



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ANA CAROLINA SILVA DE ASSIS

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM MEDIDOR INTELIGENTE VIA
ESP8266 NODEMCU V3 E MÓDULO PZEM-004T**

CUIABÁ – MT
JUNHO, 2023

ANA CAROLINA SILVA DE ASSIS

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM MEDIDOR INTELIGENTE VIA
ESP8266 NODEMCU V3 E MÓDULO PZEM-004T**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador:
Prof. Dr^o. Fillipe Matos de Vasconcelos

CUIABÁ – MT
JUNHO, 2023

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

A848d Assis, Ana Carolina Silva de.
Desenvolvimento e avaliação de um medidor inteligente via esp8266 nodemcu v3 e módulo pzem-004t [recurso eletrônico] / Ana Carolina Silva de Assis. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 25 f., il. color., pdf). -- 2023.

Orientador: Fillipe Matos de Vasconcelos.
TCC (graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Cuiabá, 2023.
Modo de acesso: World Wide Web: <https://bdm.ufmt.br>.
Inclui bibliografia.

1. Medidores, consumo e energia. I. Vasconcelos, Fillipe Matos de, *orientador*. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

DESPACHO

Processo nº 23108.037215/2023-88

Interessado: Ana Carolina Silva de Assis

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA MONOGRAFIA:

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM MEDIDOR INTELIGENTE VIA ESP8266 NODEMCU V3 E MÓDULO PZEM-004T

ALUNO: ANA CAROLINA SILVA DE ASSIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisito para a obtenção de grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 02 de junho de 2023.

Nota: 9,50

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Fillipe Matos de Vasconcelos - Orientador

Prof. Dr. Fabrício Parra Santilio - Examinador(a)

Eng. Sergio Lucio Nunes da Silva - Examinador(a)



Documento assinado eletronicamente por **FILLIPE MATOS DE VASCONCELOS**, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso, em 02/06/2023, às 17:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **FABRICIO PARRA SANTILIO, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 02/06/2023, às 17:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **SERGIO LUCIO NUNES DA SILVA, Usuário Externo**, em 02/06/2023, às 17:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Carolina Silva de Assis, Usuário Externo**, em 02/06/2023, às 17:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5808427** e o código CRC **8A2092BD**.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha amada família, minha querida mãe Dilma, cujo amor incondicional e sacrifícios são a razão pela qual estou aqui hoje, minha querida tia Paula, cujo carinho e cuidado me permitiram focar nos estudos e minha querida irmã Ana Flávia, por ter sido meu porto seguro. O apoio incondicional de vocês foi fundamental em cada etapa da minha jornada acadêmica. Em especial, quero expressar minha gratidão ao meu pai, Mauro (in memoriam), que hoje não pode estar junto conosco para assistir a essa conquista, entretanto seu constante incentivo desde minha infância é um dos principais motivos de eu estar me tornando engenheira. A vocês, minha família, dedico este TCC como uma singela homenagem e agradecimento por serem minha fonte inesgotável de amor, apoio, inspiração e por terem sido meu alicerce constante e a força motriz por trás de cada passo que dei.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que estiveram ao meu lado durante esta jornada acadêmica e que tornaram possível a conclusão deste TCC.

Primeiramente a Deus, por me dar a oportunidade de tentar ser melhor a cada nascer do Sol, por ter me dado força, persistência e paciência na minha jornada e por acolher todas as minhas orações, trazendo calma ao meu coração nos momentos tempestuosos da vida.

À minha amada família, Dilma, Mauro (in memoriam), Paula, Ana Flávia, Apolônia, Andrees e Raianna, sou imensamente grata por seu apoio incondicional, amor e orações constantes. Vocês foram meu porto seguro e a força que impulsionou meu sucesso.

Aos meus amigos da turma 17/2, em especial Andreiv, Larissa, Thales, Jefferson, Vander, Gabriel, Juliano F. e Juliano J., agradeço por terem sido parceiros incansáveis, compartilhando momentos de estudo, risos e ânimo diário. Sua amizade e encorajamento foram inestimáveis ao longo dessa caminhada.

Aos meus estimados professores doutores, Camila, Fillipe, Jackson e Fabrício, quero expressar minha gratidão por serem verdadeiros mentores, oferecendo apoio, incentivo e compartilhando seu valioso conhecimento. Sou grata por todas as lições que aprendi com vocês.

Aos meus amigos, em especial, minha melhor amiga, Beatriz e meus amigos Sergio e Nascimento, obrigada por terem sido um ombro amigo sempre presente em momentos de desafios e celebrações. A compreensão de vocês e o apoio inabaláveis foram um verdadeiro tesouro em minha vida.

E, por fim, não poderia deixar de agradecer ao meu fiel companheiro de quatro patas, meu cachorro, Mickey. Seu carinho e companheirismo trouxeram alegria e serenidade aos meus dias de estudo.

A todos vocês, minha gratidão é imensa. Este TCC é dedicado a cada um, representando uma pequena parcela do amor e reconhecimento que sinto por cada apoio, incentivo e presença em minha jornada.

RESUMO

ASSIS, A. C. S. de. **Sm Desenvolvimento E Avaliação De Um Medidor Inteligente Via Esp8266 NodeMCU V3 E Módulo Pzem-004T**. 2023. 25f. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2023.

O uso racional da energia elétrica no Brasil e no mundo é fundamental para ampliar a acessibilidade, a segurança energética das nações, a sustentabilidade e o desenvolvimento tecnológico. Nesse universo, tecnologias de IoT (*i.e.*, *Internet of Things*) têm surgido para aperfeiçoar amplamente a experiência do usuário e a comunicação entre pessoas e processos. Assim, destacam-se os medidores inteligentes (ou, *smart meters*) como ferramenta para supervisionar, em tempo real, e remotamente, o consumo da energia. No contexto atual, como prática padrão para racionalização do uso da energia, concessionárias e consumidores finais têm substituído equipamentos de baixo para alto rendimento. Todavia, no que se refere aos níveis de desperdício, ainda muito pouco é feito. Neste cenário, portanto, muitas pesquisas e desenvolvimentos têm sido realizados para o uso de avançadas tecnologias de monitoramento remoto como alternativa para mitigar esses desperdícios. É válido mencionar, contudo, que a nível residencial ainda não existem tecnologias bem consolidadas para atender, simultaneamente, requisitos operacionais, financeiros e de cibersegurança. Este trabalho propõe utilizar um microcontrolador comercial (*i.e.*, ESP8266), de baixo custo, para monitoramento da energia e desenvolver um aplicativo Android para comunicar os dados em tempo real do cliente para o servidor em uma plataforma na Nuvem via protocolo MQTT.

Palavras-chave: Medidores, consumo e energia.

ABSTRACT

ASSIS. A. C. S. de. **Desenvolvimento E Avaliação De Um Medidor Inteligente Via Esp8266 NodeMCU V3 E Módulo Pzem-004T**. 2023. 25f. Final Graduation Project (Graduation in Electrical Engineering) Federal University of Mato Grosso. Cuiabá, 2023.

The rational use of electricity in Brazil and in the world is essential to increase accessibility, energy security in nations, sustainability and technological development. In this universe, IoT technologies (*i.e.*, Internet of Things) have emerged to vastly improve the user experience and communication between people and processes. Thus, smart meters stand out as a tool to energy monitor, in real time, and remotely, energy consumption. In the current context, as a standard practice for rationalizing the use of energy, concessionaires and final consumers have been replacing low-performance equipment with high-performance equipment. However, with regard to waste levels, still very little is done. In this scenario, therefore, much research and development has been carried out for the use of advanced remote monitoring technologies as an alternative to mitigate this waste. It is worth mentioning, however, that at the residential level there are still no well-established technologies to simultaneously meet operational, financial and cyber-security requirements. This work proposes to use a commercial microcontroller (*i.e.*, ESP8266), of low cost, for energy monitoring and to develop an Android application to communicate real-time data from the client to the server on a Cloud platform via MQTT protocol.

Keywords: Meters, consumption and energy.

FIGURAS

Fig. 1. Arquitetura Geral do Hardware (Autora)	17
Fig. 2. Construção PZEM-004T (Datasheet PZEM-004T)	18
Fig. 3. Pinagem ESP8266 NodeMCU V3 [40]	18
Fig. 4. Arquitetura <i>Software</i> (Autora)	18
Fig. 5. Tela de <i>login</i> do aplicativo (Autora)	20
Fig. 6. Tela de dados (Autora)	20
Fig. 7. Teste de bancada laboratório UFMT (Autora)	20
Fig. 8. Variação na medição das grandezas de (P) , (Q) , (V) e (I) em uma carga RL utilizando o módulo PZEM e o SAGA 4000	21
Fig. 9. Gráfico (P) e (Q) para as cargas R, RL e RC medidas utilizando o módulo <i>PZEM-004T</i> .	21
Fig. 10. Consumo de energia, tensões e corrente de uma geladeira <i>frost free</i> , no período de 24hrs.	21
Fig. 11. Consumo de energia, tensões e corrente de um notebook no período de 3,4hrs.	22
Fig. 12. Consumo de energia, tensões e corrente de uma máquina de lavar no período de 40min.	22
Fig. 13. Consumo de energia das três cargas medidas, no período de 24hrs.	22

LISTA DE TABELAS

Tabela I – Tecnologia de Processadores e Sensores em <i>Smart Meters: hardware</i>	17
Tabela II – Tecnologias De Processadores em <i>Smart Meters: Software.</i>	17
Tabela III – Valores dos Componentes.	19
Tabela IV – Dados de Catálogo das Cargas [42],[43]-[44]	20

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
EMA	<i>Energy Market Authority.</i>
ESP8266	<i>Espressif Systems Platform, 32 bits.</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
HTTP	<i>Hipertext Transfer Protocol</i>
INMETRO	Instituto Brasileira de Metrologia Qualidade e Tecnologia
IoT	<i>Internet of Things.</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport.
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas.
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PHP	<i>Personal Home Page</i>
PROCEL	Programa Brasileiro de Conservação de Energia Elétrica
TC	Transformador de Corrente
UI	<i>User Interface</i>
UX	<i>User Experience</i>
WIFI	<i>Wireless Fidelity</i>

SUMÁRIO

I.	INTRODUÇÃO.....	15
II.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
III.	<i>HARDWARE</i> : DEFINIÇÕES E COMPONENTES.....	17
	A. PZEM-004T	17
	B. Transformador de Corrente.....	18
	C. ESP8266 NodeMCU V3	18
IV.	<i>SOFTWARE</i> : DEFINIÇÕES E COMPONENTES.....	18
	A. Tasmota.....	18
	B. Protocolo MQTT.....	18
	C. PHP	18
	D. Servidor.....	18
	E. <i>MIT App Inventor</i>	19
V.	<i>SMART METER</i>	19
VI.	RESULTADOS.....	19
	A. Estudo de caso.....	19
	B. Dados de medição laboratoriais	20
	C. Dados de medição residencial.....	21
	D. Análise dos Resultados	21
VII.	CONCLUSÃO	22
	APÊNDICE.....	25

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM MEDIDOR INTELIGENTE VIA ESP8266 NODEMCU V3 E MÓDULO PZEM-004T

Ana Carolina Silva de Assis
Departamento de Engenharia Elétrica
Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal de Mato Grosso
Cuiabá, 78060-900 MT - Brasil
Email: ana.assis@sou.ufmt.br

Fillipe Matos de Vasconcelos
Departamento de Engenharia Elétrica
Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal de Mato Grosso
Cuiabá, 78060-900 MT - Brasil
Email: fillipe.vasconcelos@ufmt.br

Resumo - O uso racional da energia elétrica no Brasil e no mundo é fundamental para ampliar a acessibilidade, a segurança energética das nações, a sustentabilidade e o desenvolvimento tecnológico. Nesse universo, tecnologias de IoT (*i.e.*, *Internet of Things*) têm surgido para aperfeiçoar amplamente a experiência do usuário e a comunicação entre pessoas e processos. Assim, destacam-se os medidores inteligentes (ou, *smart meters*) como ferramenta para supervisionar, em tempo real, e remotamente, o consumo da energia. No contexto atual, como prática padrão para racionalização do uso da energia, concessionárias e consumidores finais têm substituído equipamentos de baixo para alto rendimento. Todavia, no que se refere aos níveis de desperdício, ainda muito pouco é feito. Neste cenário, portanto, muitas pesquisas e desenvolvimentos têm sido realizados para o uso de avançadas tecnologias de monitoramento remoto como alternativa para mitigar esses desperdícios. É válido mencionar, contudo, que a nível residencial ainda não existem tecnologias bem consolidadas para atender, simultaneamente, requisitos operacionais, financeiros e de cibersegurança. Este trabalho propõe utilizar um microntrolador comercial (*i.e.*, ESP8266 NodeMCU), de baixo custo, para monitoramento da energia e desenvolver um aplicativo *Android* para comunicar os dados em tempo real do cliente para o servidor em uma plataforma na Nuvem via protocolo MQTT.

Palavras-Chave – Medidores, consumo e energia.

STUDY OF NON-TECHNICAL LOSSES IN ELECTRIC ENERGY DISTRIBUTION SYSTEMS

Abstract - The rational use of electricity in Brazil and in the world is essential to increase accessibility, energy security in nations, sustainability and technological development. In this universe, IoT technologies (*i.e.*, *Internet of Things*) have emerged to vastly improve the user experience and communication between people and processes. Thus, smart meters stand out as a tool to energy monitor, in real time, and remotely, energy consumption. In the current context, as a standard practice for rationalizing the use of energy, concessionaires and final consumers have been replacing low-performance equipment with high-performance equipment. However, with regard to waste levels, still very little is done. In this scenario, therefore, much research and development has

been carried out for the use of advanced remote monitoring technologies as an alternative to mitigate this waste. It is worth mentioning, however, that at the residential level there are still no well-established technologies to simultaneously meet operational, financial and cyber-security requirements. This work proposes to use a commercial microprocessor (*i.e.*, ESP32), of low cost, for energy monitoring and to develop an *Android* application to communicate real-time data from the client to the server on a Cloud platform via MQTT protocol.

Keywords – Meters, consumption e energy.

I. INTRODUÇÃO

Aprimorar o setor elétrico no Brasil e no mundo tem um impacto direto e significativo na acessibilidade, sustentabilidade e segurança energética. Segundo a ONU [1], a taxa global de acesso à eletricidade aumentou de 83% em 2010 para 91% em 2020. Com o uso racional da energia elétrica no Brasil e no mundo, essa estatística pode ampliar ainda mais, seja por meio da redução de desperdício, com uso de equipamentos mais eficientes; seja por meio da redução de preços, com o aumento da eficiência energética, com elementos de geração próximos ao consumo, com financiamentos, com incentivos ou com subsídios; seja por meio do desenvolvimento tecnológico, com a adoção de sistemas de armazenamento de energia [2], com a adoção de *smart meters*, com a automatização de desligamento quando em fora de uso, com a digitalização do setor elétrico, com gestão da energia pelo lado da demanda, e outros [3]. “Bangladesh, por exemplo, usou sistemas solares domésticos fora da rede fornecidos pelo setor privado e extensão da rede principal com apoio público por meio de seu programa cooperativo rural para aumentar a proporção da população com eletricidade de 32% para 62% entre 2000 e 2014” [4]. No que se refere a segurança energética das nações, tem-se a redução da importação de energia; redução da utilização de energias poluentes, por exemplo, combustíveis fósseis; o aumento na utilização de fontes de energia renováveis, aumentando, assim, a resiliência energética [5].

Nesse universo, tecnologias de IoT (*i.e.*, *Internet of Things*) têm ganhado mais espaço no mercado com a finalidade de ampliar e melhorar a comunicação entre pessoas e processos. Neste cenário, destacam-se os medidores inteligentes (ou, *smart meters*). Em setembro de 2019, por exemplo, cerca de 290.000 medidores avançados foram implantados em diversas residências em Cingapura, como ferramenta para supervisionar, em tempo real, e remotamente, o consumo da

energia, possibilitando ao usuário acesso às atualizações do seu consumo a cada meia hora, permitindo a eles um melhor entendimento do seu padrão de consumo e a possível redução do uso de energia, tornando-os mais eficientes. Segundo o Sr. Ngiam Shih Chun, Diretor Executivo da *Energy Market Authority* (EMA), “Todos podem fazer sua parte para usar a eletricidade de maneira mais inteligente e eficiente para um futuro energético mais sustentável. Com medidores de eletricidade avançados, todas as famílias podem ter informações mais oportunas sobre seus usos de eletricidade, o que os ajudará a ser mais eficientes em termos de energia e reduzir suas contas de eletricidade” [6].

No Brasil, um dos passos em direção a eficiência energética e a redução do desperdício de energia teve início em 1984, quando o INMETRO (*i.e.*, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), iniciou uma discussão sobre o tema, eficiência energética, o que hoje tornou-se o PBE (*i.e.*, Programa Brasileiro de Etiquetagem) cujo foco principal tem como a etiquetagem de alguns equipamentos elétricos e/ou eletrônicos com informações da sua eficiência energética. Classificados nas categorias de A a G, vão dos mais eficientes ao menos eficientes, respectivamente. Essa iniciativa além de informar o consumidor sobre as características de consumo do equipamento, também instiga a competição entre as indústrias na fabricação de produtos mais eficientes. O PBE conta com o apoio da PROCEL (Programa Brasileiro de Conservação de Energia Elétrica) que é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia do Governo Federal, trata-se de um selo dado de forma voluntária aos equipamentos mais eficientes da categoria [7], sendo mais um incentivo a eficiência energética. Entretanto, essas medidas ainda são limitadas diante do problema que é o desperdício de energia.

Apesar de muitas pesquisas estarem sendo desenvolvidas na área de *smart meters*, ainda existem desafios quando refere-se a essa tecnologia, tratando-se de: (i) requisitos de confiabilidade: como a transparência no gerenciamento das informações coletadas dos usuários [8], falta de confiança na relação fornecedores de energia e consumidores finais [8] e [9]; e insegurança por meio da possibilidade do uso das informações de forma indevida pelas companhias [10]; (ii) requisitos financeiros: como custos de instalação e manutenção [10] e [11] e o *payback* do equipamento ao longo dos meses [12]; (iii) requisitos de cibersegurança: como a invasão de privacidade por meio da obtenção do perfil de consumo [10], [12]-[13]; como proteger os dados de consumo dos usuários e evitar a invasão da rede por meio do dispositivo de medição [14] e [15].

Na literatura científica, o tema de adição de medidores inteligentes é tratado de 5 maneiras: (i) Tecnologia e Hardware [6]; (ii) Implementação e adoção [6]; (iii) Medição de energia e gerenciamento de carga [7]; (iv) Análise de dados e tomada de decisões [21]; (v) Impacto ambiental e social [5]. Para exemplificar, em [20], [23]-[25] tem-se que tecnologias e *hardware* de baixo custo (ex.: ESP32 e Arduino) são utilizados, porém, sensores de medições de correntes e tensões são distintos, soluções customizadas de *software* e diferentes experiências UI/UX (*User Interface/ User Experience*) são apresentadas, e outras diferenças metodológicas no que se refere à proposição de *smart meters* são feitas.

Este trabalho, portanto, apresenta uma alternativa de baixo custo para o monitoramento da energia elétrica em unidades consumidoras residenciais, contemplando desenvolvimentos em *hardware* e *software*. O *hardware* desenvolvido inclui: (i) um módulo de monitoramento elétrico multifunção (*i.e.*, PZEM-004) para coletar os dados de tensão (V), corrente (I), frequência (F), potência ativa (P), reativa (Q) e aparente (S), fator de potência (FP) e energia consumida da rede (kWh); (ii) um microprocessador comercial (*i.e.*, ESP8266) para o processamento de dados coletados (via *firmware*) e de comunicação de dados (via *Wi-Fi*). O *software* desenvolvido inclui: (i) um protocolo padrão de mensagens para IoT (via MQTT, do inglês, *Message Queuing Telemetry Transport*) para armazenar em banco de dados as informações coletadas; (ii) Uma linguagem PHP (*Personal Home Page*) que roda dentro do servidor separando os dados de coleta, (iii) um aplicativo *Android* (em *App Inventor*TM [17]) para que o usuário possa acessar, em tempo real, os dados armazenados no banco de dados. Esse trabalho contribui para o aprimoramento do desenvolvimento científico-tecnológico na medida em que avalia a aplicabilidade de um medidor de baixo custo em cargas elétricas pertencentes a rede de baixa tensão.

A organização do trabalho é dividida em 6 seções. Na seção II é apresentada a revisão bibliográfica sobre *smart meters*, *hardware*, *software* e revisões de trabalhos presentes na literatura científica. Na seção III tem-se as definições de *hardware* do protótipo, na seção IV, por sua vez, é apresentada a arquitetura dos *softwares* envolvidos no processo, na seção V tem-se toda a metodologia utilizada na construção do protótipo, os resultados são apresentados, analisados e discutidos na sessão VI. Por fim, as conclusões são apresentadas.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O setor de energia elétrica tem buscado cada vez mais alternativas para desenvolver a infraestrutura de medição e aquisição de dados de unidades consumidoras de baixa tensão. Os objetivos almejados incluem: extrair informações e padrões de comportamento do consumo da energia, auxiliando nas tomadas de decisões para maximizar a eficiência no seu fornecimento; contornar a necessidade de deslocamento de leituristas; aumentar a capacidade de hospedagem de geração distribuída; etc. Para isso, faz-se necessário que *smart meters* sejam instalados em unidades consumidoras de baixa tensão, atendendo a critérios técnicos (*i.e.*, medições elétricas e comunicação bidirecional) e normativos [26], NBR 16968:2022 [27], regras do PRODIST [28], norma técnica ANEEL 1000/2021[32], e do INMETRO, 586/2012 [29], 587/2012 [30] e 520/2014 [31]). A aplicação dessa tecnologia aprimora o processo de gestão da energia e reduz desperdícios. Nesse cenário, o Brasil, entre os anos de 2015 a 2017, desperdiçou o equivalente à metade da produção de Itaipu [16]. No ano de 2019, por sua vez, o montante total de energia gerado, no Brasil, foi de 626 TWh, a uma taxa de perdas de 14,3%, o que corresponde à 89,52 TWh. Essas perdas são provenientes de diversas fontes, desde o processo de transporte e transformação da energia (*i.e.*, perdas técnicas), ou até ligações clandestinas na rede e erros na leitura, medição e

faturamento (*i.e.*, perdas não técnicas) [18]-[19]. Vale ressaltar que, o consumo da classe residencial sobre o

Tabela I – Tecnologia de Processadores e Sensores em Smart Meters: hardware

Ref.	Processador	Sensores
[20]	ESP32	I: SCT-013; V: ZMPT101B
[23]	ESP8266	I: ACTA-100; V: Resistor de carga.
[24]	Raspberry Pi	I: SCT-013-100A
[25]	Arduino	I: CS712-20A; V: Circuito grameador

Tabela II – Tecnologias De Processadores em Smart Meters: Software.

Ref.	IoT	Protocolo
[20]	ESP32	HTTP; MQTT
[23]	ESP8266	HTML
[24]	Raspberry Pi	HTTP; API Rest.
[25]	Arduino	I2C

montante total gerado corresponde a 29,6%, e mitigar as perdas na classe residencial através do monitoramento de consumo é o foco deste trabalho.

Os *smart meters* vem sendo uma opção a ser implantada para substituir os medidores tradicionais e os inconvenientes, especialmente financeiros, que envolvem o trabalho dos leituristas, como forma de mitigar perdas e entregar ao usuário maior transparência na medição da energia elétrica consumida [22]. Esta revisão bibliográfica se propõe apresentar e discutir desenvolvimentos científico-tecnológicos no âmbito de analisar possíveis combinações de *hardware* (*i.e.*, microprocessadores, microcontroladores e sensores) e de *software* (*i.e.*, tecnologia IoT e de servidores) na confecção de *smart meters* para unidades consumidoras de baixa tensão.

Referente ao *hardware e software*, em [20], a unidade de processamento de dados ESP32 é utilizada devido a disponibilidade de processamento *dual core*, memória *flash* e conexão *Wi-Fi on-board*; O sensor SCT-013 de 30A não-invasivo é utilizado para medir corrente e o sensor ZMPT101B para medir tensão. Os protocolos HTTP e MQTT, foram utilizados nas etapas de: conexão com a rede; comunicação com o usuário; e troca de informações com a nuvem, respectivamente. O artigo [23] utiliza do ESP8266 para o processamento de dados e conexão *WIFI*; o sensor TA 12-100 para a medição de corrente e um resistor de carga na entrada analógica do ESP8266 para transformar sinais de corrente em tensão. No Software utiliza do protocolo HTTP para o envio dos dados à uma aplicação *web*; Em [24], O *Raspberry PI 4* é utilizado como unidade de processamento de dados que fará a conversão dos dados de corrente coletados, pelo sensor SCT-013 de 100A, em kWh e via protocolo HTTP disponibilizará os dados em tempo real. O artigo [25] utiliza dois Arduinos UNO, um para o processamento de dados via portas analógicas e digitais e outro para a visualização dos dados através de um display LCD; um sensor invasivo de efeito hall, CS712-20A, para a medição de corrente; e um circuito grameador para a medição de tensão. Os dados são armazenados localmente, via protocolo I2C, em memórias não voláteis, que não perdem dados quando desenergizadas, (*i.e.*, NVRAM e AT24C32).

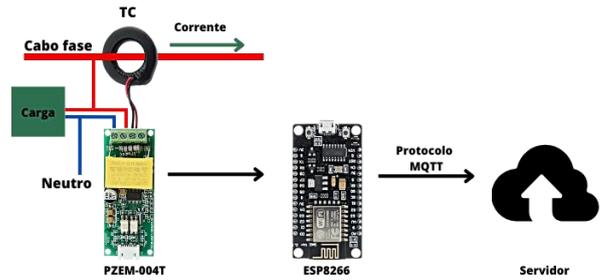


Fig. 1. Arquitetura Geral do Hardware.

A Tabela I sintetiza tecnologias identificadas nesta revisão da literatura, destacando possíveis combinações entre processadores e sensores. A Tabela II, por sua vez, sintetiza possíveis combinações entre serviços IoT e protocolos de rede.

Por fim, este trabalho propõe investigar uma nova combinação de tecnologias de baixo custo para o monitoramento da energia elétrica em unidades consumidoras residenciais, contemplando desenvolvimentos em *hardware* e em *software*. O *hardware* desenvolvido inclui: (i) um módulo de monitoramento elétrico multifunção (*i.e.*, PZEM-004) para coletar os dados de tensão (V), corrente (I), frequência (F), potência ativa (P), reativa (Q) e aparente (S), fator de potência (FP) e energia consumida da rede (kWh); (ii) um microcontrolador comercial (*i.e.*, ESP8266 NodeMCU) para o processamento de dados coletados via *firmware* (*i.e.*, *Tasmota*) e de comunicação de dados (via *Wi-Fi*). O *software* desenvolvido inclui: (i) um protocolo padrão de mensagens para IoT (via MQTT, do inglês, *Message Queuing Telemetry Transport*) para armazenar em um servidor as informações coletadas; (ii) um aplicativo Android (em *App Inventor™* [20]) para que o usuário possa acessar, em tempo real, os dados armazenados no banco de dados. Esse trabalho contribui para o aprimoramento do desenvolvimento científico-tecnológico na medida em que avalia a aplicabilidade de um medidor de baixo custo em cargas elétricas pertencentes a consumidores do grupo B.

III. HARDWARE: DEFINIÇÕES E COMPONENTES

Este trabalho possui como arquitetura de hardware um módulo PZEM-004T que realiza medições das grandezas de corrente, tensão, potências e fator de potência. Para o processamento dos dados e a conexão com o banco de dados foi empregado o microcontrolador ESP8266 NodeMCU V3. A arquitetura do protótipo se organiza conforme a Figura 1.

A. PZEM-004T

Módulo eletrônico, cuja maior fabricante é a empresa chinesa Peacefair, o módulo realiza a medição das grandezas AC: (I) corrente [A], (V) tensão [V], (P) potência ativa [W], (Q) potência reativa [VAr], (S) potência aparente [VA] e (FP) fator de potência. Para a medição da corrente, faz se o uso de um TC (*i. e.* transformador de corrente) externo, conectado via borne ao PZEM-004T que é capaz de medir até 100A [33].

O servidor é responsável pela hospedagem dos dados na rede, permitindo a criação de um histórico e acesso dos dados a qualquer momento. O servidor chamado “nuvem” pode ser dividido entre usuários tornando assim uma opção mais barata de hospedagem de dados, diferente de um servidor local que seria de uso exclusivo e necessita de uma maior infraestrutura para mantê-lo [41].

E. MIT App Inventor

Plataforma, gerenciada pelo MIT (*Massachusetts Institute Of Technology*), que permite, de forma didática, visual e intuitiva desenvolver aplicativos para celulares e tablets, por meio da linguagem de programação em bloco. A plataforma conta com a possibilidade de interação com diversos sensores e muitos outros recursos que podem ser incorporados aos aplicativos, tornando-os mais completos e eficientes, por exemplo: GPS; *bluetooth*; *wifi*; MQTT, *Web*, e etc. Ao final do desenvolvimento o *download* do aplicativo pode ser feito através de um link ou *QR code* que aparecerão logo após a compilação do aplicativo, também conta com a possibilidade de publicar o aplicativo nas lojas oficiais de *app* (i.e., *App Store* e *Play Store*) [39].

V. SMART METER

A análise e medição de energia tem papel fundamental no setor elétrico, os estudos para que elas possam ser realizadas de forma precisa e eficiente, estão cada vez mais aumentando. Este trabalho apresenta o desenvolvimento e análise de um medidor de energia utilizando o módulo de medição *PZEM-004T* junto da plataforma microprocessadora *ESP8266 NodeMCU V3*.

Como *hardware* este trabalho utiliza de dois componentes fundamentais para a sua arquitetura que foram escolhidos como pelo excelente custo benefício. O módulo *PZEM-004T* realiza as medições das cargas e o *ESP8266 NodeMCU V3* processa os dados medidos pelo *PZEM*.

Para a arquitetura de *software*, foram necessárias algumas ferramentas para obter o resultado esperado na leitura, processamento e envio dos dados. (i) O firmware *Tasmota* foi a primeira etapa, escolhido por ser o mais recomendado na literatura científica do *PZEM-004T*, através desse *firmware* instalado no *ESP8266 NodeMCU* é possível realizar o processamento dos dados lidos pelo módulo *PZEM-004T*. Devido a sua estrutura ser *open-source* é possível realizar ajustes nos dados coletados, como sincronizar hora, data, o intervalo das medições, configurações essas realizadas no neste protótipo (ii) O protocolo MQTT foi implementado pela confiabilidade no envio dos dados por utilizar um *broker* que gerencia as informações através de um tópico definido, neste protótipo é responsável pela publicação dos dados processados no *ESP8266* no servidor. (iii) O servidor utilizado para este protótipo, foi o tipo nuvem e foi cedido, de forma gratuita, pela empresa ABR Tecnologia, como forma de incentivo a pesquisa científica. (iv) A linguagem de programação PHP é responsável pela organização dos dados, uma vez que eles são mostrados com outras informações que não serão necessárias. A linguagem de script PHP roda dentro do servidor e antes que os dados sejam

Tabela III – Valores dos Componentes.

Componentes	Preço*	Fornecedor
PZEM-004T	R\$56,50	Aliexpress
ESP8266	R\$45,00	Arduino Brasil Shop
Broker MQTT	\$5,00/mês	Cloud MQTT
Servidor	R\$25,00/mês	Cabral Tecnologia

* Frete incluso no valor dos equipamentos

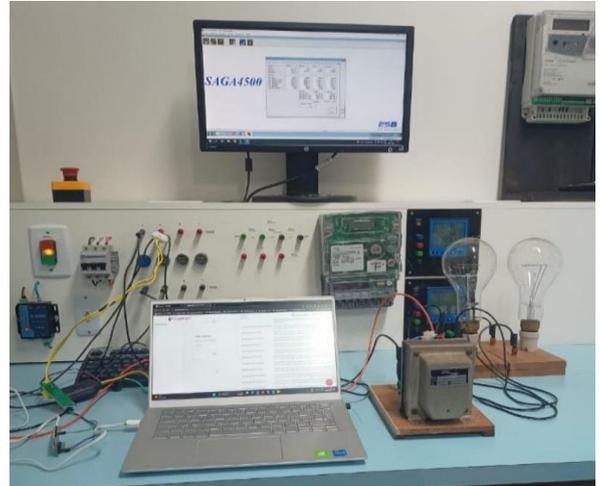


Fig. 5. Teste de bancada em laboratório da UFMT.

armazenados no servidor a linguagem funciona com um filtro separando apenas os caracteres desejados de informação para o usuário assim o usuário tem acesso às informações de medição de maneira clara e objetiva. (v) O *App Inventor* foi escolhido pela facilidade no processo de desenvolvimento do aplicativo, ele tem por finalidade ser a interface voltada ao usuário, a ponte entre o servidor e o consumidor final na visualização dos dados armazenados no servidor, via *smartphone android* e/ou *tablet*. A Tabela III mostra os gastos envolvidos na construção do protótipo.

VI. RESULTADOS

A. Estudo de caso

Um estudo de caso laboratorial e um residencial foram realizados. O estudo de caso laboratorial, foi dividido em duas etapas. A primeira etapa consiste na comparação de valores do medidor inteligente desenvolvido nesta pesquisa em relação a um medidor comercial (i.e., *SAGA-3000*). A segunda etapa, por sua vez, consiste avaliar a capacidade do *PZEM-004T* realizar medidas no 1º e no 4º quadrante, ou seja, $[1^\circ Q.] P > 0$ e $Q > 0$, e $[4^\circ Q.] P > 0$ e $Q < 0$. Sendo assim, tem-se que: (i) medições foram realizadas simultaneamente pelo *PZEM-004T* e pelo *SAGA-3000*, tomado como sendo o medidor referência, para avaliar o nível de precisão do módulo em uma associação em paralelo de cargas predominantemente RL, constituídas de 2 lâmpadas de 500W da Philips e um reator da marca UltraSinus; (ii) posteriormente, medições do módulo *PZEM-004T* utilizando das cargas R; RL e RC foram realizadas a fim de avaliar a capacidade de medição em dois quadrantes. A Figura 5 ilustra o teste de bancada realizado em laboratório da UFMT.

Tabela IV – Dados de Catálogo das Cargas [42],[43]-[44].

Carga	Marca	Consumo	Tensão
Geladeira	Panasonic [Re]regeneration 435L	49kWh/mês	127/220 V
Notebook	Dell - Inspiron 14 5402	53Wh (4 células)	127/220V
Máquina de Lavar Roupas	Consul -12 kg	135kWh/ciclo	127V

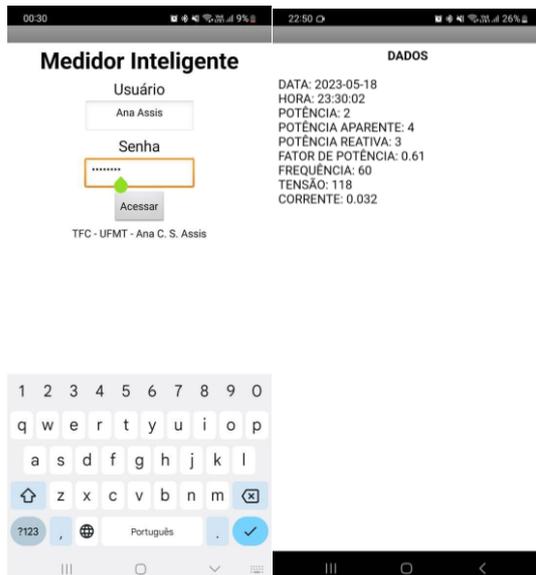


Fig. 6. Tela de acesso e tela de dados do aplicativo.

No estudo de caso residencial, por sua vez, testes de medições foram realizados em 3 cargas elétricas distintas, que são: geladeira, notebook e máquina de lavar roupas. A Tabela IV apresenta os correspondentes dados de catálogo das respectivas cargas. As medições foram realizadas no período de 24 horas; 3,4 horas e 40 minutos, respectivamente, a fim de avaliar as potenciais aplicabilidades dos smart meters para usuários finais e/ou concessionárias de energia elétrica.

No que se refere ao desenvolvimento de *software*, o aplicativo foi desenvolvido com duas telas, sendo elas: (i) tela de login, em que o usuário preenche com *login* e senha pré-cadastrados, cuja finalidade é preservar a confidencialidade dos dados a serem aquisitados; e (ii) a tela de exibição de dados de medição, em que as informações das medições são atualizadas com granularidade de 15s. Há a possibilidade também de gerar relatórios diários com as medições das 24hrs transcorridas na data selecionada, através do servidor.

B. Dados de medição laboratoriais

Em consonância com o estudo de caso descrito na subseção A, tem-se na Figura 7 os resultados comparativos de P, Q, V e I em termos de erros percentuais entre o PZEM e o SAGA 3000. É possível observar que as medições não superaram erros de 0,5 %, com exceção da potência reativa Q, que atingiu valores de até 2 %.

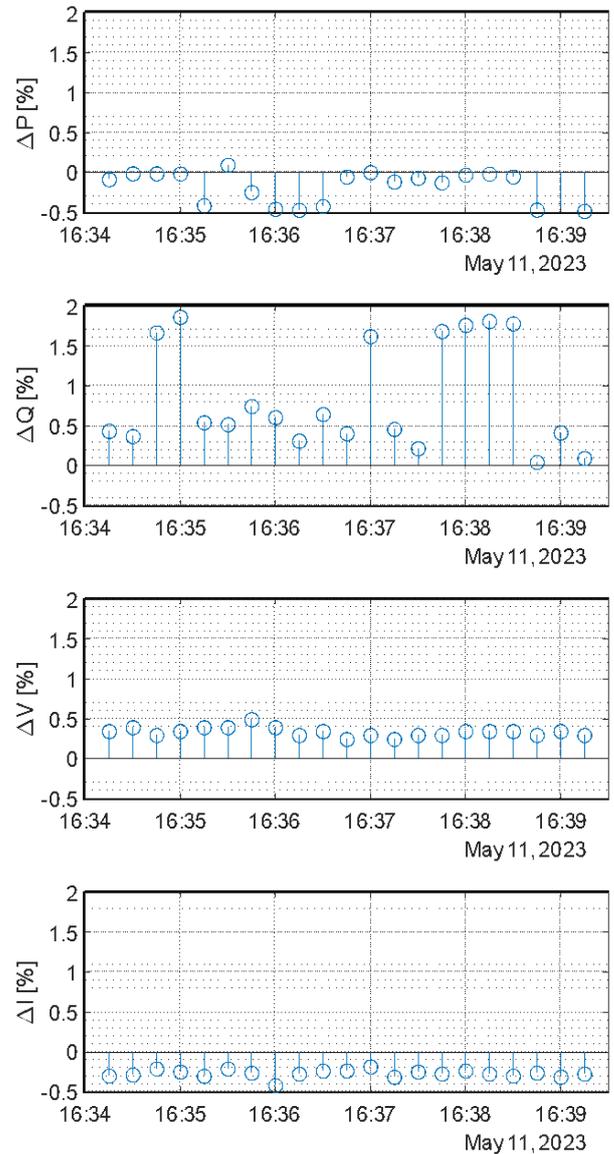
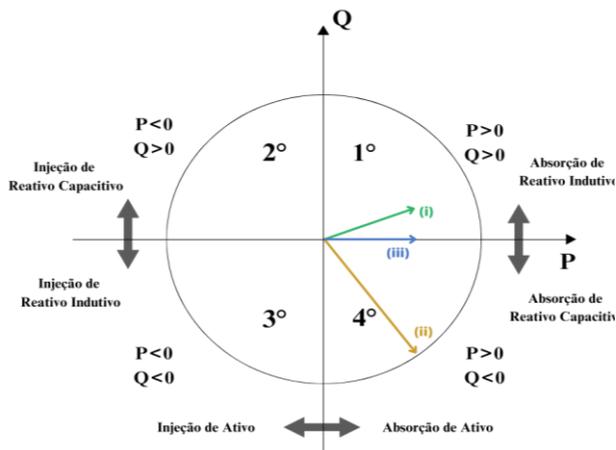


Fig. 7. Ensaio laboratorial. Comparação das medições de P, Q, V e I entre o PZEM e o SAGA 3000 e em uma carga RL.

A Figura 8 mostra os resultados da medição do PZEM em 04 condições de operação distintas distribuídas em 02 quadrantes, sendo elas: (i) 01 lâmpada incandescente de 500 W, 220V, alimentada em 127 V, em paralelo com um reator (*i.e.*, indutor), representando uma carga RL; (ii) 01 lâmpada incandescente de 500 W, 220V, alimentada em 127 V, em paralelo com um capacitor de 50 μ F, representando uma carga RC; (iii) 01 lâmpada incandescente de 500 W, 220V, alimentada em 127 V; (iv) 02 lâmpadas incandescente de 500 W, 220V, alimentada em 127 V, em paralelo com um reator (*i.e.*, indutor), representando uma carga RL mais resistiva que no caso (i).



(i) RL	(ii) RC	(iii) R
P 226,38 W	P 221,95 W	P 220,61 W
Q 78,66 Var	Q 303,71 Var	Q 0 Var
V 126 V	V 129 V	V 128,42 V
I 1,89 A	I 2,91 A	I 1,71 A

Fig. 8. Gráfico (P) e (Q) para as cargas R, RL e RC medidas utilizando o módulo PZEM-004T.

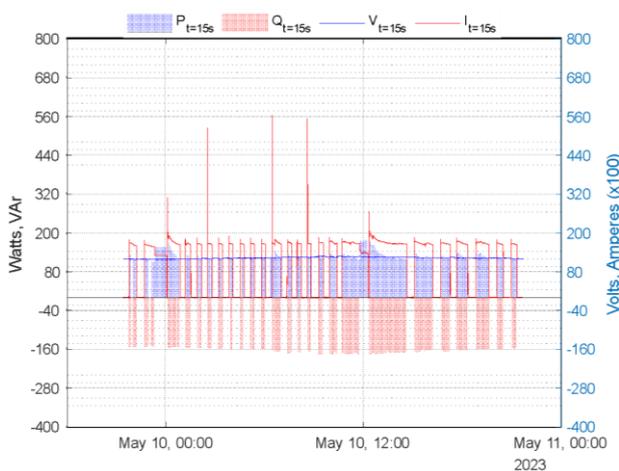


Fig. 9. Consumo de energia, tensões e corrente de uma geladeira frost free, no período de 24hrs.

C. Dados de medição residencial

As Figura 9, 10 e 11 mostram os dados de medição de P-Q (no eixo-y à esquerda) e V-I (no eixo-y à direita) de uma geladeira (no período de 24-h), de um notebook (no período de 3,4-h) e de uma máquina de lavar roupas (no período de um ciclo de 40-min), respectivamente.

A Figura 12 mostra o consumo de energia acumulado das 03 cargas elétricas monitoradas, sendo: 1,8 kWh para a geladeira; 0,1 kWh para o notebook e 0,1 kWh para a máquina de lavar.

D. Análise dos Resultados

No estudo de caso laboratorial, os dados analisados de P, Q, V e I da Figura 7 demonstram boa aderência entre o PZEM, que é um medidor de baixo custo, com o SAGA3000 (que é comercial, e de mais alto custo). Com a análise dos gráficos

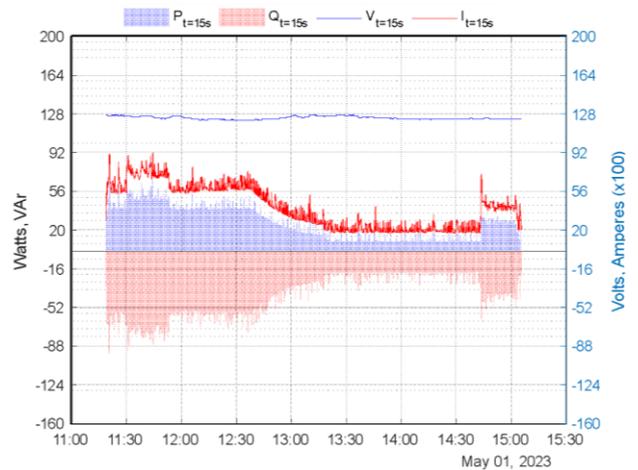


Fig. 10. Consumo de energia, tensões e corrente de um notebook no período de 3,4hrs.

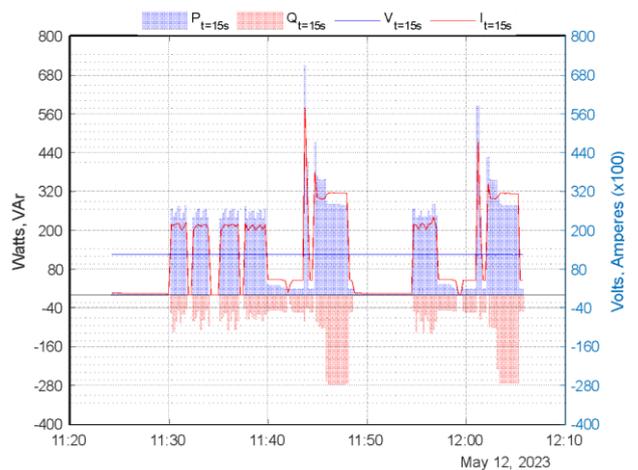


Fig. 11. Consumo de energia, tensões e corrente de uma máquina de lavar roupas no período de 40min.

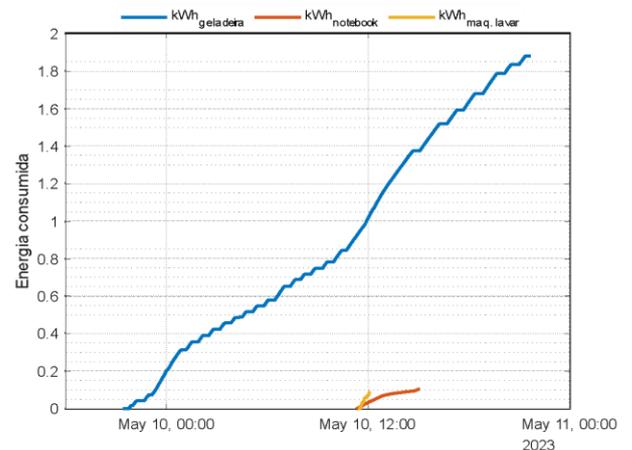


Fig. 12. Consumo de energia das três cargas medidas, no período de 24hrs.

pode-se concluir que na captação de P e I o módulo PZEM obteve uma medição com máximo de 0,5% maior que o medidor SAGA-3000; para Q a variação foi com a máxima de

quase 2% menor que o SAGA-3000; e em V a medição teve uma variação máxima de 0,5% menor que o SAGA-3000. Como o medidor inteligente, *PZEM-004T*, não tem o papel de substituir o medidor convencional para efeitos de cobrança, é possível concluir que as discrepâncias apresentadas estão dentro de limites bastante aceitáveis para aplicação de experiência de usuário e acompanhamento de consumo de energia. No que se refere à capacidade de medição em 02 quadrantes, tem-se que, na Figura 8, demonstrada a viabilidade de aplicações desses medidores para medições em dois quadrantes, indutivo e capacitivo. Note também que a medição de cargas permite melhor compreender o comportamento de consumo de cargas elétricas.

No estudo de caso residencial é possível observar o comportamento da carga, sendo possível associar o padrão de consumo com o tipo de atividade que a carga está desenvolvendo no momento. Na Figura 9, por exemplo, é possível identificar que, em alguns períodos de tempo (ex.: próximo das 12:00h), há lacunas de demanda de potência reativa Q ao passo que existe demanda de potência ativa P . Estes intervalos de tempo representam a atuação da resistência interna da geladeira na execução da função *frost free*, ou seja, o monitoramento das demandas de potências podem, entre outras aplicações, servir para monitorar a saúde não apenas do equipamento elétrico como um todo, mas também de seus componentes específicos. Na Figura 10, por sua vez, é possível identificar que se tem um maior consumo no início do período de aquisição de dados, e este intervalo de tempo coincide com a condição de operação em que o notebook estava alimentando ambos, a bateria e os seus componentes internos. O decréscimo de demanda observado entre 12:30h e 13:30h coincide com o intervalo de tempo de carga completa da bateria. O aumento de demanda ocorre novamente às 14:45h, quando um jogo foi iniciado. Na Figura 11, por fim, tem-se que é possível identificar os ciclos de lavagem e enxague e os momentos que a máquina deixa a roupa de molho por alguns minutos. A Figura 12 mostra o consumo de energia em kWh das três cargas, em seus respectivos tempos de medição.

Dada a discussão apresentada neste trabalho, tem-se que uma série de potenciais benefícios relacionados à experiência de usuário, ao uso racional da energia, ao aprimoramento de técnicas de operação e controle no lado da demanda, etc., podem ser obtidos; porém, este trabalho ressalta a importância de fortalecer mecanismos suficientemente bem desenvolvidos para garantir o cumprimento de requisitos de *cyber-security*, dado que medições de energia elétrica configuram dados associados à privacidade do usuário. Note que se dados de medição de consumo de notebook, TV, etc., são acessados por terceiros, é possível extrair muita informação sigilosa a respeito das pessoas que vivem na unidade consumidora.

VII. CONCLUSÃO

Este trabalho propõe o desenvolvimento e a aplicação de um medidor inteligente de baixo custo. A proposta desse trabalho é voltada para aplicações no setor residencial, entretanto, após as análises dos resultados obtidos por meio

das medições, o protótipo se revelou consistente para monitoramento de cargas no setor comercial e industrial.

O custo benefício do protótipo se mostrou muito positivo, uma vez que as taxas de variação das medições realizadas no estudo de caso laboratorial comparadas a um medidor comercial e de alto valor de mercado apresentaram valores toleráveis.

Para trabalhos futuros acerca deste protótipo, sugere-se um maior refinamento na devolução dos dados ao usuário, dando a ele uma experiência com maior interatividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Organização das Nações Unidas (2022). *Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy*. Acesso em 20 de Dezembro de 2022, em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/energy/>.
- [2] The World Bank (2016). *Sustainable Development goal on energy (SDG7) and the World Bank Group*. Acesso em 21 de Dezembro de 2022, em: <https://www.worldbank.org/en/topic/energy/brief/sustainable-development-goal-on-energy-sdg7-and-the-world-bank-group>.
- [3] Consumer Business and Business Channel (2012). *What happened to smart home appliances?*. Acesso em 21 de Dezembro de 2022, em: <https://www.cnn.com/id/100079784?&qsearchterm=smart%20meter>.
- [4] The World Bank (2018). *Access to Energy is at the Heart of Development*. Acesso em: 21 de Dezembro de 2022, em: <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2018/04/18/access-energy-sustainable-development-goal-7>.
- [5] The World Bank (2022). *Renewables Are the Key to Green, Secure, Affordable Energy*. Acesso em 05 de Janeiro de 2023, em: <https://www.worldbank.org/en/topic/energy/overview>.
- [6] Energy Market Authority (2019). *Empowering Households to Be More Energy Efficient*. Acesso em 05 de Janeiro de 2023, em: https://www.ema.gov.sg/media_release.aspx?news_sid=20191104s2JWzjPILYYH.
- [7] Ministério de Minas e Energia (2021). *O Programa Brasileiro de Etiquetagem*. Acesso em 05 de Janeiro de 2023, em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/conheca-o-programa>.
- [8] M. Jegen, X. D. Phillion, *Power and smart meters: a political perspective on the social acceptance of energy projects*. Canadian public administration, vol. 60, no. 1, pp. 68–88, 2017.
- [9] K. Buchanan, et al. *The British public's perception of the UK smart metering initiative: Threats and opportunities*. Energy Policy, vol. 91, pp. 87–97, 2016.
- [10] D. Bugden; R. Stedman. *A synthetic view of acceptance and engagement with smart meters in the United States*. Energy Research and Social Science, vol. 47, n. January 2019, p. 137–145, 2019.

- [11] D. Peters; J. Axsen; A. Mallett. *The role of environmental framing in socio-political acceptance of smart grid: The case of British Columbia, Canada. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 1939–1951, 2018.
- [12] H. S. Boudet. *Public perceptions of and responses to new energy technologies. Nature Energy*, vol. 4, n. 6, pp. 446–455, 2019.
- [13] C. Chen; X. Xu; L. Arpan. *Between the technology acceptance model and sustainable energy technology acceptance model: Investigating smart meter acceptance in the United States. Energy Research and Social Science*, vol. 25, pp. 93–104, 2017.
- [14] J. -S. Chou; I. G. A. N. Yutami. *Smart meter adoption and deployment strategy for residential buildings in Indonesia. Applied Energy*, vol. 128, pp. 336–349, 2014.
- [15] P. Wunderlich; D. J. Veit; S. Sarker. *Adoption of sustainable technologies: a mixed-methods study of German households. MIS Quarterly*, vol. 43, n. 2, pp. 673–691, 2019.
- [16] Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (2018). *Brasil desperdiça meia Itaipu por ano*. Acesso em 23 de Março de 2023, em: <http://www.abesco.com.br/novidade/brasil-desperdica-meia-itaipu-por-ano/>.
- [17] MIT App Inventor (2023). Acesso em 30 de Março de 2023, em: <https://appinventor.mit.edu/>.
- [18] Agência Nacional de Energia Elétrica (2021). *Relatório de Perdas de Energia Elétrica na Distribuição, Edição 01/2021*. Acesso em 01 de Março de 2023, em: <https://antigo.aneel.gov.br/documents/654800/18766993/Relat%C3%B3rio+Perdas+de+Energia +Edi%C3%A7%C3%A3o+1-2021.pdf/143904c4-3e1d-a4d6-c6f0-94af77bac02a>
- [19] Empresa de Pesquisa Energética (2020). *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020*. Acesso em 01 de Março de 2023, em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoesdadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao160/topico168/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202020.pdf>
- [20] E. M. R. Romancini; V.R. Zanon; A. S. Morales; F. O. Ourique; R. Moraes (2023). *Monitoramento Inteligente do Consumo de Energia Elétrica em Residências Utilizando Recursos de IoT*. Acesso em 03 de Abril de 2023.
- [21] L. J. M. Ladeiro (2022), *Big Data Analytics na Energia: Uma Revisão Sistemática da Literatura*. Acesso em 03 de março de 2023, em: https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/41625/1/Lu%20c3%ADs_Ladeiro.pdf
- [22] M. Z. Fortes; A. T. Ribeiro; D. A. V. Gonçalves; M. A. R. Schaefer; M. M. Flores. *Análise de adoção de medidores inteligentes como instrumento da política pública de eficiência energética*. Acesso em 03 de março de 2023. ENGEVISTA, vol. 19, n.2, pp. 316-327, 2017.
- [23] J. F. Ibiapina (2022), *Smart Meter: Sistema não Invasivo para Monitoramento de Consumo Energético*. Acesso em 04 de Abril de 2023, em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/66491/1/2022_tc_c_jfibiapina.pdf.
- [24] F. C. Coelho; J. P. Moreira, (2022). *Protótipo de um aplicativo para o gerenciamento do consumo d energia elétrica*. Acesso em 13 de abril de 2023, em: <http://raam.alcidesmaya.edu.br/index.php/SGTE/article/view/382/373>.
- [25] M. F. Damasceno, W.O. Campos, T. S. Tacon, K. R. B. Caparelli, M. C. Melo (2016). *Proposta de Medidor Inteligente de Consumo de Energia Elétrica*.
- [26] W. F. Correia, (2018). *Inclusão de métodos estatísticos como apoio ao faturamento de energia realizado por medidores inteligentes*. Acesso em 10 de abril de 2023, em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/35304/35304.PDF>.
- [27] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16968 de 04/2022: *Perfil DLMS/COSEM para medidores inteligentes de energia elétrica – Requisitos*. Acesso em 10 de abril de 2023, em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abntnbrnm/13342/abntnbr16968perfildlmscosemparamedidoresinteligente-s-de-energia-eletrica-requisitos->.
- [28] Agência Nacional de Energia Elétrica , (2022). *Regras e Procedimentos de Distribuição (Prodist)*. Acesso em 04 de abril 2023, em <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/procedimentos-regulatorios/prodist>.
- [29] Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia, (2012). *Portaria n°586, de 01 de novembro de 2012*. Acesso em 11 de abril de 2023, em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001928.pdf>.
- [30] Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia, (2012). *Portaria n°587, de 01 de novembro de 2012*. Acesso em 11 de abril de 2023, em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001929.pdf>.
- [31] Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia, (2012). *Portaria n°520, de 01 de novembro de 2014*. Acesso em 11 de abril de 2023, em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002187.pdf>.
- [32] Agência Nacional de Energia Elétrica, (2021). *Resolução normativa ANEEL n°1000 de 7 de dezembro de 2021*. Acesso em 11 de abril de 2023, em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf>.
- [33] USINAINFO, (2023). *Voltímetro AC Wattímetro Amperímetro PZEM-004T V3.0 100ª 260V com saída TTL*. Acesso em 09 de maio de 2023, em: <https://www.usinainfo.com.br/voltimetrodigitalanalogico/voltimetro-ac-wattimetro-amperimetro-pzem-004t-v30-100a-260v-com-saida-ttl-5737.html>.
- [34] PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO, (2001). *Análise de transformadores de corrente para medição*. Acesso em 09 de maio de 2023, em: http://bom.org.br:8080/jspui/bitstream/123456789/1768/1/Oliveira_2001.pdf.

- [35] Bau da Eletrônica, (2023). *Módulo ESP8266 NodeMcu ESP-12E com WiFi V3*. Acesso em 09 de maio de 2023, em: <https://www.baudaeletronica.com.br/modulo-wifi-esp8266-nodemcu-esp-12e.html>.
- [36] Tasmotrol, (2023). *What is Tasmota*. Acesso em 09 de maio de 2023, em: <https://www.tasmotrol.com/en/what-is-tasmota/>.
- [37] AWS, (2023). *O que é MQTT?*. Acesso em 09 de maio de 2023, em: <https://aws.amazon.com/pt/what-is/mqtt/#:~:text=O%20protocolo%20MQTT%20foi%20inventado,para%20monitorar%20oleodutos%20via%20sa%C3%A9lite>.
- [38] Hostinger Tutoriais, (2023). *O que é PHP? Guia Básico de Programação PHP*. Acesso em 10 de maio de 2023, em: <https://shre.ink/hostinger-tutoriais>.
- [39] MIT APP INVENTOR, (2023). *About us*. Acesso em 10 de maio de 2023, em <https://appinventor.mit.edu/>
- [40] MISCHIANTI, Renzo, (2021). *NodeMCU v2 and v2.1 high resolution pinout and specs*. Acesso em 10 de maio de 2023, em: <https://www.mischianti.org/2021/10/27/nodemcu-v2-and-v2-1-high-resolution-pinout-and-specs/>.
- [41] VMWARE, (2023). *Servidor de Nuvem*. Acesso em 14 de maio de 2023, em: <https://shre.ink/vmware-topics-cloudserver>.
- [42] Consul (2023). *Máquina de Lavar Consul 12kg Dosagem Extra Econômica e Ciclo Edredom - CWH12AB*. Acesso em 16 de maio de 2023, em: <https://www.consul.com.br/lavadora-consul-12kg-cwh12ab/p>.
- [43] PANASONIC, (2023). *REFRIGERADOR FROST FREE [RE]GENERATION - NR-BT47BD2X*. Acesso em 16 de maio de 2023, em: <https://www.panasonic.com/br/consumidor/eletrodomesticos/refrigeradores/nr-bt47bd2x.html>.
- [44] Dell Technologies (2023). *Inspiron 5402 Setup and Specifications*. Acesso em 16 de maio de 2023, em: <https://www.dell.com/support/manuals/pt-br/inspiron-14-5402-laptop/inspiron-5402-setup-and-specifications/display?guid=guid-73e1ca36-2dcd-41d4-b0bd-abbae75a1deb&lang=en-us>.
- [45] PEACEFAIR (2023). *PZEM-004T V3.0 User Manual*. Acesso em 16 de maio de 2023, em: https://pt.aliexpress.com/item/1005001786475355.html?spm=a2g0o.store_pc_allProduct.8148356.2.7ebf746aTpH3Gk&pdp_npi=3%40dis%21BRL%21R%24%2084%2C95%21R%24%2062%2C86%21%21%21%21%21%21038eda16847671195824764e1d69%2112000017571391471%21sh%21BR%213920251186

APÊNDICE

APÊNDICE A - Dados De Medição Coletados Utilizando O Medidor Saga 3000 Em Uma Carga R1 (2 Lâmpada - Philips 500W, 220V E 1 Bobina de Trafo).

Hora	Potência [W]	Pot. Aparente [VA]	Pot. Reativa [Var]	FP	Freq. [Hz]	Tensão [V]	Corrente [A]
16:34:15	225,81	239,34	79,34	0,94	60	126,44	1,892
16:34:30	225,97	239,48	79,29	0,94	60	126,50	1,893
16:34:45	225,97	239,49	79,32	0,94	60	126,38	1,894
16:35:00	225,97	239,54	79,48	0,94	60	126,44	1,893
16:35:15	226,07	239,61	79,43	0,94	60	126,50	1,893
16:35:30	226,21	239,75	79,41	0,94	60	126,50	1,894
16:35:45	226,44	240,02	79,59	0,94	60	126,63	1,895
16:36:00	225,97	239,54	79,48	0,94	60	126,50	1,893
16:36:15	225,94	239,43	79,25	0,94	60	126,38	1,894
16:36:30	226,05	239,62	79,51	0,94	60	126,44	1,895
16:36:45	225,88	239,41	79,32	0,94	60	126,31	1,894
16:37:00	226,00	239,51	79,29	0,94	60	126,38	1,895
16:37:15	225,74	239,29	79,36	0,94	60	126,31	1,893
16:37:30	225,84	239,32	79,17	0,94	60	126,38	1,893
16:37:45	225,72	239,26	79,34	0,94	60	126,38	1,893
16:38:00	225,93	239,48	79,40	0,94	60	126,44	1,894
16:38:15	225,96	239,52	79,44	0,94	60	126,44	1,893
16:38:30	225,88	239,44	79,41	0,94	60	126,44	1,892
16:38:45	225,95	239,37	79,04	0,94	60	126,38	1,894
16:39:00	225,85	239,37	79,33	0,94	60	126,44	1,893
16:39:15	225,91	239,35	79,07	0,94	60	126,38	1,894

APÊNDICE B - Dados De Medição Coletados Utilizando O Medidor Inteligente Em Uma Carga RI (2 Lâmpada - Philips 500W, 220V E 1 Bobina de Trafo).

Hora	Potência [W]	Pot. Aparente [VA]	Pot. Reativa [Var]	FP	Freq. [Hz]	Tensão [V]	Corrente [A]
16:34:17	226	240	79	0.94	60	126	1,898
16:34:32	226	240	79	0.94	60	126	1,898
16:34:47	226	240	78	0.95	60	126	1,898
16:35:02	226	240	78	0.95	60	126	1,898
16:35:17	227	240	79	0.94	60	126	1,899
16:35:32	226	240	79	0.94	60	126	1,898
16:35:47	227	240	79	0.94	60	126	1,900
16:36:02	227	240	79	0.94	60	126	1,901
16:36:17	227	240	79	0.94	60	126	1,899
16:36:32	227	240	79	0.94	60	126	1,899
16:36:47	226	240	79	0.94	60	126	1,898
16:37:02	226	240	78	0.95	60	126	1,898
16:37:17	226	240	79	0.94	60	126	1,899
16:37:32	226	240	79	0.94	60	126	1,898
16:37:47	226	240	78	0.95	60	126	1,898
16:38:02	226	240	78	0.95	60	126	1,898
16:38:17	226	240	78	0.95	60	126	1,898
16:38:30	226	240	78	0,94	60	126	1,898
16:38:45	227	240	79	0,94	60	126	1,899
16:39:00	227	240	79	0,94	60	126	1,899
16:39:15	227	240	79	0,94	60	126	1,899