

## Medidor Inteligente de Consumo de Energia

Mariana Ferreira Damasceno<sup>1</sup>, Kety Rosa de Barros Caparelli<sup>1</sup>, Luciene Chagas de Oliveira<sup>1</sup>, Wallace Oliveira Campos<sup>1</sup>, Thompson Soares Tacon<sup>1</sup>, Deborah Rayely Santos E Souto<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Instituto de Engenharia e Tecnologia – Universidade de Uberaba (UNIUBE)  
CEP: 38.408-343 – Uberlândia – MG – Brasil

marianadamasceno05@yahoo.com.br, ketyrosa@gmail.com,  
lchagasoliveira@gmail.com, wallace.iub@hotmail.com,  
thompsonstacon@hotmail.com, deborahrayely@hotmail.com

**Abstract.** *This paper presents the development of a smart meter, which will hold current measurements and voltage level and execute algorithms to calculate the energy consumption of a given load. The meter consists of two Arduinos, along with other devices that allow current measurements, voltage, power, power factor, among other electrical parameters. Physically, such measurements are selected by buttons and displayed on a touchscreen. Readings processed by the smart meter will be displayed on the screen and you can parameterize the device to disconnect in the event of overloads and even record the history of consumption. The project aims to offer an alternative that allows the presentation, simply, measurement and ensure its shutdown in case of overload.*

**Resumo.** *Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um medidor inteligente, que realizará medições de corrente e nível de tensão e executará algoritmos para calcular o consumo de energia de uma determinada carga. O medidor é constituído por dois Arduinos, juntamente com outros dispositivos que possibilitam as medições de corrente, tensão, potências, fator de potência, entre outras grandezas elétricas. Fisicamente, tais medições são selecionadas por meio de botões e apresentadas em uma tela touchscreen. As leituras processadas pelo medidor inteligente são exibidas na tela e é possível parametrizar o dispositivo para que possa desligar no caso de sobrecargas e ainda registrar o histórico de consumo. O projeto tem por objetivo, oferecer uma alternativa que possibilite a apresentação, de forma simples, das medições e assegurar ao seu desligamento no caso de sobrecargas.*

### 1 INTRODUÇÃO

Durante a evolução dos sistemas elétricos no mundo, destaca-se uma preocupação especial com o processo de medição da energia elétrica.

Na história dos medidores de energia elétrica, observa-se que os primeiros fabricados foram desenvolvidos para realizar, unicamente, as medições de tensão, corrente e potência elétrica. Logo, pode-se citar como um marco histórico a invenção dos medidores de energia elétrica em corrente alternada por Shallenberger, no final do século 19 [DAHLE, 2009]. Pois, desde então, a medição de energia elétrica tem um papel fundamental nas atividades de pesquisa e desenvolvimento para o melhor atendimento as necessidades comerciais.

O medidor inteligente de carga proposto possibilita a medição e a visualização dos dados de consumo, auxiliando no controle das cargas e conseqüentemente na redução do consumo e desperdícios desnecessários.

Atualmente utiliza-se medidores eletromecânicos que podem ter seu visualizador do tipo ponteiro, o qual confere dificuldade no entendimento dos dados pelo usuário. Também é utilizado o medidor tipo ciclométrico que é um pouco menos complexo que o primeiro, porém ambos trabalham apenas com leitura local.

Este projeto propõe uma forma diferente de se medir o consumo de energia elétrica utilizando um protótipo de medidor inteligente de carga que meça a corrente, tensão e o fator de potência. Além disso, seus dados poderão ser visualizados facilmente de forma local (sendo visualizados em um display LCD com *touchscreen*).

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O medidor de energia elétrica é um dispositivo eletromecânico (equipamento eletrônico) que é utilizado pela concessionária (entidade fornecedora de energia elétrica) para medir o consumo de energia elétrica. Este dispositivo está presente na maioria das casas e habitações no mundo moderno e foi criado em 1888 por Oliver Blackburn Shallenberger baseado num medidor de ampère-hora para corrente alternada, passando posteriormente a ser adotado como padrão pela indústria [NETO et al., 2011].

Desde sua invenção, o medidor de quilowatt-hora (kWh) passou a ser utilizado pelas concessionárias para medir o consumo da energia elétrica dos seus consumidores, para isso é utilizado dois tipos de medidores: eletromecânico e eletrônico. O eletromecânico utiliza o princípio da indução eletromagnética para o seu funcionamento e o eletrônico funciona através circuitos integrados, sendo ambos projetados para funcionar em tensões puramente senoidais [NETO et al., 2011].

Segundo Cid Tomanik Pompeu, a “energia de um sistema é o seu potencial de trabalho. A energia elétrica é uma das formas de energia dentro de um sistema; ela corresponde ao produto de uma diferença de potencial (volts) por uma corrente elétrica (ampères) pelo tempo (segundo) em que é fornecida. Assumindo o papel de mercadoria, a energia pode ser objeto de relação jurídica”, sendo considerada pela legislação vigente como bem móvel.

O fator de potência indica a eficiência do uso da energia e é definido matematicamente como a razão entre duas quantidades representadas pela mesma unidade de potência, a potência ativa e a potência aparente, é um número adimensional.

## 3 METODOLOGIA

O sistema proposto é de fácil visualização e interpretação dos dados, pois o usuário terá a exibição de dados num display LCD com *touchscreen* e poderá definir os limites de carga, de consumo entre outras funções. Para a construção de um protótipo de um medidor de carga utilizou-se de dois Arduinos UNO, um sensor de efeito Hall, um RTCbreakoutboard, um medidor de tensão e um relé.

Neste trabalho foram utilizados dois Arduinos Uno R3. Um Arduino para processar as informações provenientes dos sensores de medição (entradas analógicas), que atua no acionamento da carga, gerenciará as informações e o seu armazenamento (memória interna EEPROM). O outro Arduino é responsável por comandar um display para visualização das informações e configurações do dispositivo. Também foi utilizado um sensor de efeito hall (ACS712-20A) que medirá a corrente consumida pela carga. O sensor funciona de maneira invasiva, ou seja, fica em série com a carga. Internamente,

com a passagem de corrente pelo circuito, um campo magnético é gerado e um sensor transforma este campo em diferença de potencial proporcional ao campo gerado.

O RTC breakout board é um circuito pré montado com um relógio de tempo real com o chip DS1307 com 56bytes de RAM. Os dados são acessados via protocolo I<sup>2</sup>C e pode-se ainda utilizar a NVRAM para armazenar dados retentivos, pois o circuito conta com uma pilha para manter os dados na memória. Juntamente a este chip, está disponível também um chip de memória EEPROM AT24C32 de acesso via serial I<sup>2</sup>C que fornece mais 32Kb de armazenamento retentivo para o projeto, totalizando 64Kb para dados retentivos para armazenar as medições.

Devido ao fato dos micros controladores não admitirem sinais negativos em suas I/O's é preciso tratar sinais de características senoidais antes de inserir estes, nos micros controladores. Para “colher” o sinal de tensão da carga foi preciso rebaixar a tensão a um valor dentro da faixa de 5 a 0 v de pico, é utilizado um circuito grampeador para medir a tensão alternada no micro controlador.

O dispositivo ao ser ligado define as interrupções de comunicação e parte para função setup que inicia a comunicação I<sup>2</sup>C como escravo de endereço 2, inicializa o controlador do LCD aguarda o estabelecimento de comunicação com mestre para então receber todos os parâmetros configurados, juntamente com os dados do relógio. Em quanto não recebe estes dados, ele permanece com uma mensagem de stand-by. Em seguida ele cria as telas de interface e exibe os dados e parte para loop onde permanece monitorando os comandos dados no *touchscreen*. Os comandos via *touchscreen* são verificados de acordo com a tela atualmente selecionada e assim são selecionadas as telas, ou alterado valores e parâmetros na memória RAM. Ao ser pressionado a área correspondente ao comando de salvamento, este ativa uma flag que sinaliza para o mestre que um dado foi alterado, exibe uma mensagem ao usuário e aguarda a coleta dos novos dados limpando a mensagem exibida ao serem coletados.

As interrupções de comunicação garantem que os dados não serão perdidos e o escravo responderá sempre que o mestre requisitar dados do dispositivo. Duas interrupções são definidas, a de recebimento de pacotes e a de resposta ao mestre. Ao receber um pacote do mestre, o dispositivo decodifica o primeiro byte e define qual o tipo do pacote, se é de configurações, configurações avançadas, leituras de tempo real, relógio ou ainda um flag para seleção dos dados na requisição de dados. Ao ser requisitado dados pelo mestre, o escravo verifica qual foi a flag enviada pelo mestre e responde com o pacote definido ou com uma flag caso algum parâmetro tenha sido alterado na interface. Estes pacotes de resposta podem conter todos os pacotes anteriormente citados ou ainda somente a flag para sinalizar o mestre de que um dado foi alterado na interface para que ele então requisiute os próximos pacotes.

A Figura 1 mostra o funcionamento do programa principal escravo e a Figura 2 mostra como funciona o loop do programa escravo. Na Figura 3 é mostrado como funciona as interrupções de comunicação.

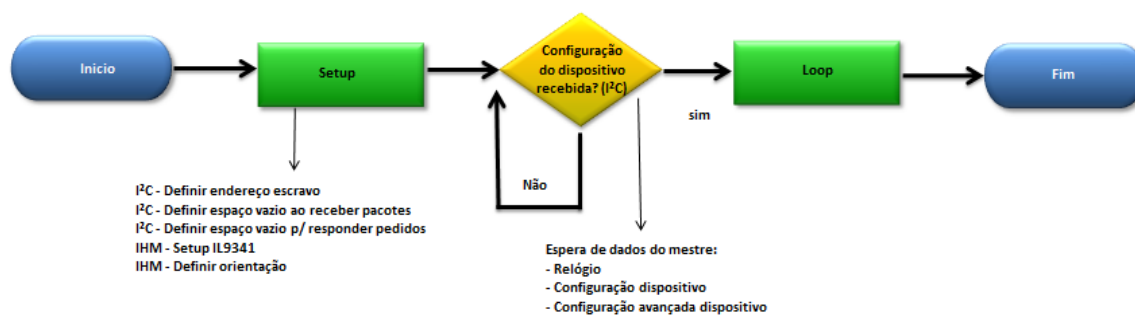


Figura 1 – Fluxograma programa principal – Escravo (Fonte: Autor)

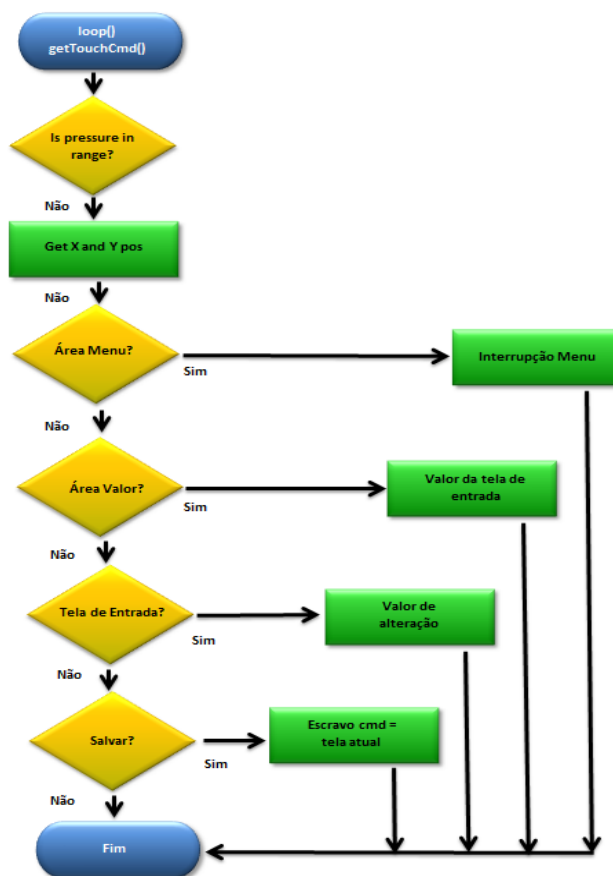


Figura 2 – Fluxograma loop (Fonte: Autor)

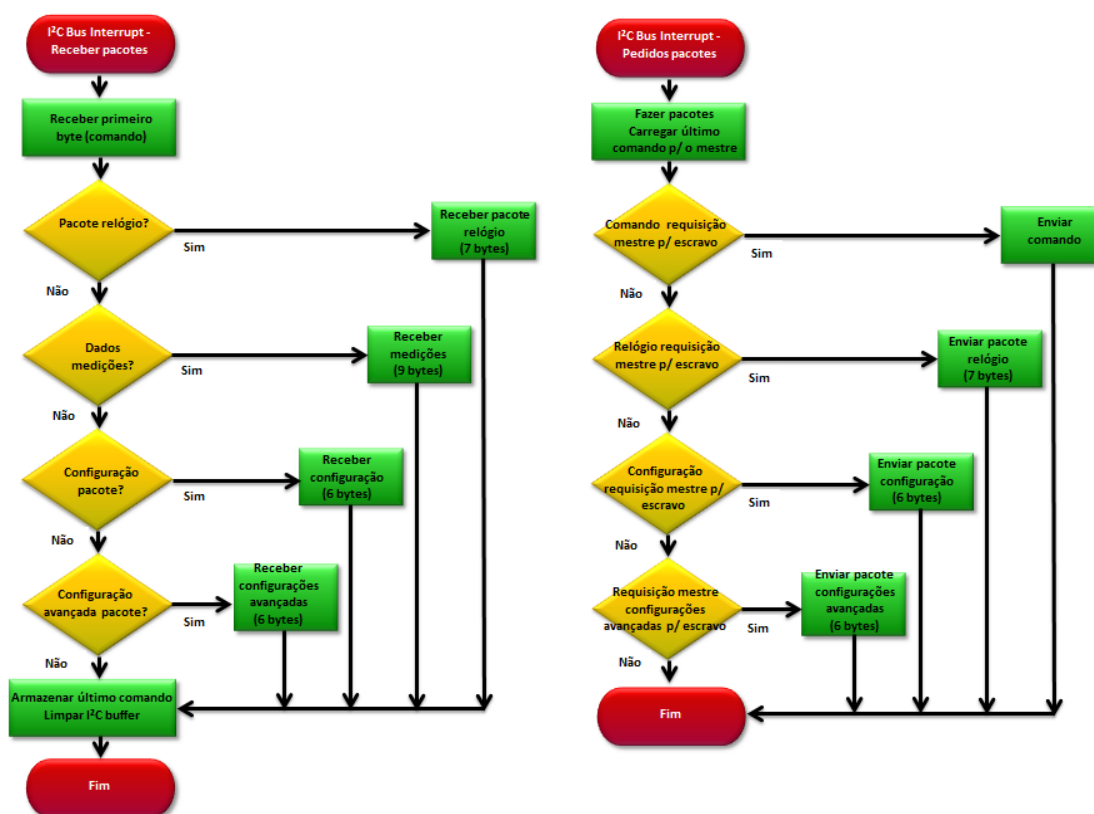


Figura 3 – Fluxograma interrupções de comunicação (Fonte: Autor)

No algoritmo do Arduino mestre se encontra o núcleo de tudo. Sem uma tela poderíamos desenvolver qualquer outra interface que pudesse exibir/alterar os dados, mas a medição, mesmo que fosse utilizado outro recurso (como recursos computacionais – LabView) a ausência do Arduino ou qualquer outro micro controlador, dificultaria a coleta dos dados, uma vez que o mesmo já conta com conversor A/D e comunicação (serial e TWI – two wire interface). Como um dos objetivos é facilitar a vida do usuário, todo o processamento e controle foram colocados dentro deste dispositivo.

Ao inicializa-lo, três tarefas, descritas a seguir, são criadas com um temporizador virtual da plataforma que utiliza o timer0 para esta função. Cada uma delas será abordada individualmente. Em seguida os dados são carregados da EEPROM para a memória RAM e inicia-se a comunicação I<sup>2</sup>C com o escravo. Caso ele não esteja disponível, o mestre ignora a sua ausência e roda as últimas configurações que foram salvas pelo usuário.

- Tarefa relógio: esta tarefa é executada a cada 1000 milissegundos e busca os valores de data e hora via barramento I<sup>2</sup>C do RTC.
- Tarefa comunicação: esta tarefa é executada a cada 1000 milissegundos e faz a comunicação entre o mestre e o escravo. No primeiro instante, o mestre envia um byte para o escravo que corresponde ao comando de requisição de comando do escravo. O próximo passo do mestre é requisitar um byte do escravo que indica se houve algum parâmetro alterado na interface. Este representa o comando do escravo. No próximo passo, o mestre compara este byte (que é um comando do escravo) e requisita mais dados do escravo, de acordo com o parâmetro alterado. Ele enviará um byte de comando novamente para o escravo, que corresponde à requisição de um determinado pacote e requisita os bytes do escravo. Quando o mestre recebe os bytes, ele verifica se a quantidade esta correta, lê os dados para a RAM e depois salva na EEPROM. Em seguida, o mestre envia os dados do relógio e de leitura em tempo real (1 byte de comando e uma sequencia de bytes de dados para cada pacote).
- Tarefa medição e controle: Esta tarefa é temporizada pelo parâmetro de intervalo que é parametrizado pela interface. A cada intervalo de tempo o micro controlador executa a amostragem de acordo com a quantidade de medições definida na interface e busca os valores de pico e médio (para o sensor de corrente) e o numero da amostra em que este pico foi detectado. Estas amostras são medidas por duas entradas analógicas (uma para tensão e outra para corrente). Para ambos, os valores medidos são convertidos em valores de tensão (entrada analógica de tensão) e depois calculados os valores de tensão e corrente correspondente. Para o valor de corrente, o valor de pico é subtraído pelo valor médio (corrente AC) e depois é multiplicado pela sensibilidade do sensor (pelo datasheet, 100mV/A), isso nos dá o valor de corrente de pico do circuito. Ao se dividir pela raiz de 2, temos o valor eficaz de corrente, pois  $I_p = I_{rms} * \sqrt{2}$ . Para a medição de tensão, o circuito medidor tem o seu valor médio de alimentação de 0V em 0V no pino analógico.

Desta maneira, com o pico de tensão do conversor A/D, multiplica-se pela sensibilidade do circuito e divide por raiz de 2, pois  $V_p = V_{rms} * \sqrt{2}$ . O valor de sensibilidade do circuito medidor de tensão foi feito experimentalmente. Aplicou-se tensões de entrada diferente e leu-se os valores de tensão do conversor A/D do Arduino. Em seguida foi feita a relação direta dos valores como pode ser visto abaixo. Para o calculo de fator de potência, foi utilizado a variável do número da amostra em que o pico foi encontrado para cada um dos valores (tensão e corrente) e a sua diferença multiplicada pelo delay causado pelo conversor A/D. Segundo o datasheet do Atmega 328, o oscilador do conversor roda a 125kHz e o mesmo leva 13 ciclos de clock para

realizar a conversão, o que nos gera 104 microssegundos de atraso para cada amostra. Porém, deve-se levar em consideração que o conversor leva um tempo para comutar o canal de medição de um pino para outro. Utilizando a função `micros()` da plataforma, verificou-se que para cada amostra gera-se 112 microssegundos de atraso. Desta maneira, obtêm-se a diferença temporal dos picos e em seguida, transforma-se em radianos, que é utilizado para encontrar o fator de potência da carga. O controle é feito logo em seguida. Caso o controle esteja desabilitado, o relé será acionado deixando a carga funcionar livremente, e o dispositivo permanece apenas exibindo os valores medidos. Caso o controle esteja habilitado, o sistema verificará se a tensão esta dentro da faixa selecionada que é definida pela tensão configurada e a variação suportada em porcentagem, verificando se há sub tensão ou sobre tensão, e se a corrente medida esta abaixo do valor definido na interface, verificando se há sobrecarga. Uma vez que uma dessas falhas ocorre, o sistema desligará o relé e este permanecerá desligado até que o sistema seja desabilitado e habilitado novamente (reset de software) ou o dispositivo seja desligado e religado (reset de hardware).

A Figura 4 mostra o funcionamento do programa principal mestre. A Figuras 5 e a Figura 6 mostram a tarefa de comunicação e a tarefa de medição, respectivamente.



Figura 4 – Fluxograma programa principal – Mestre (Fonte: Autor)



Figura 5 – Fluxograma tarefa comunicação (Fonte: Autor)

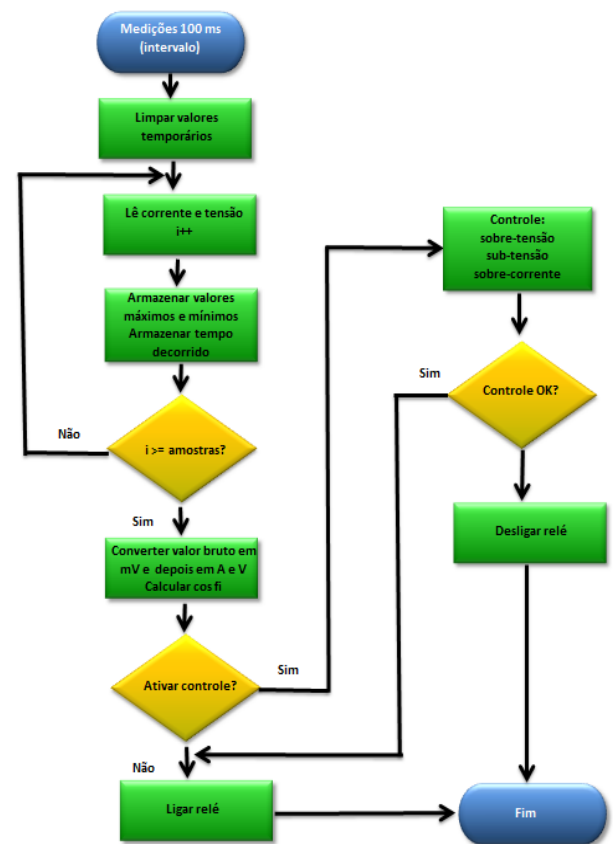


Figura 6 – Fluxograma tarefa medição (Fonte: Autor)

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A interface poderia ter sido qualquer outra tais como software no computador, smartphone, interface web ou outra, mas a escolha de uma tela LCD com touch possibilita a leitura e configuração sem a necessidade de qualquer outro dispositivo. Em contra partida, perde-se capacidade de processamento do micro controlador com a geração dos gráficos da tela, optou-se pela mudança de escopo inicial que era trabalhar com apenas um Atmega328. O registro de histórico e a integração dos valores para que estes fossem armazenados e consultados não foi implementado pela falta de espaço de armazenamento no Arduino responsável pelo controle da interface. O programa final ocupou mais de 31.664 bytes de ROM e 1.054 bytes de RAM.

Para o cálculo do fator de potência, foi utilizado o método de medição do defasamento das senóides de tensão e corrente através da detecção do pico de cada uma delas. No entanto, este método não possibilitou uma medição estável onde os picos, mesmo para carga resistiva, variavam sua posição. Foi definido via software, uma posição temporal fixa para o início das medições, mas ainda sim não conseguiu-se o resultado esperado.

Os algoritmos utilizados juntamente com o sensor ACS712 se mostraram muito precisos para a medição de corrente dos circuitos, além de que a interface possibilita facilmente que o projeto seja portado para cargas com correntes menores ou maiores, ajustando apenas a sensibilidade do sensor utilizado. Esta família de CI possui uma ampla faixa de medição que varia de 5A a 100A. As medições de tensão se mostraram muito eficientes também, com uma ampla faixa de medição que suporta qualquer uma das redes das concessionárias atualmente. O parâmetro de variação de tensão permite que a carga seja protegida por eventuais falhas na alimentação, tanto para sobtensões quanto para sobre tensões com uma ação tão rápida quanto o intervalo programado para as amostragens. Assim, a medição de potência real da carga foi muito precisa (considerando fator de potência 1).



Figura 7 – Interface medidor (Fonte: Autor)

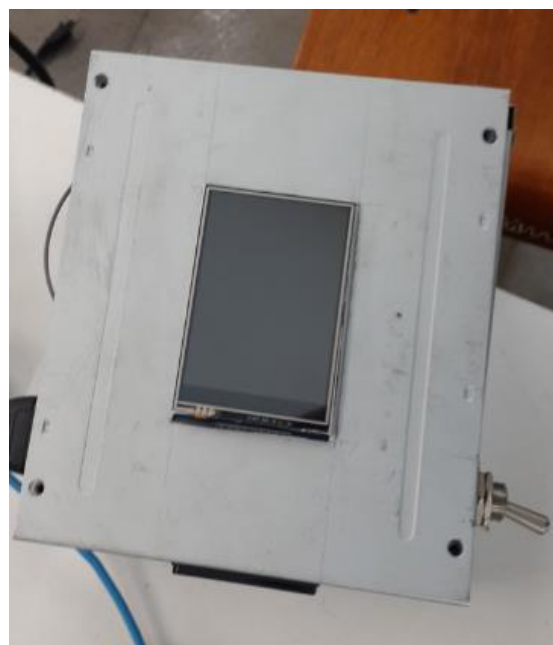


Figura 8 – Medidor estado final (Fonte: Autor)

A Figura 7 mostra a interface do medidor e a Figura 8 mostra o protótipo do medidor inteligente no seu estado final.

## 5 CONCLUSÃO

As medições de corrente com o sensor de efeito hall se mostraram muito eficientes e precisas, facilitando a implementação e a fácil portabilidade para várias faixas de potências. A medição de tensão com o circuito grampeador CC apresentado foi eficaz, no entanto a forma de onda não ficou como o esperado, o que pode ter influenciado a medição do fator de potência pelo cálculo do defasamento de ambas as senóides. O desligamento no caso de sobrecargas obteve sucesso. A necessidade de mudar o controlador para o projeto fica muito evidente, pois o mesmo não possui memória suficiente para as características estabelecidas. O sistema utiliza-se de dois micro controladores para que um deles monitore a carga em tempo real, enquanto o outro encarrega-se de realizar a interface entre o homem e o sistema. O objetivo geral do protótipo de um medidor inteligente de consumo de energia foi atingido e as expectativas foram parcialmente atendidas. Os testes realizados apresentou resultado satisfatório, mas deve-se realizar mais testes.

## REFERÊNCIAS

ALLEGRO MICROSYSTEMS INC. Disponível em: <Fonte: [www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/ACS712-Datasheet.ashx](http://www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/ACS712-Datasheet.ashx)>. Acesso em junho de 2015.

ARDUINO. Disponível em: <Fonte: <http://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>>. Acesso em: junho de 2015.

LANDISGYR EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO LTDA. Disponível em: < Fonte: <http://www.landisgyr.com.br>>. Acesso em abril de 2015.

MARTINS, A.R.S., ALVEAL, Carmem, SANTOS, E.M. et al. Eficiência energética: integrando (WAZLAWICK, 2009) Enciclopédia Saraiva do Direito — Volume 32, pág. 124 — Cid Tomanik Pompeu.

NETO, Daywes Pinheiro; LISITA, Luiz R.; MACHADO, Paulo C. M.; NERYS, José W.; SILVA, Marcelo Rubia da. *Modelação e análise da vida útil (metrológica) de medidores tipo indução de Energia Elétrica Ativa*. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual Paulista. São Paulo. 2010. Disponível em: [http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/pos-graduacao/264-dissertacao\\_marcelo\\_rubia\\_silva.pdf](http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/pos-graduacao/264-dissertacao_marcelo_rubia_silva.pdf). Acesso em junho de 2015.

NIELSON, J.W. Circuitos Elétricos. 6ª.ed.Rio de Janeiro: LTC, 2003. Potência (física). In Infopédia [Em linha]. Porto: Porto Editora, 2003-2013. Disponível em: <URL: [http://www.infopedia.pt/\\$potencia-\(física\)](http://www.infopedia.pt/$potencia-(física))>. Acesso em: junho de 2015.

DAHLE, David. Dave's old Watthour Meder Webpage Dedicated to the history of the watthour mrter in the USA. Disponível em: <<http://www.watthourmeters.com/>>. Acesso em: junho de 2015.