

SISTEMA DE MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO CENTRO UNIVERSITÁRIO GOVERNADOR OZANAM COELHO

**BARRETO JUNIOR, Carlos Roberto ¹; PEREIRA, Ana Amélia de Souza ² ;
TREVIZANO, Waldir Andrade ²; CAMPOS, Saulo Cunha ²**



carlosbarreto.eng@gmail.com
ana.amelia@unifagoc.edu.br
waldir@unifagoc.edu.br
coordti@unifagoc.edu.br

¹ Discente Graduação CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

² Docente Graduação CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo a apresentação de um sistema de monitoramento em tempo real do consumo de energia elétrica no Centro Universitário Governador Ozanam Coelho. Para tal, baseia-se em uma pesquisa exploratória e explicativa com o levantamento do perfil atual de consumo da instituição, produção de um módulo de sensoriamento e integração de uma interface de visualização dos dados coletados. Foram observadas discrepâncias entre os valores nominais do consumo dos equipamentos de data show instalados nas salas, ao passo que os demais equipamentos se mostraram compatíveis. Frente ao estudo de caso, este trabalho apresenta uma arquitetura de software que fornece à instituição uma ferramenta de acompanhamento do consumo de energia elétrica capaz de expor pontos de consumo heterogêneos e contribuir para a tomada de decisão pela gerencia da instituição.

Palavras-chave: Consumo Energético. Internet das Coisas. MQTT. ESP32. EmonCMS.

INTRODUÇÃO

Historicamente, os períodos de desenvolvimento da sociedade moderna são correlacionados com o controle de fontes de energia para a consumo nos meios de produção. Concomitantemente, o desenvolvimento de processos automatizados de gestão dos recursos energéticos foi se tornando cada vez mais importante para a eficiência das instituições comerciais. É possível identificar os primeiros processos de automação de recursos energéticos datados do século XVII, na Inglaterra, de forma simultânea ao desenvolvimento da máquina à vapor. Estes períodos, comumente reconhecido como 1^a Revolução Industrial, marca o início da utilização consciente de recursos energéticos empregados na provisão de bens ou serviços. Seguidamente, no século XIX, a viabilização de novas fontes energéticas como o petróleo e a energia elétrica impulsionaram novamente a sociedade, reformulando as estruturas fabris e de prestação de serviço, a chamada 2^a Revolução Industrial (SILVEIRA; LIMA, 2003). Essa expansão da utilização da energia elétrica fomentou o desenvolvimento de novas tecnologias e a computação, que, após a 2^a Guerra Mundial (1939-1945) daria início à chamada 3^a Revolução Industrial marcada pela utilização em escala de recursos computacionais no

incremento e automatização dos processos industriais, de comunicação e prestação de serviços. Segundo dados do Banco Mundial a produção de energia elétrica anual saltou de 1199,372 kWh por pessoa no mundo em 1971 para 3127,361 kWh por pessoa em 2014 (WORLDBANK, 2019). Esse incremento de 260% em 43 anos demonstra claramente a influência da eletricidade no dia a dia da humanidade.

Segundo dados da Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia - ABESCO (2015), o Brasil perde cerca de 12,6 bilhões de reais por ano com o desperdício de energia elétrica. Essa perda é da ordem de 50 mil gigawatt/hora. A título de comparação, segundo dados da Itaipu Binacional (ITAUIPU, 2019), esse desperdício é equivalente a metade da geração da usina, a segunda maior do mundo. Ainda segundo a ABESCO, o setor comercial tem potencial de redução desse desperdício na ordem de 10%. Aplicando essa redução ao percentual de participação do setor comercial/serviços na matriz de consumo elétrico nacional, em dados do Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2019), essa redução teria um impacto positivo de aproximadamente 1,89 bilhões de reais.

O controle e acompanhamento do consumo elétrico é uma característica importante para o entendimento e previsão da utilização de recursos. Juntamente a essa gerência mais efetiva, objetivando-se a melhoria na prestação de serviços aos clientes finais, a garantia da estabilidade da rede elétrica é métrica relevante para implementação de políticas de expansão física e conforto ambiental.

Em consonância, Columbus (2018) afirma que o mercado de dispositivos conectados irá movimentar em 2022 um montante de US\$ 1,2 trilhões. Serão cerca de 73 bilhões de dispositivos em 2025 conectados à rede mundial de computadores. Esse mercado se apresenta crescente e sem estratificação definida entre concorrentes, assim, se mostra uma oportunidade comercial interessante.

O presente trabalho correlaciona esses dois pontos, apresentando-se como oportunidade de exploração de conceitos e aplicações de tecnologias. Mostra-se, também, uma janela de desenvolvimento de produto com uso final, demonstrando a aplicabilidade dos paradigmas estudados durante a graduação.

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma plataforma online de monitoramento do consumo de energia elétrica customizada para o Centro Universitário Governador Ozanam Coelho - UNIFAGOC.

Serão objetivos específicos para este trabalho: analisar o perfil de consumo atual da instituição, estabelecendo os parâmetros de acompanhamento; definir a arquitetura de comunicação e sensoriamento necessários para coleta de dados em frequência e amplitude compatíveis com o cenário abordado; desenvolver uma solução em hardware de sensoriamento e comunicação; disponibilizar uma ferramenta de visualização e acompanhamento dos dados capturados.

REFERENCIAL TEÓRICO

Automação Predial e Internet das Coisas

A Automação Predial ou Domótica, por uma definição de Lins e Moura (2010) e Araújo *et al.* (2012), é a utilização dos recursos computacionais e físicos de uma edificação para prover serviços de segurança, conforto, comunicação e gestão de forma local ou remota. Também intitulada como automação residencial, o principal objetivo da automação predial é prover ao consumidor final recursos para melhor aproveitamento dos recursos disponíveis. Para tal, o uso de dispositivos com capacidade de comunicação entre eles possibilita a integração entre diferentes funções do ambiente, dinamizando e tornando seu uso mais eficiente.

Segundo Gruman (2014), em sua essência, a Internet das Coisas, ou Internet of Things (IoT), é um ambiente computacional que reúne vários dispositivos, de computadores a veículos, smartphones, semáforos ou qualquer coisa com sensores e meios de comunicação, e aplicações de tratamento e visualização de informações extraídas dos dados gerados na integração e comunicação dos dispositivos. Ainda segundo o autor, apesar de já ser conhecida a utilização de redes de dispositivos interconectados, as chamadas redes Machine-to-Machine, ou M2M, o tratamento dos dados focados na obtenção de informações, previsões e criações de perfis de consumo tornam a IoT uma área de aplicação imediata de conceitos e serviços hoje acessíveis à grande população.

Consumo Energético e Bandeiras Tarifárias

Segundo Halliday, Resnick e Walker (2012), a potência aparente (P_{ap}) consumida por um equipamento elétrico ligado à rede alternada pode ser expressa pela multiplicação da tensão efetiva (U_e), em Volts, pela corrente efetiva (I_e), em Amperes, sobre o aparelho. A primeira pode ser descrita como o valor médio quadrático da tensão no tempo. Similarmente, a corrente efetiva também pode ser descrita como o valor médio quadrático da corrente circulante no tempo. Assim, ao comungarmos as equações, podemos descrever a potência consumida como:

$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) dt}$$

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) dt}$$

$$P_{ap} = U_{ef} \cdot I_{ef}$$

Habitualmente, as concessionárias de energia do país apresentam suas faturas de consumo na unidade kWh (quilo Watt-hora). Essa conversão é feita a partir da multiplicação da potência aparente consumida pelo período de uso do equipamento. O valor é, então, dividido por 1000 (mil), para a utilização do prefixo 'quilo' (k).

$$P_{kWh} = \frac{P_{ap} \cdot \text{horas de uso}}{1000}$$

Segundo dados disponíveis no endereço virtual ¹ da concessionária de distribuição elétrica que atende a cidade de Ubá, a Energisa, o valor cobrado para empresas do setor de comércio e serviços é R\$ 0,59583 por kWh, ao qual se aplica um adicional fixo para cada pacote de 100 kWh consumidos mensalmente, as chamadas "Bandeiras Tarifárias". Estando em bandeira verde, não é realizada cobrança de valor adicional. Quando em bandeira amarela, o adicional é de R\$ 1,34 por cada pacote de 100kWh. Em bandeira vermelha – patamar I, o adicional é de R\$ 4,16. Já em bandeira vermelha – patamar II, o valor adicional passa a ser de R\$ 6,24 por pacote. As definições sobre a aplicação das bandeiras pode ser encontrada no sítio virtual da ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica ².

Message Queue Telemetry Transport - MQTT

Definido em 1999 por Andy Stanford-Clark para a IBM, o Message Queue Telemetry Transport – MQTT (em português, Fila de Transporte de Mensagens de Telemetria) é um protocolo que tem como principal objetivo a comunicação segura entre dispositivos com baixa capacidade computacional e limitações no meio de propagação de dados (MQTT, 2019). Para garantir a segurança na comunicação entre os dispositivos, o protocolo MQTT oferece três níveis de QoS (Quality of Service): QoS 0, em que a mensagem não tem obrigação de confirmação de entrega, assemelhando-se ao UDP; QoS 1, em que a entrega da mensagem é confirmada, tendo-se assim a certeza da transmissão; e, em caso de falha, uma nova tentativa é feita – QoS 2, em que tanto a entrega quanto a mensagem de confirmação são verificadas, garantindo o fluxo total da comunicação (SILVA, 2018).

Outra característica importante é a adoção por esse protocolo da abstração do Produtor-Consumidor, em que os produtores enviam os pacotes de informações para um broker. Este último, é responsável por coletar e organizar as mensagens, disponibilizando-as para os consumidores. As mensagens, por sua vez, são organizadas em tópicos com finalidades específicas e os consumidores se registram em cada tópico em que necessitem de coletar. A grande vantagem dessa arquitetura é que os produtores e consumidores são completamente desacoplados e podem ser alterados dinamicamente assim, caso

¹ Grupo Energisa. Disponível em: <https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx>. Acesso em: 16 nov. 2019.

² ANEEL. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>. Acesso em: 16 nov. 2019.

um módulo perca a comunicação não impactará no funcionamento dos demais.

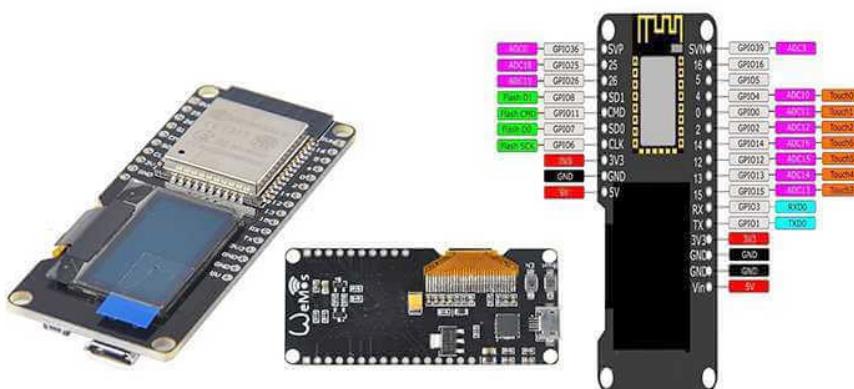
Microcontroladores, Arduíno, NodeMCU e Sensor de Corrente ACL712-30A

Vieira, Andrade e Figueiredo (2018) definem um microcontrolador sendo um sistema composto por um processador, memórias, clocks e periféricos mais limitados quando comparados à um processador generalista, mas encapsulados em um único chip. Essa característica aumenta a flexibilidade de aplicações desse elemento, o tornando ideal para aplicações experimentais ou de baixo custo.

A plataforma de prototipação rápida Arduino surgiu como projeto de pesquisa de Massimo Banzi, David Cuatielles, Tom Igoe, Gianluca Martino e David Mellis, no Instituto Internacional de Design de Ivrea, Itália, nos anos 2000. Inicialmente, o projeto visava o aprendizado sobre codificação em um contexto de artes visuais, baseado no Projeto Processing e também como projeto de tese de Henando Barragan. Sendo a primeira plataforma de Hardware Aberto a entender como um sistema cuja construção é de livre acesso e igualmente livre para modificações, rapidamente a comunidade de usuários adotou o uso dessa ferramenta em diversos projetos por todo o globo (ARDUINO, 2019).

Para Leite e Barbosa (2018), o NodeMCU é uma plataforma de prototipação rápida compatível com a Arduino, inicialmente desenvolvida para utilização em seu firmware da linguagem LUA, mas que hoje aceita a implementação da linguagem C, utilizada no Arduino. O NodeMCU já possui um módulo Wifi embarcado, podendo ser o ESP8266 ou ESP32, um regulador de tensão de 3.3 volts e uma interface usb-serial para a comunicação e alimentação do chip. Tem como padrão Wireless 802.11 b/g/n e uma antena embutida. Possui também suporte a até 5 conexões TCP/IP, 11 portas GPIO, sendo uma analógica, e conversor analógico-digital.

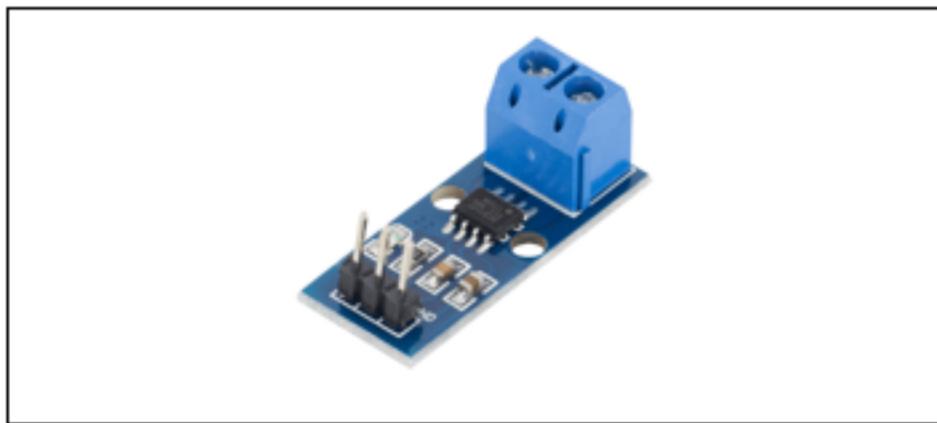
Figura 1: Pinagem do módulo ESP32



Fonte: GEEKSTIPS.COM (2019)

O sensor de corrente ACS712 Allegro (Figura 2) é um circuito integrado, baseado no Efeito Hall ³, capaz de identificar as variações de corrente com precisão 66 mV por Ampere medido. Este sensor possui um comportamento quase linear em um amplo espectro de temperaturas de operação, corrente sensível e variações de tensão para leitura e para alimentação. Tais características, documentadas em Allegro (2013), conferem confiabilidade e segurança para a aplicação em monitoramento de aplicação.

Figura 2: Sensor ACL712-30A em módulo com pinos de conexão



Fonte: Filipeflop (2019)

Sistemas Gerenciadores de Conteúdo e EmonCMS

Os sistemas gerenciadores de conteúdo, no inglês Content Management System - CMS, são sistemas computacionais utilizados para a gestão, criação e modificação de conteúdo digital. Segundo Boiko (2005), esses sistemas podem ser diferenciados entre sistemas de gestão de conteúdo empresarial, ou Enterprise Content Management - ECM, e sistema de gestão de conteúdo Web, ou Web Content Management - WCM. O primeiro tipicamente provê gestão de documentos, gestão de recursos digitais e retenção de dados e gravações; já o WCM é comumente relacionado com a criação de conteúdos para a Internet, provendo ferramentas de edição de conteúdo, gestão de imagens, vídeos e áudios.

O EmonCMS é um sistema de gestão de conteúdo de código aberto sobre a licença GNU ⁴. O sistema, do tipo ECM, para processamento, registro e visualização de dados ambientais, meteorológicos e energéticos, faz parte do projeto Open Energy Monitor, uma iniciativa para a popularização do monitoramento e consumo consciente de energia elétrica. O EmonCMS é estruturado sobre um servidor Apache, programado em PHP, utilizando MySQL e Redis como gerenciamento de banco de dados. As mensagens

³ Efeito Hall. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Hall_effect. Acesso em: 16 nov. 2019

⁴ Licença GNU GPL3. Disponível em: <https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.pt-br.html>. Acesso em: 16 nov. 2019.

com os dados podem ser inseridas na plataforma por meio de uma API própria ou por inserção direta no banco de dados.

MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO

FONTELLES *et al.* (2009) irá diferenciar as abordagens de uma pesquisa científica entre qualitativa, quantitativa, descritiva e analítica. A primeira será orientada ao entendimento de um fenômeno de natureza social e cultural, através do entendimento do contexto sem considerar as regras matemáticas e estatísticas restritas. A segunda abordagem, quantitativa, busca o mesmo entendimento através da observação com rigor matemático e estatístico, usando de ferramentas como percentuais, médias, desvios e correlações para o ganho de conhecimento. A abordagem descritiva, Fontelles afirma como sendo aquela que apenas relata um determinado fato, não se preocupando em julgar suas causas ou méritos. Por último, a pesquisa analítica é o tipo de pesquisa que, a partir de uma base quantitativa, busca compreender o comportamento de grupo ou população.

Este trabalho tem caráter exploratório e explicativo, utilizando abordagem quantitativa na análise dos parâmetros e processamento dos dados. Foi usado como cenário de teste três das 116 salas da instituição, monitorando o consumo energético dessa unidade e de seus equipamentos internos.

As faturas de consumo energético foram gentilmente cedidas à pesquisa pela instituição e, por elas, foi possível levantar o custo ao centro universitário do consumo de eletricidade. Sobre essa ótica, foi definido como parâmetro de acompanhamento a carga consumida pelos equipamentos a serem monitorados. Realizou-se o acompanhamento do consumo dos equipamentos nas salas 28, 42 e 44, coletando informações sobre o consumo de equipamentos como data-show e amplificadores de audio, os equipamentos mais comuns às salas da instituição. Por razão do caráter experimental do protótipo, não realizamos medições nos aparelhos de ar-condicionado, muito mais potentes que os outros equipamentos.

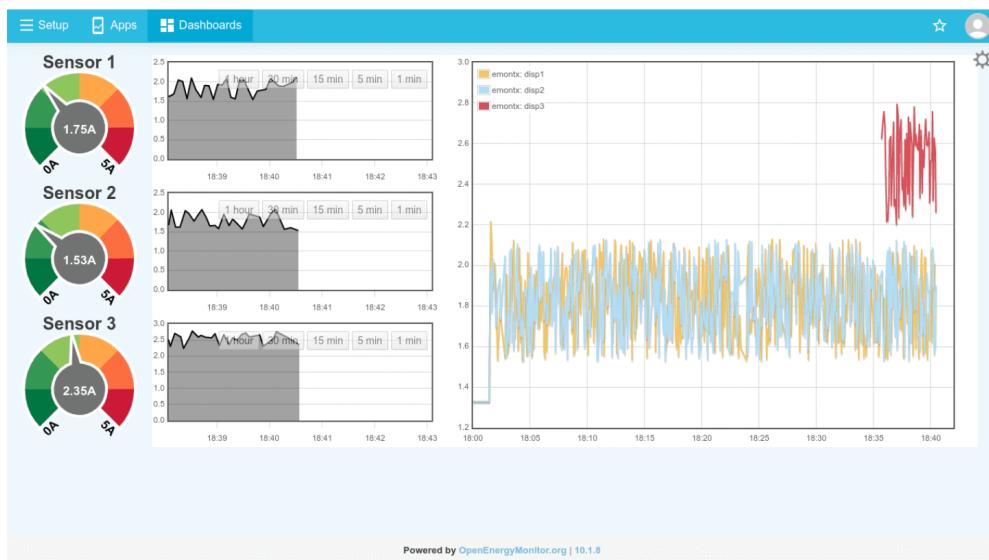
O protótipo de sensor foi desenvolvido a partir das características da corrente; assim, fez-se um esquemático das ligações elétricas, verificando-se a segurança do equipamento e garantindo a confiabilidade das informações coletadas. Foram coletadas medições da corrente efetiva consumida, consolidando os dados e registrado no serviço de coleta de dados a cada 10 segundos.

Para a visualização dos dados, configurou-se um serviço web em hospedagem do próprio autor, com os serviços MQTT, Apache, PHP, MySQL e Redis. O microcontrolador ESP32 foi programado para realizar a conexão com uma rede WiFi protegida por senha de acesso, tornando-se exclusiva para a comunicação do dispositivo. Em campo, foi utilizada a rede fornecida pelo aparelho celular do autor, com uma chave de segurança WPA2 PSK, fazendo vínculo à rede mundial de computadores através da rede 3G fornecida

pela operadora de telefonia. As requisições com a telemetria eram, então, encaminhadas para o serviço sob o protocolo MQTT. Os dados são registrados em um banco de dados MySQL, automaticamente, e disponibilizados na interface web, sob restrição de acesso mediante usuário e senha.

O EmonCMS provê ferramentas para a customização de sua interface, compatibilizando-a às necessidades do usuário. É possível definir fluxos de dados e cálculos de acumuladores, médias e operações externas ao sistema, como o envio de emails, por exemplo. Além da interface web, o CMS é capaz de integrar-se com uma série de aplicativos móveis para visualização e controle de suas funcionalidades remotamente. A tela personalizada “Dashboards” (Figura 3) expõe dados de 3 sensores fictícios. Do lado esquerdo da figura, podemos identificar indicadores instantâneos do valor registrado no sistema. Ao lado, gráficos de séries temporais demonstrando a evolução do consumo durante os últimos 2 minutos. Por último, o maior gráfico faz a comparação entre os valores gravados pelos sensores em um dado período de tempo. Observação: o “Sensor 3” foi ligado em poucos instantes.

Figura 3: Exemplo de tela personalizada possível no EmonCMS

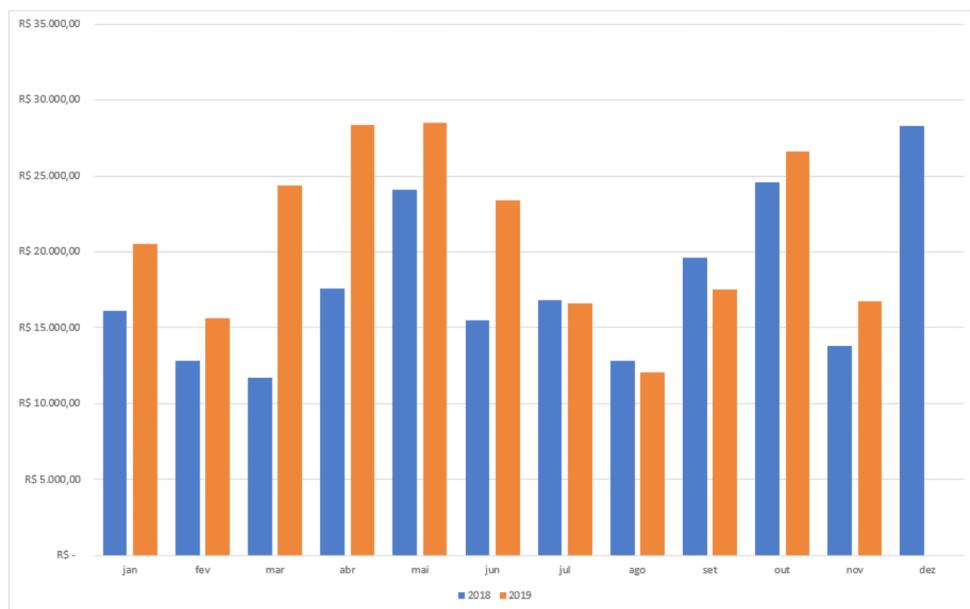


Fonte: Os autores (2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O levantamento do perfil atual de consumo analisado junto à instituição demonstra um coerente padrão sazonal compatível com a execução das atividades comerciais da unidade principal da instituição. O Gráfico 1 foi construído sobre os dados financeiros disponibilizados à pesquisa pela instituição.

Gráfico 1: Gastos com Fornecimento de Energia Elétrica (2018-2019)



Fonte: Os autores (2019).

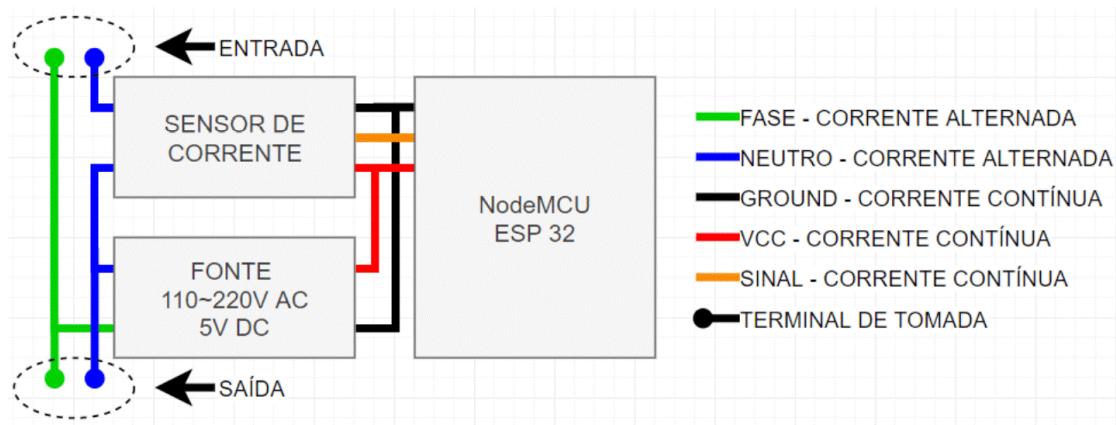
Frente ao observado, em um primeiro momento, fica evidente a necessidade de acompanhamento das cargas consumidoras instaladas.

Foi realizada a prototipação de módulo em hardware para coleta de dados segundo as métricas levantadas anteriormente e comunicação via WiFi, sob o protocolo MQTT, usando como base o ESP32.

Além do módulo NodeMCU já descrito, também foi utilizada, como fonte de alimentação, a mini fonte HLK-PM01, a qual provê alimentação em corrente contínua e retificada em 5 V, baseada em uma entrada de 110 a 240 V em corrente alternada. Segundo HI-LINK (2019), essa fonte fornece ao circuito uma tensão estabilizada com variação média de mais ou menos 0.1V. Essa estabilidade é pertinente à manutenção e a confiabilidade do equipamento prototipado.

Como unidade sensora, o projeto utilizou o já descrito sensor de corrente ACS712-30A, da Allegro. Ele foi posicionado na entrada de corrente elétrica, assim, medindo não só o consumo dos equipamentos como também o potencial dispensado ao próprio protótipo. A Figura 4 representa da ligação esquemática entre os componentes utilizados na construção do protótipo.

Figura 4: Esquemático de ligação dos componentes do sistema



Fonte: Os autores (2019).

Foi confeccionada uma caixa de proteção e acomodação dos equipamentos com a utilização da impressora 3D da instituição. A partir da junção das partes descritas, foi produzido o protótipo final (Figura 5). As ligações elétricas seguem o padrão corrente no mercado nacional, com a utilização do pino de aterramento, não disponível no momento da produção do experimento.

Figura 5: Protótipo final construído



Fonte: Os autores (2019).

ESTUDO DE CASO

O estudo de caso aqui apresentado foi realizado com o monitoramento do consumo de equipamentos disponíveis nas salas de aula e comparados os valores com as informações fornecidas pelos fabricantes dos equipamentos. Foram levantados os consumos mediante a leitura pelo sensor em situação semelhante ao uso corriqueiro. Os

dados coletados foram tabulados e as medições repetidas em diferentes dias, reduzindo fatores esporádicos e não monitorados no experimento. A Tabela 1 descreve os consumos das correntes nominais declaradas pelos fabricantes de cada equipamento bem como sua localização nas salas da instituição.

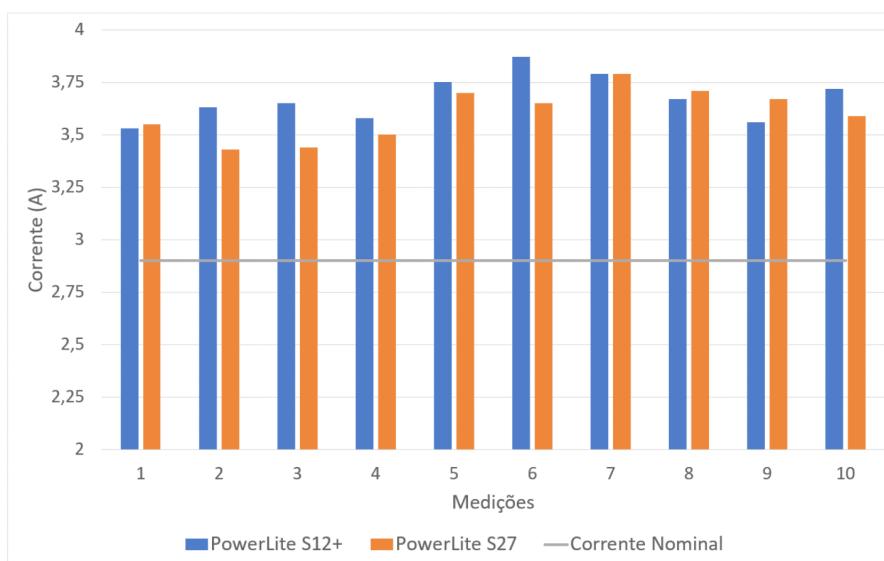
Tabela 1: Comparação entre as informações fornecidas pelos fabricantes

Equipamento	Sala	Corrente Nominal (A)
Amplificador de áudio Hayonik	28	1.63*
	42	
Projetor Epson PowerLite S12+	42	
Projetor Epson PowerLite S27	44	2.9

Fonte: Os autores (2019).

Para os equipamentos do tipo projetor, foram realizadas medições em configurações semelhantes entre os equipamentos; projetando apenas uma mesma imagem; utilizando a conexão VGA do equipamento. O Gráfico 2 demonstra a variação das mediadas obtidas nas coletas realizadas para o experimento.

Gráfico 2: Consumo dos Projetores em comparação com o consumo nominal

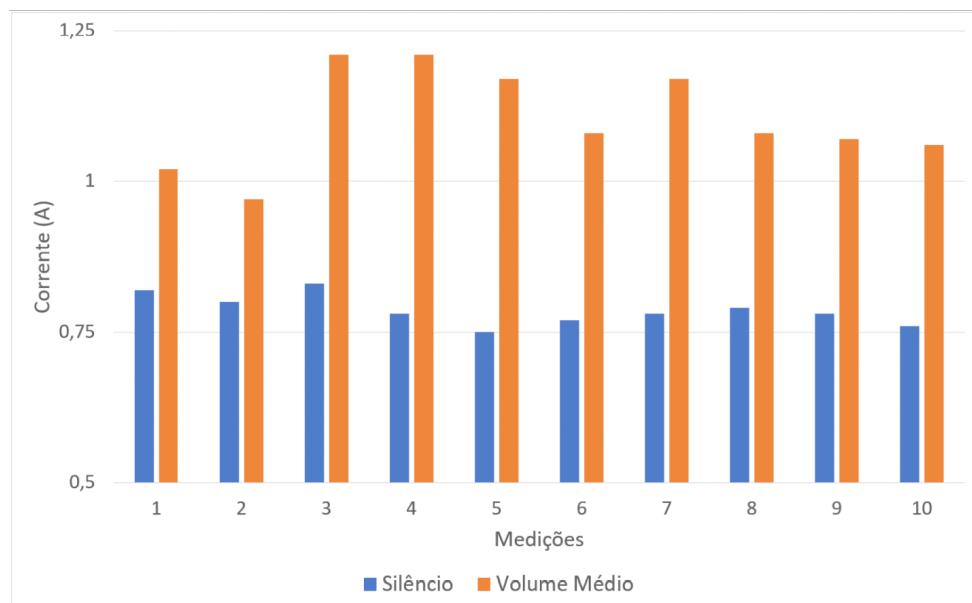


Fonte: Os autores (2019).

Para os equipamentos do tipo amplificador de áudio, foram realizadas medições em silêncio de reprodução, ou seja, sem áudio sendo reproduzido, e com um ruído em volume médio. Nesse cenário, é importante salientar que o fabricante não fornece informações detalhadas sobre o consumo do equipamento, limitando-se a informar

a potência máxima consumida. O Gráfico 3 expõe os diferentes padrões de consumo segundo cenários executados.

Gráfico 3: Consumo dos amplificadores de áudio



Fonte: Os autores (2019).

Apesar do crescimento do consumo quando em volume médio, não houve variação excessiva ou fora dos parâmetros comuns a esse tipo de equipamento.

No Anexo I deste trabalho, encontram-se imagens das medições feitas com os equipamentos das salas.

Postas as medições realizadas, observa-se uma discrepância entre os valores de corrente consumidas pelos equipamentos de projeção frente ao indicado pelos fabricantes. Não sendo objetivo deste trabalho discutir as causas dessa variação, observa-se que possíveis variações no sensor, programação ou mesmo o caso trivial de os equipamentos estarem realmente consumindo mais energia posto o tempo de uso e/ou condições de uso são possíveis respostas à questão do consumo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve por objetivo a apresentação de um sistema de monitoramento em tempo real do consumo de energia elétrica para o Centro Universitário Governador Ozanam Coelho. Sob essa ótica, a proposta implementada demonstra-se robusta e viável à implementação em escala para a instituição, já tendo como resultado preliminar indicação de equipamentos com consumo fora dos padrões propostos pelos fabricantes.

Como trabalho futuro, sugere-se a exploração de mais medições, a prototipação

de uma versão do hardware para coleta ou ação em mais fatores ambientais e sociais. É também uma indicação a exploração de mais sensores em coleta de dados comcomitantes.

O desafio de apresentar uma proposta dessa escala foi de inestimável contribuição para a consolidação de conceitos estudados na academia, bem como o entendimento mais a fundo das correlações diretas entre os elementos do trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABESCO. 2015. **Desperdício de energia gera perdas de 12,6 bilhões**. Disponível em: <http://www.abesco.com.br/pt/novidade/desperdicio-de-energia-gera-perdas-de-r-126-bilhoes>. Acesso em : 30 mar. 2019.
- ALLEGRO. 2013. **ACL712: Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor**. [S. I.], 2013. Disponível em: https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_ACS712.pdf. Acesso em: 16 nov. 2019.
- ARAÚJO, Ícaro Bezerra Queiroz de et al. **Desenvolvimento de um protótipo de automação predial/residencial utilizando a plataforma de prototipagem eletrônica arduino**. In: XL CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 2012, Belém, Pará. Anais [...]. [S. I.: s. n.], 2012. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/7/artigos/103723.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2019.
- ARDUINO. **Arduino - AboutUs**. [S. I.], 2019. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Main/AboutUs>. Acesso em: 30 jun. 2019.
- BRASIL. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro**. Maio/2019 - Ministério de Minas e Energia - Secretaria de Energia Elétrica - Departamento de Monitoramento do Sistema Elétrico. Maio 2019. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138781/1435504/Boletim+de+Monitoramento+do+Si+stema+El%C3%A9trico+-+Maio+-+2019.pdf/1f28b57c-63fb-40d5-a5b4-dd4657b0116e>. Acesso em: 30 jun. 2019.
- COLUMBUS, Louis. **2018 Roundup of internet of things forecasts and market estimates**. Forbes, 13 dez. 2018. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/louiscolumbus/2018/12/13/2018-roundup-of-internet-ofthings-forecasts-and-market-estimates/#2ed113217d83>. Acesso em: 31 mar. 2019.
- FILIPEFLOP. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-corrente-acs712-30a-a-30a/>. Acesso em: 16 nov. 2019.
- FONTELLES, Mauro José et al. **Metodologia da pesquisa científica**: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa. Disponível em: <http://files.bvs.br/upload/S/0101-5907/2009/v23n3/a1967.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2019.
- GEEKSTIPS.COM. Disponível em: <https://www.geekstips.com/esp32-review-idf-programmingtutorial/>. Acesso em: 16 nov. 2019.
- GRUMAN, Galen. **IoT é um grande e confuso campo à espera de explodir**. Computer World, 2014. Disponível em: <http://computerworld.com.br/tecnologia/2014/11/25/iot-e-um-grande-e-confuso-campo-a-espera-de-explodir>. Acesso em: 30 jun. 2019.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. Eletromagnetismo: Volume 3. 9. ed. atual. São Paulo: LTC.
- ITAIPU Binacional. Disponível em: . Acesso em: 30 jun. 2009.

LINS, Vitor; MOURA, Waldson. Domótica: automação residencial. **Revista Científica Tecnologus**, Recife, Pernambuco, 30 dez. 2010. Disponível em: http://www.unibratec.edu.br/tecnologus/wp-content/uploads/2010/12/lins_moura.pdf. Acesso em: 30 jun. 2019.

MQTT. Disponível em: <http://mqtt.org/>. Acesso em: 5 jul. 2019.

SILVA, Leonardo Loch da. **Sistema de monitoramento de consumo de energia elétrica residencial com a utilização do Protocolo MQTT**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Araranguá, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/192296>. Acesso em: 30 jun. 2019.

SILVEIRA, Leonardo; LIMA, Weldson Q.. **Um breve histórico conceitual da automação industrial e redes para automação industrial**. Disponível em: https://www.dca.ufrn.br/~affonso/FTP/DCA447/trabalho1/trabalho1_13.pdf. Acesso em: 30 jun. 2019.

VIEIRA, Júlia Caroline Santos; ANDRADE, Canina Cardoso Viana; FIGUEIREDO, Renan Tavares. Controle de temperatura do secador com incidência solar indireta utilizando microcontrolador de baixo custo. In: SEMANA DE PESQUISA DA UNIVERSIDADE TIRADENTES - SEMPESQ, 2018, [S.I.]. **Anais** [...]. [S. I.: s. n.], 2018. Disponível em: <https://eventos.set.edu.br/index.php/sempesq/article/view/3959>. Acesso em: 30 jun. 2019.

WORLDBANK. **Electric power consumption (kWh per capita)**. [S. I.], 2014. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC?locations=1W-BR>. Acesso em: 30 abr. 2019.

ANEXO I - MEDIÇÕES REALIZADAS E EQUIPAMENTOS

Protótipo ligado sem carga	Projetor Epson PowerLite S12+ da sala 28
	
Medição da corrente passante pelo PowerLite S12+	Projetor Epson PowerLite S27 da sala 44
	
Amplificador de áudio Hayonik	Medição do amplificador Hayonik
	

Fonte: Os autores (2019).