



SISTEMA DE HARDWARE PARA AQUISIÇÃO DE SINAIS ELÉTRICOS E SOFTWARE PARA TRATAMENTO DE DADOS E AUXÍLIO NA TOMADA DE DECISÕES

Leonardo Pedrassoli Silva¹ e Igor Santos Peretta¹

¹FEELT – Universidade Federal de Uberlândia

Resumo – Esse artigo tem como objetivo mostrar um sistema de medição de atributos relacionados à engenharia elétrica que em conjunto com um sistema de computação desenvolvido, proporciona auxílio para a realização de medidas que podem estar relacionadas com o controle de gastos de energia elétrica ou de manutenção de máquina e aparelhos.

Palavras-Chave – Consumo de energia, Datalogger, Energia elétrica, Internet das coisas, Monitoramento, Sinais elétricos.

HARDWARE SYSTEM FOR ACQUISITION OF ELECTRICAL SIGNS AND SOFTWARE FOR DATA TREATMENT AND DECISION-MAKING AID

Abstract - This article aims to show a system of measurement of attributes related to electrical engineering that together with a developed computer system, provides aid for the accomplishment of measures that may be related to the control of electric energy or maintenance expenses machinery and apparatus.

Keywords – Energy consumption, Datalogger, Electric power, Internet of Things, Monitoring, Electrical signals.

I. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um bem social indispensável no dia-a-dia para a maior parte da população do planeta. Está presente nas tarefas rotineiras, nas horas de lazer, no trabalho e na própria manutenção do bem-estar social. Devido a sua ampla participação na rotina dos cidadãos, ao fato de ser uma energia não renovável e que possui custos envolvidos no seu uso, é de grande importância um controle no seu consumo.

Para que isso ocorra, é necessário que haja cada vez mais dispositivos inteligentes que estejam aptos a coletar e transmitir dados em tempo real. É nesse contexto que aparece o termo *Internet of Things (IoT)* [1], que surgiu com o avanço das tecnologias embarcadas e microeletrônica.

Esse termo sugere a conexão aparelhos e veículos com a internet, enviando e recebendo, em tempo real, informações e

comandos, para que se torne cada vez mais acessível controle de qualquer que seja o objetivo, e como no exemplo deste artigo, do controle de uso da energia elétrica. Equipamentos de medição monitoram dados e enviam para um servidor para que se forem necessárias, medidas de proteção sejam ativadas.

Dentro desse contexto existem as redes inteligentes de energia, do inglês *Smart Grid* [2], que são um novo sistema na distribuição de energia elétrica. Essa arquitetura provém do fato de que a tecnologia da informação é aplicada nas redes de distribuição. Sensores e dispositivos de automação são instalados ao longo da rede para que possam monitorar os níveis e tomarem medidas de controle. Pode-se, por exemplo, monitorar o uso da energia e de acordo com as medições, tomar decisões para que reduza ao máximo o número de ocorrências e duração de falta de energia.

Aproveitando essa demanda de controle de energia elétrica, evolução e a acessibilidade das redes *IoT*, que o sistema desenvolvido aqui detalhado se encontra. É a união de um hardware compacto que possui sensores de corrente e tensão elétrica com um software que faz o processamento desses sinais gravados, além de componentes para a formulação de um datalogger com histórico dos valores medidos ao longo do tempo com data e hora, que são controlados pela plataforma *Arduino*. O software além de fazer o processamento, gera relatórios com gráficos das medições ao longo do tempo, destacando seus valores mais relevantes, efetuando os cálculos sobre o consumo de energia elétrica no período especificado.

Com o relatório gerado pelo sistema, é possível fazer um controle da energia elétrica gasta no local, ou até mesmo verificar o funcionamento de uma máquina ou aparelho específico.

Os valores de corrente e tensão medidos em uma residência, local que as fornecedoras de energia elétrica somente fazem o controle da potência ativa, pode ser convertido em potência, e com o controle do intervalo de tempo medido, convertido em energia elétrica. Posteriormente, pode se obter o valor do gasto dessa energia, basta ter acesso às tarifas praticadas no período.

Além do valor da energia, é possível fazer a análise de conformidade com algum equipamento estipulado, podendo indicar a presença de algum problema mecânico, ou até mesmo no fornecimento de energia pela fornecedora.

Devido a essas análises, o sistema pode ser utilizado por profissionais de área de energia elétrica, sendo técnicos ou

*leopedrassoli@ufu.br

engenheiros, para que prestem serviços residenciais sobre consumo elétrico ou para indústrias, medindo máquinas.

As grandes vantagens da utilização desse sistema são a facilidade na interface desenvolvida, que não necessita de conhecimentos avançados na área de computação e o baixo custo para elaboração do hardware.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

Para melhor compreensão do artigo, é necessária a compreensão de alguns termos relacionados a parte de energia elétrica e de computação.

A. Tensão elétrica

Também conhecida como diferença de potencial, ddp, é a tendência que uma carga tem de ir de um ponto a outro [3]. Analogamente a pressão hidráulica, quanto maior a pressão entre dois pontos, maior será a intensidade do fluxo. No caso da eletricidade, o fluxo representa a corrente. No caso desse artigo, a tensão analisada é gerada em sua forma alternada, fornecida pela distribuidora de energia elétrica, que possui valores regulares com intensidade de 127 ou 220, e com unidade de medida definida em volts (V).

B. Corrente elétrica

Pode ser definida como o fluxo ordenado das partículas que possuem cargas elétricas [4], deslocadas em um condutor na presença de uma diferença de potencial (tensão elétrica) entre suas extremidades. Sua unidade de medida internacional é o ampère (A), que representa a quantidade total de cargas que atravessa uma determinada seção do condutor em um determinado período.

A corrente circula pelos equipamentos e sua intensidade é dependente da carga estabelecida. No caso da presença de uma tensão alternada em carga linear, a corrente será também alternada.

C. Potência elétrica

É definida no contexto de equipamentos elétricos como a quantidade de energia elétrica que é convertida para algum outro tipo, dependendo do equipamento utilizado [5]. No contexto desse artigo, será analisada somente a potência ativa, que representa a energia útil utilizada no processo de conversão citado acima. Outros tipos de potência não são cobrados pelas companhias de energia elétrica em instalações domiciliares, devido a serem geradas em grandes quantidades por máquinas pesadas, não presentes nesse contexto. Sua unidade é dada em watt (W) ou Joules por segundo (J/s) e sua fórmula é dada por (1):

$$P = U \cdot I \quad (1)$$

Onde:

- P - Potência ativa.
- U - Tensão elétrica.
- I - Corrente elétrica.

D. Conversor A/D

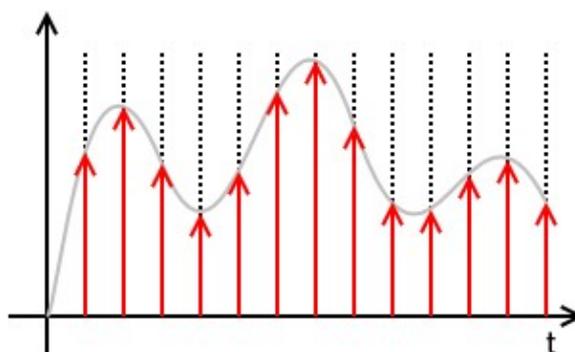
Para que o software consiga fazer o processamento dos dados captados pelo hardware, é necessário que ocorra a conversão dos dados analógicos medidos para valores digitais.

Esse processo de conversão é feito pelo chamado conversor analógico/digital. As etapas envolvidas nesse processo basicamente se resumem em amostragem e quantização.

A amostragem faz a discretização (Figura 1), ou seja, converte os potencialmente infinitos valores analógicos para um conjunto finito de valores discretos [6]. Isso ocorre pela multiplicação de impulsos elétricos pelo sinal analógico em períodos de tempo específicos. A definição da quantidade desses impulsos por segundo é chamada de taxa de amostragem.

No caso da plataforma *Arduino* utilizada nesse trabalho, a taxa de amostragem é documentada como 9600 amostras por segundo.

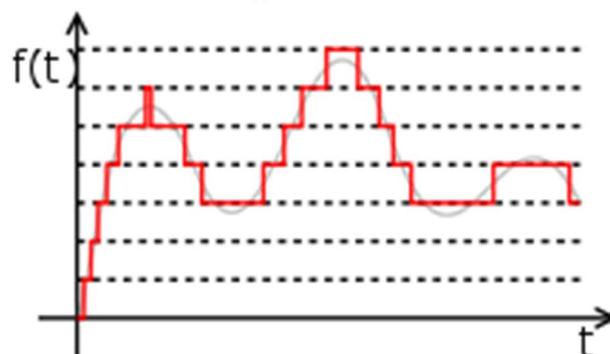
Figura 1: Exemplo de um sinal analógico amostrado.



O outro processo nessa conversão é a quantização, que é a transformação desses valores amostrados em uma faixa específica de valores inteiros [6]. Essa faixa representa a precisão da medida e depende da quantidade de bits usados, ou seja, quanto maior o número de bits, maior a precisão e menor a quantidade de ruídos.

No caso, o hardware aqui apresentado possui um conversor A/D de 10 bits, o que leva a uma quantização entre $2^{10} = 1024$ valores, ou seja, entre 0 e 1023 (em binário). Um exemplo disso é apresentado na figura 2.

Figura 2: Exemplo de um sinal analógico que sofreu quantização.



E. Programação orientada a objetos

Dentro da área da computação, existem as linguagens de programação. Essas linguagens são classificadas em paradigmas, que define suas principais funcionalidades [7]. Um desses paradigmas e que foi utilizada no sistema, é o de Orientação a objetos, que funciona através de objetos. É

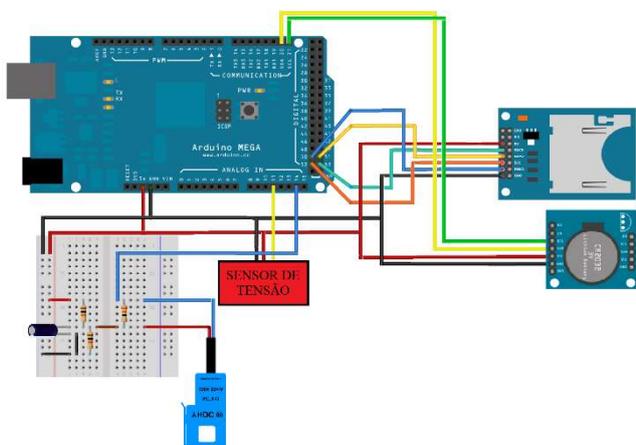
definido no código um objeto (classe) com atributos (características) e métodos (funções). Por exemplo, se é definido um objeto (classe) triângulo, e esse triângulo possui 3 lados, e então possui 3 atributos. A partir deles é possível obter a sua área, então é definida uma função (método) para fazer esse cálculo. Além disso, os objetos também podem possuir parâmetros que os façam relacionar com outros objetos.

III. METODOLOGIA

A. Hardware

Para desenvolver essa parte do sistema, fazer as medições e proporcionar um arquivo com o histórico, foi utilizado o esquemático mostrado na Figura 3, com os itens descrito abaixo:

Figura 3: Esquemático do hardware.



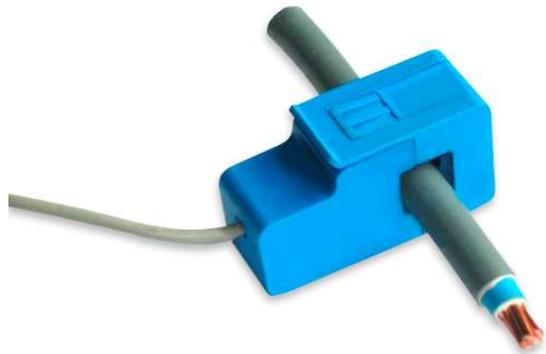
1) Arduino Mega 2560

Este item possui as características do conversor analógico/digital descritas anteriormente, além de possuir entradas suficientes para a utilização de todos os módulos descritos na sequência, e uma velocidade de processamento (clock) de até 16 MHz, que não afeta a indicação dos horários das medidas.

2) Sensor de corrente SCT-013 100A

Esse sensor de corrente tem a característica de ser não invasivo. Ou seja, é possível colocar o sensor de maneira rápida sem atrapalhar o circuito do equipamento original. É apresentado na Figura 4.

Figura 4: Utilização do sensor de corrente não invasivo SCT-013.



3) Sensor De Tensão Ac 127v/220v

É um sensor de tensão alternada que consegue realizar medições tanto de 127V quanto 220V. Esse módulo recebe esse valor de tensão e converte para uma faixa de tensão de até 5V, que será lido pela entrada analógica do microcontrolador, gerando um valor mínimo de 0 para 0V e máximo de 1023 para 5V.

4) Módulo de cartão SD para Arduino

Esse módulo permite a manipulação em arquivos dentro de um cartão de memória. O microcontrolador faz os cálculos necessários e salva os dados lidos em um arquivo de texto, que será processado posteriormente pelo software.

5) Módulo RTC DSI302

Esse é um módulo de relógio (RTC - *Real Time Clock*) que tem a função de manter a data e hora sempre atualizadas. Possui uma bateria de 3V, mesma bateria usada em relógios. É necessário primeiramente configurar a data e hora atualizadas no módulo que se mantém com a bateria.

B. Software

Para o desenvolvimento do aplicativo, foi utilizada a linguagem *Python* que tem suporte ao paradigma de orientação a objetos, utilizada para a construção da GUI (interface gráfica) a partir da plataforma *Qt Designer* que define cada tela como um objeto e cada item dessa tela (botões, imagens, etc.) como um atributo atrelado a algum método. Esse aplicativo funciona sobre sistema operacional Windows.

O processamento dos sinais captados se inicia com a leitura dos dados gravados no cartão SD pelo *Arduino*. Após isso o programa classifica os dados entre corrente, tensão, data e hora, utilizando bibliotecas próprias da linguagem *Python*. É possível também fazer as análises em períodos específicos dentro daquele especificado pelo arquivo.

Essa análise engloba o cálculo da energia elétrica total no período. Esse cálculo é feito obtendo a área do gráfico da potência, pois a energia é dada por (2):

$$E = P \cdot \Delta t \quad (2)$$

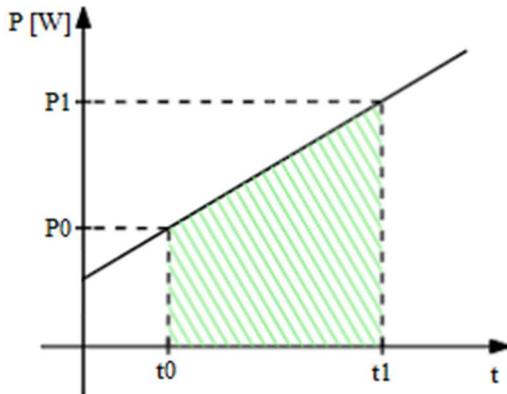
Onde:

E - Energia elétrica.

- P - Potência ativa.
- Δt - Intervalo de tempo.

Desta forma, no gráfico potência em função do tempo, mostrado na Figura 5, a área abaixo da curva representa a multiplicação entre esses dois eixos, que culmina exatamente na equação (2), representando a energia elétrica. Para fazer esse cálculo, foi utilizada a fórmula do trapézio, representada na equação (3).

Figura 5: Área de um trapézio através do gráfico.



P_0 e P_1 são gerados por (1) com base nas correntes e tensões amostradas em t_0 e t_1 respectivamente.

$$A = \frac{(P_1 + P_0) \cdot (t_1 - t_0)}{2} \quad (3)$$

Onde:

- A - Área do trapézio.
- t_0 - Ponto de tempo 0.
- t_1 - Ponto de tempo 1.
- P_1 - Valor da potência no t_0 .
- P_2 - Valor da potência no t_1 .

Figura 6: Interface gráfica desenvolvida.



Nesse raciocínio, foi calculada a área entre cada um dos pontos gravados e, após, foi feita a somatória de todos esses valores.

É importante atentar-se ao fato de que esse cálculo só se tornou possível devido à discretização do sinal lido pelo hardware, pois dessa forma não foi necessário fazer uso de nenhum método numérico, visto que a curva é discreta e não analógica, tendo assim os valores de todos os pontos medidos já numerizados através de uma aproximação que depende exclusivamente da taxa de amostragem [8]. Após essa conversão analógica/digital, os dados se tornaram então suficientes para esse propósito. A tela do aplicativo desenvolvido é apresentada na Figura 6.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o aplicativo alimentado pelos dados amostrados, é possível gerar um relatório do período especificado, contendo informações de energia total gasta no período, momento de máximo e mínimo de corrente, tensão, potência e valores médios.

Para verificar o funcionamento do sistema desenvolvido, foi deixado o hardware gravando durante aproximadamente 3 dias em uma residência. O resultado da medição é mostrado nas figuras 7 e 8.

O sensor de corrente utilizado suporta uma corrente de até 100A, muito acima da corrente máxima verificada nesse período, de 14,57A. Isso indica que a medição se encaixou

bem no equipamento escolhido, pois foi dentro da faixa em que o sensor consegue manter boa precisão.

O sensor de tensão conseguiu seguir os níveis de variação de tensão de rede elétrica na qual o equipamento estava ligado. Percebe-se, pelo relatório, que nesse caso a tensão fornecida estava próxima, mas não estava ideal, em torno de 215V.

As outras peças utilizadas, o módulo RTC e SD, funcionaram exatamente como o esperado, pois o arquivo foi gerado e com as datas e horas esperadas.

Outra observação foi a praticidade em se instalar o equipamento para fazer a medição. Devido ao sensor de corrente ser não invasivo, não há dificuldades em instalar o hardware para o cliente interessado.

Figura 7: Página 1 do relatório gerado.

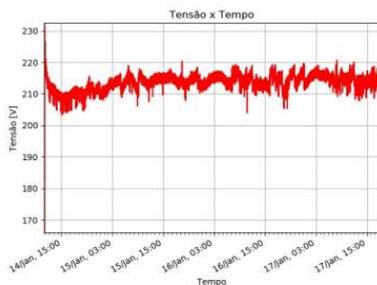
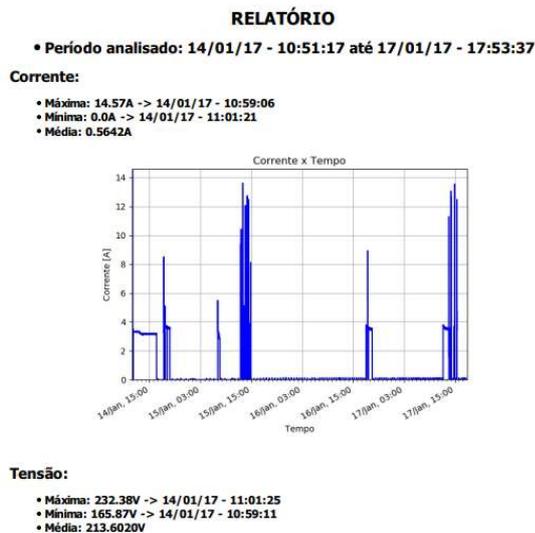


Figura 8: Página 2 do relatório gerado.

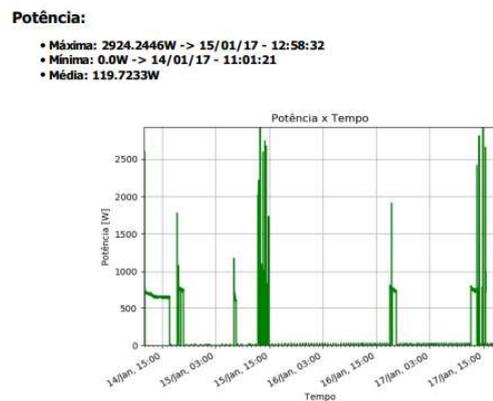
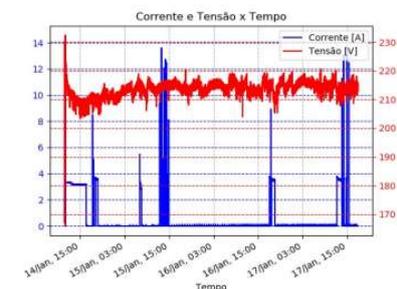


Gráfico junção:



Energia consumida no período: 9.48030865654 kWh
Data de geração do relatório: 10/08/18 - 15:39:55

V. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Após todo o funcionamento do sistema envolvendo software e hardware, foi possível fazer uma análise razoável das condições elétricas de um dado equipamento ou mesmo de uma residência.

Algumas dificuldades foram encontradas com o processo de montagem, sendo as principais as calibrações dos sensores. Por isso, espera-se, conforme seguir o desenvolvimento e aperfeiçoamento desse sistema, conseguir sensores mais estáveis e melhor calibração, para não influenciarem nas medições apropriadas.

Também pretende-se incluir outros sensores em trabalhos futuros, como sensores de temperatura, e sensores que consigam captar o fator de potência da rede, para que se possa fazer o cálculo de todas as potências, acrescentando a reativa e aparente. Além disso, têm-se o objetivo de fazer medições de mais correntes, medindo assim sistemas bifásico e trifásicos.

Todas essas inclusões precisam de um maior processamento do software, por isso pretende-se estudar melhor o algoritmo de processamento de dados atual para que ele seja cada vez mais rápido, objetivando a escalabilidade do sistema.

Outra melhoria é a utilização de módulo de Wifi ou de Bluetooth, de maneira a substituir o uso de cartão SD e se adequar aos conceitos de *Internet of Things (IoT)*.

REFERÊNCIAS

- [1] Links, Cees, “The impact of the IoT demystified”. *The annual review of household appliance design and manufacturing /2017 / volume 6 / página 60*.
- [2] Luiz, Fernando Cesar, (2010). “Smart Grid News”. Acedido em 31 de julho de 2018, em: <http://smartgridnews.com.br/o-que-e-smart-grid>.
- [3] Paris, Demetrius T; Hurd, F Kenneth (1969), “Basic Electromagnetic Theory”, ISBN 0-07-048470-8, New York: McGraw-Hill, pp. 512, 546.
- [4] BÍSKUOLO, Paulo Augusto, “Corrente elétrica: o movimento ordenado de elétrons em condutores”. UOL Educação, 30 de março de 2006. Acedido em 31 de julho de 2018.
- [5] L Gouveia, Rosimar. “Potência Elétrica”. Acedido em 31 de julho de 2018, em: <https://www.todamateria.com.br/potencia-eletrica>.
- [6] Sinais discretos em Transformadas Integrais - Um Livro Colaborativo, mantido pelo Instituto de Matemática e Estatística da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- [7] Kindler, E.; Krivy, I. (2011)., “Object-Oriented Simulation of systems with sophisticated control”. *International Journal of General Systems*: 313–343.
- [8] Marafão, Fernando Pinhabel. "Análise e controle da energia elétrica através de técnicas de processamento digital de sinais." (2004), ainda não publicado.