



DISPOSITIVO PARA COLETA REMOTA DE DADOS DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Wilson Daniel Peres de Oliveira¹, Joabel Moia²

Resumo: Este documento aborda o desenvolvimento de um dispositivo para aquisição de informações de corrente e tensão, de dispositivos eletroeletrônicos, com a finalidade de verificar o consumo de energia elétrica. O produto é composto por dois módulos: Um primeiro módulo com a função de obter a corrente drenada pela carga e a tensão aplicada nesta, em um dado instante, com o intuito de calcular o consumo de energia. Um segundo módulo tendo a função centralizadora de receber esses dados e calcular o consumo, disponibilizando essas informações em forma de serviço, permitindo que seja acessada remotamente através de várias plataformas, como por exemplo, o móvel, de forma ágil e rápida.

Palavras-chave: Gestão de consumo de energia. Internet das coisas. Aquisição de dados. Microcontroladores.

Abstract: This document discusses the development of a device for acquiring information of current and voltage, of electrical and electronic devices, in order to verify the consumption of electric energy. The product consists of two modules: A first module with the function of obtaining the current drained by the load and the voltage applied to it, at a given instant, in order to calculate the energy consumption. A second module having the centralizing function of receiving this data and calculating the consumption, making this information available as a service, allowing it to be accessed remotely through various platforms, such as the mobile, in a fast and agile way.

Keywords: Energy consumption management. Internet of things. Data acquisition. Microcontrollers.

¹ Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, IFSC/Florianópolis <wilson.dp.oliveira@gmail.com>.

² Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis <joabel.moia@ifsc.edu.br>.

1 INTRODUÇÃO

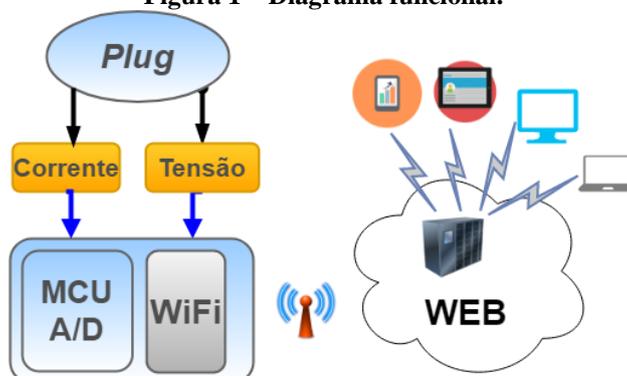
Em um mercado onde o consumo de energia elétrica vem aumentando a cada dia e, sendo seu custo da produção repassado diretamente ao consumidor final, segundo ANEEL (ANEEL, 2017a), torna-se necessária a adoção de ferramentas de gerenciamento de consumo energético. Além disso, o método atual de gestão do consumo é pouco ativo, dado que é feito apenas a cada faturamento da energia consumida.

Pretende-se, com este trabalho, o desenvolvimento de um dispositivo funcional para coleta de dados de consumo de energia elétrica, individualmente de equipamentos eletroeletrônicos, a fim de auxiliar na identificação de possíveis pontos de consumo elevado, buscando o aumento da eficiência energética e a redução de gastos com energia. Neste sentido, o usuário final pode utilizar essas informações para identificar qual equipamento em sua residência, está consumindo energia de forma exagerada, e atuar de maneira preventiva, antes do fechamento da fatura, reduzindo assim o valor a ser pago e aumentando a eficiência.

O equipamento será capaz de coletar amostras de consumo de uma carga ligado a ele e manter esses dados para processamento e tomada de decisão. Para isso será criado um módulo que fará a coleta dos dados de consumo através de sensores e se comunicará via protocolo Wi-Fi com outro módulo, na nuvem, com a tarefa de coordenar o recebimento dos dados coletados, manter as informações levantadas e disponibilizar estes dados aos usuários. Esse trabalho se diferencia das demais versões disponíveis comercialmente por possibilitar o envio dos dados para processamento externo, o que permite uma melhor flexibilidade quanto a metodologias ou equipamentos para o processamento deste tipo de informação.

O produto consiste em dois módulos distintos, sendo apresentado pelo diagrama funcional da Figura 1, onde se observa mais à esquerda o bloco de aquisição e comunicação com o *plug* ao qual será ligada a carga a ser medido pelos respectivos sensores. Ainda nessa parte apresenta em bloco o microcontrolador (MCU) responsável pelas leituras dos sensores e a comunicação com o exterior (Wi-Fi). No lado direito apresenta-se o módulo externo (nuvem) que será responsável pelo processamento dos dados.

Figura 1 – Diagrama funcional.



Foram analisados vários meios de transmissão que pudessem ser utilizados para envio dos dados do coletor para seu processamento e apresentação externo, porém se optou pelo Wi-Fi pela praticidade de configuração e operação além de utilizar rede de transmissão de dados bastante difundida e consolidada.

Quanto à metodologia utilizada para definição do produto optou-se pelo método de Pahl e Beitz (1996) que visa distribuir a concepção do projeto em etapas. Já para a definição dos requisitos do projeto optou-se pela técnica *benchmarking* descrita por Carpes Jr. (2014), onde se verificou os produtos disponíveis no mercado, extraindo-se destes as características comuns imprescindíveis ao novo produto além de nortear a implementação de novas funcionalidades não encontradas nestes.

Todo o desenvolvimento deste produto foi apoiado no estudo da situação brasileira atual no que diz respeito ao processo de tarifação de energia elétrica e ainda em estudos sobre a importância do conhecimento das pessoas sobre o seu real consumo de energia através da utilização de IHDs (do inglês *In-Home Displays*) como forma de disponibilizar informação aos usuários.

1.1 Problemática

O atual método de gestão de energia utilizado pelas concessionárias não permite uma supervisão de maneira eficiente quanto ao uso da energia elétrica no ambiente residencial, antes do recebimento da fatura, dificultando alguma ação que vise reduzir o consumo.

Além disso, a fatura emitida pela distribuidora considera o consumo de todas as cargas do ambiente, de forma global, não permitindo identificar qual equipamento carece de atenção.

Com a utilização de equipamentos adequados que permitam uma aquisição de forma correta e segura das grandezas elétricas envolvidas no funcionamento de equipamentos eletroeletrônicos, seria possível se antecipar ao processo de faturamento com ações preventivas.

Existem no mercado soluções desse gênero, porém, os equipamentos comerciais disponíveis são de difícil utilização, não são portáteis ou ainda, muitos deles se apresentam na forma de *displays* acoplados a *plugs* que, apesar de executarem muitas funções, não permitem uma coleta, armazenamento e processamento sistemático, como é o caso do modelo EG-SSM-01, fabricante ENERGENIE. Ainda, existe um dos poucos modelos nacionais, como o ECONOPLUG, fabricante ONELETRONICOS (ONELETRONICOS, 2018) que, segundo o fabricante, disponibiliza ao equipamento ligado a ele, apenas a energia necessária para o seu funcionamento. Este dispositivo não realiza uma captura de informações de consumo, e sim, efetiva uma redução no consumo, também segundo o fabricante.

Além da necessidade de controle de gastos, identificaram-se alguns pontos-chaves os quais o produto deste trabalho mostra ser aderente às necessidades de mercado:

- **Produto nacional:** Um dos poucos produtos de produção nacional com a função de coleta de dados de consumo de equipamentos individuais, podendo competir com outras soluções importadas.
- **Facilidade de instalação:** Estes módulos poderão ser facilmente instalados sem a necessidade de conhecimentos técnicos ou ainda a intervenção invasiva, por se tratar de um dispositivo que se conecta diretamente à tomada.

- **Escalabilidade:** Módulos coletores individuais por carga a ser medida, permitem que o sistema seja expandido com facilidade, e adaptado a diferentes ambientes que possuam acesso a rede Wi-Fi.
- **Coleta de diversas grandezas:** A arquitetura utilizada na confecção deste dispositivo permite além da coleta de dados de consumo, a adaptação futura para integrar outros sensores com o intuito de medir, por exemplo, qualidade do ar, temperatura de uma área para dimensionar o uso de ar-condicionado etc.

2 METODOLOGIA

No desenvolvimento deste projeto optou-se pela metodologia definida segundo Pahl e Beitz (1996) onde se têm quatro fases distintas que são descritas segundo Carpes Jr. (2014):

- **Informacional:** Visa identificar e analisar as necessidades de consumo, descrever a ideia do produto e determinar os requisitos e especificações do projeto, tendo como saída uma lista de especificações.
- **Conceitual:** Objetiva gerar os princípios/conceitos de solução viável para o produto. São elaborados os princípios alternativos para a solução, utilizando técnicas de criatividade.
- **Preliminar:** Busca determinar a configuração do produto, através dos princípios de solução encontrados. Tem como função nortear o cumprimento das especificações, mantendo a ideia de desenvolver um produto simples e claro em sua essência.
- **Detalhado:** Tem a função de gerar documentação capaz de permitir a produção do produto. Inclui informações sobre configuração do produto, dimensões e tolerância de componentes, seleção de materiais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Tarifação no Brasil

Atualmente a energia elétrica disponível e condicionada para consumo passa por um longo processo que envolve geração, transmissão e distribuição, além da emergente geração distribuída por meio de painéis fotovoltaicos, geração eólica, entre outras. Tudo isso requer organização, cumprimento de regras, normas e contratos, envolvendo governos e empresas com o intuito de atender o consumidor final com qualidade.

Assim, no Brasil, uma parcela grande da organização de ordem técnica e estrutural é realizada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) que procura cumprir o dever de coordenar tudo o que está contido ou diz respeito à disponibilidade deste serviço.

A tarifação da energia elétrica consumida busca garantir às empresas que a produzem ou distribuem valores suficientes para manter os custos operacionais e permitir investimentos necessários à expansão da capacidade com qualidade.

Para atender com sua obrigação contratada de suprir com energia a totalidade do mercado a ela designada, a distribuidora repassa aos consumidores em geral, mensalmente, um valor faturado de energia composta por três partes segundo ANEEL (ANEEL, 2017a):

- Parcela A: Compra da energia gerada, transmissão e encargos setoriais;
- Parcela B: Despesas com distribuição;
- Tributos Federais, Estaduais e Municipais.

Segundo a ANEEL (ANEEL, 2017a), na “Parcela A”, consta “Compra de energia”, que é a adoção pela distribuidora, de uma das diversas modalidades de aquisição da energia gerada e disponibilizada para comercialização.

Para fins de cálculo tarifário, a “Parcela B” é composta de Custos Operacionais (atividades de operação, manutenção, tarefas comerciais e administrativas, como os custos com leitura e entrega de faturas, vistoria de unidades consumidoras, podas de árvores, operação de subestações, combate às perdas, administração e contabilidade) (ANEEL, 2017b), só para citar algumas.

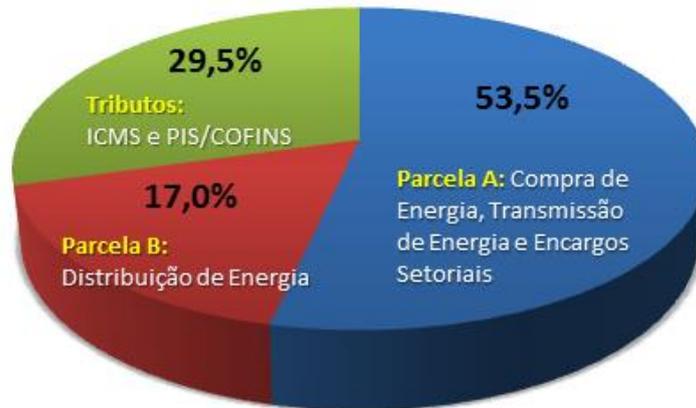
Dentre os tributos cobrados pelos governos estão PIS/COFINS, o ICMS e a Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública. A Figura 2 apresenta os percentuais que compõem o valor da energia elétrica no Brasil.

3.2 Bandeiras Tarifárias

Diferente dos demais países do mundo, no Brasil optou-se pela massiva utilização do potencial hídrico existente para produção de energia elétrica. Porém, as constantes secas e condições climáticas de difícil

previsão acabam por proporcionar uma queda no rendimento das hidroelétricas devido a diminuição nos reservatórios ou ainda no fluxo de água nos rios.

Figura 2 – Composição do preço da energia elétrica (ANEEL, 2017a).



Quando esses fatos ocorrem, a contrapartida adotada é o aumento no uso de usinas termelétricas para compensar a queda na produção e manter a disponibilidade de energia. Porém essa é uma energia tipicamente mais cara que a fonte hídrica, e o custo excedente para a produção de energia é repassado ao consumidor pela adoção do Sistema de Bandeiras Tarifárias (ANEEL, 2017c) onde é feita uma alusão ao sistema de semáforos utilizado no trânsito, onde:

- **Bandeira verde:** condições favoráveis de geração de energia. A tarifa não sofre nenhum acréscimo;
- **Bandeira amarela:** condições de geração menos favoráveis. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,020 para cada quilowatt-hora (kWh) consumido;
- **Bandeira vermelha – Patamar 1:** condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,030 para cada quilowatt-hora (kWh) consumido.
- **Bandeira vermelha – Patamar 2:** condições ainda mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,035 para cada quilowatt-hora (kWh) consumido.

A exceção é o estado de Roraima que não pertence ao Sistema Interligado Nacional (ONS, 2017).

3.3 Tarifa Branca

Como já adotado em outras partes do mundo, a regra de tarifação conhecida como “Tarifa Branca” (ANEEL, 2018) que pretende ser uma alternativa que permita aos consumidores ter sua variação do valor da energia conforme o dia e o horário do consumo. Para isso os valores podem variar em três horários do dia que são “ponta”, “intermediário” e “fora de ponta”. Durante o período de “ponta” e “intermediário” a energia terá maior valor devido a demanda. Quando for “fora de ponta”, haverá uma consequente diminuição de valores. Haverá também diferenciação quanto a dias normais, feriados e fins de semana. Durante os fins de semana e feriados nacionais, o valor sempre será “fora de ponta”.

3.4 Aspectos sociais e mercadológicos

Considerada um bem imprescindível para o mundo moderno, seja do ponto de vista pessoal na questão do uso de bens de consumo eletroeletrônicos, seja no âmbito coletivo, como fonte de energia que impulsiona a sociedade, o uso da energia elétrica deve ser tratado com parcimônia. Isto, pois sua geração utiliza muitos recursos naturais, devendo ser mais bem aproveitada em todos os setores.

3.4.1 Impacto social do uso consciente da energia elétrica

Alguns estudos como em Faruqui (2010), indicam que o uso de IHDs como forma de disponibilizar informação aos usuários domésticos, pode promover uma mudança de atitude quanto ao consumo de energia sendo possível uma redução no gasto em torno de 5 a 20%.

Faruqui (2010) relata que a revolução digital recente, traz novos dispositivos sendo introduzidos no mercado a cada dia, que possibilitam aos consumidores saber para onde sua energia está indo. Sabendo disso, poderiam controlar melhor seu uso, baixar o valor gasto com energia elétrica e ainda ajudar a reduzir a emissão de carbono.

O uso de IHDs é incentivado em alguns locais do mundo, seja por governos ou mesmo pelas concessionárias de energia, sendo vistos, mesmo que em menor escala, como dispositivos de uso rotineiro.

Como meio de informar ao consumidor seu consumo de energia existe o método conhecido como “*feedback* indireto” que acontece via faturamento e cobrança mensal, realizado pelas distribuidoras. Em contrapartida existe o “*feedback* direto” que considera o consumo da residência como um todo, tanto na forma de valores quanto em quantidade consumida em unidades de energia (kWh). O *feedback* direto vem ao encontro do conceito de *smart grid*, IoT (*Internet of Things*) e *smart home*, ajuda a transformar a estática e complicada fatura de energia em um processo transparente, dinâmico e controlável.

O estudo descrito em Faruqui (2010) informa ainda que a diminuição no consumo de energia elétrica beneficia não somente consumidores que, obtém vantagens financeiras através da diminuição do valor pago da fatura, mas também as concessionárias que contribuem para uma diminuição na emissão de carbono e ainda diminuem a necessidade de investimentos em aumento da capacidade de transmissão e distribuição.

Concluiu-se com isso que o *feedback* direto desempenha o papel principal na conscientização das pessoas quanto ao consumo de energia, podendo gerar economias na ordem de 10%, conforme Darby (2001). O ganho maior, porém, está no aprendizado que pode impactar diretamente no estilo de vida das pessoas.

3.4.2 Faz sentido confrontar a distribuidora?

Essa pergunta vem à mente quando se depara com valores faturados que se acredita não condizer com a realidade, podendo ser fruto de métodos falhos de aquisição de dados, pelo fato dessa coleta ser na maioria das vezes executada manualmente por um operador, problemas de ordem técnica na instalação elétrica do imóvel ou ainda algum outro fator. A solução seria partir para algum processo de auditoria que posso dirimir essa dúvida.

No Brasil, a ANEEL, através da Resolução Normativa nº 414/2010 (ANEEL, 2010), define que o cliente das distribuidoras tem o direito de solicitar a aferição do seu medidor de energia elétrica, o que deve ser realizado num prazo de 30 dias. Caso não seja constatada nenhuma irregularidade, o cliente poderá ainda solicitar que o medidor seja inspecionado por algum órgão metrológico, sendo passível a partir de então, a cobrança de custas por frete e procedimento de aferição. Ainda nesse ponto, se for constatada irregularidade que excedam os limites estabelecidos, as custas ficam a cargo da distribuidora, caso contrário, quem paga é o cliente.

Esse processo pode ser longo e tedioso. Mas então: pode haver alguma forma de auditoria via meios próprios do cliente?

Neste ponto, os equipamentos que forneçam *feedback* de consumo podem entrar em ação, como já mencionado em Darby (2001):

- Agilizando as análises;
- Ao tempo do cliente;
- Geram dados que podem ser usados pelos indivíduos que ocupam o local, como forma de incentivo à mudança de hábitos.

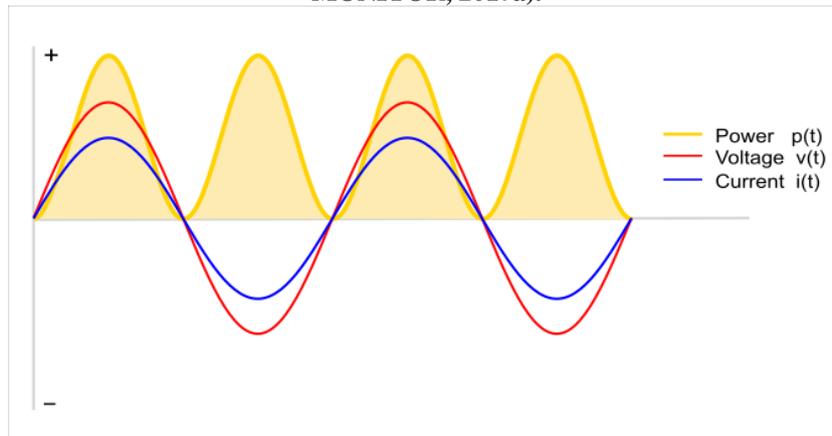
Por outro lado, caso se constate algo substancial, pode ser que as distribuidoras não aceitam essa informação imediatamente, podendo haver contestação e exigência de certificação do equipamento usado na análise ou ainda pelo fato de não haver ainda na legislação brasileira, alguma regulamentação que aceite esse tipo de contrapartida técnica.

3.5 O cálculo de consumo

Quando se pensa no consumo de energia elétrica de equipamentos eletroeletrônicos, antes de tudo, é preciso identificar as grandezas envolvidas e sua relação. Conforme Open Energy Monitor (2017a), os equipamentos eletrônicos têm sua interação com a rede elétrica de formas diferentes, sendo comumente categorizados segundo ao uso da energia em:

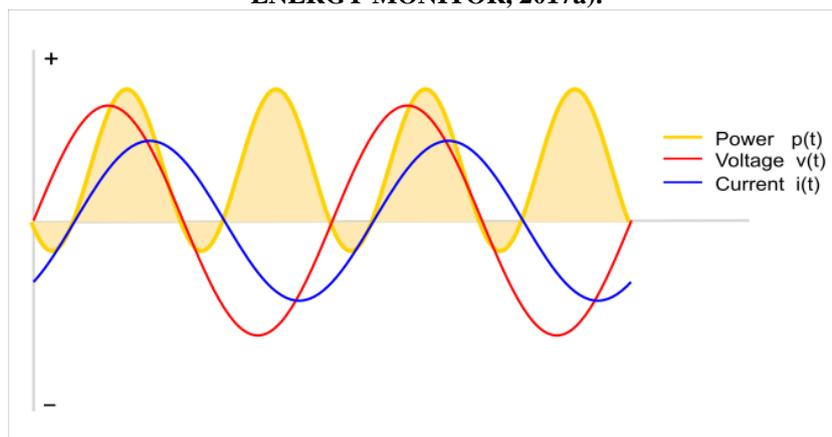
- **Cargas resistivas:** São as lâmpadas incandescentes, ferro de passar roupa, chuveiro, chaleiras, fornos etc. Têm por característica consumir toda a energia que lhes for disponível, transformando-a geralmente em calor. A Figura 3 demonstra que para esse tipo de carga, a potência instantânea é sempre positiva e igual ao produto da tensão pela corrente drenada.

Figura 3 – Relações de tensão e corrente em uma carga resistiva (OPEN ENERGY MONITOR, 2017a).



- **Cargas parcialmente reativas:** Entre estas podem ser citadas as máquinas com motores elétricos, equipamentos de solda, entre outros, tendo a principal característica possuírem além da carga resistiva, elementos indutivos/capacitivos. Neste caso, como demonstrado na Figura 4, a potência é hora absorvida pela carga, hora expelida, pois o elemento indutivo deve ser “carregado lentamente” enquanto a tensão sobe e quando a tensão do sistema diminui (sendo menor que aquela mantida pelo indutor), a corrente tende a “voltar” do indutor para o sistema.

Figura 4 – Relações de tensão e corrente em uma carga parcialmente reativa (OPEN ENERGY MONITOR, 2017a).



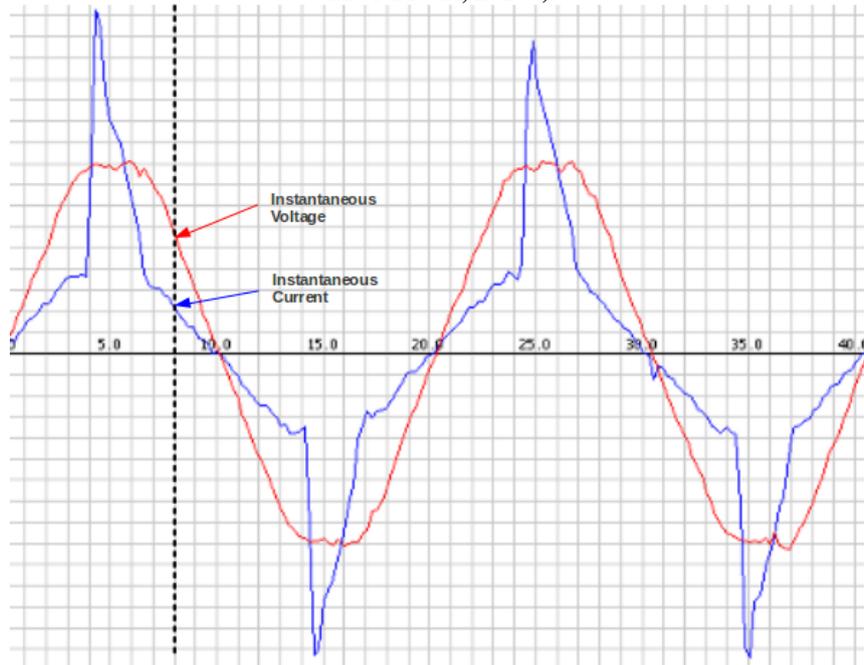
- **Cargas não-lineares:** São dispositivos que distorcem a forma de onda da corrente/tensão, pois fazem uso de elementos operando em região não linear, caso dos semicondutores. Estas cargas processam a eletricidade de forma a condicionar a energia para uma utilidade específica. Os exemplos mais comuns são fontes chaveadas, conversores/inversores de frequência, retificadores a filtro capacitivo sem correção do fator de potência etc. Uma representação da forma de onda nestes casos é mostrada na Figura 5.

Considera-se potência ativa a quantidade de energia que é capaz de gerar trabalho, e a energia elétrica em residências e comércio é dada pela potência ativa por um determinado tempo.

Para o cálculo de consumo, deve-se considerar que a tensão e a corrente aplicada na carga, na frequência de 60 Hz, onde é preciso adquirir seus valores de tempos em tempos. Essa aquisição permite calcular a potência instantânea, e ainda, gerar uma média destas potências instantâneas para ter o valor da potência ativa (real).

Ainda, existe certa quantidade de potência que não produz trabalho, geralmente existente nas cargas totalmente ou parcialmente reativas onde existem elementos indutivos e/ou capacitivos que ocorre troca de energia com a rede elétrica. Nesse caso tem-se a potência reativa. Por fim, existe uma parcela de potência reativa oriunda das harmônicas geradas nas correntes das cargas não lineares.

Figura 5 – Forma de onda representativa de cargas não-lineares (OPEN ENERGY MONITOR, 2017a).



4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DO PRODUTO

As quatro fases do projeto são descritas a seguir:

4.1 Projeto Informacional

Esta etapa utiliza alguns métodos a fim de identificar as necessidades do público-alvo e procura ainda a descrever ideia na qual o produto está fundamentado a fim de elaborar uma lista com os requisitos do projeto.

4.1.1 Percepção das necessidades do consumidor

A aplicação do método de Carpes Jr. (1995) permite ter uma percepção antecipada da necessidade do consumidor, possibilitando ser suprida pelo novo produto. Aplicadas as oito etapas, segue o resultado:

- **Definição do caso a ser estudado:** Oferta de um dispositivo que colete informações de consumo de energia elétrica, de uma carga ligada a ele, para melhor controle do consumo energético.
- **Definição do mercado de atuação:** O dispositivo se destina à operação em ambiente residencial. Futuramente, a mesma arquitetura poderá ser utilizada no sensoriamento de outras grandezas e em diferentes ambientes.
- **Definição dos clientes:** Através da técnica de *brainstorming*, identificou a necessidade de um equipamento visando o mercado de consumidores de energia no ambiente residencial que se preocupam com seu gasto com energia elétrica.
- **Coleta de informações:** Sendo um bem indispensável que além de tudo, demanda muitos recursos para sua produção, identificou-se uma tendência crescente de ter seu consumo monitorado, inclusive e especialmente na situação brasileira atual onde existem taxas extras que incidem sobre a energia elétrica e que estão relacionadas com o modelo de produção adotado no país.
- **Pesquisa e avaliação das mudanças ocorridas:** Em pesquisa em sites de compra, verificaram-se no mercado brasileiro, muitas opções de equipamentos com essa finalidade, na sua imensa maioria importados, porém que não permitem uma coleta sistemática destes dados de consumo.
- **Pesquisa e avaliação das alterações percebidas:** No Brasil, a disponibilidade de energia pode variar devido a fatores climáticos, e por isso sofre sobretaxas que impactam diretamente o consumidor final.
- **Concepção e avaliação das formas de adaptação:** Utilização de um dispositivo para coleta de dados de consumo por equipamento, em ambientes residenciais, permite identificar quais equipamentos oneram mais a conta de energia.
- **Concepção e avaliação das ideias de produto:** É desejável que o produto seja de fácil instalação, permitindo trocar de tomada e assim medir o consumo de diferentes equipamentos caseiros. É

importante também verificar esses dados sistematicamente, armazenando-os a fim de comparação ao longo do tempo.

4.1.2 Descrição da ideia de produto

A ideia é que este novo produto de produção nacional, seja aderente ao mercado, suprimindo às necessidades que os concorrentes não estão oferecendo.

Considerando as características de produtos similares, constatou-se que o novo produto deve ser de fácil configuração e instalação, sendo conectado entre a tomada e a carga, efetuar a coleta e envio dos dados para processamento, armazenamento e visualização em dispositivos móveis ou microcomputadores.

4.1.3 Requisitos de projeto

Para o levantamento dos requisitos foi utilizado o método de *benchmarking*, conforme Carpes Jr. (2014), que se baseia na análise de produtos similares ou concorrentes, com o objetivo de identificar pontos positivos e relacionar as melhores características encontradas, aos requisitos. Este método mostrou que dentre os concorrentes analisados, a esmagadora maioria à venda no Brasil, é importado.

A Tabela 1 apresenta alguns dispositivos pesquisados, evidenciando algumas semelhanças presentes em praticamente todos os modelos. São conhecidos como *energy cost plugs* ou “*plugs* de custo da energia”, apresentando basicamente um *plug* onde é conectada a carga que se pretende medir.

Tabela 1 – Comparativo entre concorrentes.

Produto	Tipo	Características	Armazenamento	Transmissão
Medidor de Consumo de Energia JD20-IO2	Comercial Nacional	Display: 7 dígitos; 1 tomada; Corrente Nominal: 80 A; Invasivo; Mostra apenas consumo em kWh; Uso comercial, residencial e industrial;	Interno	Emissão pulsos
Micro Power Monitor GM86	Comercial Importado	Display: 7 dígitos; 1 tomada; Corrente Nominal: 10 A; Não Invasivo;	Interno	n/a
Kill A Watt - P4400	Comercial Importado	Display: 7 dígitos; 1 tomada; Corrente Nominal: 15 A; Não Invasivo;	Interno	n/a
Kill A Watt PS-10 - P4330	Comercial Importado	Display: 2,8"; 10 tomadas; Corrente Nominal: 15 A; Não Invasivo;	Interno	n/a
EG-SSM-01	Comercial Importado	Display: 2,8"; 1 tomadas; Corrente Nominal: 16 A; Não Invasivo;	Interno	n/a
EmonPI	Open Source	Display: 12x2 seg; Conecta 2 TCs; Não Invasivo; Suporta Sensor de Temperatura	Interno/Externo	Wi-Fi/Ethernet
EmonTX	Open Source	Sem display; Conecta 4 TCs; Não Invasivo; Suporta Sensor de Pulso Ótico/Temperatura	n/a	Radio 433 MHz

Também é possível verificar que poucos apresentam a característica de armazenamento de dados coletados, para processamento e extração de informações úteis, sendo que a maioria disponibiliza apenas os dados em display e os armazena internamente.

A Figura 6 apresenta um exemplo de dispositivo disponível no mercado, o EG-SSM-01 (ENERGENIE) como descrito acima, com *display* mostrando o tempo em uso e a potência consumida.

Figura 6 – Exemplo de equipamento (EG-SSM-01) disponível no mercado (ENERGENIE, 2017).



Os sistemas do tipo *open source* crescem a cada dia, impulsionados por novas tecnologias e por outro movimento forte conhecido como “faça você mesmo” (do inglês, *do it yourself*) ou simplesmente DIY, destaca-se o Open Energy Monitor (OPEN ENERGY MONITOR, 2017b) que é composto de vários módulos com o objetivo de monitorar energia, umidade e temperatura. Tal produto disponibiliza módulos isolados, responsáveis pela conexão dos sensores, envio de dados via rádio, além de um sistema Web para visualização de toda essa informação. A Figura 7 mostra o módulo de aquisição conhecido como EmonPI, que é disponibilizado pronto, para compra ou em forma de projeto *open source*.

Figura 7 – Exemplo de equipamento *open source* (OPEN ENERGY MONITOR, 2017b).



Sendo assim os requisitos principais levantados foram:

- a) Disponibilidade de *plug* para conexão da carga a ser medida;
- b) Possibilitar o monitoramento de cargas com corrente nominal compatível com os equipamentos residenciais mais comuns, em torno de 20 A;
- c) Calcular e disponibilizar informações de potência real, potência aparente, fator de potência e tempo em uso;
- d) Exportar os dados coletados para armazenamento, processamento e visualização;
- e) Permitir armazenamento das aquisições ao longo do tempo possibilitando a comparação (histórico de consumo);
- f) Apresentar os dados processados de forma fácil e direta aos clientes através de interface amigável por dispositivos móveis ou microcomputadores.

4.2 Projeto Conceitual

Com o objetivo de gerar soluções viáveis para o desenvolvimento do produto, os requisitos levantados na etapa anterior são analisados a fim de definir melhor o produto segundo sua forma de utilização e funcionamento, conforme Carpes Jr. (2014).

Porém foi necessária a adoção de uma ferramenta mais específica como o diagrama de síntese de funções, descrito por Pahl e Beitz (1996), com o objetivo de definir a função principal do produto. Essa função principal, então, pode ser subdividida a fim de identificar as funcionalidades básicas que serão executadas por cada bloco e comporão o produto. A estrutura funcional deste produto é mostrada na Figura 8 e divide hierarquicamente o produto, possibilitando enfatizar cada função e assim facilitar a busca por alternativas viáveis no desenvolvimento de cada parte.

Figura 8 – Diagrama de Síntese de Funções.



4.2.1 Especificação do ambiente externo de operação

O módulo coletor será instalado prioritariamente em um invólucro com um *plug* tipo N (IEC 2018), o qual conecta o produto à tomada e um soquete do mesmo padrão onde se conecta carga a ser medida.

4.2.2 Especificação das entradas e saídas do sistema

A Tabela 2 apresenta os artefatos de entrada e saída necessários ao sistema implementado pelo produto proposto. Assim sendo foram verificadas alternativas viáveis para cada subfunção do produto, que serão descritas a seguir.

Tabela 2 – Entradas e saídas do sistema proposto.

Módulo	Tipo	Entradas	Saídas
Aquisição	Medição de Corrente	Sensor de corrente de efeito hall ACS723	Retorno da informação medida de corrente e o momento em que ocorreu para cálculo da potência instantânea.
Aquisição	Medição de Tensão	Circuito condicionador de tensão com divisor resistivo e ampop	Retorno da informação medida de tensão e o momento em que ocorreu, para os cálculos de potência instantânea.
Web	Interfaceamento	Comunicação com os módulos coletores através de <i>webservice</i>	Persistência dos dados
Web	Processamento	Utilização dos dados históricos armazenados para calcular o consumo de energia	Disponibiliza os dados históricos de medição para consulta via <i>webservice</i> ou página HTML específica

Sensoriamento

Conforme visto em Petry (2014), para a medição da tensão é necessário reduzir dos 127/220 V eficaz nominais da rede elétrica para um nível em adequado ao circuito A/D do microcontrolador a ser utilizado. Para isso existem várias possibilidades, componentes e técnicas onde se podem citar a utilização de sensores que implementam essa funcionalidade, transformadores associados a retificadores com diodos, dentre outras. A opção escolhida para esse equipamento foi a confecção de um circuito baseado em amplificador operacional e resistores, o qual permite que seja implementado um circuito de baixo custo, com tamanho reduzido, comparado ao uso de transformador, que evita as quedas de tensão típicas, sem o uso de retificadores de precisão no circuito desejado.

Quanto à aquisição de corrente consumida, as possibilidades levantadas foram a utilização de transformador de corrente que é um dispositivo que reproduz no seu circuito secundário, uma amostra da corrente que circula no enrolamento primário. A outra opção é o uso de um circuito integrado capaz de medir a corrente pelo efeito Hall, onde a corrente que flui através de um condutor de cobre, gera um campo magnético que é convertido em uma tensão proporcional (ALLEGRO MICROSYSTEMS, 2018). A opção escolhida para esse produto foi o componente ACS723 da Allegro Microsystems, pelas características de tamanho reduzido, precisão e cobertura de uma grande faixa de medição de corrente (considerando-se sua capacidade de 40 A) necessária ao requisito de uso residencial.

Processamento e comunicação

Um dos requisitos do produto é o envio dos dados coletados, para processamento externo. Porém, antes disso, é preciso algum microcontrolador para comandar o processo de amostragem, gerenciamento dos sensores e empacotamento dos dados para envio, e outro componente ou circuito para o envio desses dados. Existem atualmente muitas tecnologias para o envio de dados, entre elas o protocolo IEEE 802.15.1 (Bluetooth), radiofrequência operando a 2,4 GHz, protocolo IEEE 802.11x (Wi-Fi) ou ainda o IEEE 802.15.4 (ZigBee). Entre os microcontroladores verificados, optou-se pelo microcontrolador ESP8266 da Expressif com excelente capacidade de processamento, a um baixo custo e ainda já implementa o protocolo IEEE 802.11x. Porém, com a adoção desse microcontrolador, existe o problema de o ESP8266 apresentar apenas uma porta analógica, o que impediria sua utilização no projeto, sendo necessária alguma alternativa.

Se poderia lançar mão de algum conversor analógico-digital, como o circuito integrado ADS1115 (TEXAS INSTRUMENTS, 2017), de 4 portas, 16 bits, que se comunicaria com o ESP8266 via interface I²C. Com este módulo extra, seria possível ler os dois sensores analógicos, a uma taxa entre 8 e 826 SPS, o que permitiria uma boa amostragem dos sinais coletados.

Entre os benefícios do uso desse módulo está o fato da referência de tensão para a entrada analógica ficar entre $GND - 0,3\text{ V}$ e $VDD + 0,3\text{ V}$, estando o valor máximo dependente apenas da tensão de alimentação, que pode variar de 2,0 a 5,5 V. Isso facilita em muito a leitura dos sensores, uma vez que o ACS723 trabalha nessa amplitude de tensões e o sensor de tensão é de autoria própria, podendo ser diretamente dimensionado para esses limites.

Outra forma de estender o número de portas seria por meio de outro microcontrolador como, por exemplo, o ATtiny85 (MICROCHIP, 2018a) ou o ATmega328 (MICROCHIP, 2018b), conectando ao ESP8266 via serial (RX/TX). Os prós dessa abordagem seria a divisão de tarefas, ficando a cargo do ESP, a comunicação com a rede Wi-Fi e ao outro microcontrolador, o sensoriamento. Os contras se encontram no fato de adicionar mais componentes que aumentariam o custo do produto, e ainda haver a manutenção em dois códigos-fonte diferentes.

No entanto a alternativa adotada foi de adicionar um *chip* multiplexador analógico como o 74HC4052 (NEXPERIA, 2018), expandindo a capacidade do sistema para oito entradas analógicas.

Interface com usuário

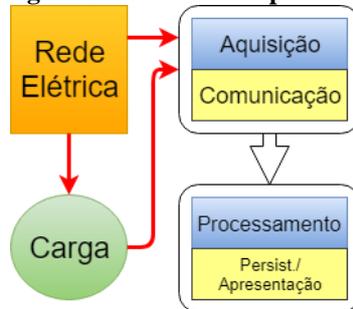
A apresentação dos dados ao cliente será por meio de uma aplicação Web que pode ser acessada por um *browser* ou mesmo um dispositivo móvel. Essa interface apresentará os dados de consumo (coletados pelos sensores), e ainda permitirá uma comparação histórica dos dados em forma de gráficos que representarão a variação do consumo durante o período escolhido.

A visualização das informações coletadas será feita através de um *dashboard* mantido por uma aplicação Web que poderá ser instalada localmente ou na nuvem, através de página Web com autenticação de usuário, onde poderão ser acessados os dados de potência adquiridos.

4.3 Projeto Preliminar

Para este produto, optou-se por uma abordagem modular, a qual permite, como já dito, uma melhor flexibilidade quanto a metodologias ou equipamentos para o processamento deste tipo de informação. Os módulos são apresentados na Figura 9.

Figura 9 – Módulos do produto.



Como se tratam de módulos distintos e separados fisicamente, essa arquitetura permite que a mesma solução seja adotada para diferentes tipos de produtos.

Conforme Carpes Jr. (2014), por se tratar de módulos que possuem apenas relacionamento funcional e não físico, é necessário o estabelecimento de uma interface que possibilite a intercomunicação entre eles, no caso deste produto essa interface ficará a cargo da comunicação via Wi-Fi através do consumo de *webservices*.

4.4 Projeto Detalhado

O detalhamento deste projeto será na forma de um conjunto de informações sobre a configuração do produto, seleção de componentes e definição da relação desses componentes no produto.

4.4.1 Medições da Corrente e Tensão

A seguir serão descritos os componentes utilizados no sensoriamento.

Sensor de corrente de Efeito Hall

Para medir a corrente que circula pela carga e assim poder calcular o consumo da energia, será utilizado um sensor de corrente modelo ACS723 (ALLEGRO MICROSYSTEMS, 2018) com o *part number* ACS723LLCTR-40AB-T. Tal sensor que tem como características tamanho reduzido e ótima precisão,

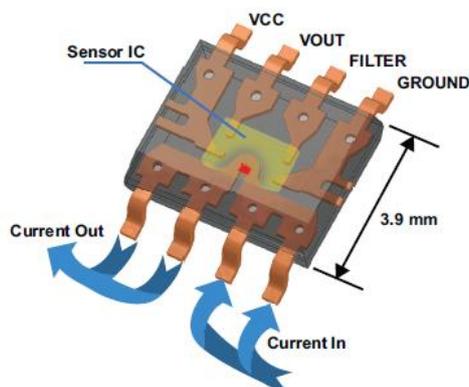
abrindo uma grande faixa de medição de corrente. Considerando-se sua capacidade de 40 A, em uma aplicação residencial, seria possível medir uma carga de até 3.590 W em 127 V ou 6.220 W em 220 V. Ainda, apresenta isolação elétrica de 2.400 V, rápido tempo de resposta e linearidade em toda a faixa de medição. A Figura 10 apresenta em corte, uma visão interna do circuito integrado onde podem ser observadas as setas em azul identificando o fluxo da corrente elétrica a ser medida e no meio sensor propriamente dito.

Especificações:

- Faixa de medição: ± 40 A.
- Alimentação: 5 V.
- Tempo de resposta de 5 μ s.
- Saída analógica proporcional de 50 mV/A.

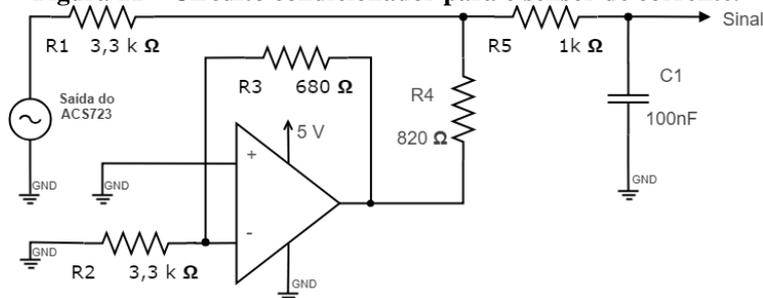
O conversor A/D do ESP8266 suporta tensões na faixa de 0 até 1 V. Como essa tensão para a entrada do A/D é máxima, considerando pico-a-pico do rebaixamento da tensão da rede elétrica, pode-se utilizar a tensão média (*offset*) de 2,5 V do próprio sensor de corrente. Desta forma pode ser associado à tensão de 0 V do A/D com o valor do pico negativo da corrente medida do equipamento e o teto de 1 V associado com o pico positivo da corrente, na condição de variação máxima de corrente drenada pelo equipamento sobre análise, atendendo assim a faixa completa de valores possíveis de conversão analógico-digital.

Figura 10 – Circuito integrado ACS723 em corte (ALLEGRO MICROSYSTEMS, 2018).



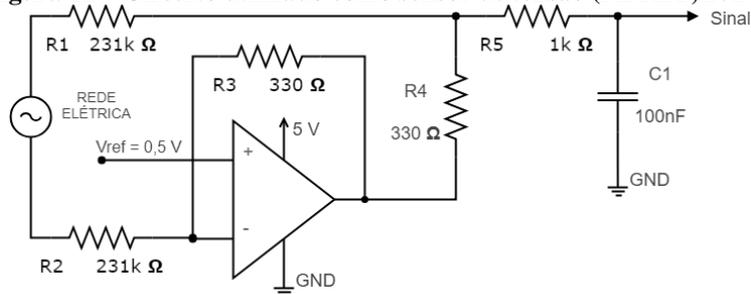
Sendo assim para efetuar a amostragem, é necessário um circuito adicional para condicionar a tensão oriunda do sensor de corrente com valor máximo CA de 2 V (4,5 V somando com o valor de *offset*), conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Circuito condicionador para o sensor de corrente.



Sensor de tensão

Conforme Petry (2014) este circuito é composto por um amplificador operacional configurado como um inversor, demonstrado na Figura 12.

Figura 12 – Circuito utilizado como sensor de tensão (PETRY, 2014).

Como este circuito tem a função de amostrar a tensão instantânea imposta na carga que deve ser convertido pelo A/D do microcontrolador, o próprio funciona como condicionador de sinal, tal qual o sensor de corrente. No entanto é preciso fornecer uma tensão média (*offset*) de 0,5 V de referência.

Para a configuração do amplificador operacional, quanto ao controle de ganho/atenuação, foi necessário definir valores diferenciados aos resistores sendo que R2 deve ser de resistência maior que R3, sendo eles de 231 k Ω e 330 Ω respectivamente, obtendo a atenuação do sinal.

4.4.2 Microcontrolador

O microcontrolador utilizado será o ESP8266EX ou simplesmente referido como ESP8266, fabricante ESPRESSIF, um SoC (do inglês, *System-on-a-Chip*) com as seguintes características:

- 802.11 b/g/n;
- MCU de 32 bits;
- 16 GPIOs;
- *Clock* interno de 80 MHz;
- Pilha do protocolo TCP/IP integrado;
- Suporte a vários tipos de antena;
- Wi-Fi 2,4 GHz com suporte WPA/WPA2;
- Certificados: FCC, CE, TELEC, WiFi Alliance e SRRC;
- ADC de 10 bits;
- Memória Flash externa (acessada através de SPI).

Para esse projeto será utilizado a versão com o *part number* ESP-WROOM-02, desenvolvido pela própria Espressif (ESPRESSIF, 2018).

O ESP8266 foi projetado para aplicações eletrônicas móveis e portáteis e IoT, com o objetivo de obter o menor consumo de energia com uma combinação de várias tecnologias proprietárias.

Quanto ao desempenho, o microcontrolador possui um ADC de 10 bits com uma entrada limitada a 1 V, necessitando assim de um sistema de condicionamento de sinal de forma que os sensores não ultrapassem o limite do conversor A/D.

4.4.3 Aquisição dos sinais

Mesmo sendo um MCU com excelente desempenho, o ESP8266 carece de portas de entrada (GPIOs) analógicas. Havendo apenas uma porta para dados analógicos, conhecida como TOUT que direciona ao conversor A/D.

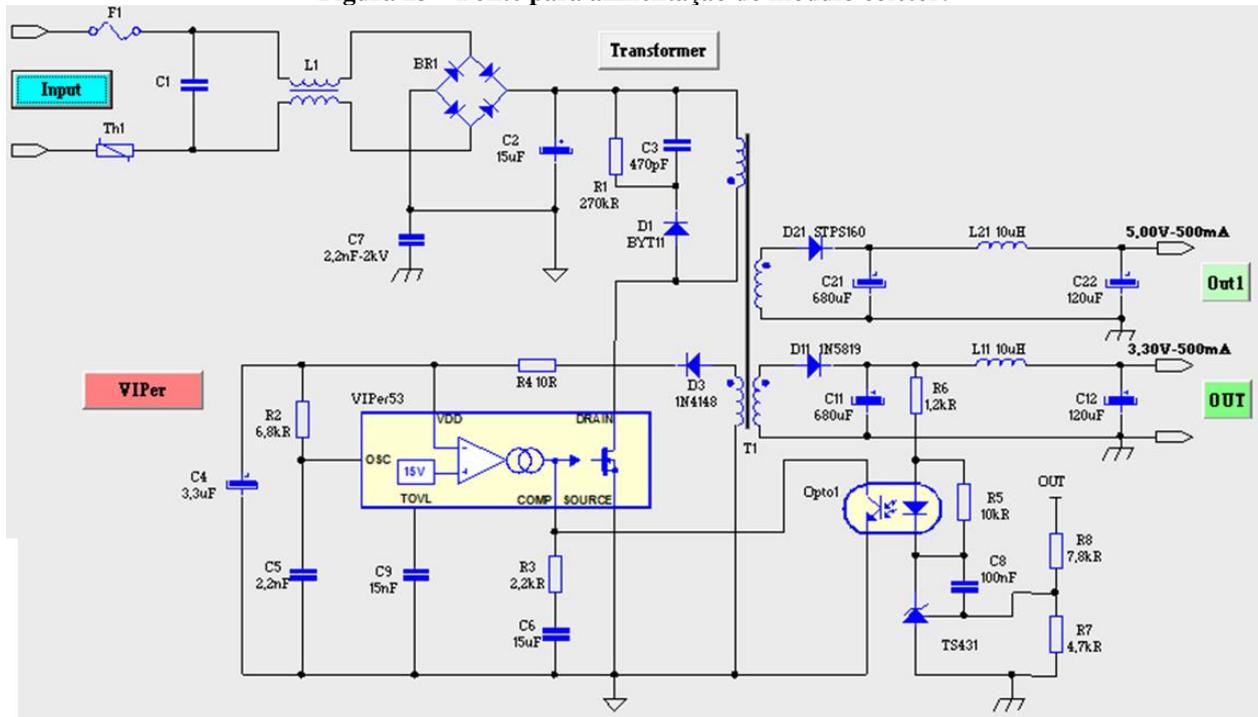
Para resolver essa situação foi utilizado o multiplexador/demultiplexador analógico 74HC4052 (*part number* 74HC4052D,653), que permite conectar até quatro dispositivos analógicos a um único pino analógico do ESP8266 (são usados outros dois pinos digitais para seleção de canais). Essa solução não encarece o projeto e permite o uso dos já citados sensores analógicos, a um baixo custo.

A taxa de amostragem, ou seja, a aquisição dos sinais de corrente e tensão deverá ser realizada com uma frequência de 2 kHz. Isto possibilita que sejam medidas as correntes e tensões em 60 Hz, com várias amostras no período da rede elétrica, sobretudo considerando-se que o produto pode ser usado para analisar qualidade de energia (aplicação onde se necessita taxas de amostragem maiores por conta das harmônicas de corrente e tensão). Com esta taxa de amostragem, levando em consideração o teorema de Nysquist, pode-se reconstruir sinais do sistema proposto com frequência de até 1 kHz. Assim, levando em consideração a frequência da rede elétrica brasileira e as harmônicas presentes nos equipamentos eletrônicos, principalmente a corrente, pode-se considerar até a 17ª harmônica para o cálculo das grandezas envolvidas, tais como potência reativa e THD.

4.4.4 Alimentação do sistema

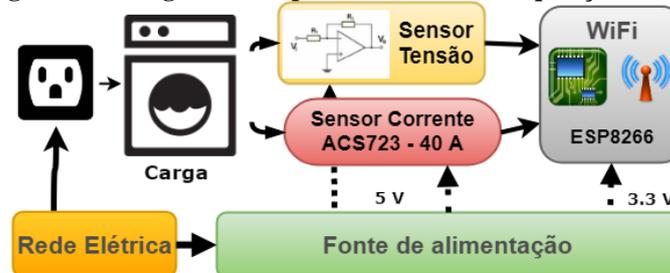
O sistema deve ser alimentado por um circuito dedicado do fabricante ST Microelectronics, modelo Viper53E (ST MICROELECTRONICS, 2018), gerando tensões CA isoladas de 3,3 V e 5 V, a partir da rede elétrica como apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Fonte para alimentação do módulo coletor.



A Figura 14 apresenta um diagrama completo, com os diversos componentes o compõe o sistema de aquisição de dados e envio.

Figura 14 – Diagrama completo do sistema de aquisição e envio.



5 FUNCIONAMENTO DO MEDIDOR DE ENERGIA

Segue a descrição do funcionamento do dispositivo.

5.1 Coleta e transmissão dos dados

O fluxograma de execução do sistema responsável pela coleta de dados é apresentado na Figura 15, dividido em dois blocos distintos: Um bloco de *setup* que configura o ESP8266 de modo a acessar a rede Wi-Fi disponível, pela qual serão transmitidos os dados coletados. Outro bloco que executa em *loop* a amostragem (leitura dos sensores), a criação do *payload* e o envio via *webservice*.

5.1.1 Bloco de Setup

Ao ser energizado, é executado o *boot* no módulo ESP8266 que verifica na EEPROM a existência de configuração para acesso a rede Wi-Fi (SSID e senha). Caso exista, uma conexão ao roteador é estabelecida. Caso contrário o ESP8266 entra em modo AP (*Access Point*) que pode ser acessado por algum dispositivo móvel para ser realizada a configuração. Ao ser acessado, será apresentada uma tela conforme a Figura 16(a) onde se pode escolher entre configurar uma conexão Wi-Fi listando os APs disponíveis, configurar algum que já se conhece (sem escaneamento), ter informações sobre a rede ou ainda apenas resetar o sistema. A Figura 16(b) apresenta os campos onde se informa o AP escolhido (SSID) e a senha para acesso.

Figura 15 – Fluxo de execução do sistema no ESP8266.

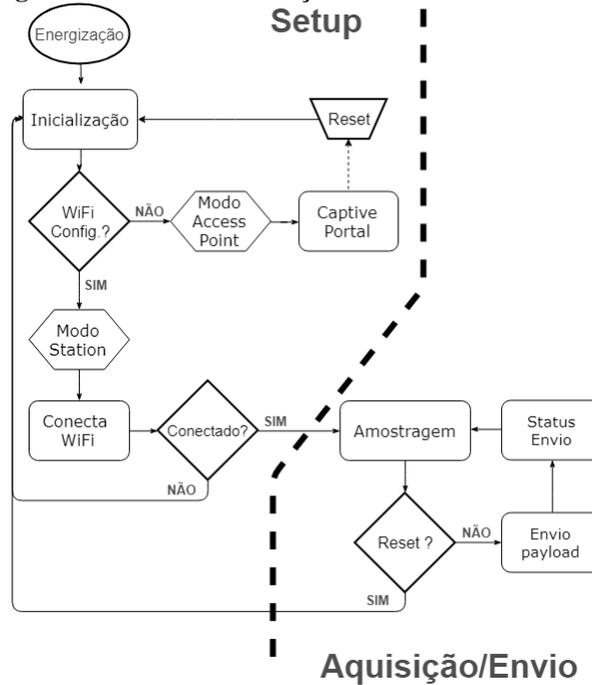


Figura 16 – Imagens (a) da tela de configuração e (b) da tela com login informado (WIFIMANAGER, 2018).



Depois de configurados, os dados de conexão são salvos na memória EEPROM do dispositivo. Também é necessário configurar o endereço do módulo servidor ao qual proverá o *webservice* que será consumido para transmitir o *payload*.

5.1.2 Bloco de Aquisição e Envio

Após a conexão o sistema entra em *loop* efetuando o processo de amostragem, coletando tensão e corrente e calculando a potência instantânea, sendo 2.000 amostras que serão enviadas a um servidor Web. Esse servidor manterá os dados históricos das coletas e ainda será responsável pelos cálculos de consumo e apresentação dos resultados em vários formatos, como consumo real, aparente, fator de potência e além desses, dados processados como valor gasto durante um período, consumo por períodos, adequação à tarifa branca etc.

Como forma de controlar o funcionamento do sistema, será lido o *status* de um botão de *reset*, que permitirá reiniciar todo o sistema. Isso é importante porque por haver o consumo de um *webservice*, pode haver algum atraso no processamento visto que a rotina de envio roda em modo síncrono.

Após o processo de amostragem, a massa de dados será empacotada para envio via *webservice*. Foi escolhida notação JSON (JSON.ORG, 2018) que é um meio leve e estruturado para troca de dados, combinando muito bem com os limitados recursos existentes nos hardwares IoT, evitando a necessidade de implementação de algum protocolo específico e facilmente interpretado por outros sistemas/aplicações.

Para isso, os dados amostrados que foram armazenados em *arrays* sofrem um processamento chamado *parsing* que formata essas informações na notação. Como o módulo servidor implementa a troca de mensagens via REST, uma submissão simples via POST envia esses dados formatados no *payload* da mensagem.

Então o *status* do envio será armazenado para que futuramente possa ser implementada alguma funcionalidade que guarde essa informação que pode ajudar em um processo de *debug* e na detecção de erros.

5.2 Estimativa de custos

A Tabela 3 demonstra o custo dos principais componentes utilizados neste produto (cotados em 14/06/2018), os quais foram elencados por serem componentes que exigem cotação fora do país para obter um preço competitivo. Os demais componentes discretos, são mais facilmente encontrados no país a preços que não compensariam o processo de importação.

Tabela 3 – Custo dos principais componentes.

PartNumbers	Descrição	Qtd.	Custo (US\$)	
			Digikey	Mouser
VIPER53SP-E	Conversor CA/CC <i>Primary Switch</i>	1	2,88	2,88
ESP-WROOM-02	Microcontrolador com Wi-Fi (ESP8266)	1	3,10	2,70
MAX4238ASA	Amplificador operacional	1	1,40	1,40
ACS723LLCTR-40AB-T	Sensor de corrente	1	1,90	7,95 (módulo)
74HC4052D,653	Multiplexador/demultiplexador analógico duplo de 4 canais	1	0,40	0,37

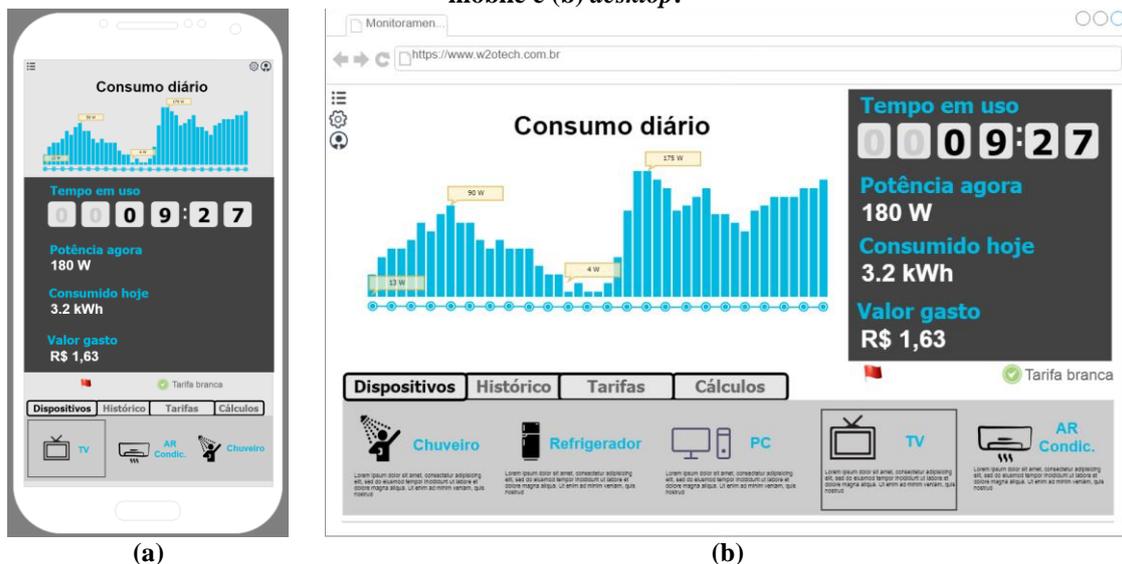
5.3 Processamento dos dados e apresentação

O módulo para o processamento dos dados será hospedado em algum servidor na nuvem, sendo ele um módulo composto basicamente de uma aplicação Web que pode rodar inclusive em alguma rede interna (intranet), ou mesmo em algum dispositivo IoT que mantenha um *webserver* com banco de dados/dispositivo de armazenamento, onde se pode citar o Raspberry PI, NodeMCU, Wemos, BeagleBone, placas FPGA etc.

O objetivo principal é manter uma interface que permita ao módulo de aquisição de dados, se comunicar remotamente, enviando os pacotes de dados, armazenar esses dados e processá-los para exibição.

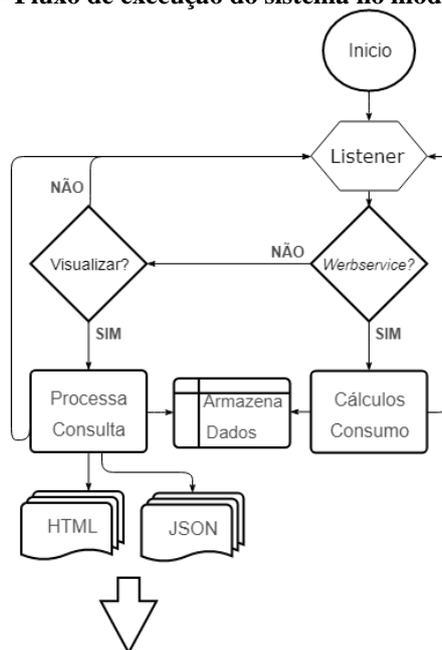
A interface com o usuário será uma aplicação em HTML 5, que se ajusta perfeitamente nos mais diversos tipos de dispositivos. A Figura 17 apresenta esta interface em dois dispositivos distintos, sendo um dispositivo mobile (Figura 17(a)) e um *browser* Web (Figura 17(b)) sendo executado em um dispositivo *desktop*.

Figura 17 – Interface com o usuário apresentada em dois dispositivos distintos: (a) móbil e (b) *desktop*.



Já o fluxo de execução do sistema no lado servidor é apresentado pela Figura 18.

Figura 18 – Fluxo de execução do sistema no módulo servidor.



6 CONCLUSÃO

A ideia deste produto surgiu há muito tempo, antes mesmo dos temas sustentabilidade e eficiência energética entrarem em evidência; surgiu da necessidade particular do autor em ter um método eficiente de controle do uso da energia elétrica principalmente na própria residência.

Segundo esta necessidade e os requisitos associados, é possível concluir que o projeto não apresenta nenhuma grande complexidade técnica em sua execução, tão pouco a necessidade de grandes recursos para implementá-lo. Pode-se sim dizer que a produção deste equipamento é viável quanto à questão técnica e, quanto ao custo, sua produção em série depende de uma boa cotação e talvez importação de componentes por conta da relação preço/quantidade. Durante o processo de revisão bibliográfica e das etapas que envolveram o projeto, principalmente o projeto durante o projeto informacional, se observou a existência de muitos componentes e metodologias diferentes, aptos a resolver os requisitos do projeto, porém verificando com calma, nem todos os arranjos de componentes se mostraram satisfatórios. Se por um lado precisou-se de componentes extras para a tarefa de sensoriamento, o que causa um ligeiro aumento no custo de produção, essa solução adere ao projeto trazendo o bônus da eficiência e desacoplamento.

Para o futuro ficam ainda muitas tarefas como a necessidade de desenvolver uma placa PCI de qualidade dentro da expectativa de tamanho e robustez, um detalhado plano de montagem e testes, além de uma minuciosa validação da parte técnica e de custos, ensaios de normas e validação do produto. Também se sugere como forma de melhoria do sistema, a utilização de um microcontrolador com maior capacidade de processamento bem como a adoção de alguma outra tecnologia para o envio de dados, como por exemplo, um dispositivo que implemente a especificação IEEE 802.15.4.

REFERÊNCIAS

ALLEGRO MICROSYSTEMS. **Folha de dados do componente ACS723**. Disponível em: <<http://www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/ACS723-Datasheet.ashx>>. Acesso em: 5. jun. 2018.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 414, de 09 de setembro de 2010. **Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf/>>. Acesso em: 21. set. 2017.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Como é composta a tarifa**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/entendendo-a-tarifa/>>. Acesso em: 22. jun. 2017a.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Cálculo tarifário e metodologias**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/calculo-tarifario-e-metodologia/>>. Acesso em: 22. jun. 2017b.

- ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Bandeiras tarifárias**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias/>>. Acesso em: 30. out. 2017c.
- ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tarifa branca**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>>. Acesso em: 6. fev. 2018.
- CARPES JR, Widomar P. **Modelo para percepção de necessidades, visando a implantação de um novo negócio**. 1995. 77p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.
- CARPES JR, Widomar P. **Introdução ao Projeto de Produtos**. 1ª ed. Florianópolis: Editora Bookman, 2014.
- DARBY, Sarah. Making it Obvious: Designing Feedback into Energy Consumption. **Energy Efficiency in Household Appliances and Lighting**, Springer, 2001. ISBN-10: 3540414827
- ENERGENIE. EG-SSM-01. **Smart energy meter, Shuko, 16 A**. Disponível em: <<https://energenie.com/item.aspx?id=9884>>. Acesso em: 6. fev. 2018.
- ESPRESSIF. **Folha de dados do componente ESP-WROOM-02**. Disponível em: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0c-esp-wroom-02_datasheet_en.pdf>. Acesso em: 3. mai. 2018.
- FARUQUI, Ahmad, SERGICI S. Sharif, A. The impact of informational feedback on energy consumption - A survey of the experimental evidence. **Energy Journal**, Elsevier, v. 35, n. 4, 2010.
- JSON.ORG. **Javascript Object Notation**. Disponível em: <<https://www.json.org/json-pt.html>>. Acesso em: 4. fev. 2018.
- MICROCHIP. **Folha de dados do componente ATtiny85**. Disponível em: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2586-AVR-8-bit-Microcontroller-ATtiny25-ATtiny45-ATtiny85_Datasheet.pdf>. Acesso em: 28. fev. 2018a.
- MICROCHIP. **Folha de dados do componente ATmega328p**. Disponível em: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf>. Acesso em: 28. fev. 2018b.
- NEXPERIA. **Folha de dados do componente 74HC4052**. Disponível em: <https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC_HCT4052.pdf>. Acesso em: 3. mai. 2018.
- ONELETRONICOS. **ECONOPLUG: economia instantânea de energia elétrica de até 35%**. Disponível em: <<http://www.oneletronicos.com.br/on-produtos--econoplug/>>. Acesso em: 5. fev. 2018.
- ONS. **Sistema Interligado Nacional**. Disponível em <<http://www.ons.org.br/pt/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>>. Acesso em: 3. ago. 2017.
- OPEN ENERGY MONITOR. **An Introduction to AC Power**. Disponível em <<https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ac-power-theory/introduction>>. Acesso em: 10. set. 2017a.
- OPEN ENERGY MONITOR. **Open source monitoring for understanding energy**. Disponível em <<https://openenergymonitor.org/>>. Acesso em: 3. set. 2017.
- PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design: a systematic approach**. 2nd ed. London: Springer Verlag, 1996.
- PETRY, Clóvis Antônio. **Desenvolvimento de Sistema de Alimentação de Máquinas de Corte a Laser para Operação com Tensão Universal**. Relatório Técnico, UFSC, Florianópolis, 2014.
- ST MICROELECTRONICS. **Folha de dados do componente Viper53**. Disponível em: <<http://www.st.com/resource/en/datasheet/viper53-e.pdf>>. Acesso em: 13. abr. 2018.
- TEXAS INSTRUMENTS. **Folha de dados do componente ADS1115**. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1115.pdf>>. Acesso em: 5. dez. 2017.
- WIFIMANAGER. **ESP8266 WiFi Connection manager with web captive portal**. Disponível em: <<https://github.com/tzapu/WiFiManager>>. Acesso em: 9. jun. 2018.