

SISTEMA DE REGISTRO ELÉTRICO RESIDENCIAL DESTINADO PARA DESAGREGAÇÃO DE CARGAS

Eliel Marcos Rocha Romancini (Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade - UFSC),

E-mail: eliel.romancini@posgrad.ufsc.br

Vinícius Rodrigues Zanon (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - UFSC),

E-mail: vinicius.zanon@posgrad.ufsc.br

Resumo: Grande parte dos responsáveis pelo consumo da matriz elétrica do Brasil é o setor residencial. Um meio para tentar solucionar essa gestão de recurso energético seria aumentar a quantidade de informações repassadas aos consumidores de forma a cooperar com a reeducação de hábitos de consumo. Desse modo, técnicas de desagregação (como o monitoramento não intrusivo - *NILM*) vêm contribuindo para quantificar melhor o consumo de cada equipamento contido no ambiente residencial. No entanto, é sabido que para a realidade brasileira, conjuntos públicos de sinais elétricos para validar sistemas de monitoramento residencial são escassos. Dessa forma, este artigo propõe um sistema de registro elétrico destinado a auxiliar no estudo de desagregação de cargas utilizadas pela comunidade *NILM* e trazer informações de *feedback* úteis no processo de redução de desperdício e eficiência energética. O sistema implementado foi aplicado em ambiente real monitorando três eletrodomésticos (refrigerador, chuveiro elétrico e micro-ondas). Com os dados registrados obteve-se informações relevantes sobre o consumo, fornecendo estatísticas e padrões de uso do conjunto de aparelhos monitorados.

Palavras-chave: Monitoramento *NILM*, desagregação de cargas, medidor de energia, redução de consumo, sistemas embarcados.

RESIDENTIAL ELECTRICAL REGISTRATION SYSTEM FOR LOAD DISAGGREGATION

Abstract: A large part of those responsible for the consumption of Brazil's electricity matrix is the residential sector. One way to try to solve this energy resource management would be to increase the amount of information passed on to consumers in order to cooperate with the re-education of consumption habits. In this way, disaggregation techniques (such as non-intrusive monitoring - *NILM*) have been contributing to better quantify the consumption of each equipment contained in the residential environment. However, it is known that for the Brazilian reality, public sets of electrical signals to validate residential monitoring systems are scarce. Thus, this paper proposes an electrical logging system designed to assist in the study of load disaggregation used by the *NILM* community and bring useful feedback information in the process of waste reduction and energy efficiency. The implemented system was applied in a real environment monitoring three household appliances (refrigerator, electric shower and microwave). With the recorded data relevant information about consumption was obtained, providing statistics and usage patterns of the set of monitored appliances.

Keywords: *NILM* monitoring, load disaggregation, energy meter, consumption reduction, embedded systems.

1. Introdução

A gestão prudente do consumo de eletricidade está se tornando cada vez mais importante. Adotar comportamentos que reduzam e amenizem os impactos da energia utilizada contribuem na redução de desperdício e favorecem para a eficiência energética. Através de pesquisas e levantamentos de dados oficiais da Agência Nacional de Energia Elétrica e do Ministério de Minas e Energia, os maiores responsáveis pelo uso e desperdício de energia elétrica no Brasil são os usuários do setor residencial, onde estes consumidores não possuem um meio transparente de monitorar o seu uso para modificarem seus comportamentos (ANEEL, 2021).

Estudos sobre o comportamento de consumidores residenciais mostram que muitas vezes eles subestimam a energia de toda a casa e superestimam o consumo de energia de dispositivos individuais levando a um maior consumo total (ABRAHÃO; SOUZA, 2021; ELETROBRAS, 2019; EPE, 2018). Ainda, pelos estudos de Zuang et al. (2018) é informado que se a casa fornecesse um *feedback* detalhado sobre quais dispositivos gastam mais energia, os usuários podem ajustar seus comportamentos. Sendo assim, poderia ser feito um uso mais eficiente dos eletrodomésticos, alcançando alta economia no domínio residencial na ordem de até 20%.

Os responsáveis por fornecerem o mecanismo de *feedback* são os medidores inteligentes de eletricidade. No entanto, para que o *feedback* seja significativo no hábito de consumo do usuário é necessário que as informações sejam coletadas dos dispositivos de forma individual, porém os medidores inteligentes geralmente só fornecem dados do consumo total da casa (EHRHARDT-MARTINEZ et al., 2010; ZHUANG; SHAHIDEHPOUR; LI, 2018).

Para desagregar as informações de consumo individual dos equipamentos, o grupo de estudos de Hart (1992), apresentou o primeiro protótipo funcional baseado em sistema de monitoramento não intrusivo de cargas (conhecido como *NILM - Non-intrusive Load Monitoring*), desagregando as cargas de cada aparelho da carga elétrica total composta. Este método foi categorizado em dois tipos de abordagens, as baseadas em eventos, que detectam mudanças de estado no sinal elétrico e as relacionam com as mudanças de estado do aparelho, implementando técnicas de detecção de borda, como *Log-Likelihood Ratio* (VÖLKER; SCHOLL; BECKER, 2019). E as abordagens sem eventos, que otimizam uma estimativa do estado geral do sistema usando, por exemplo, Modelos Fatoriais de Markov Ocultos (RAIKER et al., 2018).

Uma característica importante desses sistemas é que na categoria baseada em eventos geralmente requer alta taxa de amostragem dos sinais elétricos (na faixa de quilohertz), realizando a desagregação apenas ao detectar um evento, enquanto a não baseada em eventos pode utilizar baixas frequências (variando na escala de milihertz até alguns hertz) e realiza a desagregação a cada nova amostra. Ainda, se diferem quanto ao uso de métodos de *Machine Learning* no que diz respeito ao aprendizado supervisionado, semi-supervisionado ou não supervisionado para classificação dos equipamentos no ambiente monitorado (ABUBAKAR et al., 2015; PEREIRA, 2016).

Segundo Kelly e Knottenbelt (2015), o desempenho de uma desagregação varia e depende do conjunto de dados em que se está analisando para um país/local em específico. Isso se justifica porque o uso de eletricidade diferencia significativamente entre as localidades, por questões de usabilidade (conjunto de aparelhos diferentes), cultura, padrões de consumo e economia local. Alguns países já disponibilizam conjuntos de dados referentes ao consumo elétrico residencial, a título de exemplo: Estados Unidos com os bancos '*REDD*' e '*BLUED*', França com '*COOLL*', Alemanha com '*WHITED*' e '*FIREED*', Reino Unido com '*UK-DALE*', entre outros países (ANDERSON et al., 2012; KAHL et al., 2016; KOLTER; JOHNSON, 2011; PICON et al., 2016; VÖLKER et al., 2020).

Até a presente data, não há disponível conjuntos de dados brasileiros que possuam acesso público. A implementação de bancos de dados contribui expressivamente para a comunidade científica em estudos e testes de métodos para desagregação de cargas voltadas para a realidade brasileira. Além disso, fomenta o desenvolvimento de ferramentas destinadas a aplicações de *feedback* para usuários do setor elétrico residencial, incentivando a eficiência energética com a redução do desperdício e

consumo.

Desse modo, o presente artigo tem como objetivo propor um sistema de registro para criação de conjuntos de dados elétricos, contemplando: tensão, corrente, potência ativa, reativa, aparente, fator de potência e frequência. Os pesquisadores da área poderão produzir seu próprio banco de informações dos sinais elétricos residenciais para estudos e testes em âmbito demográfico local. Para isso, foi utilizado o método que abrange as duas classes de desagregação (sistemas baseados em eventos e sem eventos), utilizando uma frequência de 2 kHz na amostragem de tensão e corrente para os sinais agregados e individuais no conjunto de dados.

O restante do trabalho está dividido em 6 seções. Sendo as três próximas destinadas a modelagem do sistema de registro, e a quinta sobre o módulo de medição proposto. A penúltima seção retrata os resultados e discussões pertinentes ao tema, acompanhada das considerações finais e referências bibliográficas.

2. Visão geral do sistema

O sistema de registro elétrico residencial pode ser visto como uma composição de módulos eletrônicos de aquisição dos sinais (*PowerMeter*) e um servidor de gerenciamento para armazenar os dados, conforme representado no diagrama de abrangência da Figura 1.

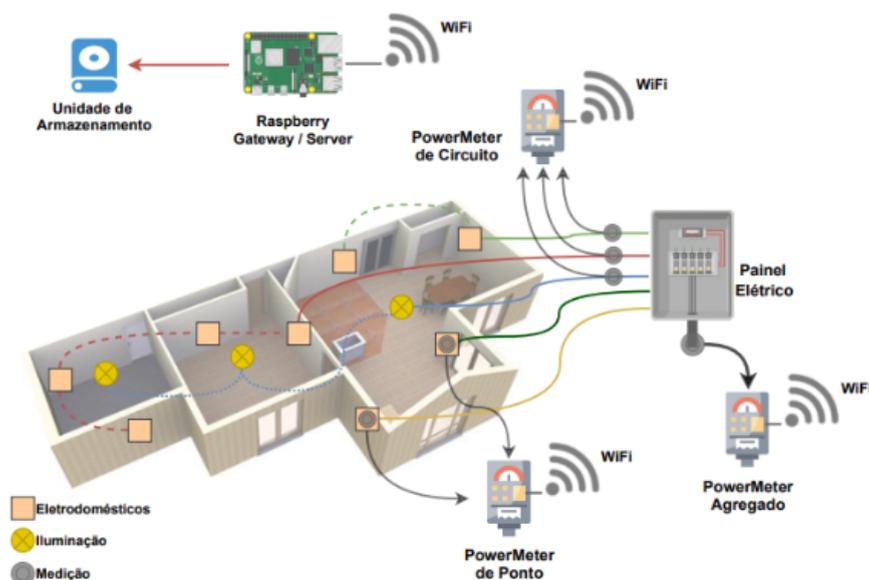


Figura 1 – Diagrama de abrangência do sistema de registro em ambiente residencial

A taxonomia dos medidores é dividida em três grupos:

- PowerMeter* agregado - usado para coletar os sinais agregados de tensão e corrente no painel de distribuição elétrico da residência;
- PowerMeter* de circuito - usado para coletar os sinais de tensão e corrente de um grupo específico de eletrodomésticos, por exemplo, o sistema de iluminação;
- PowerMeter* de ponto - que coleta os sinais de tensão e corrente elétrica desagregadas dos equipamentos individualmente.

Assim, é possível construir conjuntos de dados das cargas agregadas e de aparelhos individualmente de maneira simultânea.

Como representado no diagrama, o servidor *gateway* foi implementado em um pequeno computador Raspberry Pi 4, com a função de administrar a infraestrutura de rede de comunicação sem fio (*WiFi*) dos medidores distribuídos no local. Também, apresenta a função de armazenar os dados enviados por cada *PowerMeter* em uma unidade de memória não volátil (para posterior recuperação dos dados registrados). Esses dados podem ser usados para treinar sistemas e algoritmos *NILM*, testar e validar as estimativas de consumo dos equipamentos em modelos de desagregação.

3. Requisitos funcionais do sistema

O sistema de registro e seus medidores são modelados partindo das premissas de requisitos funcionais (RFxx), sendo eles as funções que o sistema deve atender e realizar. Foram definidos nove requisitos funcionais, dos quais destacam-se:

- RF01 - operar em redes de tensões monofásicas 110 V_{AC} ou 220 V_{AC}, com sistema de proteção contra surtos de tensões na rede elétrica;
- RF02 - adquirir os sinais da tensão elétrica de forma isolada;
- RF03 - adquirir os sinais da corrente elétrica de forma não-invasiva;
- RF04 - registrar potências ativa, reativa, aparente e fator de potência;
- RF05 - registrar frequência (45.0 a 65.0 Hz);
- RF06 - registrar os sinais elétricos com carimbo de data e hora (*Timestamp*);
- RF07 - possuir um servidor local para gerência dos dados;
- RF08 - utilizar comunicação sem fio *WiFi* para o envio dos dados, via *socket*, através do protocolo TCP.
- RF09 - manter os registros dos sinais elétricos dos medidores individualmente em arquivos CSV (*Comma Separated Values*) no servidor em memória não volátil removível (*pen drive* ou *hard disk*);

4. Modelagem do sistema

Dado as definições das funcionalidades que o sistema deve realizar, os procedimentos para obtenção dos dados reais da rede elétrica e o consumo das cargas se concentram nas entradas dos sensores de tensão e corrente não-invasiva. Sendo eles, transformador de potencial (TP) e transformador de corrente (TC), apresentados na Figura 2.

Como o *PowerMeter* é projetado para medir os sinais da rede elétrica monofásica, apenas um TP e TC são necessários em cada medidor. O sensor de tensão utilizado (modelo ZMPT101B) é isolado galvanicamente, garantindo que a corrente elétrica não circule diretamente entre as bobinas do transformador. Além disso, o circuito foi

configurado para produzir no máximo $1 V_{pp}$ na saída do sensor. Para a leitura dos sinais de corrente foram utilizados sensores não-invasivos de grampo de 30 A (modelo SCT-013) com saída máxima de $1 V_{pp}$.

Antes dos sinais serem amostrados pelo microcontrolador, amplificadores que realizam o processamento analógico são destinados para cada sensor, condicionando de maneira contínua as informações da tensão e corrente elétrica.

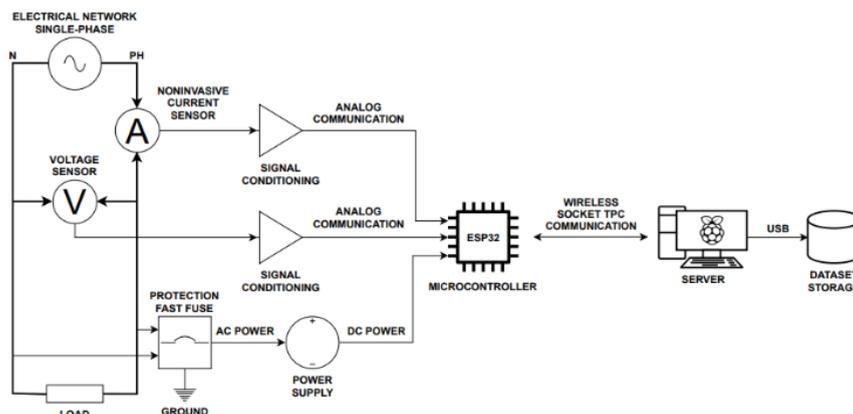


Figura 2 – Diagrama de blocos do sistema

O sistema de alimentação elétrica do medidor é projetado no próprio circuito, portanto a proteção do sistema contra surtos de tensão é garantida por fusíveis, diodos de referência e varistores de efeito rápido. Em casos de sobrecarga na rede elétrica, pode ocorrer a queima destes componentes evitando que o surto se propague para os demais módulos. A alimentação do *PowerMeter* é fornecida pelo módulo conversor automático de tensão AC-DC com a entrada ($110/220V_{AC}$) isolada opto e galvanicamente da sua saída ($5V_{DC}$).

O microcontrolador ESP32 realiza o processamento digital das informações de entrada (tensão e corrente), calcula as potências ativa, reativa, aparente, fator de potência, frequência e as envia para o servidor. Foi selecionado este módulo, pois ele possui mais de um periférico conversor analógico para digital (ADC) de 12 bits e periférico de comunicação *WiFi* embutidos no próprio componente. Além disso, possui dois núcleos de processamento independentes de 32 bits com frequência de *clock* de até 240 MHz.

A comunicação sem fio entre os medidores e o servidor *gateway* é realizada por *socket* utilizando protocolo TCP/IP, assim é garantida a entrega dos pacotes de informações para o registro do conjunto de dados de cada *PowerMeter*. O servidor foi desenvolvido na linguagem *Python* e implementado em um pequeno computador Raspberry Pi 4 Model B de 8 GB de memória RAM, com sistema operacional *Linux*.

Para manter o conjunto de dados, um sistema de armazenamento não volátil de grande capacidade é necessário (*pen drive* ou *hard disk*). Através de uma porta de comunicação USB do servidor, os dados são gravados a cada 5 segundos em arquivos individuais de extensão CSV, destinados a cada *PowerMeter* conectado na rede de comunicação do sistema. Estes arquivos contêm as informações de data/hora, tensão, corrente, potências calculadas, fator de potência e frequência da rede elétrica, conforme cabeçalho (*header*) de registro apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Formato de cabeçalho para os arquivos de registro CSV do conjunto de dados

Timestamp	Tensão	Corrente	P. Ativa	P. Reativa	P. Aparente	F.P.	Frequência
-----------	--------	----------	----------	------------	-------------	------	------------

5. Modelagem do medidor

Os dispositivos de medição foram modelados em diagrama de blocos dividido em duas etapas: sistema de condicionamento de sinal para etapa analógica (bloco esquerdo da Figura 3), e sistema de aquisição e interface de saída para etapa digital (bloco direito). Os sinais fornecidos pelos sensores de entrada são condicionados no domínio de tempo contínuo elevando seu nível de tensão, através de *buffer's* de nível DC, seguidores de tensão e amplificadores na primeira etapa do modelo. No sistema de condicionamento foram adicionados filtros passivos *anti-aliasing* analógicos, com frequência de corte em 1 kHz, para restringir a largura de banda dos sinais que são amostrados.

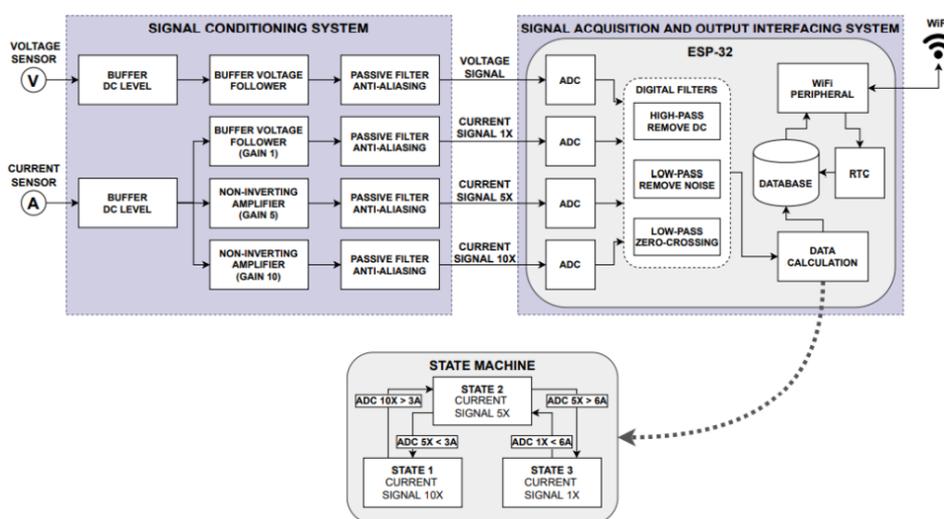


Figura 3 – Diagrama de blocos e máquina de estados do *PowerMeter*

Os níveis DC adicionados nos circuitos condicionadores foram necessários para a correta leitura no ADC do microcontrolador ESP32, pois os sinais senoidais de tensão e corrente possuem referência em 0 V, o que ocasiona valores positivos e negativos. Uma vez tratados, passam a fornecer somente valores positivos centrados em 550 mV, com 1 V_{pp} de amplitude máxima.

Para garantir acuracidade nas leituras do sinal da corrente elétrica, o mesmo é distribuído para três amplificadores na configuração não inversora com ganhos de 1, 5 e 10 vezes. Por meio desta estratégia é possível obter uma ótima precisão no registro da corrente em toda sua escala, mesmo utilizando um conversor analógico para digital de 12 bits. O circuito elétrico, contendo o sistema de proteção, sistema de alimentação e sistema de condicionamento analógico é apresentado na Figura 4.

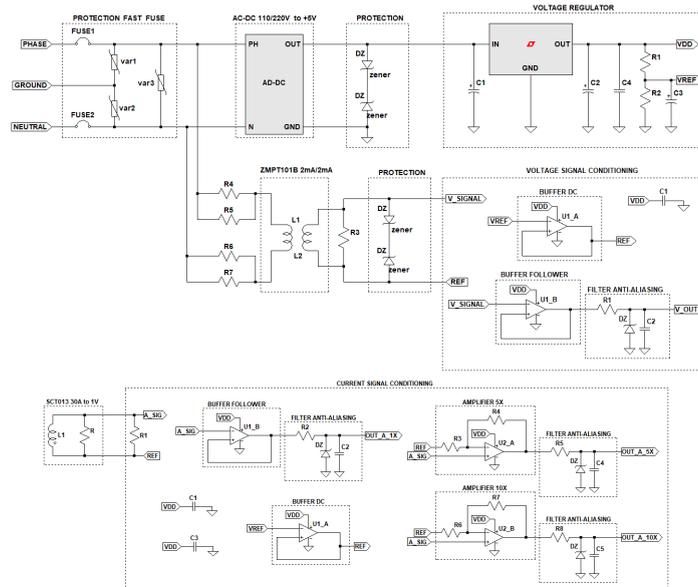


Figura 4 – Circuito elétrico de proteção, alimentação e condicionamento do medidor

Na segunda etapa do diagrama da Figura 3, os sinais tratados entram no estágio que realiza a aquisição e interface de saída dos dados. As amostras dos sinais são capturadas por quatro entradas do conversor ADC no microcontrolador com uma frequência de amostragem de 2 kHz, respeitando o teorema de Nyquist. Os sinais analógicos, uma vez digitalizados no domínio de tempo discreto, podem ser processados por filtros digitais para manutenção das variáveis.

No microcontrolador, os dados do ADC passam por filtro digital passa-altas de 1 Hz, com o intuito de remover o nível DC acrescido na fase de condicionamento analógico. Ambos os sinais de tensão e corrente são corrigidos por este filtro. Em seguida, os sinais são processados por um filtro passa-baixas de 1.3 kHz, a fim de remover frequências indesejadas. O último filtro digital é utilizado para atuar como um detector de Zero-Crossing (cruzamento de zero), com frequência de corte em 60 Hz. Esta função é necessária para obter a frequência da rede elétrica e manter o sistema em sincronismo, para isso o filtro tem o objetivo de extrair a frequência fundamental das demais harmônicas.

Após o processamento digital dos sinais, são calculadas as grandezas propostas e armazenadas em um *buffer* digital temporário, juntamente com o *timestamp* de registro do *Real-Time Clock (RTC)* contido no ESP32 (precisão de 1 μs). A estratégia adotada para o cálculo da corrente elétrica, com três sinais amplificados de ganhos distintos, é administrada por uma máquina de estados que decide o nível do sinal para ser processado.

Como pode ser visto na máquina de estado apresentada na Figura 3, o algoritmo verifica o pico máximo da corrente medida a cada ciclo e realiza os cálculos com o sinal amplificado dez vezes se o valor for menor que 3 A (State 1). Com o sinal amplificado cinco vezes se o valor for menor que 6 A (State 2) e ganho unitário se o valor for maior que os anteriores (State 3). Por fim, uma cópia do *buffer* é enviada ao servidor a cada 5 segundos por intermédio do periférico de comunicação sem fio.

Os valores da potência ativa $P(n)$ são calculadas através dos sinais instantâneos de tensão $U(i)$ e corrente $I(i)$ para cada ciclo de tensão. O cálculo da potência aparente $S(n)$ é definido em função da tensão $U_{rms}(n)$ e corrente $I_{rms}(n)$ eficaz. Por fim, a

potência reativa $Q(n)$ e o fator de potência $FP(n)$ são obtidos conforme seguem as Equações (1) - (6):

$$U_{rms}(n) = \sqrt{\frac{1}{f_s/f_l} \cdot \sum_{i=n \cdot f_l}^{(n+1) \cdot f_l - 1} U^2(i)}, \quad (n = 0, \dots, L/f_l) \quad (1)$$

$$I_{rms}(n) = \sqrt{\frac{1}{f_s/f_l} \cdot \sum_{i=n \cdot f_l}^{(n+1) \cdot f_l - 1} I^2(i)}, \quad (n = 0, \dots, L/f_l) \quad (2)$$

$$P(n) = \frac{1}{f_s/f_l} \cdot \sum_{i=n \cdot f_l}^{(n+1) \cdot f_l - 1} U(i) \cdot I(i), \quad (n = 0, \dots, L/f_l) \quad (3)$$

$$S(n) = U_{rms}(n) \cdot I_{rms}(n) \quad (4)$$

$$Q(n) = \sqrt{S^2(n) - P^2(n)} \quad (5)$$

$$FP(n) = \frac{P(n)}{S(n)} \quad (6)$$

Os parâmetros f_s , f_l e L são respectivamente, a frequência de amostragem, a frequência da rede elétrica e o número de amostras dos sinais de tensão e corrente.

6. Resultados e discussões

Após a modelagem do *PowerMeter*, o circuito foi montado em *protoboard* para validação dos filtros digitais e constatar o funcionamento com valores reais da rede elétrica a fim de ajustar e aferir o modelo proposto, conforme Figura 5 (a). Posterior validação, também foi fabricado de forma manual quatro unidades em *PCB (Printed Circuit Board)* do dispositivo, Figura 5 (b). Estes protótipos foram utilizados para a coleta dos dados de testes do sistema em ambiente real.



(a) (b)
Figura 5 – (a) *Protoboard* de teste (b) Protótipos montados em *PCB*

Na validação utilizou-se um gerador de sinais (Tektronix - AFG3021B) para introduzir ondas senoidais com frequências distintas na entrada do circuito. Após o tratamento destes sinais pelo dispositivo as entradas e saídas dos filtros digitais foram enviadas via porta serial para serem analisadas com a ferramenta MATLAB.

O primeiro teste verificou o funcionamento do filtro passa-altas, tipo *Infinite Impulse Response (IIR)*, de primeira ordem com frequência de corte em 1 Hz. O segundo teste

foi executado para constatar o funcionamento do filtro passa-baixas, tipo *Finite Impulse Response (FIR)*, de vigésima ordem, com frequência de corte em 1.3 kHz. O último teste foi realizado com o filtro passa-baixas, tipo *FIR*, de vigésima ordem, com frequência de corte em 60 Hz, para separar a harmônica fundamental da rede elétrica.

Utilizando o gerador de sinais foi aplicado uma onda senoidal composta por três sinais de frequências distintas, a primeira de 60 Hz com amplitude de 100 mV_{pp} , a segunda com 180 Hz (terceira harmônica) com amplitude de 50 mV_{pp} e a terceira de 1.8 kHz com amplitude de 50 mV_{pp} . Também foi adicionado 200 mV de *offset* para representar o nível DC do sinal aplicado. Através dos gráficos da Figura 6 é possível verificar o sinal elétrico de entrada (gráfico azul), a saída do filtro passa-altas de 1 Hz (gráfico vermelho), a saída do filtro passa-baixas de 1.3 kHz (gráfico verde) e a saída do filtro passa-baixas de 60 Hz (gráfico amarelo), com suas respectivas *FFTs (Fast Fourier Transform)*. Após análise de atenuação das frequências, validou-se todo o sistema de filtros proposto ao dispositivo de medição.

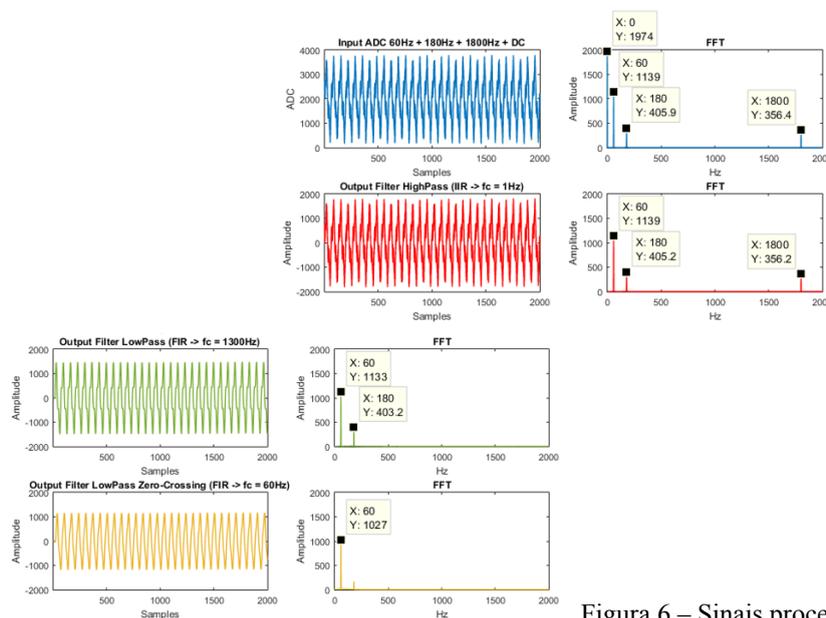


Figura 6 – Sinais processados pelos filtros digitais

No ajuste das grandezas elétricas são empregados métodos estatísticos a fim de estimá-los, porém as medidas sofrem influências de um grande número de fatores devido à natureza de qualquer fenômeno em estudo, assim como aos próprios processos que acompanham as medidas. Sendo impossível analisar todos os fatores que atuam sobre eles, resultando apenas valores aproximados nos resultados (PIACENTINI et al., 2013). Portanto, o ajuste e aferições das medidas diretas de tensão e corrente, foram validadas por método comparativo utilizando voltímetro e amperímetro (como equipamento de referência), com erros menores que 1%. Para a aferição das medidas indiretas das potências, foi utilizado o mesmo método. Além disso, na média dos resultados finais foi considerado o erro total (inclusão do erro aleatório provável e erro de escala).

No ajuste das leituras de tensão *RMS* (do inglês *Root Mean Square*), foram comparados os valores nominais medidos da rede elétrica (120 V_{AC} e 220 V_{AC}) por um multímetro (Agilent - U1242B) e os valores do *PowerMeter*, como segue na Tabela 1.

Tabela 1 – Medidas de tensão *RMS* do multímetro e um dos *PowerMeter*'s após o ajuste

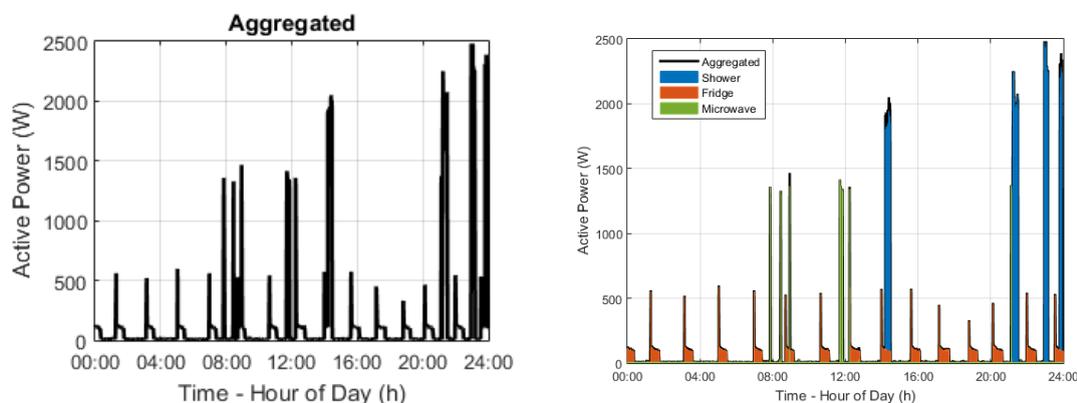
Tensão Nominal	Multímetro	PowerMeter
120 V	119.7 V	119.8 V
120 V	119.8 V	120.0 V
120 V	120.0 V	120.0 V
Média (Erro):	119.8 V (± 1%)	119.9 V (± 0.1V)
220 V	222.2 V	222.2 V
220 V	222.1 V	222.2 V
220 V	222.2 V	222.2 V
Média (Erro):	222.2 V (± 1%)	222.2 V (± 0.1V)

Utilizando o mesmo método, foram ajustados os valores de corrente *RMS*, através de cargas resistivas, com o objetivo de aferir as leituras do *PowerMeter*. Os resultados de aferição de um dos medidores são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Medidas de corrente *RMS* do multímetro e um dos *PowerMeter*'s após o ajuste

Carga	Multímetro	PowerMeter
220 V / 60 W	0.288 A	0.29 A
220 V / 60 W	0.288 A	0.29 A
220 V / 60 W	0.287 A	0.29 A
Média (Erro):	0.288 A (± 1%)	0.29 A (± 0.01A)
220 V / 300 W	1.332 A	1.33 A
220 V / 300 W	1.329 A	1.33 A
220 V / 300 W	1.335 A	1.33 A
Média (Erro):	1.332 A (± 1%)	1.33 A (± 0.01A)
220 V / 800 W	3.653 A	3.63 A
220 V / 800 W	3.648 A	3.63 A
220 V / 800 W	3.635 A	3.65 A
Média (Erro):	3.645 A (± 1%)	3.64A (± 0.01A)

Após a etapa de ajuste dos medidores, o sistema foi instalado em uma residência para realizar o registro de alguns eletrodomésticos (refrigerador, micro-ondas e chuveiro elétrico), sendo destinados 3 *PowerMeter*'s na configuração de “ponto” para cada aparelho, 1 *PowerMeter* na configuração “agregado” e o servidor para gravação dos dados. O sistema de registro residencial foi mantido em teste por 24 horas e gerou um conjunto de sinais elétricos. Os valores de potência ativa das cargas individuais e agregada são mostradas na Figura 7.



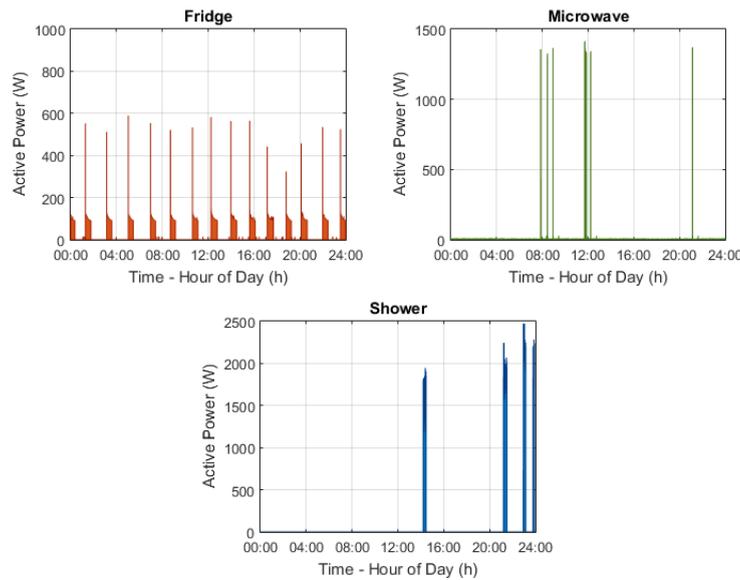


Figura 7 – Sinais agregado, refrigerador, micro-ondas e chuveiro registrados por 24h

Ainda é possível analisar na Figura 8, as formas de onda de tensão e corrente elétrica dos aparelhos registrados no conjunto de dados com uma taxa de amostragem de 2 kHz.

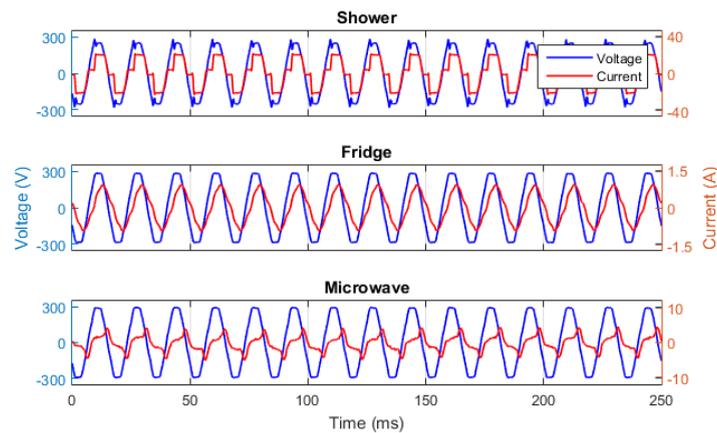


Figura 8 – Curvas de tensão e corrente dos eletrodomésticos registrados

Por fim, através dos dados armazenados podem ser extraídas informações relevantes que fornecem estatísticas para aplicações de *feedback* aos consumidores. Como mostrados nos histogramas da Figura 9, são apresentadas as distribuições de consumo de cada equipamento.

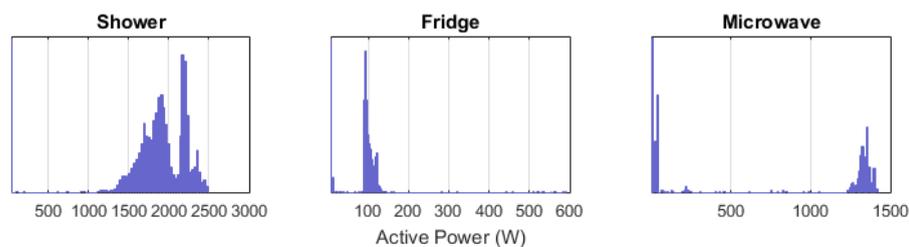


Figura 9 – Histogramas de distribuição de potência de cada equipamento

Na Figura 10 o gráfico relaciona a energia utilizada durante o intervalo de monitoramento da residência, mostrando que o chuveiro elétrico foi o equipamento com maior consumo entre os três eletrodomésticos registrados.

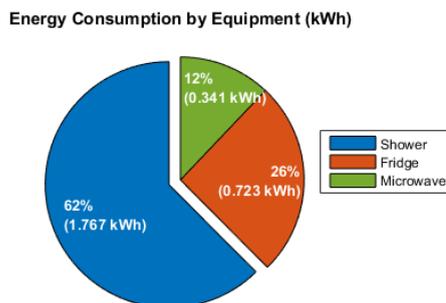


Figura 10 – Gráfico de relação de consumo por equipamento no período de registro

7. Considerações finais

O sistema de registro elétrico residencial atingiu os resultados esperados, indicando informações importantes sobre a utilização da energia elétrica, com dados registrados por equipamento individual e agregado. Além disso, a precisão e a acurácia nas medidas conferiu aos *PowerMeters* confiabilidade instrumental, tornando o sistema uma ótima ferramenta para extração de recursos na geração de conjunto de dados elétricos para métodos de desagregação *NILM*.

Com a implementação do sistema de registro, foi possível fornecer estatísticas e padrões de consumo que servem para aplicações de *feedback* destinadas aos usuários. A disponibilidade e transparência dos dados contribui para que medidas sejam tomadas, a fim de reeducar o hábito de consumo, influenciando na redução do uso e desperdício da energia elétrica.

Para trabalhos futuros, recomenda-se construir um banco de dados contendo as medições individuais e agregadas de todos os equipamentos contidos na residência e disponibilizar publicamente para a comunidade de pesquisa *NILM*. Seria relevante, também, adicionar no sistema de registro a identificação automática dos eventos de ativação e desativação de cada eletrodoméstico e gerar um conjunto de sinais mais robusto com dados rotulados para uso em estudos de *Machine Learning* e técnicas de desagregação.

Referências

ANDERSON, K. et al. *BLUED: a fully labeled public dataset for event-based non-intrusive load monitoring research*. Proceedings of the 2nd KDD Workshop on Data Mining Applications in Sustainability. Anais... In: ACM SUSTKDD'12. Beijing, China: dez. 2012.

ABUBAKAR, I. et al. *An overview of Non-intrusive load monitoring methodologies*. 2015 IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON). Johor Bahru: IEEE, out. 2015. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7409513/>>. Acesso em: 18 nov. 2021.

ANEEL. *Relatórios de Consumo e Receita de Distribuição*. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2021. Disponível em: <<https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/relatorios-de-consumo-e-receita>>. Acesso em: 25 nov. 2021.

ABRAHÃO, K. C. DE F. J.; SOUZA, R. G. V. DE. *Estimativa da evolução do uso final de energia elétrica no setor residencial do Brasil por região geográfica*. Ambiente Construído, v. 21, n. 2, p. 383–408, abr. 2021.

EHRHARDT-MARTINEZ, K. et al. *Advanced Metering Initiatives and Residential Feedback Programs: A Meta-Review for Household Electricity-Saving Opportunities*. American Council for an Energy-Efficient Economy. p. 140, 2010.

ELETROBRAS, C. E. B. S. A. *Pesquisa de posse e hábitos de uso de equipamentos elétricos na classe residencial*. [s.l.] Eletrobras - Procel, 2019. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/SiteAssets/Paginas/PPH-2019/RESUMO_EXECUTIVO_BRASIL_BR.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2022.

EPE. *Estudos de Longo Prazo - Considerações sobre o Comportamento do Consumidor*. Empresa de Pesquisa Energética, dez. 2018. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-457/Comportamento%20do%20Consumidor.pdf>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

HART, G. W. *Nonintrusive appliance load monitoring*. Proceedings of the IEEE, v. 80, n. 12, p. 1870–1891, dez. 1992.

KAHL, M. et al. *WHITED - A Worldwide Household and Industry Transient Energy Data Set*. In: PRESENTED AT THE INTERNATIONAL WORKSHOP ON NON-INTRUSIVE LOAD MONITORING. Vancouver, BC, Canada: 2016.

KELLY, J.; KNOTTENBELT, W. *The UK-DALE dataset, domestic appliance-level electricity demand and whole-house demand from five UK homes*. Scientific Data, v. 2, n. 1, p. 150007, dez. 2015.

KOLTER, J. Z.; JOHNSON, M. J. *REDD: A Public Data Set for Energy Disaggregation Research*. Proceedings of the 2nd KDD Workshop on Data Mining Applications in Sustainability (SustKDD). 2011.

PEREIRA, L. *Hardware and software platforms to deploy and evaluate non-intrusive load monitoring systems*. Doctorate in Informatics Engineering specialty: Software Engineering—Portugal: Universidade da Madeira, 2016.

PIACENTINI, J. J. et al. *Introdução ao Laboratório de Física*. Editora UFSC, Santa Catarina, ed. 5, 2013.

PICON, T. et al. *COOLL: Controlled On/Off Loads Library, a Public Dataset of High-Sampled Electrical Signals for Appliance Identification*. arXiv:1611.05803 [cs], 17 nov. 2016.

RAIKER, G. A. et al. *Approach to Non-Intrusive Load Monitoring using Factorial Hidden Markov Model*. 2018 IEEE 13th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS). Rupnagar, India: IEEE, dez. 2018. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8721436/>>. Acesso em: 18 nov. 2021.

VÖLKER, B. et al. *FIREED: A Fully-labeled High-frequency Electricity Disaggregation Dataset*. Proceedings of the 7th ACM International Conference on Systems for Energy-Efficient Buildings, Cities, and Transportation. Virtual Event Japan: ACM, 18 nov. 2020b. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.1145/3408308.3427623>>. Acesso em: 28 nov. 2021.

VÖLKER, B.; SCHOLL, P. M.; BECKER, B. *Semi-Automatic Generation and Labeling of Training Data for Non-intrusive Load Monitoring*. Proceedings of the Tenth ACM International Conference on Future Energy Systems. Phoenix AZ USA: ACM, 15 jun. 2019. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.1145/3307772.3328295>>. Acesso em: 18 nov. 2021.

ZHUANG, M.; SHAHIDEHPOUR, M.; LI, Z. *An Overview of Non-Intrusive Load Monitoring: Approaches, Business Applications, and Challenges*. 2018 International Conference on Power System Technology (POWERCON). Guangzhou: IEEE, nov. 2018. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8601534>>. Acesso em: 18 nov. 2021.