfica que deixe o consumidor informado sobre os gastos de cada eletrodoméstico.

Alguns anos atrás, era comum o monitoramento de cargas que utilizavam medição individual nos aparelhos elétricos (medições invasivas). No entanto, com o avanço das pesquisas neste campo, constatou-se que estes medidores podem ser mais dispendiosos, além de requerer maior tempo tanto em instalação quanto em manutenção (Chang et. al, 2011).

Um medidor inteligente que monitora de maneira não-invasiva o consumo de energia de aparelhos elétricos ligados/desligados, com base na análise detalhada da corrente e tensão da carga total, tornou-se uma enorme vantagem frente as técnicas invasivas convencionais para uma enorme diversidade de aplicações de carga elétricas residenciais (Hart, 1992).

Este hardware proposto possui como diferencial, a transmissão de dados sem fio, ou seja, sem a necessidade de cabeamento para catalogação de dados, o que reduz consideravelmente o impacto estético. Além disso, a arquitetura do módulo foi executada com componentes mais baratos e que produzam a mesma eficácia dos demais.

Estes dados são recebidos via RF 2.4 GHz por uma unidade de software onde classifica o tipo de carga através de algumas técnicas de desagregação de carga (Transformada de Fourier, Wavelet, Método de Hildburg, Redes Neurais, etc.). Após essa amostra os dados são transformados em valores algébricos e expressos em gráficos.

A análise das formas de onda de tensão e corrente da carga total da instalação elétrica gera estimativas do consumo individual dos aparelhos, ou seja, todos os eletrodomésticos possuem características elétricas específicas, denominadas assinaturas. A extração dos sinais é realizada utilizando sensores de tensão e corrente instalado no centro de carga.

2 Sensores

2.1 Sensor de corrente

O medidor de corrente utilizado neste protótipo foi o Sensor de Corrente Não-Invasivo SCT-013 100A/50mA, este dispositivo é um transformador de corrente com núcleo dividido (*split core current transformer*), ou seja, ele transforma a corrente maior que passa por um fio, em uma corrente menor. Este

sensor possui uma proporção de conversão de 100 Ampères por 50 miliampères.

2.2 Sensor de tensão

O sensor de tensão é utilizado para medir a diferença de potencial entre dois pontos do circuito do quadro de distribuição de energia. Em uma residência de rede monofásica o sensor utiliza a fase e o neutro para fazer a medição.

O circuito deste sensor foi desenvolvido para reduzir a tensão em 100 vezes e adequá-la com entrada do conversor analógico digital (ADC) do microcontrolador, que possui range de medição de 0 a 5 volts.

3 Arquitetura e funcionamento

Os sinais de corrente e tensão são captados pelos sensores e enviados ao circuito de tratamento, onde este envia os sinais em forma de amostras para o circuito de comunicação PC, conforme mostra a figura 2. Para realizar a leitura de tensão e corrente, o software *MATLAB* envia um comando para o circuito de comunicação PC – placa de leitura, e esta solicita a coleta de amostras de tensão e corrente. Essas amostras são armazenadas na memória da plataforma Arduino Nano e enviadas para o módulo que está conectado ao PC, e este armazena os dados amostrados e finalizando com o envio para o software.

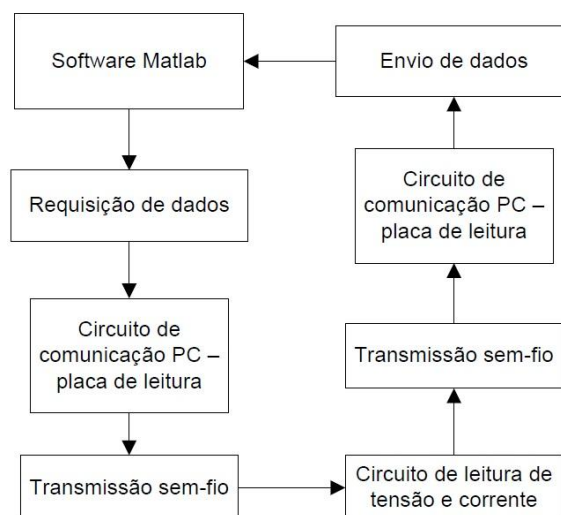


Figura 2. Arquitetura de funcionamento

No software são calculados os valores RMS da tensão e da corrente respectivamente, conforme mostram as equações (1) e (2). Com esses dados calcula-se a potência aparente (S).

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (V_i)^2} \quad (1)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (I_i)^2} \quad (2)$$

Para calcular a potência ativa (P) e reativa (Q), foi utilizado um algoritmo para calcular o ângulo de defasagem (φ) da tensão em relação a corrente, conforme equação abaixo:

$$P = S * \cos(\varphi); \quad (3)$$

$$Q = S * \sin(\varphi); \quad (4)$$

onde S é a potencia aparente.

4 Circuito eletrônico

O circuito eletrônico é dividido em duas partes, um é responsável por ler os sinais de tensão e corrente. E o outro tem a função de comunicar o hardware com o PC rodando o algoritmo de identificação de padrões de potência consumida.

4.1 Circuito de leitura de tensão e corrente

O circuito de leitura é composto por uma fonte linear, circuito eletrônico de tratamento do sinal, microcontrolador e módulo sem fio.

4.1.1 Fonte de alimentação

A alimentação da fonte é proveniente da rede monofásica através do contato dos conectores na fase e no neutro. A fonte possui transformador, diodos retificadores, capacitores e reguladores de tensão. Esta fonte alimenta os circuitos de tratamento do sinal, o microcontrolador e o módulo sem fio.

4.1.2 Circuito de tratamento do sinal

O circuito de tratamento do sinal é responsável por adequar os valores lidos dos sensores de corrente e tensão a entrada do conversor analógico digital do microcontrolador, que é de 0 a 5 Volts.

4.1.3 Microcontrolador

O microcontrolador utilizado foi a plataforma de desenvolvimento Arduino Nano por ele ser compacto e possuir as mesmas funcionalidades do Uno.

A plataforma Arduino Nano possui o microcontrolador ATmega328. Este circuito integrado possui um ADC de resolução de 10 bits, sendo que para este projeto foi utilizado uma taxa de amostragem de 16620 Hz.

4.1.4 Módulo sem fio

O módulo sem fio utilizado foi o nRF24L01, ele trabalha na banda de frequência de 2,4 GHz, que permite comunicação de longo alcance (cerca de 1000 metros), e possui baixo consumo de energia. As figuras 3 e 4 mostram o circuito de leitura de tensão e corrente nas interfaces de tratamento dos sinais e sem fio.

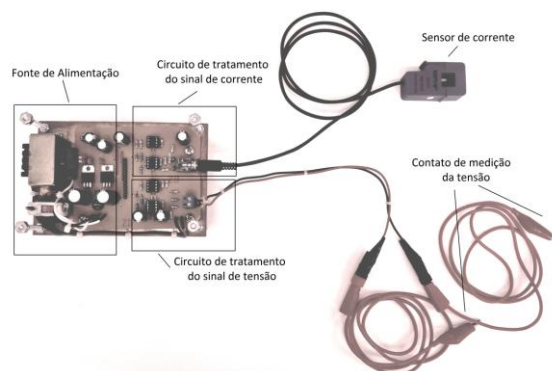


Figura 3. Circuito de leitura de tensão e corrente – Interface de tratamento dos sinais

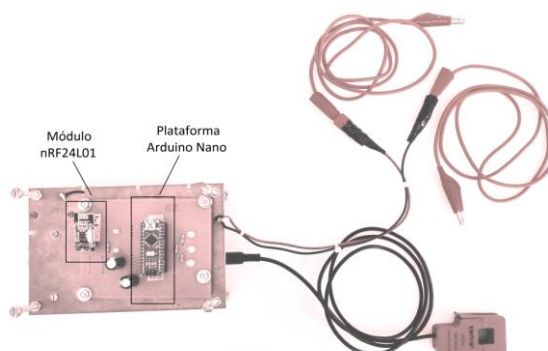


Figura 4. Circuito de leitura de tensão e corrente – Interface sem fio

4.2 Circuito de comunicação PC - placa de leitura

Essa placa foi desenvolvida para realizar o link do PC com o circuito de leitura de tensão e corrente. Este circuito possui a plataforma Arduino Nano e o Módulo nRF24L01.

A comunicação com o PC é através da comunicação serial USB (*Serial Bus Storage*), conforme visto na figura 4.

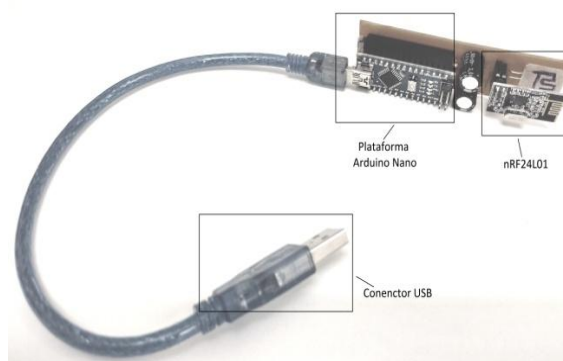


Figura 5. Circuito de comunicação desenvolvido

5 Método e Resultados

Para efeito de teste do hardware sem fio foram realizadas simulações em laboratório utilizando uma rede monofásica de 127 V com oito tipos de cargas, sendo quatro destas mais comuns em uma residência, portanto utilizada para classificação, foram eles: notebook, cafeteira, frigobar e *home theater*. As medições foram realizadas por um dispositivo com fio e depois comparadas com as medições realizadas pelo dispositivo sem fio desenvolvido afim de verificar a existência de ruídos ou distúrbios em seu funcionamento.

Os sinais de corrente e tensão foram extraídos pontualmente de cada aparelho, tornando possível o cálculo de sua potência e a criação de um banco de dados para classificação das cargas.

O método utilizado para esta classificação foi o da diferença de potências. Através da variação entre a última potência lida e a potência atual, estima-se qual aparelho foi ligado ou desligado da rede elétrica, conforme mostra a figura 6.

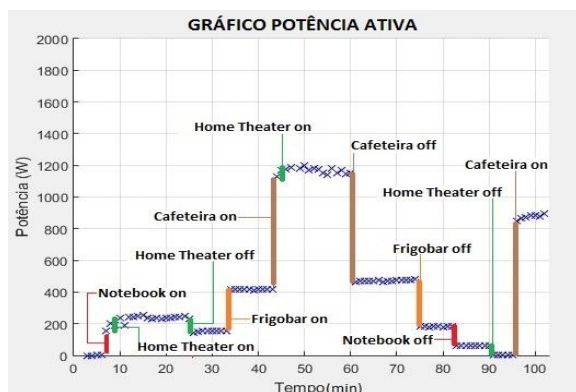


Figura 6. Gráfico das variações de potência

Como observado, a potência lida saiu do regime estacionário após oito minutos de leitura com o início do carregamento da bateria de um notebook, elevando a potência de 0 para 180W. A partir deste instante, outros aparelhos foram identificados durante seu acionamento e suas interrupções através do aumento e diminuição respectivamente da potência ativa de cada um destes dispositivos.

Para testar a força da relação entre as potências lidas pelos dois dispositivos, estas foram correlacionadas através do método de *Pearson* expresso na equação (5), bastante conveniente para grandes quantidades de dados (pensado para situações reais com alta quantidade de equipamentos) e com alta aderência de confiabilidade na retirada de pequenas amostras.

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \frac{x}{n})(y_i - \frac{y}{n})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \frac{x}{n})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \frac{y}{n})^2}} \quad (5)$$

A análise, através de correlação, indica a relação entre duas variáveis lineares e os valores sempre serão entre +1 e -1. O sinal indica a direção, se a correlação é positiva ou negativa, e o tamanho da variável indica a força da correlação. Para cálculo do coeficiente de ajuste linear da aplicação de *Pearson*, foi utilizado o modelo de regressão linear de *Newton* mostrado nas equações (6) e (7).

$$a = \frac{\sum y - b \sum x}{n} \quad (6)$$

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (7)$$

A figura 7 mostra o gráfico da dispersão entre as potências lidas pelo dispositivo com fio (P1) e a leitura das potências lidas através do dispositivo sem fio (P2) objeto deste projeto.

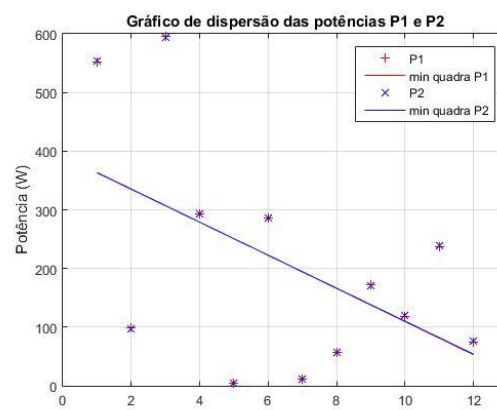


Figura 7. Gráfico das potências

Como observado, as amostras possuem uma forte interação o que evidencia que os erros mínimos quadráticos não são expressivos no ajuste haja vista a proximidade de valores da leitura, o que induz a eficácia do método.

6 Conclusão

Os métodos de medição e monitoramento de carga na abordagem não invasiva possuem hardwares responsáveis pela aquisição das assinaturas das cargas semelhantes e bastante difundidos na literatura. Para este trabalho foram realizadas medições com dispositivos pertencentes ao estado da arte, ou seja, dispositivos utilizados por vários pesquisadores e também com o dispositivo sem fio desenvolvido para proporcionar uma redução do impacto estético além de dinamizar e agregar mais tecnologia aos processos de medição não invasiva, mantendo as propriedades de leitura e confiabilidade dos demais através de uma comparação linear de dados.

Este dispositivo proposto mostrou-se ágil e promissor no tocante a leitura de dados, sem apresentar

descontinuidade ou atrasos de informações, apresentando leituras pertinentes e confiáveis.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES e a FAPESB pelo apoio financeiro no desenvolvimento deste projeto.

Referências Bibliográficas

- Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Balanço Energético Nacional 2015, ano base 2014. - Rio de Janeiro: EPE, 2015.
- Andrade, F. V.; Pinheiro, R. B (2014). Análise de Decomposição da Projeção de Consumo de Energia Elétrica no Brasil para o Setor Residencial. Engevista, V. 16, n. 4, p.340-355, Rio de Janeiro - RJ.
- Hart, G. W (1992). "Nonintrusive appliance load monitoring," Proc. IEEE, vol. 80, no. 12, pp. 1870-1891.
- Heller, Eva (2014). A Psicologia Das Cores - Como As Cores Afetam a Emoção e a Razão. GG: São Paulo, 1ed.
- Chang, H.; Lin, C. and Yang, H. (2008). "Load recognition for different loads with the same real power and reactive power in a non-intrusive load monitoring system." Proc., 12th Int. Conf., Computer Supported Cooperative Work in Design 2008. IEEE, New York, 1122-1127.