



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Ciências e Engenharia – Câmpus de Itapeva

Silvio Cardoso de Souza Júnior

**Monitoramento de Cargas Residências Utilizando Tecnologias de Internet Das
Coisas Com Aplicação no Gerenciamento de Resposta à Demanda**

Itapeva - SP
2023

Silvio Cardoso de Souza Júnior

**Monitoramento de Cargas Residências Utilizando Tecnologias de Internet Das
Coisas Com Aplicação no Gerenciamento de Resposta à Demanda**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao Conselho de Curso de
Engenharia de produção, da Universidade
Estadual Paulista (Unesp), Instituto de
Ciências e Engenharia, Câmpus de
Itapeva, como parte dos requisitos para
obtenção do diploma de Graduação em
Engenharia de produção

Orientador: Prof. Dr. Juan Carlos Cebrian
Amasifen

Itapeva - SP
2023

S729m

Souza Júnior, Silvio Cardoso de

Monitoramento de cargas residências utilizando tecnologias de internet das coisas com aplicação no gerenciamento de resposta à demanda / Silvio Cardoso de Souza Júnior. -- Itapeva, 2023

64 f. : il., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Produção) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciências e Engenharia, Itapeva

Orientador: Juan Carlos Cebrian Amasifen

1. Resposta à demanda. 2. Curvas de consumo. 3. Gerenciamento inteligente. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Ciências e Engenharia, Itapeva. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



SILVIO CARDOSO DE SOUZA JÚNIOR

**MONITORAMENTO DE CARGAS RESIDÊNCIAS UTILIZANDO
TECNOLOGIAS DE INTERNET DAS COISAS COM APLICAÇÃO NO
GERENCIAMENTO DE RESPOSTA À DEMANDA**

Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, da Universidade Estadual Paulista - UNESP - Câmpus de Itapeva.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Juan Carlos Cebrian Amasifen
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Câmpus de Itapeva.

2º Examinador: Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Câmpus de Itapeva.

3º Examinador: Prof. Dr. Carlos de Oliveira Affonso
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Câmpus de Itapeva.

Itapeva, 19/01/2023.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família por todo o carinho e apoio, contribuindo diretamente na minha jornada durante esses anos.

Agradeço aos professores, que ao longo do curso sempre estiveram dispostos a ajudar e contribuir para um melhor aprendizado, em especial ao meu professor e orientador. À minha instituição, por ter me dado todas as ferramentas que me permitiram chegar hoje no final desse ciclo.

Agradeço também ao programa “Unesp presente”, pelo auxílio financeiro e apoio para o desenvolvimento de toda essa pesquisa.

“Conhecimento não tem valor a menos
que você coloque em prática.”
(Anton Chekhov).

RESUMO

O setor residencial no Brasil tem uma participação significativa no total de energia elétrica consumida no país, apesar da representatividade, nesse setor há uma carência de dados relacionado ao comportamento da demanda dos principais eletrodomésticos presentes nas residenciais brasileiras. Com as novas tecnologias, hoje presentes no mercado, é possível acompanhar e monitorar o consumo dos diferentes equipamentos de uso doméstico, por meio de dispositivos inteligentes. Esses dispositivos podem ser interligados aos protocolos de comunicação Wi-Fi ou ZigBee que, por sua vez, permitem uma coleta de dados consistente, e com menos interferências externas.

Nesse contexto, o presente estudo busca o conhecimento e entendimento da demanda real dos principais equipamentos utilizados pelos consumidores residenciais. Tais dados são relevantes para a formulação de políticas de gestão de demanda e na resposta dos consumidores, buscando dessa forma um bom gerenciamento e conservação desse recurso, contribuindo com a eficiência energética brasileira.

Palavras-chave: Resposta à demanda; Curvas de consumo; Gerenciamento inteligente.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação de uma curva de carga	15
Figura 2 – Histórico de consumo fornecido pelas concessionárias de energia	15
Figura 3 – Fluxograma de todas as etapas do processo.....	31
Figura 4 - Curvas de carga refrigerador período inativo	33
Figura 5 - Curvas de carga refrigerador período Ativo	34
Figura 6 - Curvas de carga da fritadeira elétrica Airflyer	35
Figura 7 - Curvas de carga microondas potência mínima	36
Figura 8 - Curvas de carga microondas potência média	37
Figura 9 - Curvas de carga microondas potência máxima	37
Figura 10 - Curvas de carga ventilador coluna.....	38
Figura 11 - Curvas de carga cafeteira	39
Figura 12 - Curvas de carga notebook	40
Figura 13 - Curvas de carga televisão.....	41
Figura 14 – Curvas de carga celular	42
Figura 15 - Curvas de carga das lâmpadas.....	43
Figura 16 - Curvas de carga máquina de lavar no modo delicado	43
Figura 17 - Curvas de carga máquina de lavar no modo normal.....	44
Figura 18 - Curvas de carga máquina de lavar no modo pesado	44
Figura 19 – Curvas de carga ferro de passar	45
Figura 20 – Curvas de carga dos equipamentos em conjunto	46
Figura 21 – Fluxograma de instalação home Assistant.....	60
Figura 22 - Configurações necessárias em configuration.yaml	62
Figura 23 - Configurações necessárias em notify.yaml.....	63
Figura 24 - Configurações necessárias em automations.yaml	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativos entre WiFi e ZigBee	23
Tabela 2 – Principais contribuição para o desenvolvimento do trabalho	29
Tabela 3 – Equipamentos testados	32
Tabela 4 – Tempo de operação considerado nos testes para cada equipamento	33
Tabela 5 - Acréscimos por bandeira tarifária	47
Tabela 6 - Tarifa Branca.....	47
Tabela 7 - Comparativo de consumos reais entre os equipamentos <i>de maior potência</i> para uma hora de operação	48
Tabela 8 - Comparativo de consumos reais entre os equipamentos de menor potência para uma hora de operação.....	49
Tabela 9 - Comparativo de consumo real geladeira para um dia de operação.....	50
Tabela 10 – Comparativo de consumo real máquina de lavar para um ciclo de lavagem.....	50
Tabela 11 - Comparativo de consumos nominais entre os equipamentos de maior potência para uma hora de operação.....	51
Tabela 12 - Comparativo de consumos nominais entre os equipamentos de menor potência para uma hora de operação.....	52
Tabela 13 – Comparativo de consumo nominal geladeira para um dia de operação	53
Tabela 14 - Comparativo de consumo nominal máquina de lavar para um ciclo de lavagem.....	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BEN	Balanço energético Nacional
PROCEL	Programa nacional de conservação de energia elétrica
UIT	União internacional de telecomunicação
IoT	<i>Internet of things</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical Electronics Engineers</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	OBJETIVOS.....	14
1.2	PERFIL DE CONSUMO	14
1.3	INTERNET DAS COISAS.....	16
1.4	REDES SEM FIO	17
1.5	TECNOLOGIA WIFI	19
1.6	TECNOLOGIA ZIGBEE.....	20
1.7	COMPARATIVO ENTRE WIFI E ZIGBEE	22
1.8	MEDIDORES INTELIGENTES	23
1.9	HOME ASSISTANT.....	25
1.10	JUSTIFICATIVA	26
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
3	METODOLOGIA	30
3	RESULTADOS	32
3.1	CARACTERIZAÇÃO DAS CURVAS DE CARGA.....	33
3.1.1	REFRIGERADOR.....	33
3.1.2	FRITADEIRA ELÉTRICA AIRFRYER	35
3.1.3	MICROONDAS.....	36
3.1.4	VENTILADOR DE COLUNA	38
3.1.5	CAFETEIRA	39
3.1.6	NOTEBOOK	40
3.1.7	TELEVISÃO.....	41
3.1.8	CARREGAMENTO CELULAR.....	41
3.1.9	LÂMPADAS	42
3.1.10	MÁQUINA DE LAVAR	43
3.1.11	FERRO DE PASSAR.....	45
3.2	GRUPO DE EQUIPAMENTOS	46
3.3	CONSUMO E CUSTO DA ENERGIA.....	47
3.4	LEVANTAMENTO DE RECOMENDAÇÕES	54
4	CONCLUSÕES.....	56
4.1	PRÓXIMOS PASSOS	56
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
	APÊNDICE A – INSTALAÇÃO HOME ASSISTANT.....	59
	APÊNDICE B – INTEGRAÇÃO TUYA HOME ASSITANT.....	61
	APÊNDICE C – COLETA DE DADOS DENTRO DO HOME ASSISTANT	62

1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos tem se registrado um aumento da participação do setor residencial brasileiro no consumo total de energia elétrica. Entre os anos de 1970 e 2010, o consumo residencial de energia passou de 8,36 GWh para 108,46 GWh, sendo esse o setor com crescimento mais expressivo (SILVA, 2013). Segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN) no ano de 2020, o setor residencial representou 27,6% de todo o consumo elétrico brasileiro.

Neste sentido, tornou-se necessário procurar por alternativas, que permitam os consumidores assumir o papel de protagonista no mercado de energia elétrica, através do gerenciamento consciente do próprio consumo, essas práticas constituem o conceito de resposta à demanda (ou em inglês *Demand Response*), que tem como objetivo propor o uso inteligente da energia sem comprometer as necessidades energéticas dos usuários finais (BEN, 2021).

Em relação a participação dos eletrodomésticos, segundo dados da PROCEL (programa nacional de conservação de energia elétrica) os principais equipamentos elétricos responsáveis pelo consumo energético nos lares brasileiros são: chuveiro elétrico, máquina de lavar, microondas, geladeira, ar-condicionado, lâmpadas e televisão.

Na maioria dos estudos, o consumo desses aparelhos é considerado constante em sua potência nominal. Contudo, há uma carência de dados no que diz a respeito ao consumo real desses equipamentos, levando em consideração, por exemplo, diferentes condições de uso; diferentes ciclos de operação; e períodos do dia. Esses aspectos operacionais levam a variações significativas no cálculo do consumo de energia de cada equipamento e de toda a instalação residencial.

A suposição de um consumo plano e constante desses equipamentos evidencia a falta de conhecimento ou dados sobre as características de operação desses aparelhos. Nesse contexto, esse estudo busca, por um lado, traçar o comportamento da demanda dos principais eletrodomésticos utilizados pelos consumidores residenciais e, por outro lado, apresentar alternativas para o uso eficiente desses equipamentos em programas de resposta a demanda que contribuam com o uso mais eficiente da energia. Para isso, o presente projeto utiliza equipamentos de medição de baixo custo, que são as tomadas inteligentes, para a coleta de dados de tensão, corrente e potência de forma a caracterizar o perfil de consumo dos equipamentos

analisados. Além disso, tecnologias associadas com a Internet das Coisas e redes sem fio são utilizadas para a coleta, o armazenamento e o tratamento dos dados.

1.1 Objetivos

Esse trabalho apresenta os seguintes objetivos gerais:

- Elaborar os perfis de carga dos eletrodomésticos típicos, que estão presentes nos lares brasileiros, analisando diferentes ciclos de operação e condições de uso.
- Apresentar procedimentos que permitam a participação dos usuários residenciais como elementos ativos no gerenciamento dos seus próprios consumos energéticos e na redução da demanda de carga principalmente nos horários de pico.

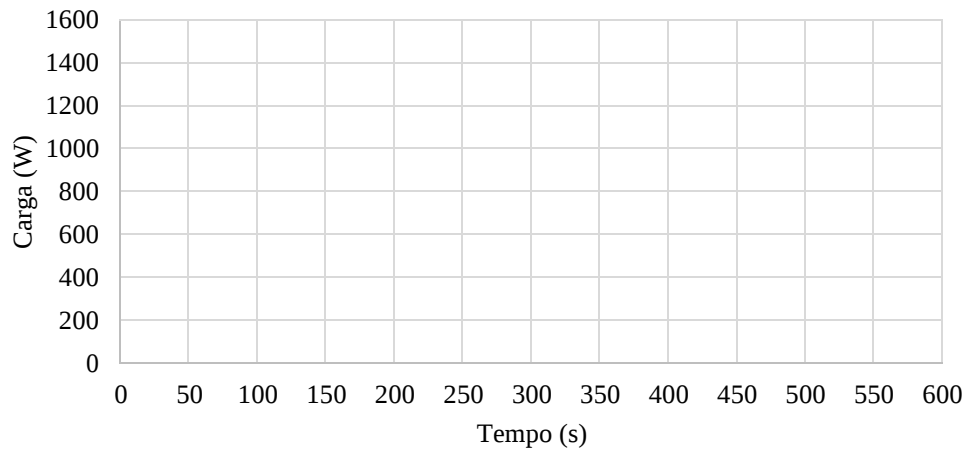
Objetivos específicos:

- Estudar a aplicação de Tomadas Inteligentes – Smart Plugs para a coleta de dados de tensão, corrente e potência.
- Propor alternativas de aplicação para o uso eficiente da energia elétrica nas residências a partir do gerenciamento dos hábitos de consumo dos usuários.
- Incentivar a participação do usuário como um elemento ativo no gerenciamento do seu próprio consumo energético.

1.2 Perfil de consumo

O Perfil de consumo também conhecido como curva de carga é a representação da variação de potência em função do tempo (ver Figura 1). Essa representação pode ser feita de forma individual, ou seja, para um equipamento em específico, ou de forma geral, considerando todos os equipamentos operando simultaneamente. Portanto, os perfis de consumo permitem identificar os padrões esperados inerentes a cada equipamento, e alterações comportamentais associadas com os hábitos dos usuários.

Figura 1 – Representação de uma curva de carga

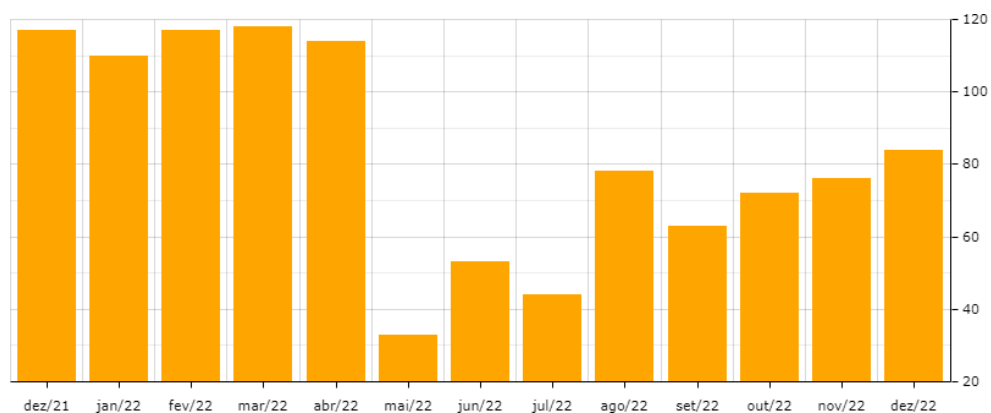


Fonte: Autoria própria (2022)

As concessionárias de energia disponibilizam os perfis de consumo de seus consumidores considerando o total acumulado durante o mês (ver Figura 2). Contudo, as leituras de toda a residência fazem pouco para informar aos clientes como seus aparelhos individuais afetam o valor agregado da leitura de energia. Essa falta de informação dificulta a identificação dos equipamentos que mais influem no consumo, impedindo, portanto, a redução dos gastos por parte dos usuários.

Portanto, o conhecimento das curvas de carga individuais permitem uma análise mais aprofundada, que possibilita um melhor enquadramento tarifário por parte do consumidor, bem como, permitem aplicar ações que contribuam na eficiência energética, através do gerenciamento inteligente da demanda.

Figura 2 – Histórico de consumo fornecido pelas concessionárias de energia



Fonte: Adaptado de (Neoenergia Elektro)

1.3 Internet das coisas

Com o passar dos anos com a intensificação no uso da internet foram criadas também tecnologias inovadoras e inteligentes, com o intuito de trazer conforto e comodidade para seus consumidores, associados a isso está o conceito de internet das coisas (internet of things – IoT). Segundo Magrani (2018), IoT pode ser entendido como um ambiente repleto de objetos interconectados com a internet, através de sensores pequenos e embutidos, formando um ecossistema de computação, que tem por objetivo facilitar a vida cotidiana das pessoas, introduzindo soluções funcionais e eficientes nas atividades do dia a dia. De forma complementar, segundo (SANTOS *et al.*, 2016), IoT é formada por objetos inteligentes, os quais podem ser divididos em 4 unidades básicas, sendo elas a unidade de processamento, comunicação, energia e sensores/atuadores:

- A unidade de processamento é constituída basicamente por uma memória interna, um microcontrolador e um conversor analógico-digital para receber sinais analógicos. A unidade de processamento utilizadas nesses dispositivos é a mesma empregada em sistemas embarcados, no qual não apresentam alto poder computacional.
- A Unidade de comunicação é constituída de pelo menos uma unidade de comunicação, que pode ser tanto sem fio, ou não. No caso das tecnologias sem fio, são utilizadas geralmente ondas de rádio de baixa potência, como consequência a comunicação é de curto alcance.
- A fonte de energia é responsável pela alimentação de todos os componentes, comumente as fontes de energia são constituídas por uma bateria, que pode ser carregável ou não, e uma fonte de alimentação que converte corrente alternada em corrente contínua.
- Os sensores e transdutores são os dispositivos responsáveis por monitorarem diferentes características do ambiente no qual se encontram. Atualmente existem muitos sensores que podem capturar diferentes grandezas físicas do ambiente, como temperatura, intensidade luminosa, pressão, presença e entre outros. Já os atuadores são os mecanismos responsáveis por executar uma ação, atendendo comandos manuais, elétricos, mecânicos, pneumáticos entre outros.

Para a mensuração e transporte de todos esses dados é necessário a utilização de um protocolo de comunicação, ou seja, um conjunto de regras e procedimentos padrões para a transmissão de dados. Por exemplo, a internet sendo um produto da ligação entre milhares de redes com diferentes tecnologias, essa diversidade é unificada através de uma linguagem própria, denominada como protocolo TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) (CORONA, 2004).

Atualmente a maioria dos computadores se comunicam através do protocolo TCP/IP, que permite uma comunicação de ponta a ponta. Por meio desse protocolo, é possível identificar os dados que devem ser endereçados, divididos, roteados, transmitidos e recebidos pelo destinatário. O IP funciona como uma espécie de rótulo formado por números que são atribuídos a um dispositivo conectado à rede, em que, cada dispositivo possui um endereço IP próprio que o identifica, isso permite a comunicação e troca de dados com diferentes dispositivos. O TCP permite que aplicativos, programas e dispositivos se comuniquem em uma rede (GASPAR, 2021).

Com o crescimento constante de novos dispositivos, o protocolo IPv4 (Internet Protocol version 4) foi substituído pelo protocolo IPv6 (Internet Protocol version 6) devido a indisponibilidade de novos endereços. O IPv6 é a versão mais recente do protocolo IP, que utiliza endereços de 128 bits, permitindo a criação de $3,8 \times 10^{38}$ endereços distintos (FACCIONI, 2015).

1.4 Redes sem fio

Com o passar dos anos as quantidades de informações trafegadas vem aumentando significativamente, com isso houve a necessidade de criação de sistemas de comunicação mais robustos, visando minimizar a complexidade das interligações entre os dispositivos. Nesse contexto surgiu os sistemas de intercomunicação sem fio (Wireless), que tem como objetivo aperfeiçoar a conexão entre diversos dispositivos.

Segundo o grupo de trabalho IEEE 802¹, existem quatro tipos principais de redes sem fio, classificadas de acordo com sua taxa de transferência e alcance de transmissão de dados.

¹ IEEE 802 Working Group é responsável por estabelecer os protocolos de comunicação de rede, criando normas para as redes sem fio. Esse grupo faz parte do organismo regulamentador IEEE (Institute of Electrical Electronics Engineers)

- WLAN (Wireless Local Area Network) usa ondas de rádio para transmitir qualquer tipo de informação, para tanto, é necessária a utilização de um ponto de acesso. Redes WLAN são usadas na interligação de redes locais com alcance entre 100 e 300 metros (JOBSTRAIBIZER, 2010).

WiFi atualmente é o sistema de comunicação WLAN mais popular. Para utilizar esse sinal, basta o usuário estar no raio de cobertura do ponto de acesso (hotspot). Esse raio de abrangência pode ser configurado no momento da distribuição do sinal, ou ainda, ser limitado pela distância do ponto de acesso até o local do usuário (JOBSTRAIBIZER, 2010).

- WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) é uma tecnologia de acesso à banda larga, utilizadas em redes metropolitanas, com um alcance em torno de 6 quilômetros, definida pelo padrão IEEE 802.16 (CLUBE DO HARDWARE, 2004).

As MANs atuam mais frequentemente como uma rede de alta velocidade, que permite o compartilhamento de recursos regionais, e fornece também um compartilhamento com outras redes. Esse tipo de rede sem fio é utilizado para estabelecer conexões dentro de uma grande área de cobertura, (MAJUMDAR, 2019).

- WWAN (Wireless Wide Area Network) são voltadas para redes de longa distâncias, englobando serviços de voz e alguns serviços de dados, definidas pelo padrão IEEE 802.20 (CLUBE DO HARDWARE, 2004).

Uma WAN pode utilizar diferentes tipos de sistemas de rede celular para enviar sinais a maiores distâncias, geralmente esses tipos de redes exigem criptografias ou segurança que uma rede local pode não necessitar. Essas redes apresentam uma taxa de transmissão reduzidas, em relação as conexões físicas (ALPERN; SHIMONSKI, 2010).

- WPAN (Wireless Personal Area Network) é um padrão de rede que conecta dispositivos pessoais ou redes de sensores sem fio. Trata-se de uma tecnologia de curto alcance, e de baixa taxa de transmissão. Dentre esses padrões podemos destacar o IEEE 802.15.1 (Bluetooth) e o IEEE 802.15.4, que incluem a tecnologia ZigBee (CLUBE DO HARDWARE, 2004).

A tecnologia ZigBee permite conexões baratas e com baixo consumo de energia, tal características a torna adaptada a pequenos aparelhos eletrônicos. Operando na banda de frequências de 2,4 GHz e de 16 canais (PILLOU, 2018).

1.5 Tecnologia WiFi

O WiFi é a arquitetura de dados de rede sem fio, mas bem-sucedida e popular, estando presente em praticamente qualquer parte do planeta. Para a conectividade a rede usa um ponto de acesso, também conhecida como estação base. Esse ponto de acesso atua como um hub ativo, que prove a conectividade sem fio entre os dispositivos.

WiFi é um sistema de transmissão de dados projetado para fornecer, permitir e suportar o acesso a rede, independentemente da localização dos dispositivos, usando ondas de rádio, ou mídias guiadas.

A arquitetura é constituída por um conjunto de APs (*Access Point*), no qual o cliente está diretamente conectado. O AP por sua vez, se comunica com o cliente através da transmissão do SSID (*Service Set Identifier*), feita através de pequenos pacotes. O SSID é a identificação da rede WiFi, sendo sua principal função a facilitação da busca e identificação das redes WiFi para os usuários.

O AP transmite os pacotes a cada 100 ms de duração, com uma taxa de dados de 1 Mbps. A conectividade entre o cliente e o AP é diretamente dependente das configurações do SSID, se a configuração não for perfeita, a conexão pode não ser possível (KAUSHIK, 2007).

A conectividade WiFi pode apresentar diferentes comprimentos de ondas de rádio, que são comumente denominados como “bandas”. No Brasil atualmente o padrão de rede mais utilizado é o WiFi 5, identificado através das letras “ac” (padrão IEEE 802.11ac), essa rede utiliza duas bandas, a de 2.4Ghz e a de 5Ghz, por isso é conhecida como *dual band*.

Uma transmissão de dados a 2.4GHz fornece uma área de conectividade maior, em compensação a taxa de transmissão de dados é mais reduzida, sendo também mais propensas a sofrerem interferências.

As redes de 5Ghz tem uma área de atuação mais reduzida, em compensação a velocidade de transmissão de dados é maior, sendo também mais confiável e menos propensa a interferências.

Em relação aos dispositivos inteligentes, a maioria hoje, que estão presentes no mercado atua na faixa de frequência de 2.4Ghz, que pode ser uma desvantagem para usuários que pretendem utilizar vários dispositivos simultaneamente, podendo causar interferências uns aos outros, prejudicando a conectividade (VALERI, 2021).

1.6 Tecnologia ZigBee

ZigBee Alliance foi criada no ano de 2002, trata-se de uma associação de empresas, universidades e agências governamentais. Esse novo padrão estabelece uma pilha de protocolos de forma simplificada, estruturado em três características principais, sendo elas, o baixo consumo, baixo custo e com taxa de transferência de dados reduzida (250 Kbps). Por essas e outras características, tornou-se comum utilizar essa tecnologia no monitoramento e controle industrial e em projetos de automação residencial. Segundo Araújo (2018) a tecnologia ZigBee oferece quatro tipos de serviços distintos:

- Encriptação extra: implementação do padrão de criptografia avançada AES (Advanced Encryption Standard) extra de 128 bits.
- Associação e autenticação, no qual somente nós (pontos de conexão) validados podem se conectar à rede.
- Protocolo de roteamento: implementação do Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV), que é um protocolo de roteamento projetado especificamente para redes ad hoc sem fio e móveis. Esse protocolo estabelece rotas para destinos sob demanda e aceita roteamento unicast² e multicast³. É um protocolo adaptado aos cenários de alta mobilidade, que evita os desperdícios de banda, minimizando o processamento dos nós atuantes na rede.
- Serviços de aplicação: Cada nó pertence a uma arquitetura de sistema predefinida, no qual pode tomar um número predefinido de ações.

ZigBee pode ser definido como sendo um protocolo de redes sem fio de área pessoal, voltado para aplicações de automação e controle. O ZigBee prove especificações para dispositivos com baixa taxa de dados, essa característica permite que dispositivos a ele atrelados tenham um longa vida útil de bateria (ERGEN, 2004).

O ZigBee trabalha como uma espécie de intermediador entre a rede de internet e os dispositivos, como tomadas inteligentes e sensores, com isso os dispositivos são capazes de se comunicarem e serem controlados por intermédio de uma única unidade (AHAMED, 2009).

² Forma de envio de informações direcionadas para somente um único destino.

³ Forma de envio de informações direcionadas para múltiplos destinos

Um sistema ZigBee é composto por diversos componentes, o mais básico desses componentes é o dispositivo. Um dispositivo ZigBee pode apresentar duas funções distintas, podendo ser um dispositivo de função completa FFD (full function device), ou um dispositivo de função reduzida RFD (reduced function device). Uma rede deve necessariamente incluir um FFD, atuando como coordenador de rede de área pessoal PAN (personal area network). O FFD pode atuar de três modos distintos, ou seja, como um coordenador de rede de área pessoal (PAN), como um coordenador ou como um dispositivo. Já o RFD é normalmente utilizado em aplicações simplificadas, no qual, não é necessário enviar uma grande quantidade de dados. Um FFD pode se comunicar com outros dispositivos FFD e com dispositivos RFD, enquanto o RFD só pode estabelecer comunicações com dispositivos FFDs (ERGEN, 2004).

A rede de comunicação ZigBee apresenta três diferentes topologias, sendo elas: a topologia em estrela, topologia ponto a ponto e a topologia em ramos de árvore. Na topologia em estrela, a comunicação entre os dispositivos é realizada através de um único controlador central, denominado como coordenador PAN. Este controlador PAN pode ser alimentado diretamente pela rede elétrica, enquanto os dispositivos podem ser alimentados através de baterias. Após um dispositivo FFD ser inicializado, ele pode criar sua própria rede e se tornar um coordenador PAN. Cada rede ao se inicializar escolhe um identificador PAN diferente das redes próximas, tal características permitem que cada rede com topologia em estrela opere independentemente.

Na topologia ponto a ponto também há um único coordenador PAN, mas diferentemente da topologia em estrela, quaisquer dispositivos conectados na rede podem estabelecer comunicação com os outros dispositivos presentes, desde que, estejam ao alcance um do outro.

A topologia de ramos de árvore é um caso especial da rede de ponto a ponto, em que, a maioria dos dispositivos são FFDs, e um dispositivo RFD pode se conectar à rede como uma ramificação final da árvore. Quaisquer dispositivos FFDs conectados à rede podem atuar como um coordenador, fornecendo serviços de sincronização para os demais dispositivos, no entanto, apenas um desses coordenadores pode atuar como PAN. O coordenador PAN forma a ramificação central, os demais dispositivos podem solicitar ao coordenado PAN o emparelhamento na rede, nesse caso, o dispositivo será adicionado na rede como um dispositivo filho, criando dessa forma

um novo nó de ramificações. Nesse novo nó outros dispositivos podem ser conectados, formando assim, uma rede ramificada de dispositivos de forma hierarquizada. A vantagem desse tipo de rede é o aumento da área de cobertura, ao custo da velocidade de comunicação entre os dispositivos (ERGEN, 2004).

O sistema de rede ZigBee é composto por um servidor, e vários nós clientes, classificados como mestre, coletor, atuador e controlador. O servidor é responsável por emitir comandos e coletar todas as informações advinda da rede de equipamentos e sensores conectados à rede. Para isso é necessário um banco de dados que armazena os dados de configuração e os dados de monitoramento. Por sua vez, o nó mestre coleta os dados de monitoramento e gera relatórios para o software responsável pela gestão do dispositivo. O coletor compõe a parte principal da coleta de dados e monitoramento de status. O controlador controla as ações do atuador que, por sua vez, controla os dispositivos conectados à rede (YUNG LU, 2011).

1.7 Comparativo entre WiFi e ZigBee

Basicamente hoje no mercado há duas variedades de dispositivos inteligentes, se diferenciando somente pelo protocolo de comunicação, que podem ser WiFi e ZigBee. Ambos os protocolos atuam em frequências de 2.4Ghz, podendo gerar interferências caso os dispositivos sejam colocados adjacentes. Em relação ao alcance os dispositivos WiFi levam a vantagem, podendo operar numa faixa de 30 até 100 metros, enquanto o ZigBee fica limitado a 20 metros.

Em relação ao consumo de energia, os sistemas WiFi tendem a consumir significativamente mais energia, se comparados com os sistemas ZigBee, que consomem em níveis de microamperes. Para dispositivos como sensores, que podem utilizar baterias para a alimentação, a atualização do protocolo ZigBee pode ser de grande vantagem, pois garantem uma autonomia de bateria bem mais elevada.

Embora os dispositivos WiFi consumam mais energia, sua capacidade de transmissão de dados é mais elevada que o ZigBee, podendo apresentar uma velocidade máxima de transmissão de dados de até 11 mbps, já o ZigBee apresenta uma taxa de transmissão de apenas 250 Kbps, que podem dificultar a utilização desses dispositivos em aplicações que necessitam a coleta de dados em curtos períodos.

Outro comparativo importante é em relação a possibilidade de interferências, como os dispositivos WiFi se conectam diretamente ao roteador, a pressão de dados pode ser maior, prejudicando a conectividade e velocidade da internet. Outro ponto importante é em relação a dependência dos dispositivos WiFi com a nuvem, ficando expostos a possíveis interrupções e problemas técnicos por parte dos servidores.

Alternativamente os dispositivos ZigBee são menos propensos a tais dificuldades, pois contam com um hub, que processa os dados localmente, ou seja, não depende da nuvem, não havendo também pressão sobre a rede WiFi, permitindo que vários dispositivos funcionem continuamente. Além disso os dispositivos ZigBee não dependem da internet para que operem, desde que, o hub esteja conectado (VARIANTZ NEX, 2021). Na Tabela 1 temos o resumo de todos esses comparativos.

Tabela 1 – Comparativos entre WiFi e ZigBee

	WiFi	ZigBee
Frequência	2,4 Ghz	2,4 Ghz
Alcance	30 - 100 m	20 m
Consumo de Energia	Alto	Baixo
Transmissão de dados	11 mbps	250 Kbps
Vantagens	Conexão direta	Menor sobrecarga de rede
Desvantagens	Maior sobrecarga de rede	Necessita de um hub

Fonte: Autoria própria (2022)

1.8 Medidores inteligentes

No palco atual há uma diversidade de dispositivos inteligentes, com diferentes formas e funções. Dentre esses dispositivos destacamos os medidores inteligentes ou *smart meters*. Esses dispositivos possuem aplicativos com interfaces bastante intuitiva e de fácil configuração, que facilitam sua difusão, e uso no controle e monitoramento de nossos eletrodomésticos (MORAES *et al.*, 2020).

Esses medidores se conectam as plataformas de IoT, tornando possível o compartilhamento e recebimento de informações entre diferentes equipamentos, que

torna esses dispositivos ferramentas confiáveis para monitorar e acompanhar o consumo energético.

O monitoramento de energia e o controle dos eletrodomésticos são as funcionalidades básicas dos medidores inteligentes. Grande parte desses dispositivos disponíveis hoje no mercado, oferecem recursos nos quais é possível acompanhar o consumo diário de qualquer eletrodoméstico conectado, armazenando os dados de consumo ao longo dos dias, fornecendo para o usuário o consumo real daquele eletrodoméstico a ele conectado.

Esses recursos auxiliam os consumidores a compreender seus padrões de consumo. Podendo também ajudar a identificar os equipamentos que estão consumindo altas quantidades de energia, dessa forma, os consumidores podem adaptar seus padrões de consumo de forma a reduzi-los, ou até mesmo, substituir seus eletrodomésticos por modelos mais eficientes.

A coleta dos dados de consumo pelos medidores inteligentes pode ser utilizada também por empresas de serviços públicos, que podem usá-los para desenvolverem políticas para a conscientização dos consumidores, auxiliando na redução do consumo energético do setor residencial.

A arquitetura dos medidores inteligentes de forma simplificada, é composta por um microcontrolador integrado, que possibilita que esses equipamentos realizem suas principais funções, sendo elas as funções de controle, comunicação e monitoramento (SURYADEVARA; BISWAL, 2019), ou seja:

- A função de controle permite que o usuário defina o estado de qualquer eletrodoméstico independente onde estejam. Com essa função, é possível ativar os dispositivos automaticamente seguindo as rotinas definidas pelo usuário conforme sua necessidade. Muitos eletrodomésticos podem ser controlados através dos medidores inteligentes, como luzes, ar-condicionado, televisores, microondas, entre outros.
- A função de comunicação é definida pela relação entre os medidores inteligentes e o servidor a elas associados, que permite a troca mútua de dados entre o usuário e o dispositivo. Para tanto é necessário a utilização de uma rede de comunicação rápida e estável, que garanta a comunicação sem que ocorra nenhuma perda de dados.
- A função de monitoramento permite que seus usuários acompanhem os status dos de seus dispositivos, como corrente elétrica, tensão e consumo de energia.

Essa função permite traçar as características de carga de cada eletrodoméstico, fornecendo dessa forma um referencial para o uso racional dos aparelhos elétricos. Sendo essa função o foco principal do nosso trabalho.

1.9 Home Assistant

A automação residencial pode ser entendida como um conjunto de serviços realizados por sistemas tecnológicos integrados, com o intuito de proporcionar a todos os indivíduos pertencentes ao mesmo meio uma melhor satisfação às necessidades básicas de segurança, gestão de energia, comunicação e conforto (MURATORI; DAL , 2013).

O fator principal que define uma instalação automatizada é a integração e capacidade de controle dos diferentes sistemas por meio de comandos e funções programáveis. Segundo MURATORI e DAL (2013), tal integração deve abranger as seguintes características tecnológicas de uma residência:

- Instalação elétrica: envolve a iluminação e a gestão de gastos energéticos;
- Sistema de segurança: alarmes, sensores de vazamentos e fumaça, monitoramento e controle de acesso;
- Sistema de multimídia: áudio, vídeo, jogos eletrônicos;
- Sistemas de comunicações: telefonia, redes domésticas, televisão por assinatura;
- Utilidades: irrigação, aspiração, aquecimento de água e climatização;

Essas integrações podem ser feitas através da plataforma Home Assistant. Esta plataforma é um *open source* utilizado para desenvolver sistemas de automações residenciais. O Home Assistant pode ser utilizado para controlar atuadores inteligentes, ler e interpretar dados coletados por sensores, implementar regras e rotinas de automação e gerenciar a comunicação entre os dispositivos. Além disso, o Home Assistant pode ser executado em computadores Linux, diretamente em SBCs (*Single Board Computers*) com o sistema operacional dedicado Hass.io, ou em qualquer outro ambiente que possua Python e suas dependências instaladas (SILVA, 2019). Dentre as vantagens do Home Assistant, podemos destacar:

- Plataforma Gratuita
- Automações implementadas localmente
- Fácil instalação

- Interface bastante intuitiva e de fácil interação
- Escalabilidade, permitindo a utilização de diversas extensões

Como o intuito do Home Assistant ser uma aplicação altamente escalável, o módulo add-on é o responsável por adicionar diversas funcionalidades no sistema, permitindo realizar várias integrações com diferentes dispositivos inteligentes, possibilitando o gerenciamento e monitoramento de diferentes dispositivos, de uma infinidade de marcas e modelos.

Hoje há no mercado inúmeros fabricantes de dispositivos inteligentes, no qual, cada um utiliza seus próprios protocolos e padrões de comunicação. Contudo, para a automação é necessário um tratamento pelo Home Assistant, para que seja possível estabelecer uma comunicação com as maiores variedades de dispositivos, fazendo que eles se interajam entre si (SILVA, 2019).

1.10 Justificativa

O setor residencial representa uma grande parcela no consumo elétrico nacional, apesar da representatividade, é o setor mais inexplorado no que diz respeito ao gerenciamento do consumo de energia. Essa deficiência na resposta a demanda está atrelada a falta de conhecimento dos consumidores em relação aos perfis reais de consumo, no qual, são considerados constantes durante todo seu período operacional. Sabemos que todos os eletrodomésticos estão sujeitos a variações, relacionadas as ciclagens operacionais, diferentes configurações e padrões de utilização do usuário.

Com o advento das tecnologias inteligentes, hoje é possível monitorar nosso consumo de forma eficaz, e com esses dados, podemos desenvolver algoritmos que auxiliem os consumidores a utilizarem seus eletrodomésticos de forma mais proveitosa, possibilitando o controle automático e inteligente, em resposta aos padrões de consumo. Fornecendo, assim, os recursos necessários, para transformar o setor residencial, em um setor mais autônomo em relação a conservação energética.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para esse trabalho foi realizada uma busca de artigos relacionados ao tema, destacamos os trabalhos de M. S. Ahmed et al (2015), Suryadevar e Biswal (2019) e M Pipattanasomporn et al (2014). Essas pesquisas foram essenciais para o desenvolvimento de toda a metodologia utilizada para a coleta de dados, e no estudo da aplicabilidade das Smart plugs no gerenciamento inteligente dos eletrodomésticos. Na Tabela 2, destacamos os autores e suas principais contribuições.

O trabalho realizado por M. S. Ahmed et al (2015), propõe o desenvolvimento de um Smart plug ZigBee, para o controle e monitoramento de aparelhos elétricos. Além disso, os dados obtidos pela Smart plug foram analisados e comparados com dados cotados de um osciloscópio, atestando a efetividade desses dispositivos no monitoramento de cargas residências.

Smart plug proposta por M. S. Ahmed et al (2015) é uma tomada capaz de controlar e monitorar o consumo. A energia consumida é medida com o auxílio de sensores de corrente e tensão. O sistema possui três diferentes circuitos, para medir os parâmetros de corrente, tensão e potência.

Os resultados apresentados, mostraram que o Smart plug proposto é eficiente e preciso na medição do consumo de energia para sinais com períodos de amostragem inferiores a 20 ms, demonstrando que esses dispositivos são adequados em aplicações de resposta a demanda.

O trabalho desenvolvido por Suryadevar e Biswal (2019) apresenta uma revisão abrangente das tecnologias das Smart plugs, como um potencial contribuinte no desenvolvimento das redes elétricas inteligentes e no consumo sustentável dos usuários. Destacando a aplicabilidade desses dispositivos, na identificação dos equipamentos que estão consumindo muita energia. Empresas de serviços públicos também pode utilizar esses dados, para recomendar a substituição dos eletrodomésticos antigos, que apresentam consumo elevado, por modelos novos e mais eficientes.

A identificação de dispositivos é uma área de pesquisa interessante, que atualmente vem sendo explorada em sistemas de monitoramento de carga e no gerenciamento de energia. Com a identificação, o consumo de energia pode ser eficientemente monitorado, programado e controlado. Segundo Suryadevar e Biswal (2019) a aplicação de Smart plugs, juntamente com medidores inteligentes, podem

fornecer resultados precisos, para alcançar uma abordagem mais eficiente para a identificação dos dispositivos.

Um dos principais objetivos da tecnologia de redes inteligentes é alcançar uma comunicação bidirecional entre as concessionárias de energia e os usuários, estabelecendo uma infraestrutura de comunicação eficiente, que permite a troca de informações contínuas, entre a geração, distribuição e consumo. Conforme exposto por Suryadevar e Biswal (2019), os Smart plugs podem ser utilizados como um ponto de comunicação, entre os usuários e a concessionária, permitindo dessa forma, o usuário participar de forma efetiva no processo de consumo e na precificação em tempo real.

A utilização de Smart plugs demonstrou ser uma ferramenta benéfica, tanto para os usuários, como para as concessionárias, podendo interconectar toda a cadeia de componentes, que envolvem a geração, distribuição e consumo, que no futuro podem resultar em uma rede de comunicação ideal, no qual, cada componente, poderá utilizar os dados compartilhados uns com os outros. Portanto, esses dispositivos provaram ser um importante bloco para a construção e implementação das redes elétricas inteligentes.

A metodologia para a coleta de dados dos eletrodomésticos foi baseada no trabalho desenvolvido por M Pipattanasomporn et al (2014). Esse estudo apresenta os dados de consumo dos eletrodomésticos mais utilizados nos Estados Unidos, como máquina de lavar, secadora, lava louças, fogão elétrico, geladeira e ar-condicionado. A coleta de dados foi feita por dois dispositivos, um instalado diretamente no painel de disjuntores, para a coleta de dados de toda a casa, e outro utilizado para a coleta individual de cada equipamento.

Nesse estudo para a coleta individual, cada aparelho foi conectado ao dispositivo de medição, e os dados de consumo foram coletados em períodos contínuos de um segundo, em um intervalo suficiente para caracterizar as peculiaridades de cada eletrodoméstico.

A arquitetura do dispositivo proposto por M. S. Ahmed et al é semelhante as Smart plugs que foram utilizados para o desenvolvimento desse trabalho, portanto os resultados apresentados foram essenciais para comprovar a efetividade desses dispositivos no monitoramento de cargas residências.

A revisão apresentada por Suryadevar e Biswal (2019), enfatizou a aplicabilidade que as Smart plugs vem ganhando, como uma importante ferramenta

para o monitoramento e consumo consciente de energia, e no desenvolvimento das redes inteligentes, que no futuro vai possibilitar a comunicação direta entre os usuários e concessionárias.

Já o trabalho desenvolvido por M. Pipattanasomporn et al (2014) foi fundamental para o planejamento e desenvolvimento da metodologia de coleta de dados de todos os eletrodomésticos estudados.

Tabela 2 – Principais contribuição para o desenvolvimento do trabalho

Autor	Principal contribuição
M. S. Ahmed et al (2015)	Comprovação da efetividade das Smart plugs na coleta de dados de consumo
Suryadevar e Biswal (2019)	Aplicabilidades das Smart plugs no monitoramento e consumo inteligente
M. Pipattanasomporn et al (2014)	Desenvolvimento de curvas de cargas com a utilização de medidores inteligentes

Fonte: Autoria própria (2022)

3 METODOLOGIA

Neste projeto foram selecionados equipamentos de uso doméstico mais utilizados nas residências brasileiras. No segundo momento, Smart Plugs com tecnologias de comunicação WiFi e ZigBee foram testados e comparados com diferentes taxas de amostragem para avaliar aquela mais aderente aos objetivos do projeto. No terceiro momento, perfis de consumo foram coletados para todos os equipamentos selecionados, com o intuito de elaborar famílias de equipamentos com comportamentos similares, para isso sistemas de automação residencial foram amplamente testados em termos de confiabilidade e continuidade na coleta de dados. Além disso, hábitos de consumo dos usuários e valores de custo da energia foram tratados juntamente com os perfis de consumo dos equipamentos com o intuito de sugerir alternativas (mudanças de hábito) que possam melhorar a eficiência energética e reduzir o gasto mensal com energia elétrica.

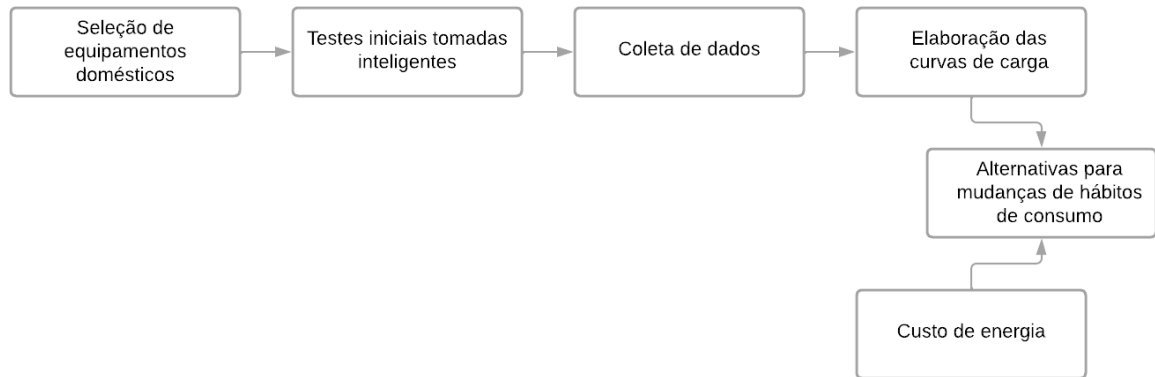
Para a coleta de dados do consumo dos eletrodomésticos, utilizamos três dispositivos, sendo eles o Gateway e as tomadas inteligente ZigBee e Wi-Fi, dispositivos esses pertencentes ao fabricante Tuya Smart.

Para analisar os dados coletados instalamos o sistema de automação residencial de código aberto home Assistant (apêndice A). Através do home Assistant é possível gerenciar e controlar nossos dispositivos inteligentes de forma intuitiva e fácil, para tanto, basta fazer a integração dos dispositivos dentro da plataforma (apêndice B). Feita as integrações necessárias, configuramos o home Assistant para fazer a coleta de dados das tomadas inteligentes (apêndice C).

Os equipamentos foram conectados na tomada inteligente de forma individual. Os dados do consumo foram coletados em intervalos constantes a cada segundo, previamente configurado através do sistema de automação home Assistant. Durante as medições submetemos os equipamentos em diferentes configurações e ciclos operacionais. Com os dados coletados, analisamos e desenvolvemos as curvas de carga, que irão descrever os perfis reais de consumo.

Com os dados de cada equipamento, calculamos o consumo monetário real, comparando com o método padrão utilizando as informações fornecidas pelo fabricante. A Figura 3 resume todas as etapas do processo.

Figura 3 – Fluxograma de todas as etapas do processo



Fonte: Autoria própria (2022)

3 RESULTADOS

Este projeto visa obter os seguintes resultados:

- Analisar os aspectos comportamentais dos perfis de consumo dos equipamentos listados na Tabela 3, considerando os tempos de operação da Tabela 4. Visando propor alternativas aos usuários sobre a melhor utilização da energia elétrica.
- Comparar o consumo real dos equipamentos, com os valores de consumo fornecidos pelo fabricante.
- Desenvolver recomendações que visam orientar aos usuários domésticos nas mudanças de hábitos que possam reduzir o gasto mensal em energia elétrica.

Tabela 3 – Equipamentos testados

Equipamento	Marca	Modelo	Tensão (V)	Potência Nominal (W)
Refrigerador	Consul	CRM39AB	127	150
Fritadeira elétrica	Britânia	Bfr11pi	127	1500
Airfryer	Brastemp	Bms45	127	1400
Microondas	Mondial	NV-61-6P-NP	127	140
Ventilador de coluna	Arno	Mini me dolce gusto	127	1460
Cafeteira	Dell	Inspiron 5566	127	60
Notebook	LG	50uq8050	127	130
Televisão	Xiaomi	Redmi note 10s	127	33
Celular	Rayovac	CS15W2206KB X2-BRA	127	15
Lâmpada fluorescente	Foxlux	LED90.06	127	6
Lâmpada de LED	Positivo	11147015	127	6
Lâmpada inteligente	Electrolux	Essential Care	127	600
Máquina de lavar	Black & Decker	X5 eco	127	1200
Ferro de passar				

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 4 – Tempo de operação considerado nos testes para cada equipamento

Equipamento	Tempo de operação
Refrigerador	24h
Fritadeira elétrica Airfryer	1h
Microondas	3 min
Ventilador de coluna	5 min
Cafeteira	30 sec
Notebook	30 min
Televisão	1h
Celular	1h
Lâmpada fluorescente	1h
Lâmpada de LED	1h
Lâmpada inteligente	1h
Máquina de lavar	2h 30 min
Ferro de passar	3 min

Fonte: Autoria própria (2022)

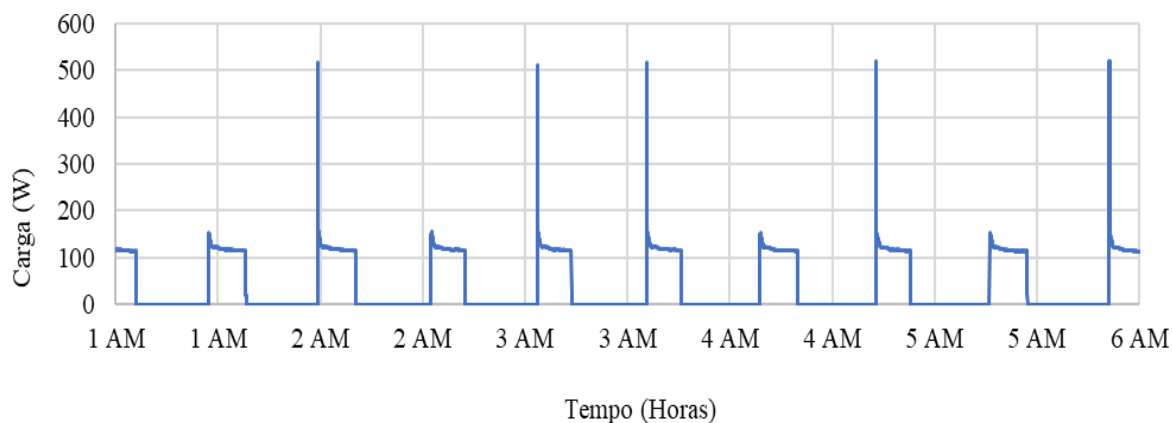
3.1 Caracterização das curvas de carga

3.1.1 Refrigerador

O refrigerador utilizado nos testes é da marca Consul, modelo CRM39AB com 340 litros de capacidade e frost free. Para desenvolver a curva de carga, coletamos os dados em intervalos contínuos de 1 segundo durante um período de 24 horas.

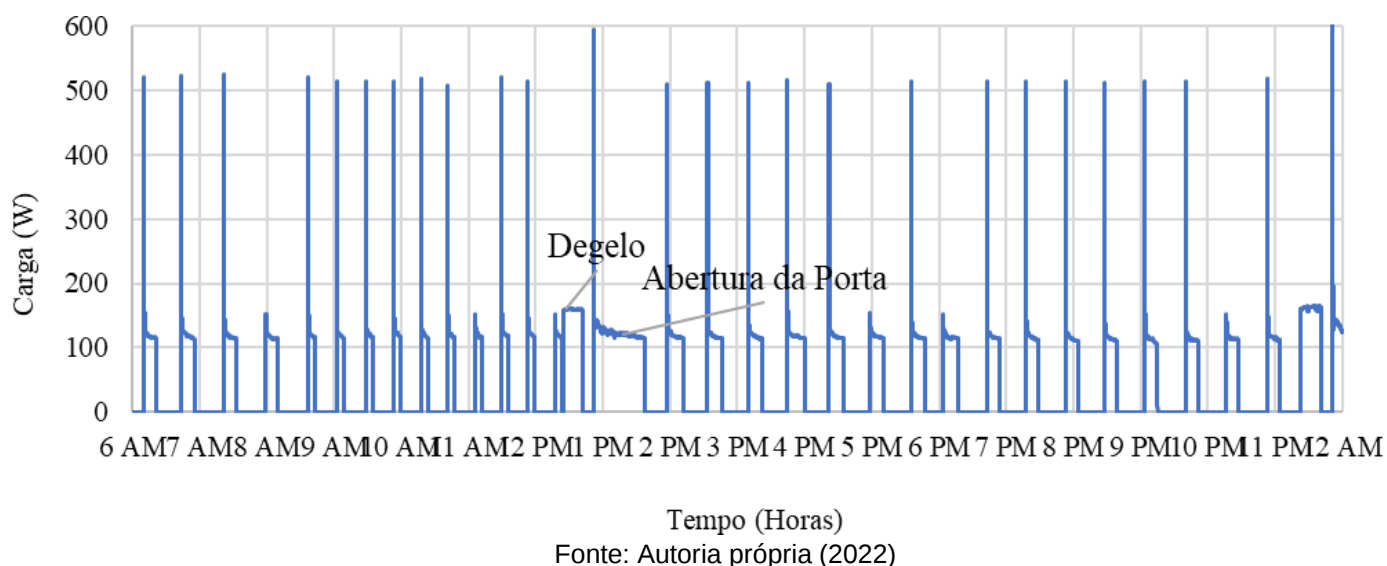
Nesse intervalo foram considerados dois diferentes períodos. O primeiro período compreende o horário entre 1:00 AM e 6:00 AM Figura 4, no qual não há aberturas de porta. Já o segundo período compreende o horário entre 6:00 AM e 11:59 PM Figura 5, no qual há aberturas de porta.

Figura 4 - Curvas de carga refrigerador período inativo



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 5 - Curvas de carga refrigerador período Ativo



Para esse modelo de refrigerador o consumo médio durante seu modo ON⁴, no período inativo é de 120 W, já no modo OFF⁵ não há consumo. Sem aberturas de porta o tempo médio que a geladeira permanece ligada é de 10 minutos e 37 segundos, já o tempo médio que a geladeira permanece desligada no período sem atividade é de 22 minutos e 37 segundos.

Já para o período no qual ocorre aberturas de porta o consumo médio durante o modo ON foi de 125 W, nesse período também não foi observado consumo durante o modo OFF. Com as aberturas de porta, o tempo médio que a geladeira permanece ligada aumentou para 11 minutos e 40 segundos, já o tempo médio em que a geladeira permanece desligada nesse período foi de 20 minutos e 28 segundos.

Nesse período foi observado a ocorrência de dois ciclos de degelo, um iniciado às 12:24 PM encerrando-se às 12:41 PM com uma duração de 17 minutos, e o outro às 11:22 PM com duração até às 23:41PM com uma duração de 19 minutos. Com isso o intervalo observado entre os degelos foi de 10 horas e 58 minutos. Nesse intervalo nota-se na curva um comportamento de consumo aproximadamente constante, esse comportamento é devido à natureza das cargas nesse ciclo, que são puramente resistivas, apresentando um consumo médio de 160 W.

Nesse modelo de refrigerador não foi observado aumento de consumo devido a luz interna, sendo que a mesma é de LED, apresentando baixíssimo consumo. Foi

⁴ Período do qual a geladeira está consumindo energia

⁵ Período do qual a geladeira não apresenta consumo

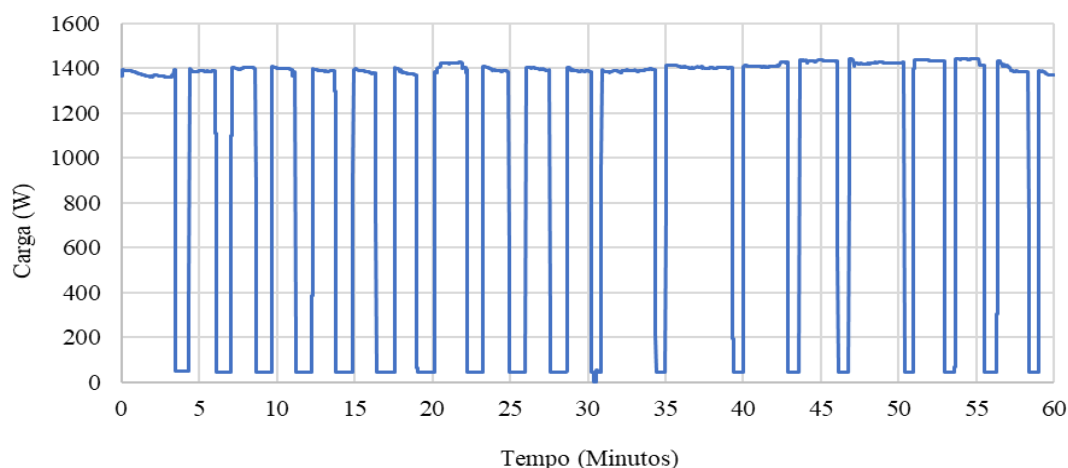
notado, que as aberturas de porta influem diretamente nos ciclos ON e OFF, aberturas prolongadas de porta ou com alta frequência aumentam consideravelmente o tempo que a geladeira permanece funcionando, assim como foi observado no período próximo às 1:00 PM, no qual o intervalo em que a geladeira permaneceu funcionando foi de 45 minutos e 37 segundos, devido a uma abertura prolongada da porta.

3.1.2 Fritadeira elétrica Airfryer

A fritadeira escolhida para os testes é da marca Britânia, modelo Bfr11pi com 1500 watts de potência e capacidade de 3,35 litros. Os dados foram coletados em períodos contínuos a cada 1 segundo, durante o intervalo de 1 hora Figura 6.

Na Airfryer em relação ao consumo energético há basicamente dois componentes mais atuantes. O componente responsável pela maior parte do consumo é a bobina elétrica, que realiza o aquecimento do ar, o segundo componente é a hélice, que movimenta o ar no interior do equipamento.

Figura 6 - Curvas de carga da fritadeira elétrica Airflyer



Fonte: Autoria própria (2022)

No início do processo o equipamento entra em um ciclo de aquecimento que perdura por aproximadamente 3 minutos e 30 segundos, após finalizado o aquecimento, observamos ciclos contínuos de consumo.

Os pontos mais elevados da curva ocorrem quando a bobina e a hélice estão operando simultaneamente, nesses pontos o consumo fica na faixa de 1300 W a 1400 W. Já os pontos mais baixos da curva, ocorrem para controlar a temperatura interna

do equipamento, nesses ciclos somente a hélice está operando, o consumo durante esse ciclo fica na faixa de 43 W a 47 W.

Observando as curvas notamos uma mudança de comportamento logo após 30 minutos de funcionamento, no qual os ciclos de alto consumo permanecem ativos por um período mais prolongado, enquanto os ciclos de baixo consumo permanecem ativos por um intervalo de tempo menor.

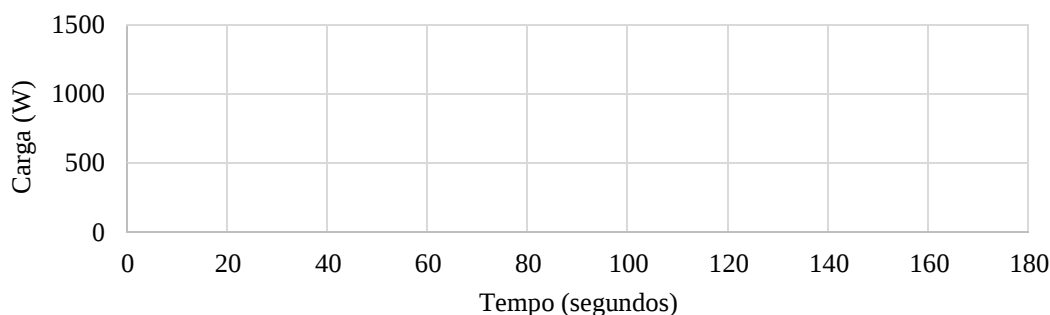
Mais precisamente, nos primeiros 30 minutos o tempo médio de atividade do ciclo de alto consumo foi de 1 minuto e 37 segundos, enquanto os ciclos de menor consumo apresentaram um tempo médio de 1 minuto e 2 segundos. Já nos últimos 30 minutos, o tempo médio do ciclo de alto consumo foi de 2 minutos e 45 segundos, já os ciclos de baixo consumo apresentaram um tempo médio de atividade de 40 segundos.

Esse comportamento foi devido a mudança de temperatura do aparelho, no qual nos primeiros 30 minutos estava configurado em 160° C, já nos 30 minutos finais a temperatura de operação foi alterada para 200° C. Sendo assim, a temperatura é um fator que atua diretamente no tempo de atividade de cada ciclo.

3.1.3 Microondas

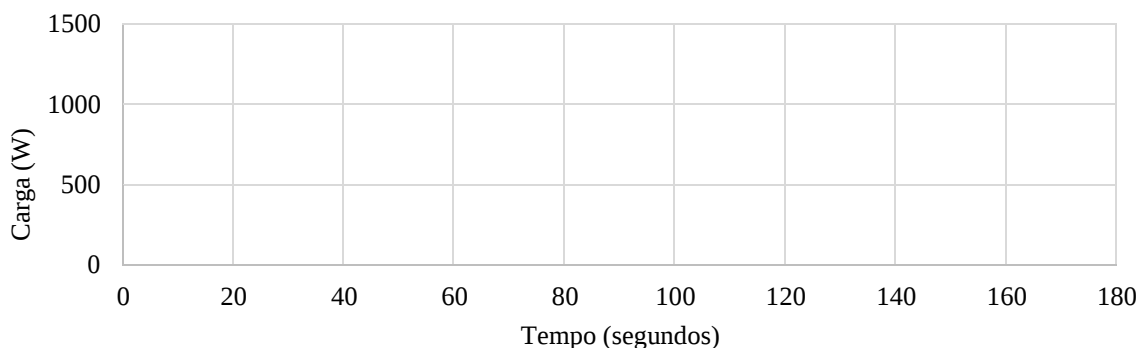
O microondas utilizado nos testes é da marca Brastemp, modelo Bms45 com 1400 watts de potência e capacidade de 30 litros. Para esse equipamento coletamos os dados de consumo em intervalos regulares de 1 segundo, por um período de 3 minutos, foram realizados ao todo 5 medições, para cada configuração de potência do aparelho (mínima, média e máxima), sendo utilizado o valor médio das medições para a composição da curva de carga Figura 7, Figura 8 e Figura 9.

Figura 7 - Curvas de carga microondas potência mínima



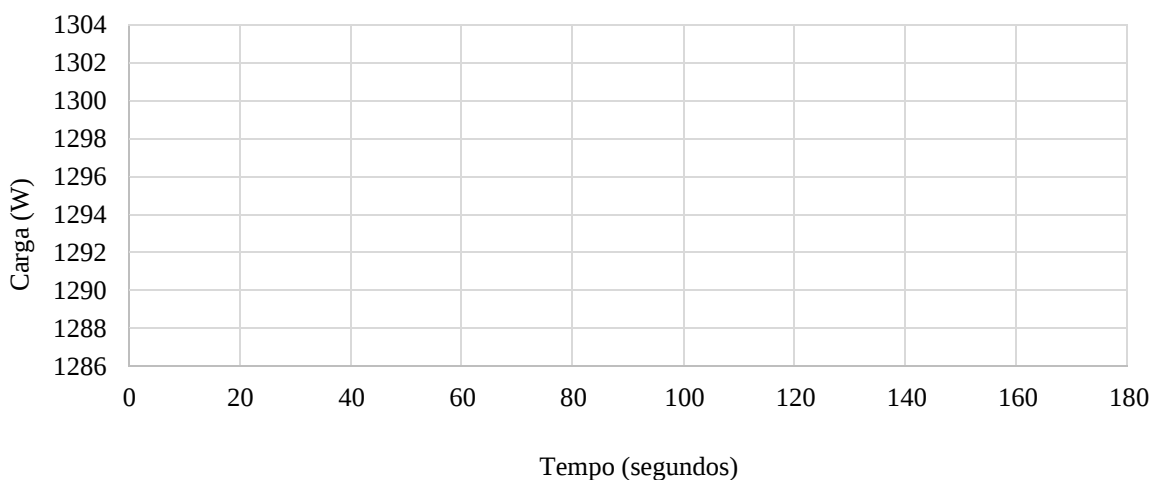
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 8 - Curvas de carga microondas potência média



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 9 - Curvas de carga microondas potência máxima



Fonte: Autoria própria (2022)

No microondas o magnetron, motor do prato e a ventoinha são os componentes responsáveis pela maior parte do consumo energético, dos quais, somente o magnetron apresenta um consumo médio de 900 W.

Podemos observar na que na potência mínima a curva de carga do microondas oscila entre picos e vales, nos quais picos representam os pontos nos quais todos os componentes estão atuando simultaneamente, já os vales representam os momentos em que o magnetron não está ativo.

Na potência média o comportamento é semelhante, mas nessa configuração o magnetron passa mais tempo ativo, comportamento esse que pode ser observado pelo estreitamento dos vales.

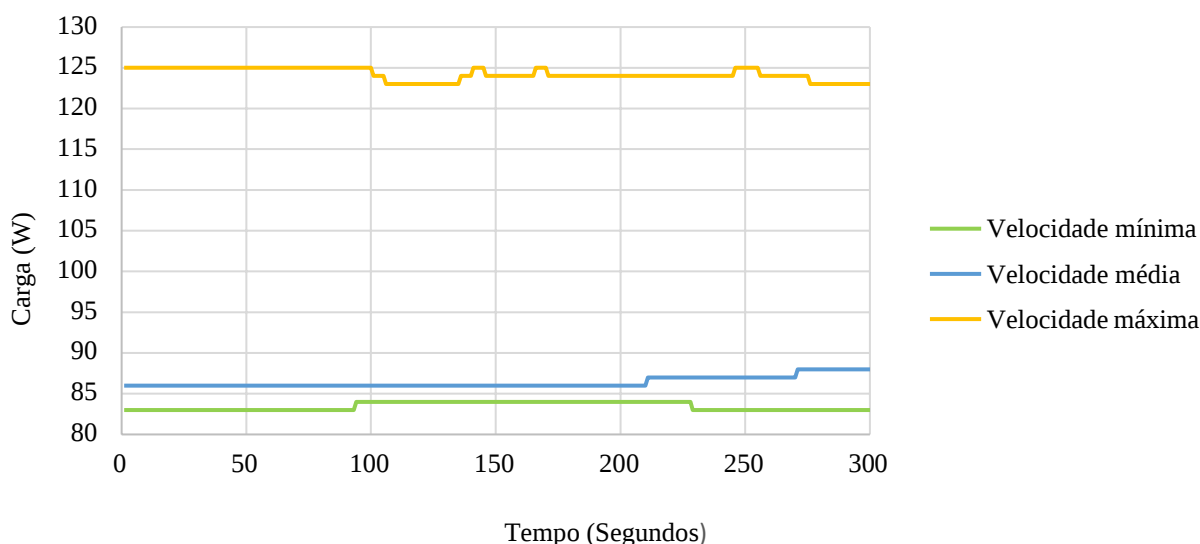
Já na potência máxima o magnetron permanece ativo durante todo o funcionamento, nessa configuração podemos ver também que a curva de carga

diminui em pequenos intervalos no decorrer do tempo, apresentando um consumo inicial de 1302 W no início das medições e 1290 W nos momentos finais. Nessa configuração o consumo médio do microondas foi de 1296 W.

3.1.4 Ventilador de coluna

O ventilador utilizado durante os testes é da marca Mondial, modelo NV-61-6P-NP com 140 W de potência. Para a coleta dos dados, realizamos medições do consumo em intervalos regulares de 1 segundo, durante um período de 5 minutos, em diferentes velocidades de operação Figura 10. Na figura podemos observar três diferentes curvas, a curva inferior é referente a velocidade mínima do aparelho, já a curva superior é referente a velocidade máxima, e a curva entre a inferior e a superior, representa a velocidade média.

Figura 10 - Curvas de carga ventilador coluna



Fonte: Autoria própria (2022)

O ventilador operando na velocidade mínima apresentou um consumo médio de 83,5 W, enquanto, na velocidade média o consumo foi de 86,4 W, constatando assim, pouca diferença de consumo nesses dois modos de operação.

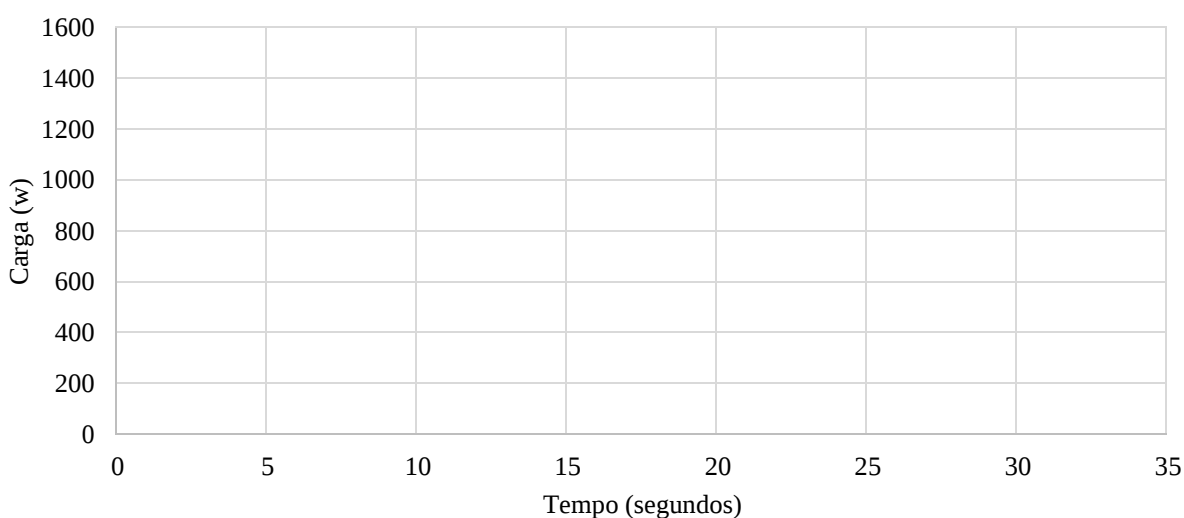
Já na velocidade máxima foi observado um aumento significativo no consumo, passando a apresentar um valor médio de 124,2 W. Nos três modos de operação foi observado poucas variações de consumo durante o período analisado, tal

comportamento já era esperado para esse aparelho, por se tratar basicamente de um motor elétrico.

3.1.5 Cafeteira

A cafeteira utilizada nos testes é da marca Arno, modelo mini me dolce gusto, com 1460 watts de potência. Para as medições utilizamos intervalos contínuos de 1 segundo durante um período de aproximadamente 30 segundos, sendo esse o tempo típico para o preparo de uma bebida nesse aparelho Figura 11.

Figura 11 - Curvas de carga cafeteira



Fonte: Autoria própria (2022)

Na curva podemos observar dois diferentes picos, no primeiro pico o consumo médio foi de 1346,9 W com uma duração de 20 segundos, já o segundo pico apresentou um consumo médio de 1273,2 W, tendo uma duração de apenas 5 segundos.

Esse comportamento é devido ao ajuste de dosagem de água do aparelho, no qual o primeiro pico representa a dosagem máxima, e o segundo pico da curva a dosagem mínima. Observa-se também entre os picos, um período no qual não há consumo, nesse intervalo o aparelho ativou o modo standby até ser colocado em operação novamente.

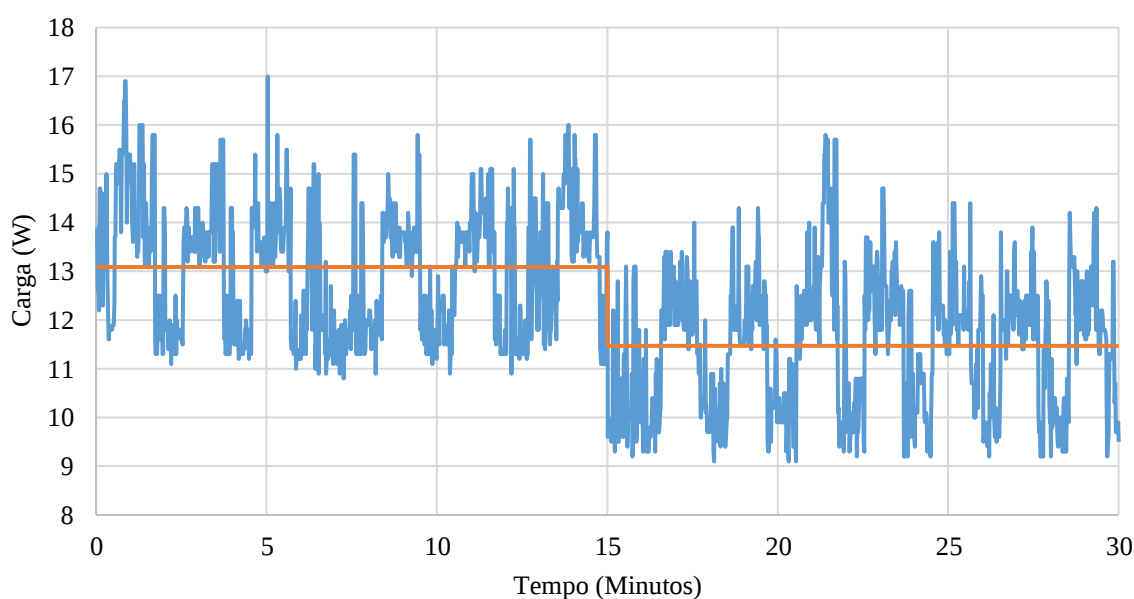
3.1.6 Notebook

O notebook escolhido para a realização dos testes é da marca Dell modelo Inspiron 5566. As medições foram feitas em intervalos regulares a cada 1 segundo, durante um período de 30 minutos, dos quais, os 15 minutos iniciais o notebook estava em seu modo ativo, e os 15 minutos finais analisamos o notebook no modo espera. Figura 12. Nesse intervalo o notebook estava executando aplicativos comuns de trabalho, como Microsoft Word e Excel, em plataforma Windows 10.

Em condições normais de uso durante o período ativo, o consumo médio do notebook foi de 13,09 W, já no modo espera o consumo médio observado foi de 11,47 W.

Com esses dados constatamos que o notebook mesmo no modo espera apresenta um consumo significativo, sendo apenas um pouco menor em relação ao notebook no modo ativo. Para tanto recomenda-se suspender o aparelho ao invés de deixá-lo em modo espera por um longo período, tal atitude pode levar a uma redução significativa no consumo energético.

Figura 12 - Curvas de carga notebook



Fonte: Autoria própria (2022)

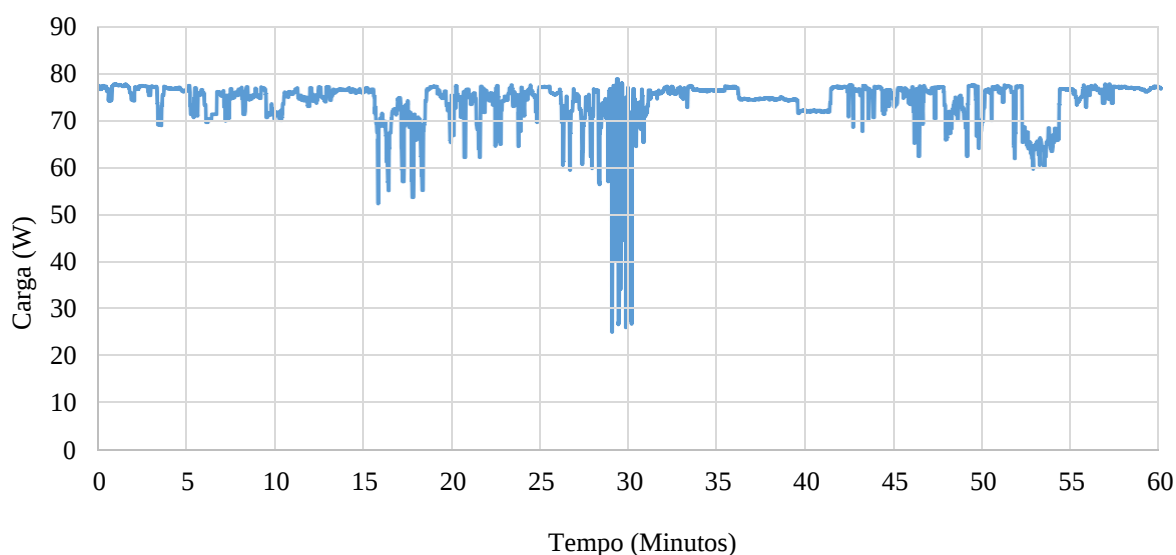
3.1.7 Televisão

A televisão utilizada nos testes é da marca LG, modelo 50uq8050. As medições foram feitas em intervalos regulares, a cada 1 segundo, sob condições normais de utilização.

O consumo de uma televisão está diretamente relacionado com o tamanho e o tipo de tecnologia utilizada em sua tela (plasma, LCD, LED e OLED), podendo também variar entre diferentes modelos. A curva de carga da Figura 13 é de uma televisão de 50 polegadas com tela em LED.

O consumo médio desse modelo de televisão, durante o período de medição foi de 73,83 W. Ao longo da curva podemos observar vários vales, esses vales podem ser explicados pela tecnologia de escurecimento local, que é bastante empregada nas televisões atuais, essa tecnologia nada mais é do que o enfraquecimento dos leds para exibição do preto, ou seja, em cenas mais escuras, ou até mesmo nas transições entre canais a televisão consumirá menos energia.

Figura 13 - Curvas de carga televisão



Fonte: Autoria própria (2022)

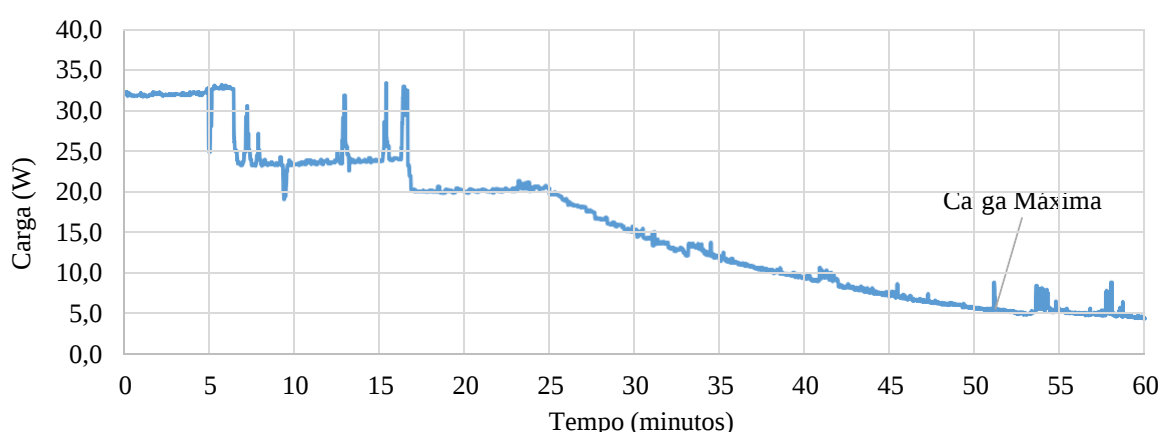
3.1.8 Carregamento Celular

O celular utilizado durante as medições é da marca Xiaomi, modelo redmi note 10s. As medições foram realizadas a cada 1 segundo, durante um período total de 1 hora Figura 14.

Observamos que, nos instantes iniciais do carregamento a carga consumida é maior, ficando na faixa de 32 W nos primeiros minutos. Conforme o celular vai carregando o consumo vai diminuindo gradativamente, apresentando alguns picos de carga momentâneos em alguns períodos.

Após aproximadamente 50 minutos o celular atinge a carga máxima, mas apesar de estar completamente carregado, verificamos que o aparelho continua consumindo, consumo esse, que fica na faixa 5 W. Com isso constatamos que mesmo após carregado, ainda há consumo, portanto, deve-se evitar manter o aparelho no carregador, além do tempo necessário de carregamento.

Figura 14 – Curvas de carga celular



Fonte: Autoria própria (2022)

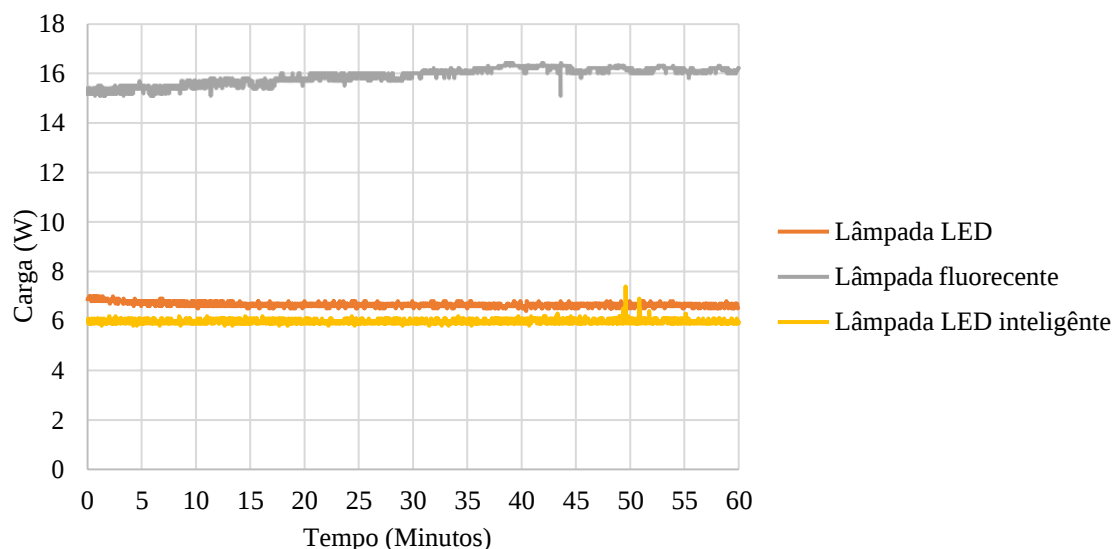
3.1.9 Lâmpadas

Para esse teste foram utilizados três diferentes tipos de lâmpadas, com capacidades luminosas semelhantes, sendo uma lâmpada do tipo fluorescente e duas do tipo LED. Nos testes todas as lâmpadas foram submetidas a mesma condição, monitoradas durante uma hora, com medições constantes a cada um segundo Figura 15.

Pelo gráfico podemos observar que dentre as lâmpadas, a do tipo fluorescente é a que apresentou maior consumo. Esse comportamento já era esperado, dado o princípio de funcionamento desse tipo de lâmpada, no qual, um filamento em seu interior é aquecido para ionizar o gás confinado no interior do tubo. Apesar dessas lâmpadas serem mais eficiente que as antigas lâmpadas incandescentes, elas ainda apresentam um consumo bastante elevado, se comparado com as lâmpadas de LED.

Já em relação as lâmpadas de LED, foi constatado que as lâmpadas de LED inteligente apresentam consumo semelhante as lâmpadas de LED convencionais, apesar de possuírem uma maior quantidade de componentes, esses componentes não influenciam no seu rendimento energético.

Figura 15 - Curvas de carga das lâmpadas

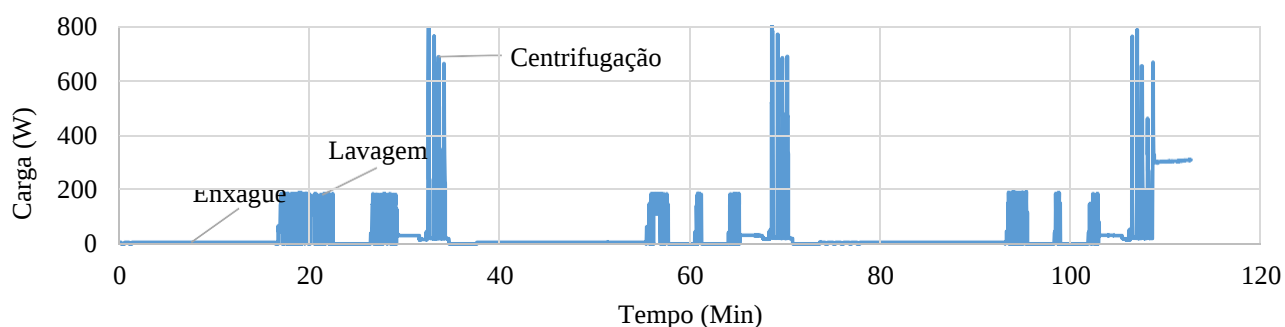


Fonte: Autoria própria (2022)

3.1.10 Máquina de lavar

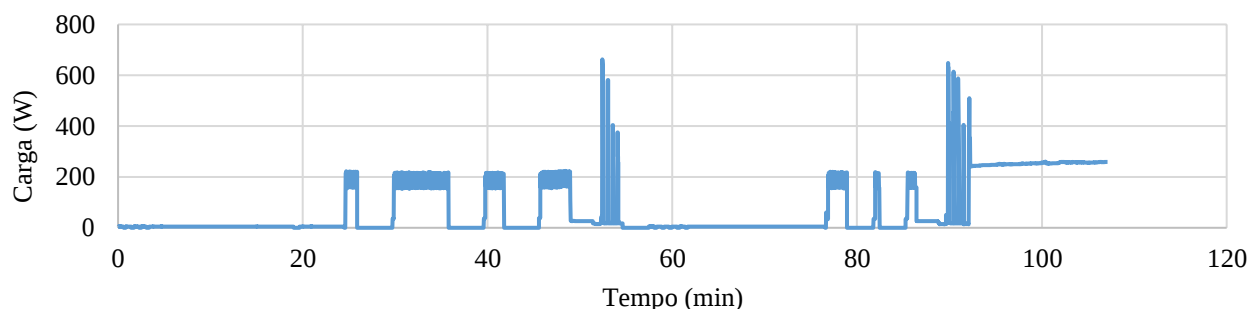
A máquina utilizada durante as medições é da marca Electrolux, modelo Essential Care, com 17 Kg de capacidade. Foram coletados os dados para três diferentes configurações de lavagem: delicada, normal e pesada, Figura 16, Figura 17 e Figura 18 respectivamente. Para esse modelo de lavadora há três ciclos de operação, que são os ciclos de lavagem, enxágue e centrifugação.

Figura 16 - Curvas de carga máquina de lavar no modo delicado



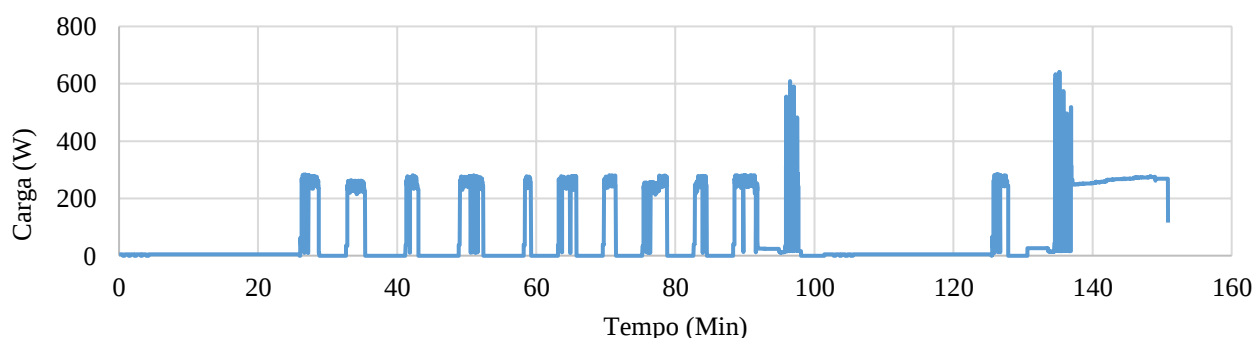
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 17 - Curvas de carga máquina de lavar no modo normal



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 18 - Curvas de carga máquina de lavar no modo pesado



Fonte: Autoria própria (2022)

A lavadora inicia seu ciclo enchendo de água, esse período leva aproximadamente de 20 a 25 minutos, que depende do nível de roupa configurado, o consumo médio desse ciclo foi de 5,3 W.

Após encher, a máquina executa vários ciclos de lavagem, a quantidade de ciclos vai depender da configuração, assim como podemos observar na Figura 15, no modo delicado há apenas dois ciclos de lavagem antes da centrifugação, já para os modos normal e pesado o número de ciclos aumenta para 4 e 10 respectivamente, durante esses ciclos o consumo fica faixa de 152 a 220 W. Observamos também que entre cada ciclo de lavagem há um período inativo, no qual não apresenta consumo, esse inatividade é devido ao ciclo de molho, que a máquina executa sempre a cada lavagem.

Após todos os ciclos de lavagem a máquina retira todo o excesso de água e executa a centrifugação, a centrifugação é o processo que mais consome durante toda

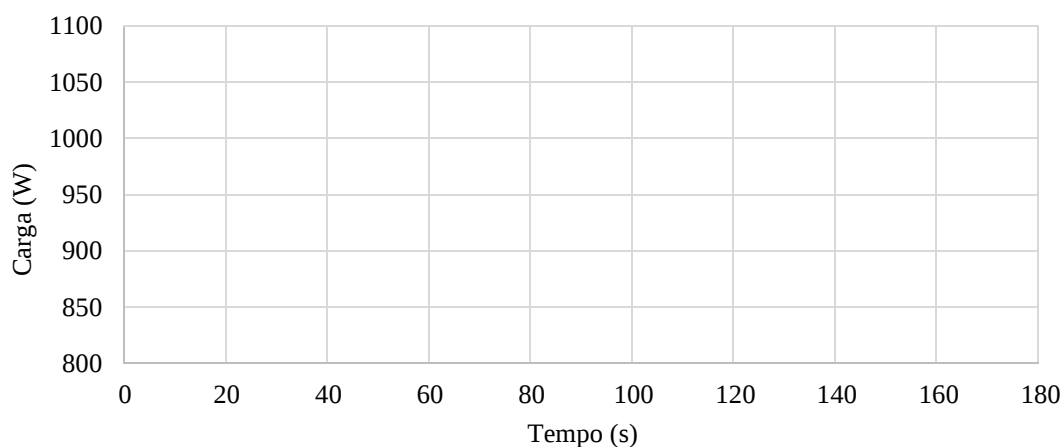
a lavagem, sendo evidenciada pelos maiores picos das curvas de carga. Durante esse período o consumo fica na faixa de 250 a 760 W, pendurando de 3 a 4 minutos.

Terminada a centrifugação a máquina começa a encher novamente, e executa mais alguns ciclos de lavagem e molho, finalizando o processo com uma última centrifugação. Como podemos observar, dependendo da configuração aplicada os números de ciclos podem ser alterados, influenciando dessa forma seu consumo.

3.1.11 Ferro de Passar

O ferro de passar utilizado nos testes é da marca Black & Decker, modelo X5 eco, com 1200 W de potência. Os dados foram coletados em intervalos contínuos de 1 segundo durante um período de 3 minutos, esse processo de medição foi realizado 5 vezes, obtendo o valor médio para elaboração da curva de carga Figura 19.

Figura 19 – Curvas de carga ferro de passar



Fonte: Autoria própria (2022)

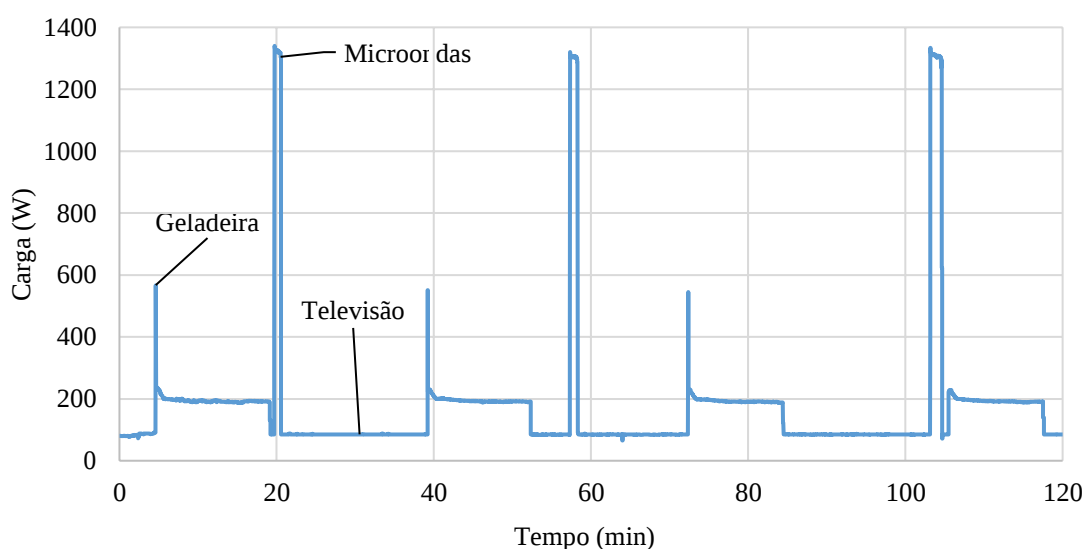
Como podemos observar, durante todo o ciclo o ferro de passar apresentou um comportamento aproximadamente constante, apresentando um consumo médio de 1068 W. Tal comportamento já era esperado, por se tratar de um equipamento simples, e com características puramente resistivas.

Vale ressaltar que durante os testes o ferro de passar estava configurado para algodão, outros modos de tecidos foram testados, mas não foi observado uma diferença significativa no consumo entres os diferentes modos.

3.2 Grupo de equipamentos

Para analisar o comportamento da curva de carga agregada, ou seja, quando os equipamentos estão atuando simultaneamente, selecionamos três eletrodomésticos, a geladeira, televisão e o microondas. Os dados foram coletados em intervalos consecutivos de um segundo, durante um período de duas horas Figura 20.

Figura 20 – Curvas de carga dos equipamentos em conjunto



Fonte: Autoria própria (2022)

Com o conhecimento das curvas dos equipamentos atuando de forma individual, podemos facilmente identificar os instantes de acionamento e o tempo de funcionamento de cada um dos equipamentos. Como podemos observar, a televisão permaneceu ativa durante todo o período, apresentando um consumo médio de 85 W.

O microondas foi acionado três vezes nesse intervalo, sendo evidenciado pelos maiores picos da curva de carga, permanecendo ativo por um período de aproximadamente três minutos.

Já a geladeira consumiu em quatro diferentes instantes, no qual, observamos seu comportamento cíclico ao longo de todo o intervalo, permanecendo ativa por um período médio de 13 minutos.

3.3 Consumo e custo da energia

Para residências há duas modalidades de tarifárias, a tarifa convencional, e a tarifa branca. Na tarifa convencional é cobrado o valor fixo, independente do horário ou dia da semana, podendo somente sofrer acréscimo de acordo com a bandeira tarifária vigente. Já na tarifa branca o valor cobrado depende do horário, apresentando três diferentes valores ao longo do dia (ponta, intermediário e fora de ponta), no qual, o valor cobrado e o horário de ponta vão depender da concessionária de cada região.

Para os cálculos utilizamos os dados disponibilizados pela concessionária Elektro da região de Itapeva (SP). Na modalidade convencional é cobrado R\$ 0,282642 por kWh consumido (TE), mais o acréscimo pelo serviço de distribuição (TUSD), que é R\$ 0,339623 por kWh, que podem ainda serem acrescidos conforme a bandeira tarifária Tabela 5.

Tabela 5 - Acréscimos por bandeira tarifária

Bandeira	Acréscimo - Reais por kWh consumido
Verde	0
Amarela	0,01874
Vermelha Patamar 1	0,03971
Vermelha Patamar 2	0,09492

Fonte: Adaptado de (ANEEL)

Já na tarifa branca, não temos um valor fixo de consumo, e sim três diferentes taxas que variam conforme o horário. Na Tabela 6 temos os respectivos valores cobrados, assim como os horários de vigência de cada período.

Tabela 6 - Tarifa Branca

Período	Horário de início	Horário de Término	Consumo TE	Consumo TUSD	Tarifa R\$/kWh
Ponta	5:30:00 PM	8:29:59 PM	0,751	0,435	1,186
Intermediário 1	4:30:00 PM	5:29:59 PM	0,500	0,269	0,769
Intermediário 2	8:30:00 PM	9:29:59 PM	0,500	0,269	0,769
Fora de ponta	9:30:00 PM	4:29:59 PM	0,249	0,269	0,518

Fonte: Adaptado de (Neoenergia Elektro)

Conhecendo os valores cobrados em cada modalidade, podemos efetuar os cálculos para verificar o consumo individual de cada equipamento. Para todos os equipamentos exceto a geladeira e a máquina de lavar, fixamos os gastos considerando uma hora de funcionamento, a fim de facilitar o comparativo entre eles Tabela 7 e Tabela 8. Para a geladeira, calculamos os gastos para um dia de funcionamento, visto que, é um equipamento que permanece ligado interruptamente, Tabela 9. Já para a máquina de lavar, fixamos o consumo para um ciclo de lavagem completo Tabela 10.

Tabela 7 - Comparativo de consumos reais entre os equipamentos *de maior potência* para uma hora de operação

Tarifa		Air Fryer		Cafeteira		Microondas		Ferro de Passar	
Convencional	Verde	R\$	0,635	R\$	0,841	R\$	0,806	R\$	0,665
	Amarela	R\$	0,655	R\$	0,866	R\$	0,831	R\$	0,685
	Vermelha Patamar 1	R\$	0,676	R\$	0,895	R\$	0,858	R\$	0,707
	Vermelha Patamar 2	R\$	0,732	R\$	0,969	R\$	0,929	R\$	0,766
Branca	Ponta	R\$	1,211	R\$	1,602	R\$	1,536	R\$	1,267
	Intermediário	R\$	0,785	R\$	1,039	R\$	0,996	R\$	0,821
	Fora de ponta	R\$	0,529	R\$	0,700	R\$	0,671	R\$	0,553

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 8 - Comparativo de consumos reais entre os equipamentos de menor potência para uma hora de operação

Tarifa		TV	Ventilador	Celular	Notebook	Lâmpadas		
						Fluorescente	LED conv.	LED int.
Convencional	Verde	R\$ 0,046	R\$ 0,054	R\$ 0,010	R\$ 0,010	R\$ 0,010	R\$ 0,004	R\$ 0,004
	Amarela	R\$ 0,047	R\$ 0,055	R\$ 0,010	R\$ 0,010	R\$ 0,010	R\$ 0,004	R\$ 0,004
	Vermelha Patamar 1	R\$ 0,049	R\$ 0,057	R\$ 0,011	R\$ 0,010	R\$ 0,011	R\$ 0,004	R\$ 0,004
	Vermelha Patamar 2	R\$ 0,053	R\$ 0,062	R\$ 0,011	R\$ 0,010	R\$ 0,011	R\$ 0,005	R\$ 0,004
Branca	Ponta	R\$ 0,088	R\$ 0,102	R\$ 0,019	R\$ 0,020	R\$ 0,019	R\$ 0,008	R\$ 0,007
	Intermediário	R\$ 0,057	R\$ 0,066	R\$ 0,012	R\$ 0,010	R\$ 0,012	R\$ 0,005	R\$ 0,005
	Fora de ponta	R\$ 0,038	R\$ 0,045	R\$ 0,008	R\$ 0,010	R\$ 0,008	R\$ 0,003	R\$ 0,003

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 9 - Comparativo de consumo real geladeira para um dia de operação

Tarifa		Geladeira
Convencional	Verde	R\$ 0,711
	Amarela	R\$ 0,732
	Vermelha Patamar 1	R\$ 0,756
	Vermelha Patamar 2	R\$ 0,819
Branca	-	R\$ 0,693

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 10 – Comparativo de consumo real máquina de lavar para um ciclo de lavagem

Tarifa		Máquina de lavar		
		Delicado	Normal	Pesado
Convencional	Verde	R\$ 0,045	R\$ 0,079	R\$ 0,114
	Amarela	R\$ 0,047	R\$ 0,082	R\$ 0,117
	Vermelha Patamar 1	R\$ 0,048	R\$ 0,084	R\$ 0,121
	Vermelha Patamar 2	R\$ 0,052	R\$ 0,092	R\$ 0,131
Branca	Ponta	R\$ 0,086	R\$ 0,151	R\$ 0,217
	Intermediário	R\$ 0,056	R\$ 0,098	R\$ 0,141
	Fora de ponta	R\$ 0,038	R\$ 0,066	R\$ 0,095

Fonte: Autoria própria (2022)

Conhecendo o consumo real dos equipamentos em questão, podemos calcular o consumo nominal, através das informações fornecidas pelo fabricante. O consumo nominal é calculado através da potência do equipamento e do tempo de uso, assim como mostra a equação (1).

$$C_N = \frac{P \times h \times T}{1000} \quad (1)$$

Em que:

C_N : Consumo Nominal em R\$

P: Potência do equipamento em Watts

h: Tempo de funcionamento por dia em horas

T: Tarifa de energia em R\$/kWh

Para facilitar a comparação entre o consumo real e o nominal, fixamos o tempo de funcionamento em 1 hora Tabela 11 e Tabela 12, exceto para a geladeira e a máquina de lavar, no qual consideramos o valor para um dia de funcionamento, e para um ciclo completo de lavagem, Tabela 13 e Tabela 14.

Tabela 11 - Comparativo de consumos nominais entre os equipamentos de maior potência para uma hora de operação

Tarifa		Air Fryer	Cafeteira	Microondas	Ferro de Passar
Convencional	Verde	R\$ 0,933	R\$ 0,909	R\$ 0,871	R\$ 0,747
	Amarela	R\$ 0,962	R\$ 0,936	R\$ 0,897	R\$ 0,769
	Vermelha Patamar 1	R\$ 0,993	R\$ 0,966	R\$ 0,927	R\$ 0,794
	Vermelha Patamar 2	R\$ 1,076	R\$ 1,047	R\$ 1,004	R\$ 0,861
Branca	Ponta	R\$ 1,778	R\$ 1,731	R\$ 1,660	R\$ 1,423
	Intermediário	R\$ 1,153	R\$ 1,123	R\$ 1,077	R\$ 0,923
	Fora de ponta	R\$ 0,777	R\$ 0,756	R\$ 0,725	R\$ 0,621

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 12 - Comparativo de consumos nominais entre os equipamentos de menor potência para uma hora de operação

Tarifa		TV	Ventilador	Celular	Notebook	Lâmpadas		
						Fluorescente	LED conv.	LED int.
Convencional	Verde	R\$ 0,081	R\$ 0,081	R\$ 0,021	R\$ 0,037	R\$ 0,009	R\$ 0,004	R\$ 0,004
	Amarela	R\$ 0,083	R\$ 0,083	R\$ 0,021	R\$ 0,038	R\$ 0,010	R\$ 0,004	R\$ 0,004
	Vermelha Patamar 1	R\$ 0,086	R\$ 0,086	R\$ 0,022	R\$ 0,040	R\$ 0,010	R\$ 0,004	R\$ 0,004
	Vermelha Patamar 2	R\$ 0,093	R\$ 0,093	R\$ 0,024	R\$ 0,043	R\$ 0,011	R\$ 0,004	R\$ 0,004
Branca	Ponta	R\$ 0,154	R\$ 0,154	R\$ 0,039	R\$ 0,071	R\$ 0,018	R\$ 0,007	R\$ 0,007
	Intermediário	R\$ 0,100	R\$ 0,100	R\$ 0,025	R\$ 0,046	R\$ 0,012	R\$ 0,005	R\$ 0,005
	Fora de ponta	R\$ 0,067	R\$ 0,067	R\$ 0,017	R\$ 0,031	R\$ 0,008	R\$ 0,003	R\$ 0,003

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 13 – Comparativo de consumo nominal geladeira para um dia de operação

Tarifa		Geladeira	
Convencional	Verde	R\$	1,018
	Amarela	R\$	1,049
	Vermelha Patamar 1	R\$	1,083
	Vermelha Patamar 2	R\$	1,174
Branca	-	R\$	1,018

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 14 - Comparativo de consumo nominal máquina de lavar para um ciclo de lavagem

Tarifa		Máquina de Lavar	
Convencional	Verde	R\$	0,324
	Amarela	R\$	0,333
	Vermelha Patamar 1	R\$	0,344
	Vermelha Patamar 2	R\$	0,373
Branca	Ponta	R\$	0,617
	Intermediário	R\$	0,400
	Fora de ponta	R\$	0,269

Fonte: Autoria própria (2022)

Comparando os resultados dos consumos reais Tabela 7, Tabela 8, Tabela 9 e Tabela 10, com os consumos nominais Tabela 11, Tabela 12, Tabela 13 e Tabela 14, percebemos uma discrepância considerável entre os resultados. Essa diferença é maior principalmente para equipamentos que são mais sensíveis as condições de uso, como a fritadeira elétrica, televisão e geladeira, dos quais, o consumo nominal superou em mais de 40% os valores de consumo real. Os casos mais extremos foi o notebook e a máquina de lavar, apresentando um consumo nominal quase três vezes maior que o real medido. Que demonstra que as informações fornecidas pelo fabricante, pouco fazem para informar os consumidores sobre real consumido, e os comportamentos de seus eletrodomésticos.

Já para os equipamentos que apresentam uma curva de carga mais constante, como exemplo a cafeteira, o ferro de passar e as lâmpadas, a diferença de consumo foi menos significativa, tal resultado já era esperado, visto que, tais equipamentos trabalham durante todo o ciclo a valores próximos a potência nominal.

3.4 Levantamento de recomendações

Dentre os equipamentos analisados, verificamos que o microondas, ferro de passar, Airfryer e a cafeteira foram os que apresentaram maior consumo. Para esses equipamentos de maior potência, não é recomendado sua utilização durante os horários de ponta, sendo que a tarifa cobrada durante esse período é bem mais elevada. Para otimizar o consumo desses equipamentos é recomendado configurar seus parâmetros (tempo, potência e temperatura) conforme o designado para cada finalidade, evitando dessa forma o desperdício de energia.

Para a geladeira constatamos que a modalidade tarifária branca é mais econômica, apesar do valor alto cobrado no horário de ponta, o consumo nos demais períodos compensa esse valor. Além disso, foi constatado que aberturas constantes das portas influencia diretamente no seu consumo, já que, o equipamento vai permanecer mais tempo ativo para diminuir o calor advindo do ambiente, podendo alterar consideravelmente os valores apresentados na Tabela 9. Para esse equipamento é recomendado evitar aberturas desnecessárias das portas, a fim de diminuir a troca de calor com o ambiente. Recomenda-se também conferir regularmente as borrachas de vedação das portas, já que elas isolam o interior do equipamento do ambiente.

Ainda em relação a geladeira, o ideal é colocá-la em locais ventilados, e afastados de fontes de luz direta e de outros aparelhos que aqueçam, permitindo dessa forma, uma melhor troca de calor com o ambiente. Deve-se também definir a temperatura de forma adequada, ou seja, utilizar somente o resfriamento máximo, em dias quentes, ou quando há aberturas frequentes das portas. Muitas dessas recomendações são informadas pelo fabricante, mas ainda sim, é desconhecida por grande parte dos consumidores.

Outra recomendação importante é evitar deixar equipamentos carregando tempo além do necessário para a carga completa, assim como foi comprovado com o celular, esses aparelhos continuam consumindo pequenas cargas mesmo estando

carregados. Recomenda-se também evitar utilizar o modo espera por longos períodos, assim como foi verificado com o notebook, o modo espera apresenta um consumo aproximadamente igual ao modo ativo, portanto, o ideal é suspender o aparelho quando não estiver utilizando.

Para a máquina de lavar é importante configurar o modo de operação conforme a necessidade, assim como foi constatado, há uma diferença significativa entre os consumos para os diferentes modos de operação, vale ressaltar também a importância de se efetuar a dosagem correta de sabão, a fim de evitar a necessidade de reenxague.

Em relação a iluminação a utilização de lâmpadas de LED é o mais ideal, sendo que seu consumo é baixo se comparado com outros tipos de lâmpada no mercado, fora isso, as lâmpadas de LED têm maior vida útil que as fluorescentes.

A utilização das lâmpadas inteligentes também demonstrou ser uma ótima opção, apresentando um consumo semelhantes as lâmpadas de LED convencionais. A principal vantagem das lâmpadas inteligentes é a possibilidade de criar rotinas de automação, possibilitando sua melhor utilização, acionando-a somente quando for necessário. Além disso, esses dispositivos permitem controlar a luminosidade, dessa forma, é possível ajustar a luminosidade conforme a necessidade de iluminação do ambiente.

4 CONCLUSÕES

Constatamos que os dispositivos inteligentes são equipamentos eficientes para monitorar o consumo individual de nossos eletrodomésticos. A utilização desses dispositivos, possibilita os consumidores conhecer os valores reais que cada tipo de equipamento agrega em sua conta de energia, podendo assim, desenvolver novos padrões de consumo. Dessa forma, é possível identificar os eletrodomésticos que estão consumindo maior energia, e gerenciá-los de forma mais eficiente e inteligente.

De forma geral, o intuito desse trabalho foi apresentar os perfis de carga dos principais eletrodomésticos que estão presentes nas residências brasileiras, juntamente com algumas alternativas que visam auxiliar os consumidores no gerenciamento eficiente de seu consumo. Buscando assim, incentivar o setor residencial a atuar de forma mais ativa no setor energético brasileiro, contribuindo dessa forma, na manutenção do equilíbrio entre oferta e demanda de energia.

4.1 Próximos passos

Com os resultados, foi explorado o comportamento de diversos equipamentos através dos perfis de carga. Contudo, todas as análises foram realizadas para os equipamentos de forma individual.

Como pesquisa futura, espera-se desenvolver um algoritmo de aprendizado de máquina, capaz de reconhecer e desagregar as curvas de carga individuais, a partir de dados coletados de toda a residência. Dessa forma, seria possível identificar em tempo real os dispositivos acionados e seu respectivo consumo.

Espera-se também desenvolver um software que integre os dados de consumo de toda a residência, informando para o usuário os gastos diários de energia e o consumo de cada equipamento.

5 REFERÊNCIAS

- AHAMED, S. S. R. **The role of zigbee technology in future data**. Theoretical and Applied Information Technology, Ramanathapuram, 2009. 7. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=41850ca3b3d76c225d80deea7627adf759bdbda5>. Acesso em: 17 mar. 2022.
- ALPERN J.; SHIMONSKI J. **Wide Area Networking**. [S.l.]: Elsevier, 2010. p. 107-119.
- ANEEL. **Bandeiras Tarifárias** Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>, 24 de nov. 2015. Acesso em: 17 jun. 2022.
- ARAÚJO, E. F. D. S. **Redes IEEE 802.15.4 para aplicações móveis: uma arquitetura para monitoramento de grandezas fisiológicas**. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Automação e Sistemas) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/214884>. Acesso em: 26 abr. 2023.
- BALANÇO Energético Nacional 2021. **Empresa de Pesquisa Energética**, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>. Acesso em: 13 fev. 2022.
- CLUBE DO HARDWARE. **Tutorial wireless**, 2004. Disponível em: <https://www.clubedohardware.com.br/forums/topic/159210-tutorial-wireless/>. Acesso em: 12 fev. 2022.
- CORONA, Adrián Estrada et al. Protocolos TCP/IP de internet. 2004. **Revista Digital Universitaria**, [s.l.] , v. 5 n. 8 , 10 de septiembre 2004.
- ERGEN, S. C. **ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary**. [S.l.]. 2004.
- FACCIONI FILHO, Mauro. BMS 2.0-Nova geração de sistemas de automação e gestão predial. In: **Congresso Netcom**. 2015.
- GASPAR, L. **Protocolo TCP/IP: o que é e como funciona**, 2021. Disponível em: <https://www.hostgator.com.br/blog/o-que-e-protocolo-tcp-ip/>. Acesso em: 24 mar. 2022.
- ISSA, L. **Integração com a Tuya!** Tuya Smart e Smart Life!, 2020. Disponível em: <https://forum.homeassistantbrasil.com.br/t/integracao-com-a-tuya-tuya-smart-e-smart-life-positivo-ekaza-agl-novadigital-multilaser-intelbras-i2go-kabum-zemismart-moes-localtuya/2244>. Acesso em: 03 mar. 2022.
- ISSA, L. Add-on Samba share! Acessando as pastas: Config, Media, Backup, Addons, SSL e Share!, 2021. Disponível em: <https://forum.homeassistantbrasil.com.br/t/add-on-samba-share-acessando-as-pastas-config-media-backup-addons-ssl-e-share/3254>. Acesso em: 09 mar. 2020.
- JOBSTRAIBIZER, F. **Desvendando as redes sem fio**. São Paulo: Digerati books, 2010.
- JOTA. **Home Assistant: exportar dados de sensor a Excel u outra hoja de cálculo**. Domótica Fácil con Jota, 2020. Disponível em: <<https://youtu.be/VWPU95ISnO0?list=PLRdHTR4-ITJteuMyyXMmXZE16-kNi2Hju>>. Acesso em: 09 mar. 2022.
- KAUSHIK, S. An overview of technical aspect for WiFi networks technology. **International Journal of Electronics and Computer Science Engineering** , [s. l.] v. 1, n. 01, p. 28-34, 2012.
- KUMAR S.; RANJAN B. **Smart Plugs: Paradigms and Applications in the. Energies**, Hyderabad, 22 maio 2019.
- LU, Kun-Yung. A plug-and-play data gathering system using ZigBee-based sensor network sensor network. **Computers in Industry**, v. 62, n. 7, p. 719-728, 2011.

MAGRANI, E. Tecnologia, inovação e internet das coisas (IoT). In: MAGRANI, E. A. **Internet das coisas**. [S. l.]: FGV, 2012. cap. 1, p. 27 -42.

MAJUMDAR, Arun K. Basics of worldwide broadband wireless access independent of terrestrial limitations. In: MAJUMDAR, Arun K. **Optical wireless communications for broadband global internetconnectivity**. [S. l.]: Elsevier, 2019. cap. 2, p. 5 38.

MORAES, P. K. *et al.* SMARTPLUG-SISTEMA DE TOMADAS INTELIGENTES PARA USO RACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [s. l.] v. 9, p. 964-979, 2020.

MURATORI, J. R., DAL BÓ, P. H. **Automação residencial**: conceitos e aplicações. [S. l.]: Edurece, [2014]. Disponível em: https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2011/04/Ed62_fasc_automacao_capl.pdf. Acesso em: 26 mar.2020.

NEOENERGIA Elektro. **Tarifas de energia**. Disponível em: <https://www.neoenergielektro.com.br/sua-casa/tarifas-taxas-e-tributos>. Acesso em: 17 Jun. 2022.

PILLOU, J.. WPAN - **Rede pessoal sem fio**. CCM, 2018. Disponível em: <https://br.ccm.net/contents/822-wpan-rede-pessoal-sem-fio>. Acesso em: 26 Mar. 2022.

PROCEL. **Consumo por equipamento**. 2019. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp>. Acesso em: 13 fev. 2022.

REDE de longa distância sem fio (WWAN). Techopedia. Disponível em: [https://www.techopedia.com/definition/5111/wireless-wide-area-network-wwan#:~:text=A%20wireless%20wide%20area%20network%20\(WWAN\)%20is%20a%20specific%20type,a%20residential%20or%20commercial%20property..](https://www.techopedia.com/definition/5111/wireless-wide-area-network-wwan#:~:text=A%20wireless%20wide%20area%20network%20(WWAN)%20is%20a%20specific%20type,a%20residential%20or%20commercial%20property..) Acesso em: 26 mar. 2022.

SANTOS, Bruno P. et al. **Internet das coisas**: da teoria à prática. Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, v. 31, p. 16, 2016.

SILVA, L. J. N. **Utilizando o Home Assistant e o NodeMCU para um modelo genérico de automação moderna**. São Cristóvão, SE, 2019. Monografia (graduação em Ciências da Computação)– Curso de Ciência da Computação, Departamento de Computação, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2019. Disponível em: <http://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/12305>. Acesso em: 26 mar. 2022.

SILVA, N. R. da. **Residential electrical energy demand from Brazil according to the quantiles of consumption**. 2013. 82 f. Dissertação (Mestrado em Economia e Gerenciamento do Agronegócio; Economia das Relações Internacionais; Economia dos Recursos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013. Disponível em: <http://locus.ufv.br/handle/123456789/71>. Acesso em: 26 mar. 2022.

TEIXEIRA, P. **Home Assistant** - O que é e instalação em máquina virtual Windows - Casa Inteligente. **Patte Tech**, 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=BgD1rHd65sg>. Acesso em: 07 mar. 2022.

VALERI, V. **Wi-Fi 2.4Ghz, 5GHz ou 6GHz?** Quais diferenças e qual devo usar? Oficina da Net, 2021. Disponível em: <https://www.oficinadanet.com.br/internet/32268-wi-fi-2-4-ou-5ghz-quais-diferencas-e-qual-devo-usar>. Acesso em: 26 nov.2022.

VARIANTZ NEX. **Smart Home Connectivity: WiFi vs Zigbee**. Which should you choose for your smart home? 2021. Disponível em: <https://www.variantz.com/post/smart-home-connectivity-wifi-vs-zigbee>. Acesso em: 26 nov. 2022.

APÊNDICE A – Instalação Home Assistant

Para instalar o home Assistant é necessário baixar a imagem do sistema operacional, para isso, basta acessar o site oficial do home Assistant, clicar em Getting Started e em seguida em Installation. Após isso basta selecionar o sistema operacional desejado e fazer o download do VDI⁶.

O próximo passo é instalar uma máquina virtual, no qual, utilizamos o virtual box para essa finalidade. Para instalar o virtual box basta acessar o site oficial e selecionar o sistema operacional desejado para a instalação. É necessário também fazer o download do pacote de extensão denominado *VirtualBox Extension Pack*. Com os arquivos baixados basta seguir com os procedimentos de instalação, instalando primeiramente o virtual box, em seguida o pacote de extensão.

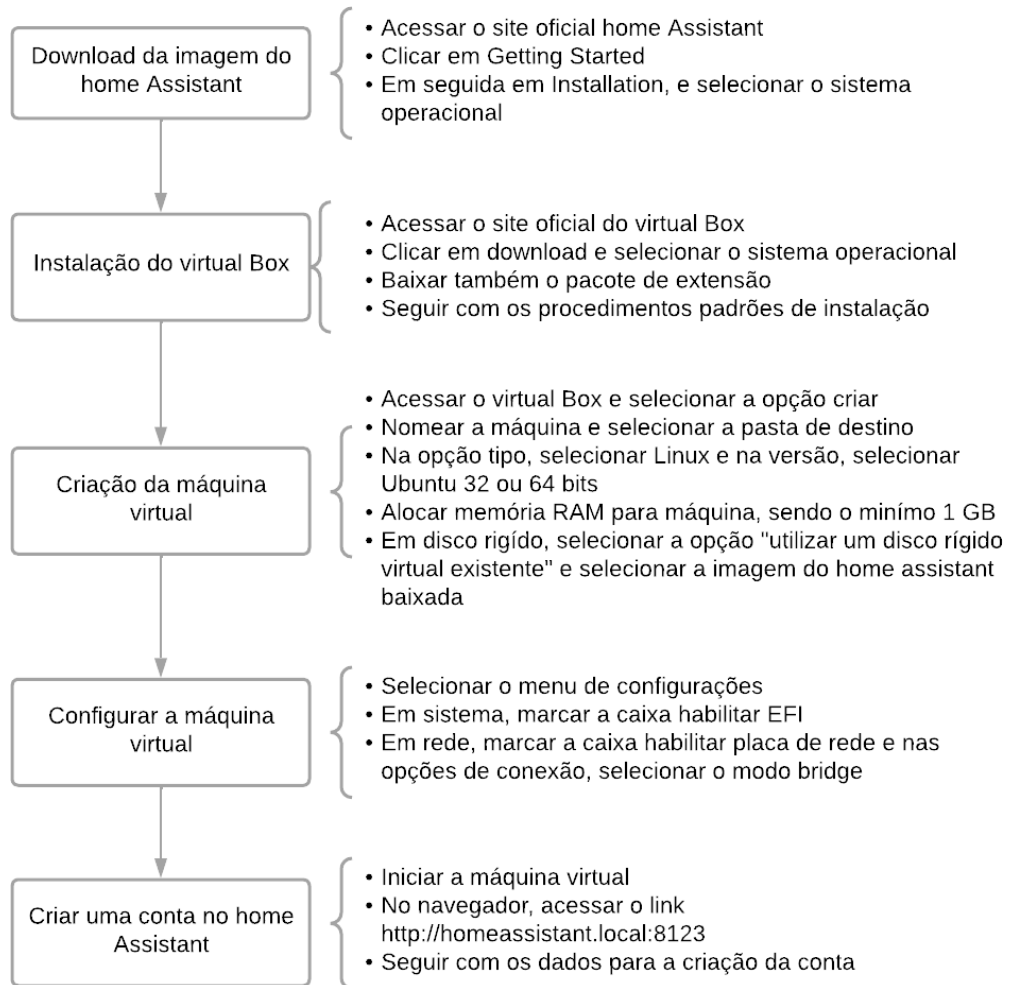
Agora já é possível criar uma máquina virtual, para isso, acessamos o virtual box e selecionar a opção de criar. Após isso nomeamos a máquina virtual e selecionamos uma pasta para a instalação. Na opção de tipo, selecionamos Linux e na versão Ubuntu 32 ou 64 bits. Após essas configurações definimos quanta memória RAM iremos disponibilizar para a máquina, sendo 1 GB o mínimo recomendado. Posteriormente será requisitado o disco rígido, para essa configuração selecionamos a opção “utilizar um disco rígido virtual existente” e selecionamos o arquivo baixado no site do home Assistant.

Com a máquina virtual criada efetuamos algumas configurações necessárias. No menu de configuração selecionamos a opção de sistema e marcamos a caixa habilitar EFI. Em seguida em rede, habilitamos a placa de rede, e na opção de conexão selecionamos a placa de rede em modo bridge.

Agora basta iniciar a máquina virtual, e através do navegador acessamos o link <http://homeassistant.local:8123>, esperamos a inicialização do sistema e criamos uma conta, dessa forma o home Assistant estará pronto para ser utilizado (TEIXEIRA, 2019). O fluxograma da Figura 21 resume todas as etapas do processo de instalação.

⁶ VDI é uma imagem de disco virtual; específico para o programa de virtualização VirtualBox

Figura 21 – Fluxograma de instalação home Assistant



Fonte: Autoria própria (2022)

APÊNDICE B – Integração Tuya Home Assistant

Para integrar dispositivos Tuya ao home Assistant primeiramente devemos instalar a extensão oficial da Tuya dentro do home Assistant. Para isso, acessamos as configurações do home Assistant, selecionamos a opção dispositivos e serviços e posteriormente em adicionar integração, logo após selecionamos a integração Tuya e prosseguimos com a instalação.

Para prosseguir com a integração são necessárias algumas informações, como a Tuya IoT Access ID e Tuya IoT Access Secret. Para acessar essas informações basta criar um conta dentro da plataforma de IOT da Tuya. Após criar a conta é necessário criar um projeto em nuvem, para tanto, selecionarmos a opção cloud na barra lateral e posteriormente em development, e preenchemos com todas as informações requisitadas.

Após criar o projeto devemos habilitar nossos dispositivos, para isso, basta acessar devices e depois selecionar a opção Link Tuya App Account e por fim selecionamos Add App Account, com isso geramos um QR code, do qual, escaneamos através do aplicativo do dispositivo. Feito isso, todos os dispositivos estarão habilitados dentro do projeto.

Em overview acessamos as informações necessárias para finalizar a integração dentro do home Assistant. Após colocar as informações necessárias os dispositivos estarão prontos para serem controlados e monitorados dentro do home Assistant (ISSA, 2020).

APÊNDICE C – Coleta de Dados Dentro do Home Assistant

Para coletar os dados dos dispositivos e configurar o intervalo de coleta é necessário efetuar algumas configurações dentro do home Assistant. Primeiramente devemos acessar a ferramenta file editor e abrir o arquivo *configuration.yaml* e adicionar as seguintes linhas de código, assim como o exemplo na Figura 22.

```
automation: !include automations.yaml
notify: !include notify.yaml
```

Figura 22 - Configurações necessárias em configuration.yaml

```
# Configure a default setup of Home Assistant (frontend, api, etc)
default_config:

# Text to speech
tts:
  - platform: google_translate

automation: !include automations.yaml
script: !include scripts.yaml
scene: !include scenes.yaml
notify: !include notify.yaml

sensor:
  - platform: time_date
    display_options:
      - 'time'
      - 'date'
      - 'date_time'
      - 'date_time_utc'
      - 'date_time_iso'
      - 'time_date'
      - 'time_utc'
      - 'beat'
```

Fonte: Autoria própria (2022)

Após isso, é necessário criar um arquivo através do *file editor*, nomeando esse arquivo como *notify.yaml*. Acessamos o novo arquivo e inserimos os seguintes parâmetros, assim como o exemplo da Figura 23.

```
- platform: file
  name: consumo
  filename: /share/NOME_PASTA/NOME_ARQUIVO.csv
```

Figura 23 - Configurações necessárias em notify.yaml

```
platform: file
name: consumo
filename: /share/Histórico/Leituras_Smart_Plug.csv
```

Fonte: Autoria própria (2022)

O próximo passo é instalar o samba share dentro do home Assistant. Com a instalação pronta, acessamos as configurações do add-on samba share e definimos um nome de usuário e senha. Salvando as alterações, é só iniciar o samba share.

Com o samba share já inicializado é possível acessar as pastas e arquivos do home Assistant diretamente do computador. Para tanto, acessamos o aplicativo executável do computador e digitamos //IP_Home_Assisntant. Em seguida entramos com o usuário e senha cadastrada.

Com o samba share configurado podemos prosseguir com as configurações para a coleta de dados. Nos arquivos do home Assistant acessamos a pasta share, e nela criamos uma pasta com o mesmo nome que definimos em filename no arquivo notify.yaml (ISSA, 2021).

Com a pasta criada, acessamos novamente o file editor, e acessamos automations.yaml, dentro desses arquivos escrevemos as seguintes linhas de código, assim como no exemplo da Figura 24.

- alias: Valores de consumo

initial_state: true

trigger:

- platform: time_pattern

seconds: '/1' //Intervalo entre as medições

action:

- service: notify.consumo

data_template:

message: '{{now().strftime("%d/%m/%Y %H:%M:%S")}}; {{

states.NOME_SENSOR.state }}'

Figura 24 - Configurações necessárias em automations.yaml

```

- alias: Valores de consumo
  initial_state: true
  trigger:
    - platform: time_pattern
      seconds: '/1'
  action:
    - service: notify.consumo
      data_template:
        message: '{{now().strftime("%d/%m/%Y")}};{{now().strftime("%H:%M:%S")}};{{ states.sensor.zigbee_plug_power.stat

```

Fonte: Autoria própria (2022)

Por fim, acessamos as ferramentas de desenvolvedor, selecionamos a opção template, e colocamos a mesma linha de código, sem aspas, que foi definida em message no arquivo automations.yaml, e reiniciamos o home Assistant. Com isso as leituras do sensor que foi definido serão coletadas automaticamente e armazenado em um arquivo csv (JOTA, 2020).