

Universidade Federal de Uberlândia  
Faculdade de Engenharia Elétrica

**Lucas Henrique de Oliveira Andrade**

**Analisador de eficiência energética conectado à internet**

Uberlândia  
2021

**Lucas Henrique de Oliveira Andrade**

**Analizador de eficiência energética conectado à internet**

Trabalho apresentado como requisito parcial de avaliação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.

Orientador: Marcio José da Cunha

---

Assinatura do orientador

Uberlândia

2021

# **Lucas Henrique de Oliveira Andrade**

## **Analisador de eficiência energética conectado a internet**

Trabalho apresentado como requisito parcial de avaliação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.

### **Banca examinadora**

---

Prof. Dr. Marcio José da Cunha (Orientador)

---

Prof. Dr. Luciano Coutinho Gomes

---

Prof. Dr. Carlos Eduardo Tavares

Uberlândia  
2021

Dedico este trabalho aos meus avós e meus pais, por todo o suporte e incentivo para que eu chegasse até aqui.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus avós Nilton de Oliveira e Vanda Maria Lemos, por terem sido tão presentes na minha criação e parte fundamental no meu desenvolvimento pessoal.

Aos meus pais André Luiz de Andrade e Fernanda Lemos de Oliveira, por sempre terem me apoiado.

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma solução utilizando o conceito de IoT (Internet of Things). O principal objeto de estudo é a eficiência energética de equipamentos domésticos e o processo de classificação dos mesmos quanto sua eficiência. Foi realizado um ensaio para comparar a eficiência energética atual de um refrigerador Panasonic NR-BT40 com relação ao informado em sua etiqueta do PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica). A análise foi feita a partir da construção de uma plataforma *web* que se utiliza dos dados coletados por um medidor de grandezas elétricas conectado à internet.

*Palavras-chave: Eficiência Energética, Internet das Coisas, Desenvolvimento Web*

## **ABSTRACT**

*This paper presents a solution based at the concept of IoT (Internet of Things). The main study topic is energy efficiency of household appliances and the process for classifying them based on their efficiency. A trial was conducted using a Panasonic NR-BT40 refrigerator, to compare the updated efficiency classification in comparison with the one presented at the PROCEL tag. The analysis was made by building a web application that is feeded with data collected by an internet connected electrical quantities meter.*

*Keywords: Energy Efficiency, Internet of Things, Web Development*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – ENCE de um refrigerador combinado Panasonic NR-BT40.....	17
Figura 2 – Selo PROCEL de eficiência energética.....	18
Figura 3 – Consumo mensal das principais cargas de uma residência.....	21
Figura 4 – Reta do consumo padrão ( $C_p$ ) .....	23
Figura 5 – Consumo de energia de um refrigerador com o passar dos anos.....	26
Figura 6 – Modelo cliente-servidor.....	27
Figura 7 – Tecnologias utilizadas em cada camada do projeto.....	32
Figura 8 – Diagrama de casos de uso.....	33
Figura 9 – Diagrama Entidade Relacionamento.....	34
Figura 10 – Wireframe da plataforma.....	35
Figura 11 – Paleta de cores da plataforma.....	36
Figura 12 – Placa NodeMCU com ESP8266.....	37
Figura 13 – Módulo medidor PZEM-004T.....	38
Figura 14 – Diagrama de comunicação via interface UART.....	39
Figura 15 – Componentes do módulo medidor PZEM.....	40
Figura 16 – Diagrama de montagem do medidor conectado à internet.....	40
Figura 17 – Extensão caseira para facilitar a conexão do medidor.....	41
Figura 18 – Tela de cadastro de eletrodomésticos.....	42
Figura 19 – Montagem completa para realização do ensaio.....	43
Figura 20 – Tela de autenticação da plataforma.....	45
Figura 21 – Menu de navegação para usuários autenticados.....	46
Figura 22 – Dados do usuário da plataforma.....	46
Figura 23 – Apresentação do custo mensal do eletrodoméstico.....	47
Figura 24 – Resposta da requisição para obter tarifas da CEMIG.....	49
Figura 25 – Método da plataforma <i>web</i> que calcula o consumo declarado.....	50
Figura 26 – Resultado do cálculo do consumo padrão exibido no console.....	50
Figura 27 – Etiqueta de eficiência energética fornecida pela plataforma.....	51
Figura 28 – Gráfico do consumo médio da ultima semana.....	51
Figura 29 – Tabela com todas as medições realizadas para o equipamento.....	52
Figura 30 – Tela inicial da plataforma quando acessada por dispositivo móvel...54	



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Temperatura nominal de classificação.....	22
Tabela 2 – Retas de consumo padrão das categorias.....	23
Tabela 3 – Fator correspondente a classificação em estrelas.....	24
Tabela 4 – Índices mínimos de eficiência das classes.....	25
Tabela 5 – Endereços de registro das medições.....	38
Tabela 6 – Parâmetros para requisição de Bandeira Tarifária na API da Way2..	48
Tabela 7 – Parâmetros para requisição de Tarifas na API da Way2.....	48

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ANEEL</b>	Agência Nacional de Energia Elétrica
<b>ANP</b>	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
<b>API</b>	<i>Application Programming Interface</i>
<b>CGIEE</b>	Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética
<b>CONPET</b>	Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
<b>CRUD</b>	<i>Create, register, update and delete</i>
<b>CSS</b>	<i>Cascading Style Sheets</i>
<b>DOM</b>	<i>Document Object Model</i>
<b>ENCE</b>	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
<b>GIZ</b>	<i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i>
<b>GUI</b>	<i>Graphical User Interface</i>
<b>HTML</b>	<i>Hypertext Markup Language</i>
<b>HTTP</b>	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
<b>IDE</b>	<i>Integrated Development Environment</i>
<b>IEE</b>	Índice Eficiência Energética
<b>INMETRO</b>	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
<b>IoT</b>	<i>Internet of Things</i>
<b>JSON</b>	<i>JavaScript Object Notation</i>
<b>LSB</b>	<i>Least Significant Bit</i>
<b>MCTI</b>	Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação
<b>MDIC</b>	Ministério de Desenvolvimento Indústria e Comércio
<b>MME</b>	Ministério de Minas e Energia.
<b>MQTT</b>	<i>MQ Telemetry Transport</i>
<b>MVP</b>	<i>Minimum Viable Product</i>
<b>PBE</b>	Programa Brasileiro de Etiquetagem
<b>PROCEL</b>	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
<b>REST</b>	<i>Representational State Transfer</i>
<b>SGBD</b>	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
<b>SQL</b>	<i>Standard Query Language</i>
<b>TE</b>	Tarifa de Consumo de Energia

<b>TTL</b>	<i>Transistor-Transistor Logic</i>
<b>TUSD</b>	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
<b>UART</b>	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
<b>UML</b>	<i>Uniform Modeling Language</i>
<b>UNIFEI</b>	Universidade Federal de Itajubá
<b>URI</b>	<i>Uniform Resource Identifier</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1	MOTIVAÇÃO .....	13
1.2	OBJETIVO .....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
2.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL.....	15
2.1.1	Programa Brasileiro de Etiquetagem.....	16
2.1.2	Programa Nacional de Conservação de Energia .....	17
2.1.3	Normas e Leis .....	18
2.2	PRINCIPAIS CARGAS DE UMA RESIDÊNCIA.....	20
2.3	CLASSIFICAÇÃO QUANTO À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	21
2.4	DEGRADAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE REFRIGERADORES .....	25
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>27</b>
3.1	SISTEMA DE MONITORAMENTO .....	27
3.1.1	Programação para internet .....	27
3.1.2	Tecnologias utilizadas .....	30
3.1.3	Diagrama de Casos de Uso .....	33
3.1.4	Diagrama Entidade Relacionamento .....	34
3.1.5	Design da interface gráfica do usuário .....	35
3.2	MEDIDOR DE ENERGIA CONECTADO A INTERNET .....	36
3.2.1	Materiais utilizados .....	36
3.2.2	Montagem .....	39
3.2.3	Programação .....	41
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>42</b>
4.1	ENSAIO DO REFRIGERADOR PANASONIC NR-BT40 .....	42
4.2	TELAS DE ACESSO PÚBLICO .....	44
4.3	TELAS DE ACESSO RESTRITO.....	45
4.4	RESPONSIVO .....	52
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>54</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>55</b>
	<b>APÊNDICE A – Código do medidor no NodeMCU ESP8266</b> .....	<b>56</b>
	<b>APÊNDICE B – Código da plataforma para cálculo da nova classificação quanto à eficiência energética</b> .....	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Praticamente qualquer atividade no mundo moderno só é possível com o uso de uma ou mais formas de energia. Dentre as diversas formas de energia que são colocadas à disposição dos consumidores destaca-se a energia elétrica como sendo uma das mais essenciais no dia a dia. Ela pode ser utilizada, por exemplo, para aquecer a água do chuveiro, acender lâmpadas, manter a geladeira ou freezer funcionando e alimentar a bateria de nossos diversos aparelhos eletrônicos que já não nos imaginamos mais vivendo sem. Estes equipamentos e sistemas onde a energia elétrica é utilizada, podem transformá-la em outras formas de energia e uma parte dela sempre é perdida para o meio ambiente durante o processo. Uma lâmpada, por exemplo, transforma a energia elétrica em energia luminosa e calor, mesmo que seu objetivo seja na verdade apenas iluminar, essa perda em forma de calor durante a conversão é inevitável. Além disso, também pode haver desperdício de energia por culpa do consumidor, como quando saímos de casa pela manhã e esquecemos uma lâmpada acesa durante o dia todo.

### 1.1 MOTIVAÇÃO

Como a humanidade ainda depende bastante de fontes de energia não renováveis, que são recursos esgotáveis como o Petróleo por exemplo, surge a necessidade de minimizar esses desperdícios. Esse é o objetivo principal dos estudos em eficiência energética. Veja novamente as lâmpadas como exemplo. Uma lâmpada incandescente comum tem uma eficiência significativamente inferior ao de uma lâmpada fluorescente, mas como o preço da lâmpada eficiente fica entre 10 e 20 vezes maior do que a comum, a decisão de qual delas comprar dependerá de fatores econômicos que consideram a vida útil de cada uma e a economia proporcionada na conta de luz. Esses cálculos não são triviais e exigem conhecimentos de matemática financeira que a maioria dos consumidores comuns não tem. Ademais, a seleção de equipamentos e sistemas mais complexos pode ser ainda mais difícil que o exemplo citado,

sendo esta a razão pela qual muitos consumidores usam inadequadamente todas as formas de energia.

## 1.2 OBJETIVO

Mesmo com o surgimento de equipamentos mais eficientes, todo e qualquer equipamento elétrico sofre degradação com o passar dos anos e isso pode acabar causando um aumento das perdas e, conseqüentemente, o equipamento irá consumir mais energia.

Com a etiqueta obtida pelos equipamentos no PBE (Programa Brasileiro de Etiquetagem), os consumidores podem comprar um eletrodoméstico já sabendo sua classificação e até mesmo o quanto de energia em kWh/mês aquele equipamento irá consumir. No entanto, estudos mostram que após os primeiros anos de uso, esse consumo pode começar a aumentar significativamente.

Para um consumidor comum, fazer essa análise tendo apenas em mãos a fatura da conta de energia não é algo factível, muito menos fazer manutenções periódicas ou realizar ensaios para verificar o estado dos equipamentos. É comum que só se leve o eletrodoméstico à uma pessoa especializada quando o mesmo já está em estado crítico ou não funcionando mais. Assim, este trabalho visa propor uma solução para tal problema, utilizando um medidor conectado à internet em conjunto com uma interface de usuário onde o cliente poderá ver um relatório de eficiência energética já processado e com ferramentas visuais como tabelas e gráficos, para que seja possível uma primeira análise sem a necessidade de maiores conhecimentos técnicos da área de energia. Dessa forma, ajudando o consumidor comum em tomada de decisões importantes, como procurar assistência especializada ou trocar o equipamento.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL

Como já discutido no primeiro capítulo, a energia é fundamental para a qualidade de vida da população e o crescimento econômico de qualquer país. Contudo, não apenas o aumento da produção energética deve estar nos planos nacionais de desenvolvimento, mas também deve-se ter em vista medidas para um consumo eficiente da energia. Para atender nossas necessidades de iluminação, movimento e aquecimento, entre tantas outras, a energia que utilizamos vem desde a natureza e passa por diversos processos de transformação, transporte e armazenamento, nos quais muitas vezes é em boa parte perdida, desperdiçada e mal utilizada. A eficiência energética de sistemas, edificações, processos e equipamentos é fundamental, uma vez que representa reduções no consumo energético e, assim, de custos a longo prazo, menores investimentos no parque de produção de energia e menores impactos ambientais.

Desde os anos 1980, o governo federal vem implementando uma série de políticas e programas voltados para a eficiência energética no Brasil e, recentemente, considerando metas no planejamento energético a médio e longo prazo, inclusive tendo em vista a redução das emissões de gases de efeito estufa para mitigação da mudança global do clima.

Um exemplo de programa com foco em eficiência energética é o Sistemas de Energia do Futuro, comissionado pelo ministério federal da cooperação econômica e do desenvolvimento em parceria com o MME (Ministério de Minas e Energia). O principal objetivo do programa é integrar energias renováveis e eficiência energética no sistema energético brasileiro, com foco no aproveitamento do enorme potencial de geração de energia limpa do nosso país. O programa também tem parceiros internacionais como a GIZ (*Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit*), cujo papel é assessorar ministérios e outras instituições públicas, além de bancos e outros atores relevantes do setor no delineamento de estratégias e apoio ao desenvolvimento de estruturas de cooperação e gestão e, também, oferecer conhecimento técnico em planejamento e regulamentação energético, bem como orientações para o

desenho de modelos de negócio. A GIZ também promove a cooperação entre atores públicos e privados no setor, facilitando o compartilhamento de tecnologias e conhecimentos. Outrossim, a economia alemã também pode se beneficiar do envolvimento da GIZ à medida que aumenta a demanda no Brasil por tecnologias inovadoras.

### **2.1.1 Programa Brasileiro de Etiquetagem**

Criado em 1984, o PBE é coordenado pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) e utiliza da ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia) com o propósito de informar e alertar o consumidor quanto a eficiência energética de eletrodomésticos. O PBE na data desta dissertação conta com 38 programas em diferentes níveis de implementação. Algumas categorias são avaliadas há mais de 20 anos, como refrigeradores e condicionadores de ar, outros são mais recentes, como lavadoras, fogões, fornos a gás, lâmpadas, televisores, chuveiros elétricos e ventiladores de teto. Novos programas estão em pleno funcionamento: veículos leves, edificações comerciais, públicas e residenciais, transformadores e sistemas fotovoltaicos que estão em alta graças ao crescimento da geração distribuída e do incentivo a fontes alternativas de energia.

Inicialmente o programa contou com adesão voluntária dos fabricantes dos equipamentos e eletrodomésticos que seriam avaliados. Hoje o PBE conta também com dois parceiros importantes, são eles a Eletrobras, por meio do PROCEL, e a Petrobras, através do CONPET (Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural). Ambos os programas premiam os produtos mais eficientes também através de etiquetas. A classificação quanto a eficiência energética vai de A (mais eficiente) até E (menos eficiente). O conteúdo das etiquetas melhora de certo modo a comunicação entre quem compra e quem vende, uma vez que o consumidor passa a ter detalhes precisos obtidos em laboratório sobre o produto que está comprando.



Figura 1 – ENCE de um refrigerador combinado Panasonic NR-BT40



Fonte: Própria (2020)

### 2.1.2 Programa Nacional de Conservação de Energia

O PROCEL foi instituído em 1985 pelos Ministérios de Minas e Energia, Ciência e Tecnologia e Indústria, é executado pela Eletrobras e coordenado pelo MME, visando a promoção, em nível nacional, do uso eficiente da energia elétrica e combate ao seu desperdício. O programa contribui para a redução das emissões de gases prejudiciais ao meio ambiente e também com uma economia financeira para o governo, possibilitando maiores investimentos no setor público. Uma das principais atividades no programa desde sua criação, foi realizar diagnósticos energéticos no setor industrial que é responsável por grande parte do consumo de energia elétrica do país. Dessa forma, percebeu-se a possibilidade de uma grande redução no consumo energético neste setor, substituindo equipamentos, práticas e processos por versões mais eficientes.

Segundo a publicação “Resultados PROCEL 2019” (ano base 2018), de 1986 a 2018 foram economizados 151,6 bilhões de kWh de energia elétrica. Somente em 2018, estima-se que foram economizados 23 bilhões de kWh, o que corresponde ao consumo anual de 12,12 milhões de residências. Este número do ano de 2018 mostra como o programa evoluiu desde sua criação e também reflete uma maior preocupação mundial quanto à eficiência energética (PROCEL, 2018).

O PROCEL atua implementando ou apoiando o desenvolvimento de políticas públicas. O Selo PROCEL de eficiência energética é um exemplo criado em 1993 pelo governo federal, cujo principal objetivo é fazer com que o consumidor identifique facilmente no mercado os equipamentos e eletrodomésticos que são mais eficientes. Além de orientar os consumidores, o selo também induz o desenvolvimento e o aprimoramento tecnológico dos produtos disponíveis no mercado brasileiro.

**Figura 2 – Selo PROCEL de eficiência energética**



Fonte: Site do PROCEL

### 2.1.3 Normas e Leis

- ISO 50001

A ISO 50001:2018 é uma norma internacional adotada pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), que trata de sistemas de gestão de energia, fornecendo uma estrutura para gerenciar o desempenho e abordar os custos de energia, ao mesmo tempo em que ajuda as empresas a reduzir seu impacto ambiental para atender às metas de redução de emissões.

Publicada pela primeira vez em 2011, a norma transformou o desempenho energético das organizações em todo o mundo. Segundo Roland Risser, presidente do comitê técnico da ISO que desenvolveu a norma, a nova versão apresenta definições atualizadas e maior esclarecimento sobre certos conceitos de desempenho energético.

“Há uma ênfase mais forte no papel da alta gerência também, pois é importante estimular uma mudança de cultura organizacional. Agora a norma está alinhada também com os requisitos da ISO para as normas de sistemas de gestão, facilitando a integração nos sistemas de gestão existentes da organização” (RISSER, 2018).

- Lei nº 10.295

O Brasil possui um importante instrumento para a indução da eficiência energética, a Lei nº 10.295 de 17 de outubro de 2001, também conhecida como Lei da Eficiência Energética. Esta Lei que estimula o desenvolvimento tecnológico alinhado a preservação ambiental e a introdução de produtos mais eficientes no mercado nacional, foi concebida sob o entendimento de que a conservação de energia também deve ser finalidade da política energética nacional.

A Lei da Eficiência Energética é o instrumento que determina a existência de níveis máximos de consumo específico de energia, em outras palavras, níveis mínimos de eficiência energética de máquinas e aparelhos consumidores de energia não necessariamente energia elétrica, com base em indicadores técnicos pertinentes.

Com o objetivo de implementar o disposto na Lei, foi instituído através do Decreto nº 4.059/2001 o CGIEE (Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética), que é composto pelo MME, MDIC (Ministério de Desenvolvimento

Industria e Comercio), MCTI (Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação), ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), um representante da universidade e uma cidadã brasileira (Roberto Lambert e Ceres Zenaide Barbosa Cavalcanti, ambos especialistas em matéria de energia e com mandato de dois anos, vigentes na data desta monografia, de 23/11/2018 à 23/11/2020).

O processo de definição dos parâmetros necessários para a regulamentação dos equipamentos se fundamenta em metodologias e regulamentos específicos, estudos de impacto e priorização, critérios de avaliação de conformidade e conta com laboratórios credenciados para ensaios e testes do PBE, do Selo PROCEL Eletrobras e do Selo CONPET. Tanto a Lei quanto o decreto estabelecem a obrigatoriedade de realização de audiências públicas para aprovação das regulamentações específicas.

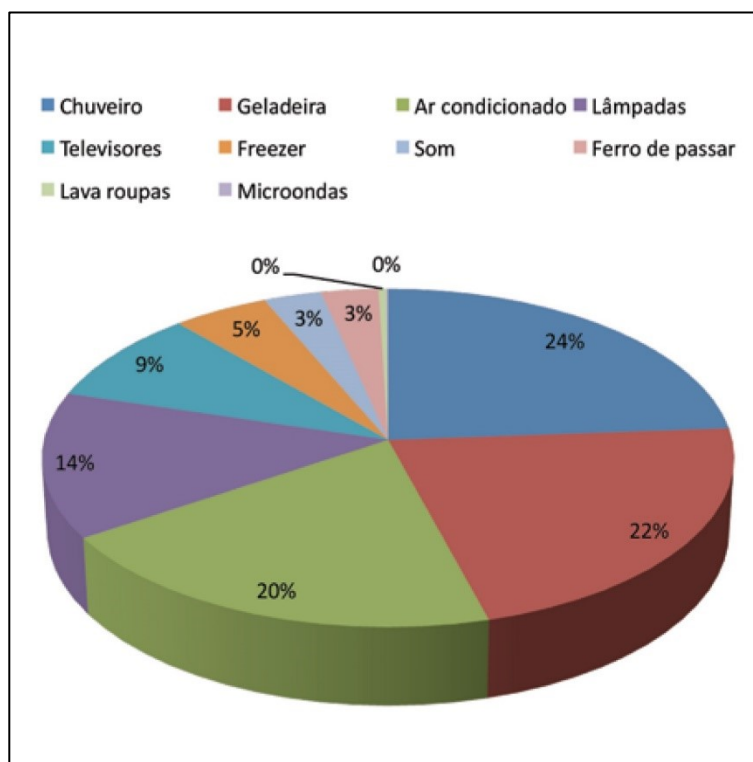
## 2.2 PRINCIPAIS CARGAS DE UMA RESIDÊNCIA

Em uma residência brasileira é comum encontrarmos cargas como chuveiros elétricos, refrigeradores e lâmpadas, sendo considerados equipamentos de necessidade básica. Alguns deles necessitam permanecer conectados à rede elétrica o dia todo como os refrigeradores, já outros são conectados apenas quando há a necessidade da utilização, mas mesmo assim representam uma fatia considerável do consumo mensal.

A refrigeração de alimentos representa uma porção importante do consumo de energia elétrica de residências, como apresentado em uma matéria de março de 2015 da revista “O Setor Elétrico” (da qual a figura 3 foi retirada), tomando como base uma residência com quatro pessoas, em que cada uma toma banho com duração de oito minutos por dia, o chuveiro elétrico representa 24% da energia mensal gasta, a iluminação representa 14%. No entanto, a geladeira e o freezer somados chegam a 27% ultrapassando o consumo do chuveiro (O Setor Elétrico, 2015). Outra carga importante de se mencionar é o ar condicionado, apesar de os aparelhos condicionadores de ar já estarem com preços mais acessíveis, ainda não são encontrados na maioria das residências devido ao seu alto consumo energético. Já as geladeiras são encontradas na grande maioria

das residências e, por isso, o foco inicial do projeto será analisar a eficiência energética em refrigeradores e combinados.

**Figura 3 – Consumo mensal das principais cargas de uma residência**



Fonte: Revista O Setor Elétrico

### 2.3 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética em refrigeradores é de um modo geral analisada em função do IEE (Índice de Eficiência Energética) dos equipamentos, tendo como referência o regulamento específico para uso da ENCE com foco em refrigeradores e assemelhados, mais especificamente o anexo VI, “Metodologia de cálculo da eficiência energética de refrigeradores e congeladores de uso domésticos e definição de classes”. O PBE define, através de seus regulamentos, dois tipos de ensaios específicos para fins de etiquetagem: classificação térmica e consumo energético.

No ensaio de classificação térmica, o aparelho sob teste é submetido a um ambiente de temperatura controlada de 43°C, onde são medidas e verificadas as temperaturas internas declaradas. Por exemplo, na existência de compartimento de baixa temperatura (congelador), o mesmo é preenchido com

carga térmica com propriedades equivalentes a carne magra que, nesta condição, as temperaturas devem obedecer aos limites estabelecidos. Caso seja classificado como três estrelas, o resultado que se busca é a de temperatura menor ou igual a  $-18^{\circ}\text{C}$ .

**Tabela 1 – Temperatura nominal de classificação**

<b>Temperatura mais elevada obtida no compartimento congelador ou sua seção (<math>T_c</math>)</b>	<b>Temperatura nominal de classificação (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Número de estrelas</b>
$T_c > -6^{\circ}\text{C}$	0	0
$-12^{\circ}\text{C} < T_c \leq -6^{\circ}\text{C}$	-6	1
$-18^{\circ}\text{C} < T_c \leq -12^{\circ}\text{C}$	-12	2
$T_c \leq -18^{\circ}\text{C}$	-18	3

Fonte: Regulamento específico para uso da etiqueta nacional de conservação de energia – Linha de refrigeradores e assemelhados (congeladores, combinados e conservadores)

No ensaio de consumo de energia elétrica, a temperatura de teste é reduzida de  $43^{\circ}\text{C}$  para  $32^{\circ}\text{C}$ , onde o consumo de energia elétrica do produto é tomado em ciclos de medidas durante 72 horas ininterruptas. Nesses ensaios as portas dos refrigeradores são mantidas fechadas.

O IEE leva em consideração a razão entre o consumo declarado ( $C$ ) e o consumo padrão ( $C_p$ ), conforme a equação:

$$IEE = \frac{C}{C_p} \quad (2.1)$$

O consumo declarado ( $C$ ) é aquele medido durante os procedimentos laboratoriais e expresso em kWh/mês, já o consumo padrão ( $C_p$ ) é definido como

o consumo de energia equivalente ao volume ajustado e pode ser representado pela equação a seguir:

$$C_p = a \cdot AV + b \quad (2.2)$$

Onde:

$C_p$  = Consumo padrão (kWh/mês)

$AV$  = Volume ajustado (litros)

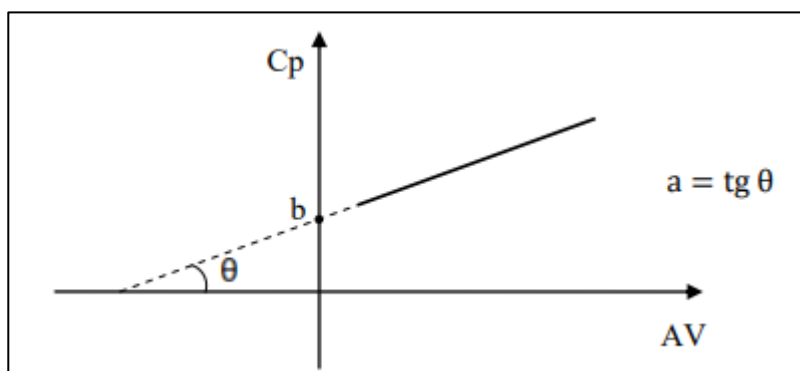
Pode-se perceber pela equação que o consumo padrão se trata de uma equação do primeiro grau, traçada em um plano  $AV \times C_p$ , com seus coeficientes  $a$  e  $b$ . O coeficiente “ $a$ ” determina a inclinação da reta e é denominado coeficiente angular, já a constante “ $b$ ”, que determina a translação vertical do gráfico, recebe o nome de coeficiente linear da reta. Os valores de “ $a$ ” e “ $b$ ” também podem ser encontrados em tabela fornecida pelo Inmetro, de acordo com a categoria do refrigerador.

**Tabela 2 – Retas de consumo padrão das categorias**

<b>Categoria</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
Refrigerador	0,0346	19,117
Combinado	0,0916	17,083
Combinado <i>Frost-Free</i>	0,1059	7,4862
Congelador vertical	0,0211	39,228
Congelador vertical <i>Frost-Free</i>	0,0178	58,712
Congelador horizontal	0,0758	13,095

Fonte: Regulamento específico para uso da etiqueta nacional de conservação de energia – Linha de refrigeradores e assemelhados (congeladores, combinados e conservadores)

Figura 4 – Reta do consumo padrão ( $C_p$ )



Fonte: Regulamento específico para uso da etiqueta nacional de conservação de energia – Linha de refrigeradores e assemelhados (congeladores, combinados e conservadores)

O volume ajustado pode ser calculado pela equação abaixo:

$$AV = Vr + \sum (f \cdot Vc) \quad (2.3)$$

Onde:

$Vr$  = Volume do compartimento refrigerador (litros)

$Vc$  = Volume do compartimento congelador ou de sua seção segundo temperatura de classificação (litros)

$f$  = Valor equivalente a classificação de cada compartimento e definido conforme tabela fornecida pelo Inmetro.

Para modelos Frost Free,  $Vr$  e  $Vc$  são multiplicados por 1,2.

Tabela 3 – Fator correspondente a classificação em estrelas do compartimento congelador

Compartimento	$f$
Uma estrela	1,41
Duas estrelas	1,63
Três estrelas	1,85



Fonte: Regulamento específico para uso da etiqueta nacional de conservação de energia –  
Linha de refrigeradores e assemelhados (congeladores, combinados e conservadores)

De posse do IEE, é possível classificar o equipamento quanto a sua classe, conforme a tabela abaixo:

**Tabela 4 – Índices mínimos de eficiência das classes**

<b>Classe</b>	<b>Índice mínimo de eficiência energética</b>
A	0,869
B	0,949
C	1,020
D	1,097
E	1,179
F	1,267
G	1,362

Fonte: Regulamento específico para uso da etiqueta nacional de conservação de energia –  
Linha de refrigeradores e assemelhados (congeladores, combinados e conservadores)

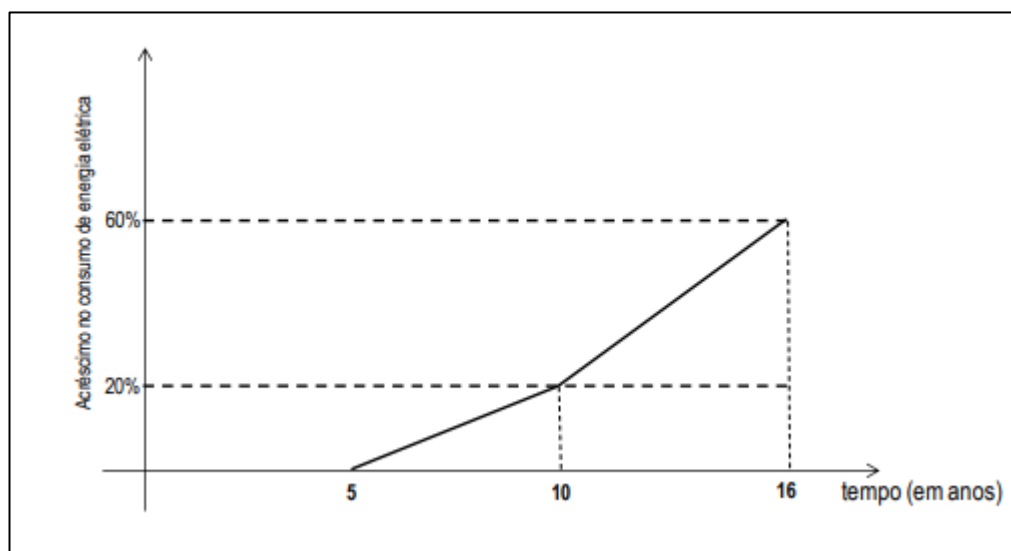
## 2.4 DEGRADAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE REFRIGERADORES

Em uma dissertação de pós graduação desenvolvida pelo centro de eficiência energética da UNIFEI (Universidade Federal de Itajubá), atendendo a demanda da Eletrobras, o autor Emerson Salvador em conjunto com seus orientadores elaborou diversos estudos para a avaliação dos resultados energéticos do Selo PROCEL, em especial para o caso de refrigeradores. A dissertação aborda a questão da degradação da eficiência energética, considerando que os equipamentos elétricos sofrem desgastes ao longo do

tempo de vida de operação e, como consequência, acabam consumindo mais energia.

A metodologia desenvolvida pela UNIFEI teve como objetivo principal a determinação dos ganhos energéticos advindos da utilização de refrigeradores com Selo PROCEL. Para uma abordagem mais ampla, necessária para atinência ao Protocolo Internacional de Medição e Verificação, foi estudada influências de distintas variáveis na formulação proposta pela Universidade e adotada pela Eletrobras PROCEL nos cálculos da economia de energia anual (ELETROBRAS, 2012). Dessa forma, após um trabalho de quase dois anos, a conclusão foi que os principais fatores que interferem na degradação da eficiência de refrigeradores são: vedação, isolamento, termostato e compressor. Com o apanhado de toda informação levantada junto a fabricantes, laboratórios e especialistas, os refrigeradores não sofrem um aumento de seu consumo de energia elétrica até seus 5 anos de funcionamento. Após esse período, os fatores levantados anteriormente começam a interferir no desempenho do aparelho, atingindo uma degradação de 20% no décimo ano de funcionamento, em função principalmente da vedação e isolamento, e atinge no décimo sexto ano um acréscimo de 60% no consumo de energia elétrica, por influência adicional do compressor, conforme pode ser observado no gráfico a seguir. A metodologia desenvolvida envolvia outras variáveis para a formulação dos ganhos energéticos do Selo PROCEL, como, por exemplo, a influência da temperatura ambiente, a formação de um parque de equipamentos, fator de sucateamento etc. (SALVADOR, 2013, p.47-48)

**Figura 5 – Aumento do consumo de energia de um refrigerador com o passar dos anos**



Fonte: Eficiência Energética em Refrigeradores, Emerson Salvador (2013)

### 3 DESENVOLVIMENTO

#### 3.1 SISTEMA DE MONITORAMENTO

Existem diferentes plataformas para as quais é possível desenvolver um software. Pode-se fazer desde um sistema embarcado, que irá funcionar em um dispositivo específico com microprocessador dedicado e que necessite de implementação lógica (tal como o medidor de energia deste projeto), até um sistema mais complexo projetado para funcionar em computadores pessoais, com interface gráfica e base de dados persistente, que será o caso da plataforma proposta nesta monografia.

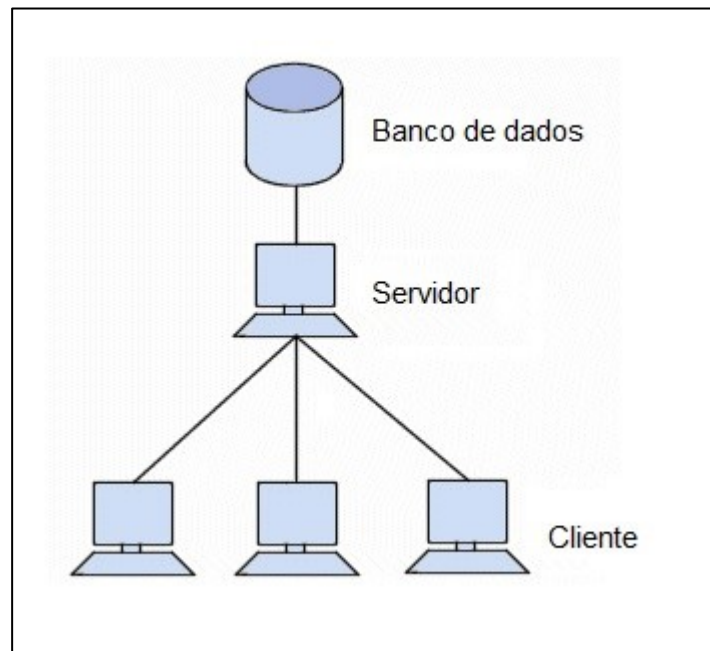
No passado, aplicações mais robustas tinham que ser desenvolvidas para desktop, em outras palavras, eram aplicações que eram instaladas no sistema operacional através de um arquivo executável por exemplo, o que poderia exigir do desenvolvedor alguns conhecimentos de computação de baixo nível e, também, podia gerar problemas de portabilidade por motivos de compatibilidade com diferentes sistemas operacionais.

##### 3.1.1 Programação para internet

Nesta mesma época onde predominavam os sistemas para desktop, a internet evoluía rapidamente. Com o aumento da velocidade de conexão, os navegadores que antes interpretavam apenas páginas leves e com estilos simples, puderam começar a ficar mais robustos, suportando até a interpretação de scripts com o surgimento do EcmaScript, também conhecido como JavaScript e, com isso, a internet deixou de possuir apenas sites, surgindo os aplicativos *web*. A internet evoluiu a um ponto em que já é possível a portabilidade do desktop para *web* de aplicativos extremamente complexos. Um bom exemplo é a portabilidade do bastante conhecido pacote Office da Microsoft, que além de funcionar sem a necessidade de instalação, também suporta visualização e edição simultânea de documentos.

Para entender como um site ou aplicativo para internet é desenvolvido, é necessário entender o modelo cliente-servidor, conforme a figura 6:

Figura 6 – Modelo cliente-servidor



Fonte: [dspace.uclv.edu.cu](http://dspace.uclv.edu.cu)

- **Servidor Web**

O Servidor *Web* é um computador responsável por receber as requisições HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) de clientes e devolvê-los uma resposta HTTP. É nele que será localizado o *Back-End* da aplicação, por se tratar da parte do software que irá funcionar na parte de “trás”. É um computador dedicado para este fim, conectado à internet e que pode estar localizado em qualquer lugar do mundo.

O *Back-End* deste projeto terá diversas responsabilidades, como servir as páginas solicitadas, salvar as leituras no banco de dados e realizar o processamento desses dados quando for necessário. Calculando, por exemplo, o índice de eficiência energética para obtenção da classificação do refrigerador quanto ao programa brasileiro de etiquetagem.

- **Cliente Web**

O Cliente se refere ao computador que irá requisitar ou acessar remotamente o computador servidor. Temos um Cliente *Web* quando este acesso é via internet através de um navegador, por exemplo.

É possível executar algoritmos no cliente graças a linguagem JavaScript e seus interpretadores, presente em praticamente todos os navegadores. No entanto, é comum realizar apenas animações na interface gráfica e pequenas operações que não envolvem os dados do usuário diretamente. Tarefas mais importantes como operações com o banco de dados são tarefa do servidor, que além de ser mais seguro contra ataques de pessoas maliciosas utilizando criptografia, também pode ter uma performance melhor por se tratar de um hardware dedicado.

- **Banco de dados**

São coleções de dados organizados de forma que se possa acessar de forma rápida e prática as informações desejadas quando necessário.

Existem diferentes modelos de organização de bases de dados. O modelo escolhido para este projeto é o modelo relacional, que é o mais conhecido e utilizado no mundo. A organização do modelo relacional consiste em criar tabelas para representar as diferentes entidades (objetos quando se usa o paradigma de orientação à objetos por exemplo), com as informações separadas por colunas (campos) onde cada linha (registro) é facilmente identificada por uma chave, que pode ser um número inteiro ou uma referência à outra tabela (chave estrangeira)..

- **Protocolo HTTP e RESTFul API**

Uma API (*Application Programming Interface*) é um conjunto de rotinas e padrões de programação para acesso a um aplicativo de software ou plataforma baseada na *Web*. Normalmente uma API é consumida por aplicações *web*, provendo dados que são solicitados pelo cliente. Um exemplo é a API de CEP (Código de Endereçamento Postal) dos correios, que ao receber uma requisição do tipo *get* com o número do CEP, retorna o endereço completo. Neste projeto, a API será responsável por receber as leituras enviadas pelo módulo ESP32.

Será utilizado o estilo de arquitetura de software para desenvolvimento de serviços *web* conhecido como REST (*Representational State Transfer*). Neste modelo, cada mensagem enviada ao servidor deve conter toda a informação necessária para compreender o pedido, que no caso será processar os dados das leituras e guardá-los em um banco de dados. O modelo REST define uma sintaxe universal para identificar recursos por meio da sua URI (*Uniform Resource Identifier*) e pode ser utilizado com versões do protocolo HTTP acima da 1.1. Uma API é considerada *RESTful* quando satisfaz todos os princípios da arquitetura REST.

Quando utilizado com o protocolo HTTP, pode-se utilizar os tipos de requisição já definidos pelo protocolo, sendo as mais comuns *POST*, *GET*, *PUT* e *DELETE* que são utilizadas com frequência com operações CRUD (*Create, register, update and delete*) para persistência de dados. Os dados são enviados até a API no formato JSON (*JavaScript Object Notation*), que se trata de uma sintaxe muito utilizada na *Web* nos dias de hoje para enviar e receber dados, de forma que eles possam ser facilmente interpretados e convertidos em tipos de dados existentes na linguagem de programação, que irá realizar o processamento.

### 3.1.2 Tecnologias utilizadas

- **HTML, CSS e JavaScript**

São as três linguagens utilizadas para codificação do *Front-End* de uma aplicação para a internet. O HTML (*Hypertext Markup Language*) é uma linguagem de marcação utilizada para dar significado semântico aos diferentes elementos de páginas através de suas *tags* que serão interpretadas pelos navegadores. Na sua versão mais atual, o HTML5, foram implementadas diversas modificações e funcionalidades visando a acessibilidade das páginas (para pessoas com algum tipo de deficiência ou conexões de internet mais lentas, por exemplo).

O CSS (*Cascading Style Sheets*) é uma linguagem de estilização. Com ele é possível escrever regras para descrever como o navegador deverá renderizar cada elemento HTML para exibição. O CSS consegue ir muito além de estilos

simples como mudar cor, fonte de textos e arredondar bordas de imagens, ele é poderoso o suficiente para criar até algumas animações complexas. A versão mais recente na data desta monografia é o CSS3.

O JavaScript (ou EcmaScript) é uma linguagem de script que é interpretada na grande maioria dos navegadores modernos. É comumente utilizada no *Front-End* para uma primeira validação de formulários e criação de animações que poderiam ser muito difíceis ou impossíveis de conseguir apenas com CSS. A linguagem tem crescido bastante em popularidade e vem sendo utilizada para criar aplicações inteiras incluindo o *Back-End* (utilizando Node.js).

- **MySQL**

É um SGBD (Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados) que utiliza o modelo relacional e a linguagem de busca SQL (*Standard Query Language*). Estima-se que possui mais de 10 milhões de instalações pelo mundo e é utilizado por grandes empresas como Facebook e YouTube.

- **Python e Django 3**

Um *framework* de desenvolvimento de *software* é uma abstração que une códigos comuns entre vários projetos de um *software* provendo uma funcionalidade genérica, podendo também atingir uma funcionalidade específica com a configuração necessária. Em outras palavras, utilizar um *framework* para desenvolver uma aplicação *web* facilita bastante o processo, uma vez que grande parte do trabalho comum à todas as aplicações já está pronta e é de fácil modificação conforme a necessidade do usuário.

O Django é um *framework* para desenvolvimento *web* utilizando a linguagem Python. Possui excelente documentação e é de simples utilização. A escolha do Django para a construção do *Back-End* da aplicação se dá simplesmente pela facilidade de uso e aprendizagem da linguagem Python, vale ressaltar que poderia ter sido utilizada qualquer outra linguagem ou plataforma de programação para servidores *web*, como por exemplo PHP ou Java.

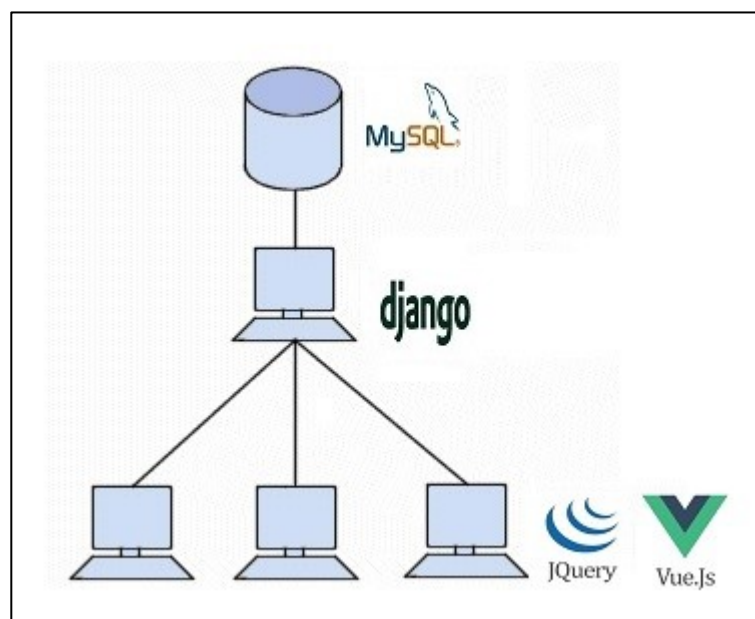
- **Vue.js e jQuery**

Em suas versões mais antigas, o JavaScript não apresentava facilidade na manipulação do DOM (*Document Object Model*), desenvolvedores independentes criaram então bibliotecas e frameworks para facilitar o dia a dia deles e de outros desenvolvedores. Uma dessas ferramentas que ficou bastante conhecida foi o jQuery. Mesmo com versões mais recentes do JavaScript como ES5 e ES6 disponibilizando recursos que tornam desnecessária utilização do jQuery, ele ainda está presente em mais de 70% dos sites na internet, sendo utilizado com dependência de outras bibliotecas e frameworks ainda muito utilizados no mercado com o *framework* CSS Semantic, por exemplo.

- **Semantic**

É um *framework* para construção de interfaces de usuários. Ele disponibiliza diversos elementos de CSS e JavaScript (botões, janelas modais com animações de transição, etc) para que se possa criar um tema de forma rápida e elegante.

**Figura 7 – Tecnologias utilizadas em cada camada do projeto**



Fonte: Próprio (2020)



### 3.1.3 Diagrama de Casos de Uso

O Diagrama de Casos de Uso é um dos nove tipos de diagrama existentes na UML (*Uniform Modeling Language*), que é uma linguagem que define uma série de artefatos que auxiliam na tarefa de modelar e documentar sistemas orientados a objetos.

Esse tipo de diagrama documenta o que o sistema faz do ponto de vista do usuário, em outras palavras, ele descreve as principais funcionalidades do sistema e a interação dessas funcionalidades entre os diferentes tipos de usuários (atores). Os diagramas são compostos basicamente por quatro partes:

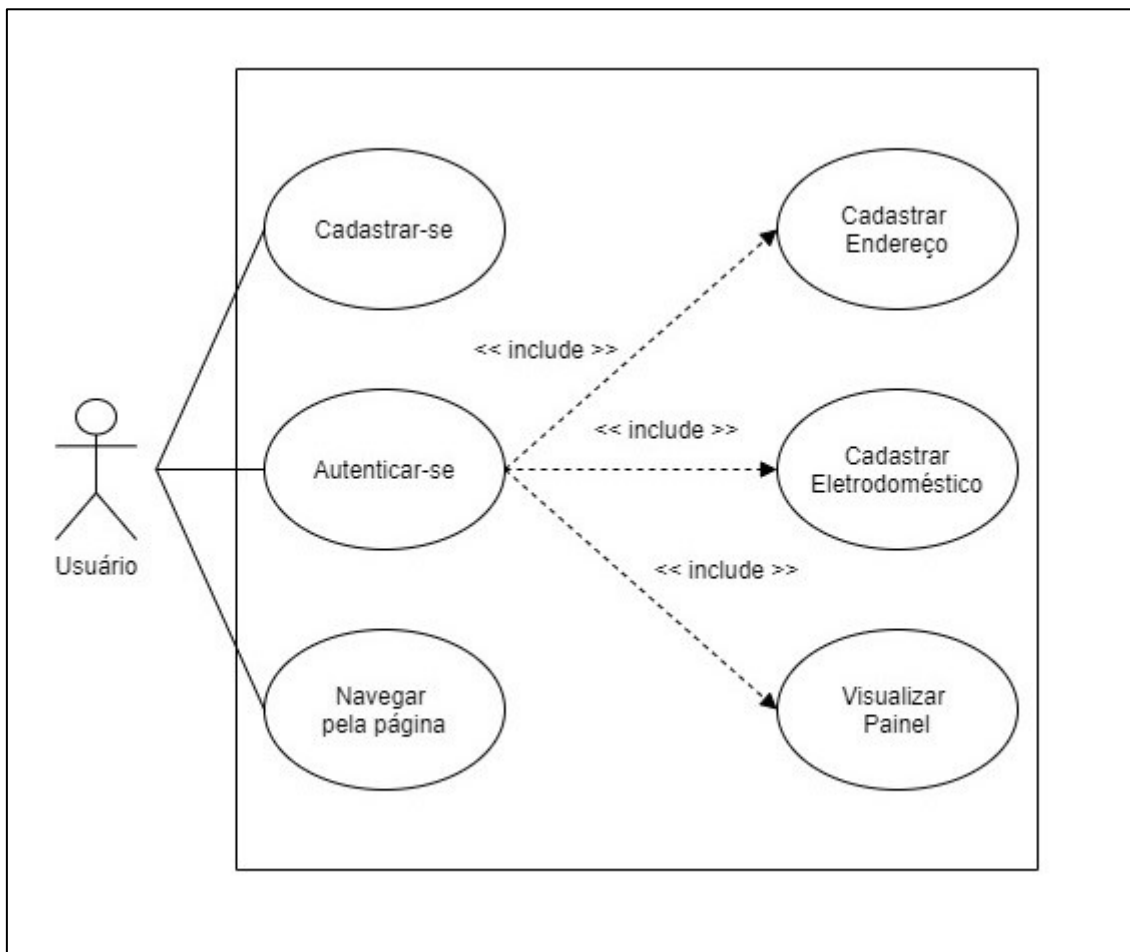
1 - Cenário: É definido como uma sequência de eventos que acontecem quando o usuário interage com o sistema, para este projeto o cenário é o próprio monitor de eficiência energética.

2 - Ator: Tipos de usuários do sistema, para este projeto serão dois tipos, o usuário comum e o administrador.

3 - Caso de Uso: É uma tarefa ou funcionalidade realizada pelo ator. Não haverá muitos casos de uso para este projeto pois ele é bastante objetivo, um simples sistema onde é possível se cadastrar, se autenticar e verificar os resultados é o suficiente.

4 - Comunicação: É o que liga um ator com outro caso de uso.

Figura 8 – Diagrama de casos de uso

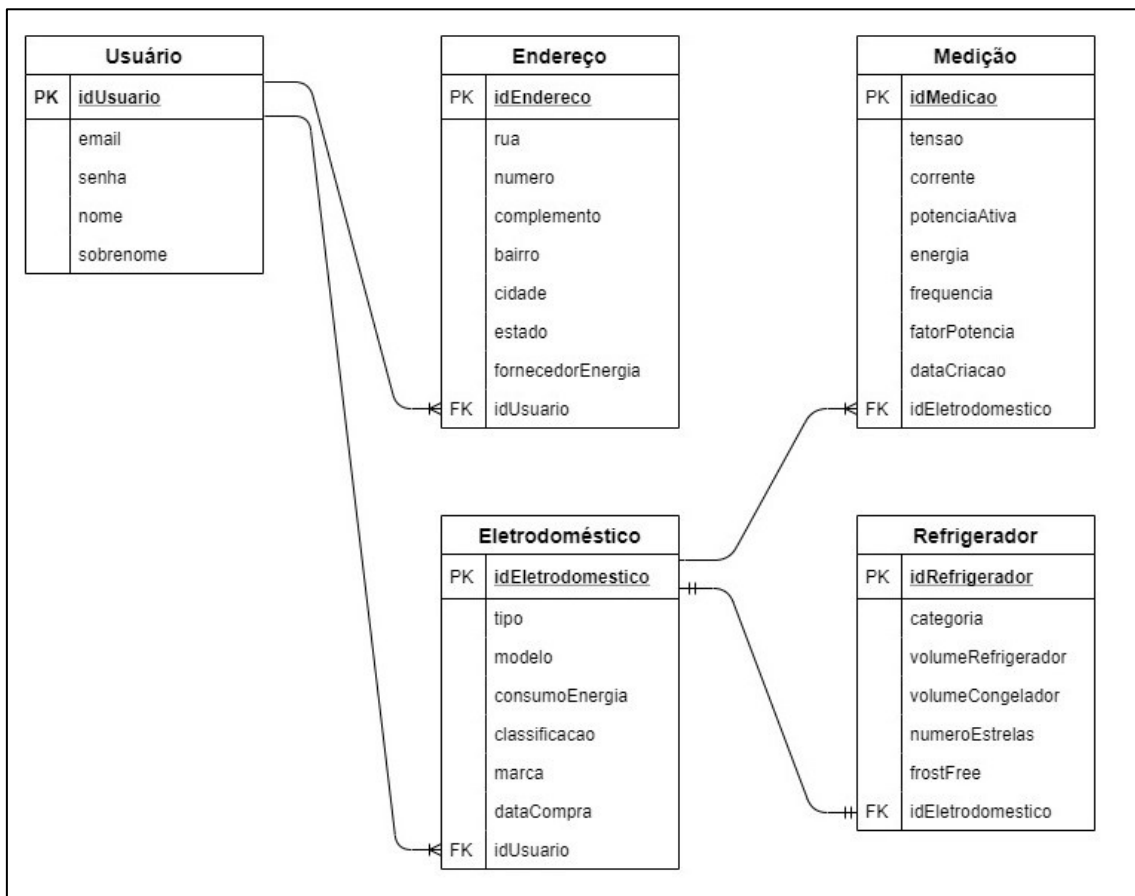


Fonte: Próprio (2020)

### 3.1.4 Diagrama Entidade Relacionamento

O modelo entidade relacionamento é bastante utilizado na engenharia de *software* para descrever os objetos (entidades) e como eles relacionam entre si (relacionamentos). É muito útil para a concepção do banco de dados, pois o representa de forma abstrata, mas não necessariamente representa a base de dados em sua forma final. Além de entidades e relacionamentos, o diagrama também conta com os atributos, que são características que descrevem cada entidade ou, por outra forma, se considerarmos cada entidade como uma tabela, os campos de cada tabela seriam as características.

Figura 9 – Diagrama Entidade Relacionamento



Fonte: Próprio (2020)

### 3.1.5 Design da interface gráfica do usuário

- **Wireframe**

Para facilitar a codificação da GUI (*Graphical User Interface*), é uma boa prática criar *Wireframes*, que são como “esqueletos” que descrevem a estrutura do layout, geralmente utilizando tons de cinza, uma vez que o padrão de cores da GUI pode ainda não ter sido definido nesta fase da modelagem.

Neste projeto foi utilizado o Adobe XD, um *software* para prototipação de *layouts* distribuído pela Adobe Inc. de forma gratuita e que faz parte do pacote *Adobe Creative Cloud*. A figura 10 abaixo mostra o *Wireframe* da tela de autenticação da plataforma para exemplificar.

**Figura 10 – Wireframe da plataforma**

Fonte: Próprio (2020)

- **Tipografia e paleta de cores**

A paleta de cores definida para o site, assim como a tipografia, foi escolhida de forma que remeta o usuário à uma ENCE original utilizada no PBE, visando uma melhor identificação e experiência para o mesmo.

**Figura 11 – Paleta de cores da plataforma**

Fonte: Próprio (2020)

## 3.2 MEDIDOR DE ENERGIA CONECTADO A INTERNET

### 3.2.1 Materiais utilizados

- **NodeMCU com ESP8266**

A ideia inicial por trás da escolha do NodeMCU para este projeto era utilizar o firmware Tasmota, mas após pesquisar mais a fundo percebeu-se que

bastavam algumas bibliotecas externas para implementação do medidor, diminuindo dessa forma as dependências do projeto.

A placa NodeMCU é uma placa de desenvolvimento que combina o chip ESP8266, uma interface usb-serial e um regulador de tensão 3.3V. O chip do ESP8266 diferente do Arduino permite conexão em redes *Wi-Fi* e, por isso, é ideal para este projeto. A sua programação pode ser feita tanto no IDE do Arduino quanto usando a linguagem brasileira LUA.

Figura 12 – Placa NodeMCU com ESP8266



Fonte: Próprio (2020)

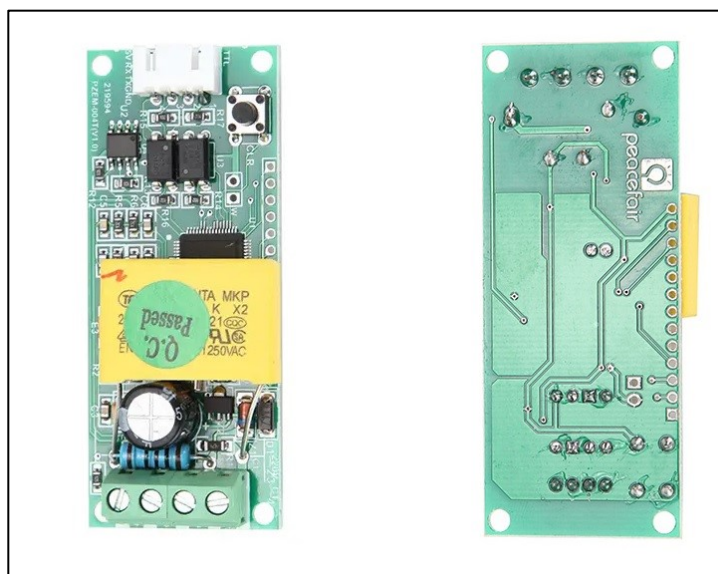
Esta placa é mais poderosa em termos de *hardware* se comparada a um Arduino, conta com o recurso do *Wi-Fi* sem precisar de outros *shields* extras e, este modelo em específico, também conta com uma placa similar à do Arduino Uno, o que facilita bastante a prototipação. O NodeMCU com ESP8266 conta ainda com conexão micro USB, conexão DC 5V-12V e AC, conexão de rede sem fio e *Bluetooth*.

- **Módulo medidor PZEM-004t**

O PZEM-004t é um módulo de comunicação utilizado para medir corrente e tensão alternada, potência ativa, frequência e energia. O módulo utilizado não apresenta *display*, uma vez que o projeto objetiva apresentar os resultados em

uma plataforma *web*. A comunicação com o módulo ESP8266 é feita através da interface TTL (Transistor-Transistor Logic). A leitura das medidas pode ser feita de forma binária analisando cada endereço de memória, bem como o LSB (*Least Significant Bit*), ou utilizando bibliotecas para o chip em questão, que lidam com a comunicação de baixo nível para o usuário.

**Figura 13 - Módulo medidor PZEM-004t**



Fonte: Próprio (2020)

**Tabela 5 – Endereços de registro das medições**

Endereço de registro	Descrição	Resolução
0x0000	Valor de tensão	1LSB corresponde a 0,1V
0x0001	Valor de corrente (low) 16 bits	1LSB corresponde a 0,001 A
0x0002	Valor de corrente (high) 16 bits	1LSB corresponde a 0,001 A
0x0003	Valor de potência (low) 16 bits	1LSB corresponde a 0,1W
0x0004	Valor de potência (high) 16 bits	1LSB corresponde a 0,1W
0x0005	Valor de energia (low) 16 bits	1LSB corresponde a 1 Wh
0x0006	Valor de energia (high) 16 bits	1LSB corresponde a 1 Wh

0x0007	Valor de frequência	1LSB corresponde a 0,1 Hz
0x0008	Valor de fator de potência	1LSB corresponde a 0,01
0x0009	Status do alarme	0xFFFF COM alarme 0x0000 SEM alarme

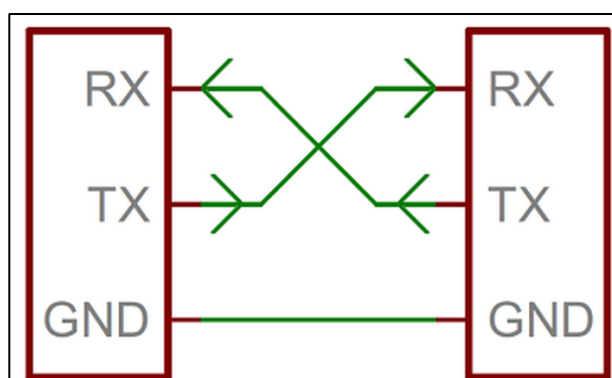
Fonte: Manual do módulo PZEM-004t

### 3.2.2 Montagem

O medidor PZEM possui comunicação TTL UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*), esta será usada como interface para comunicação entre o microcontrolador ESP8266 e o módulo medidor. Por ser uma interface TTL passiva, é necessário ligar uma fonte de energia externa, portanto a interface funciona com quatro entradas, sendo elas: 5V, GND, RX e TX.

As entradas TX e RX em uma comunicação UART funcionam de forma paralela, o que significa que o RX de um dispositivo irá se conectar ao TX de outro e, vice-versa, conforme apresentado no diagrama.

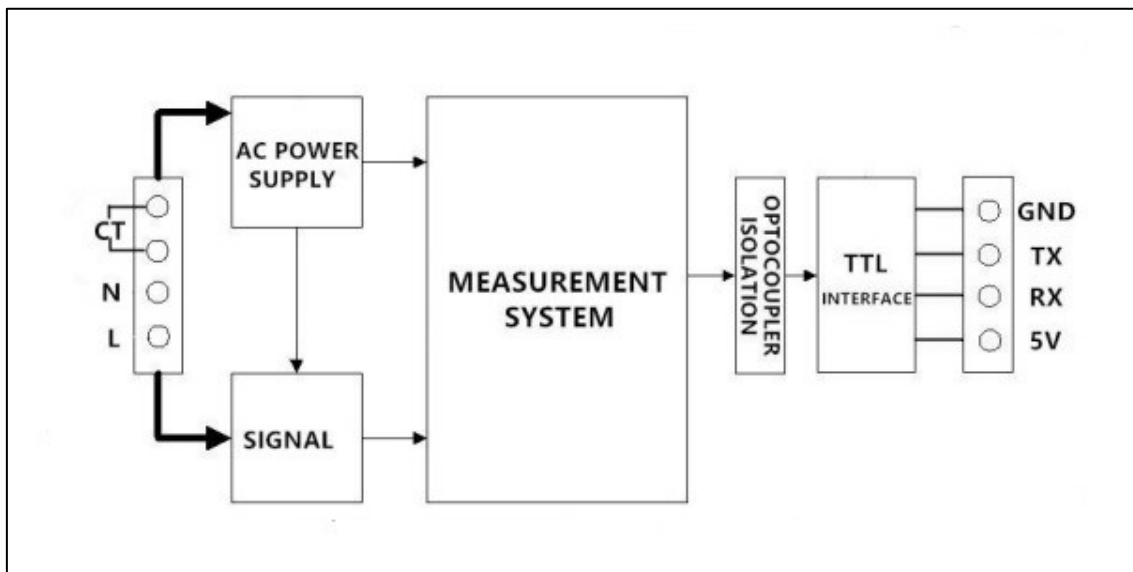
Figura 14 – Diagrama de comunicação via interface UART



Fonte: Site Robocore.net

O medidor de corrente não invasivo se conecta ao módulo medidor nas entradas N e L indicadas na figura 15.

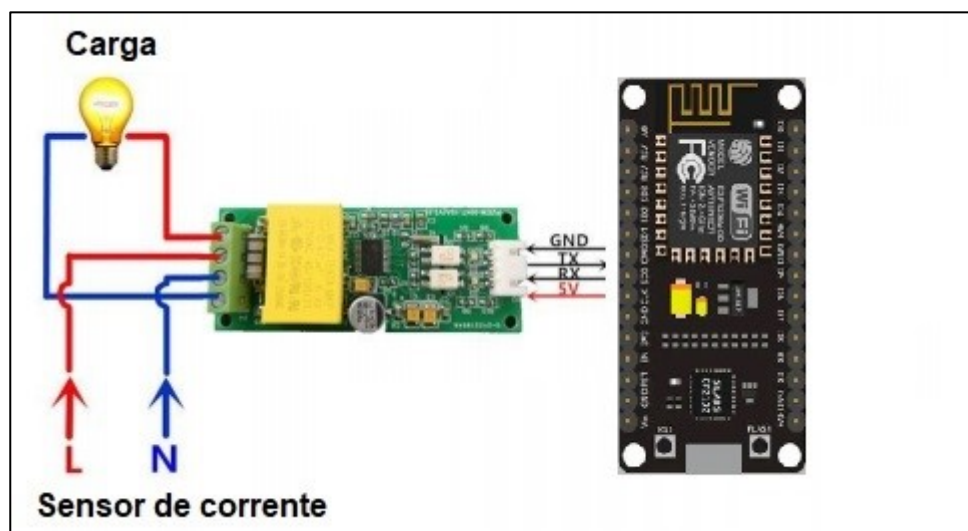
Figura 15 – Componentes do módulo medidor PZEM



Fonte: Manual do módulo PZEM-004t

O medidor de corrente não invasivo se conecta ao módulo medidor nas entradas N e L indicadas na figura 15.

Figura 16 – Diagrama de montagem do medidor conectado à internet



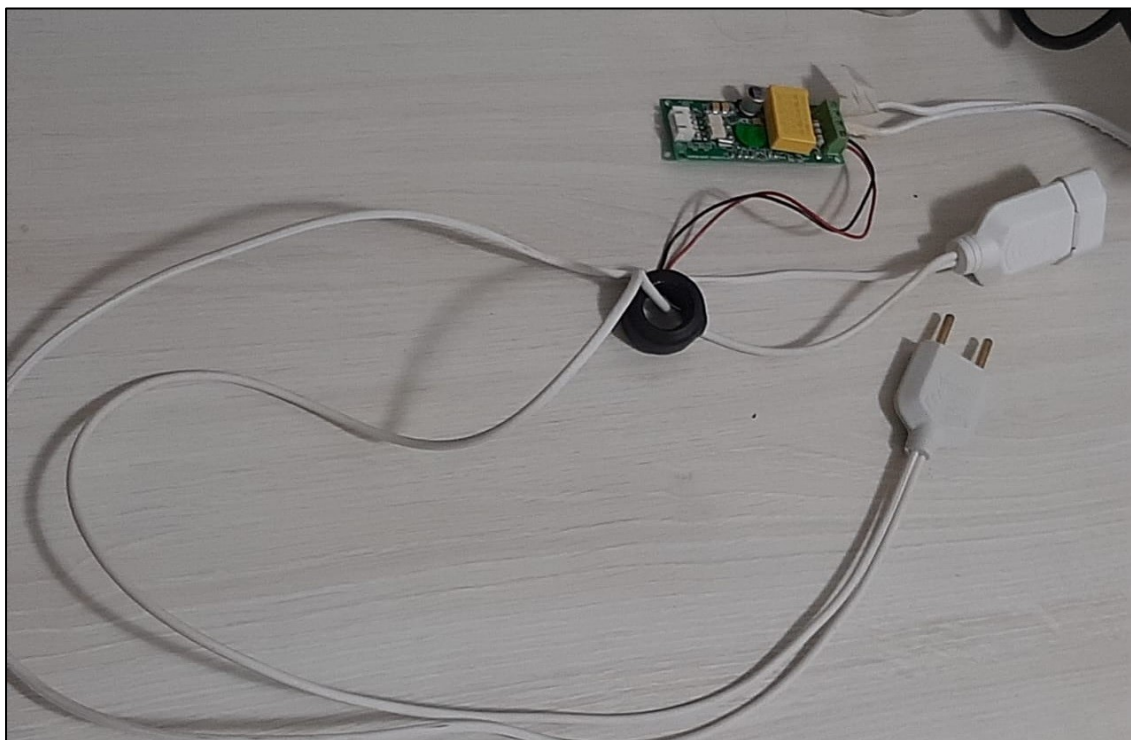
Fonte: Próprio (2020)

Para que o medidor de corrente não-invasivo possa realizar a medição, é necessário que ela envolva apenas a fase ou o neutro do cabo de energia do equipamento, caso contrário, a corrente induzida na bobina seria anulada. Para que isso seja possível sem modificar o equipamento ensaiado, foi utilizada uma



extensão caseira construída com um *plug* macho, um *plug* fêmea e um fio condutor de 30cm.

**Figura 17 – Extensão caseira para facilitar conexão do medidor**



Fonte: Próprio (2020)

### 3.2.3 Programação

Pode-se utilizar o IDE (*Integrated Development Environment*) utilizado para a programação na placa Arduino. Foram utilizadas bibliotecas externas específicas para o ESP8266, contendo métodos prontos para realizar as tarefas necessárias para esse projeto como conexão à rede *Wi-Fi*, lidar com requisições HTTP e formato JSON e, também, uma biblioteca com métodos específicos para o medidor PZEM-004t.

Explicando-se brevemente o algoritmo utilizado para o código do medidor, o primeiro passo é se conectar à internet para que as medições possam ser enviadas ao banco de dados. Em seguida, utiliza-se os métodos da biblioteca do PZEM para realizar as medições e salvá-las em uma variável. Depois, basta preparar as medições em um formato JSON que é compatível para envio e recebimento de dados via requisições HTTP e realizar uma requisição *POST* ao

servidor do banco de dados, para que os dados sejam processados e salvos no banco. O código do medidor pode ser encontrado no apêndice A.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ENSAIO DO REFRIGERADOR PANASONIC NR-BT40

Com o medidor e a plataforma *web* prontas, primeiramente foi necessário cadastrar o refrigerador na plataforma. O equipamento fica vinculado à conta conforme diagrama de casos de uso da Figura 8. A tela de cadastro de eletrodoméstico foi desenvolvida primeiramente com a possibilidade de cadastro somente de refrigeradores.

Figura 18 – Tela de cadastro de eletrodoméstico

A imagem mostra a interface de usuário para o cadastro de um eletrodoméstico. O formulário é intitulado "Cadastrar eletrodoméstico" e contém os seguintes campos:

- Tipo:** Um menu suspenso com "Refrigerador" selecionado.
- Modelo:** Um campo de texto com "NR-BT40" preenchido.
- Marca:** Um menu suspenso com "Panasonic" selecionado e destacado em amarelo.
- ATENÇÃO:** Um aviso em vermelho que diz: "As informações a seguir podem ser encontradas na ENCE do refrigerador."
- Categoria:** Um menu suspenso com as opções: "Somente refrigerador", "Combinado (refrigerador e congelador)", "Congelador/Freezer Vertical" e "Congelador/Freezer Horizontal".
- Classificação:** Um menu suspenso com o texto "Classificação do equipamento quanto a sua eficiência energética".

Fonte: Próprio (2020)

Foi então realizado o ensaio do refrigerador Panasonic NR-BT40. Durante um dia completo (24 horas) foram realizadas medições das grandezas elétricas do refrigerador a cada um minuto. Com esse ensaio, foi possível reproduzir o cálculo da classificação energética do equipamento.

Figura 19 – Montagem completa para realização do ensaio



Fonte: Próprio (2020)

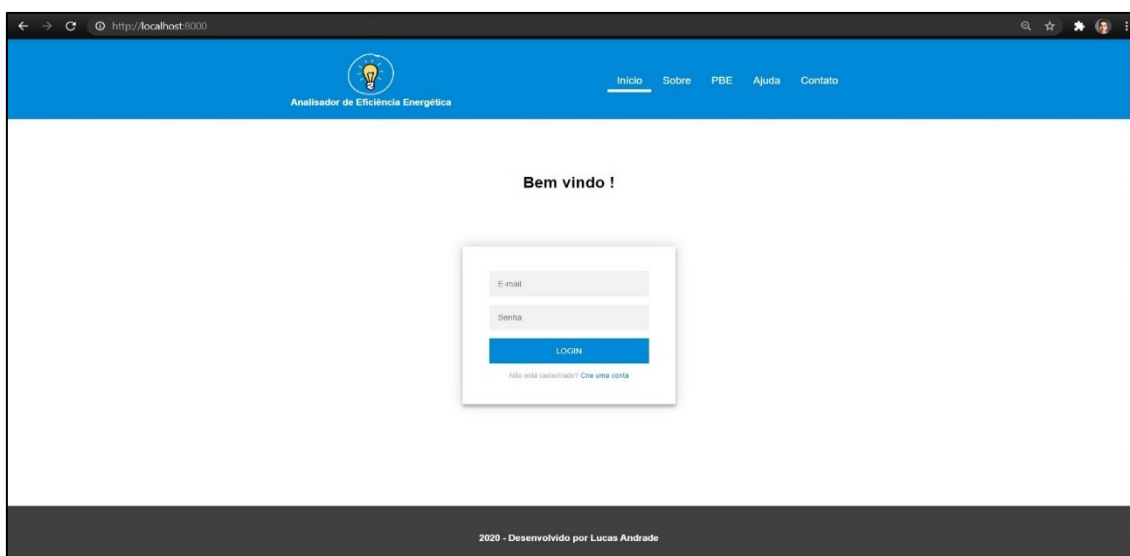
Dessa forma, foi possível observar o comportamento do equipamento durante o dia como seu funcionamento em ciclos de liga e desliga, descrito no capítulo 2.

Optou-se também por manter o computador ligado durante todo o ensaio, primeiramente para alimentar a placa NodeMCU e, também, para que houvesse um acompanhamento do ensaio durante todo o dia, checando se as medições estavam satisfatórias e sendo salvas no banco de dados.

## 4.2 TELAS DE ACESSO PÚBLICO

Quando se acessa o *site*, a tela exibida é a de autenticação, que se encontra na aba “Início”, mas esta não precisa ser a primeira ação do usuário. Também é possível navegar pelas demais abas sem estar autenticado, uma vez que elas têm um propósito apenas informativo. Na aba “Sobre”, o usuário ou visitante pode encontrar informações acerca da plataforma do “Analisador de Eficiência Energética”, como seu propósito e como ela funciona. A aba “PBE” apresenta uma introdução sobre o programa brasileiro de etiquetagem. Caso o usuário não ache a plataforma intuitiva, ele pode encontrar um manual de utilização e respostas para as perguntas mais frequentes na aba “Ajuda”. Por fim, na aba “Contato” foram disponibilizados meios de contato caso o usuário encontre algum problema ou *bug* durante a utilização da plataforma.

Figura 20 – Tela de autenticação da plataforma



Fonte: Próprio (2020)

### 4.3 TELAS DE ACESSO RESTRITO

Quando o usuário realizar a autenticação, o menu da barra de navegação muda, ficando conforme da figura 21.

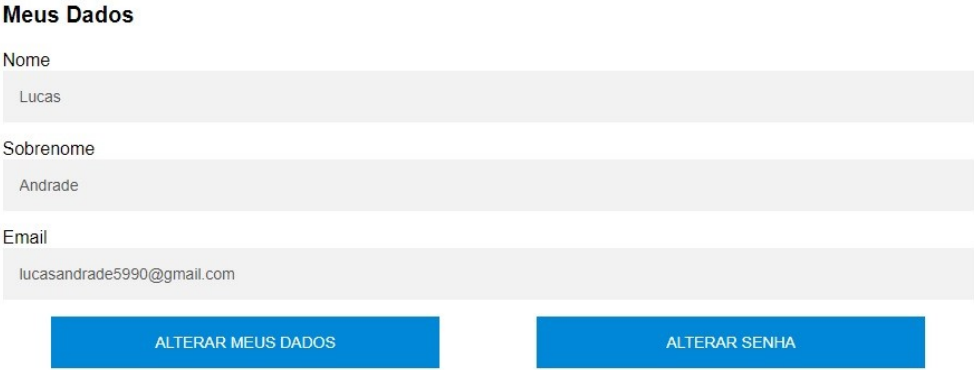
**Figura 21 – Menu de navegação para usuários autenticados**



Fonte: Próprio (2020)

É possível ver que duas novas opções foram adicionadas: “Painel” e “Sair”. Além disso, a tela “Início” agora não exibe mais os formulários de cadastro e autenticação, dando lugar a informações pertinentes do usuário. Também estarão disponíveis dois botões que ativam janelas modais, com formulários para alterar informações de cadastro. Se o usuário clicar na opção “Sair”, ele será redirecionado para a tela inicial.

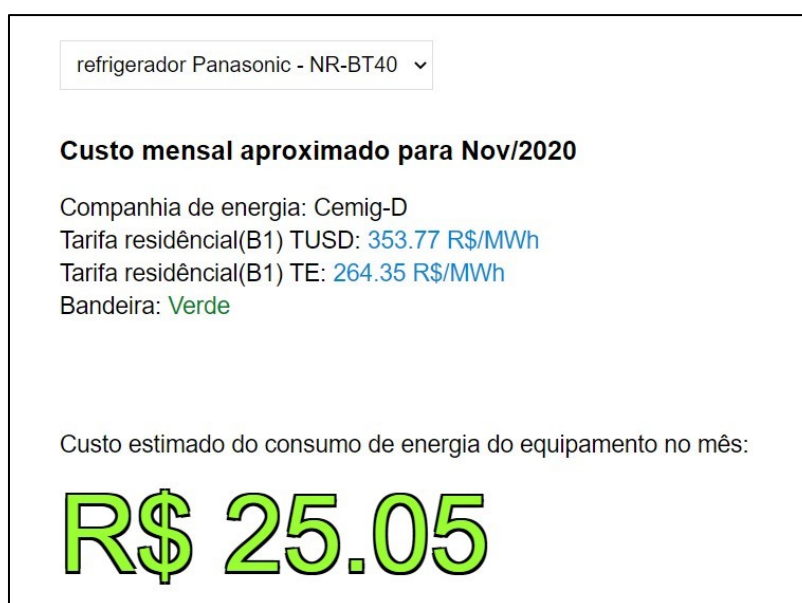
**Figura 22 – Dados do usuário da plataforma**

A imagem mostra um formulário de perfil de usuário. No topo, há o título "Meus Dados". Abaixo dele, há três campos de texto: "Nome" com o valor "Lucas", "Sobrenome" com o valor "Andrade" e "Email" com o valor "lucasandrade5990@gmail.com". Na base do formulário, há dois botões azuis: "ALTERAR MEUS DADOS" e "ALTERAR SENHA".

Fonte: Próprio (2020)

Já a opção “Painel” é talvez a aba mais importante de todo o projeto, pois é ela que implementa o caso de uso “Visualizar Painel”, onde serão exibidas todas as informações processadas pela plataforma. Assim que o painel é acessado, as primeiras informações exibidas são referentes à concessionária de energia do endereço cadastrado. São apresentadas as tarifas TE (Tarifa de Consumo de Energia) e TUSD (Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição) para a categoria residencial B1, bem como a bandeira tarifária do mês vigente. É importante ressaltar que este valor busca dar uma estimativa do consumo apenas do equipamento, e não leva em conta os impostos e encargos da fatura final.

**Figura 23 – Apresentação do custo mensal do eletrodoméstico**



Fonte: Próprio (2020)

O cálculo do custo estimado do consumo de energia do equipamento no mês é efetuado da seguinte forma:

$$Custo\ Estimado\ (R\$) = \left( \frac{Consumo_{médio}}{1000} \times TUSD \right) + \left( \frac{Consumo_{médio}}{1000} \times TE \right) \quad (4.1)$$

Onde TUSD é a tarifa de uso do sistema de distribuição, TE é a tarifa de energia e  $Consumo_{m\u00e9dio}$  é calculado pela plataforma utilizando a m\u00e9dia das medidas de pot\u00eancia (em Watts) do m\u00eas atual, conforme a seguir:

$$Consumo_{m\u00e9dio} (kWh/m\u00eas) = \frac{Pot\u00eancia_{m\u00e9dia} \times 24 \times 30}{1000} \quad (4.2)$$

Para conseguir o valor das tarifas e a bandeira de forma din\u00e2mica e mais atualizada poss\u00edvel, foi utilizada a API do Setor El\u00e9trico desenvolvida pela Way2 Tecnologia. A API \u00e9 paga, mas possui um plano gratuito com limite de requisi\u00e7\u00f5es.

Para consultar a bandeira tarif\u00e1ria com base na companhia de energia el\u00e9trica, basta fazer uma requisi\u00e7\u00e3o *GET* no *Endpoint* “/v1/bandeiras”, passando como par\u00e2metros na *Query String*:

**Tabela 6 – Par\u00e2metros para requisi\u00e7\u00e3o de Bandeira Tarif\u00e1ria na API da Way2**

Par\u00e2metro	Valor
api_key	Token de utiliza\u00e7\u00e3o da API fornecido pela Way2
datainicial	Data inicial do per\u00edodo que se deseja pesquisar. Formato: yyyy-mm-dd
datafinal	Data final do per\u00edodo que se deseja pesquisar. Formato: yyyy-mm-dd

Fonte: Manual de utiliza\u00e7\u00e3o da API do setor el\u00e9trico da Way2 Tecnologia

\u00c9 poss\u00edvel tamb\u00e9m consultar a tarifa de uso do sistema de distribui\u00e7\u00e3o TUSD e a tarifa de energia TE atrav\u00e9s do *Endpoint* “/v1/tarifas”, passando os seguintes par\u00e2metros pela *Query String*.

**Tabela 7 – Parâmetros para requisição de Tarifas na API da Way2**

Parâmetro	Valor
api_key	Token de utilização da API fornecido pela Way2
agente	Nome do agente/concessionária cuja tarifa será consultada
ano	Ano do reajuste tarifário. Formato yyyy

Fonte: Manual de utilização da API do setor elétrico da Way2 Tecnologia

**Figura 24 – Resposta da requisição para obter tarifas da CEMIG**

```

1:500
{agente: "CEMIG-D", validadesde: "2020-05-28T00:00:00.000Z", subgrup
o: "B1", modalidade: "CONVENCIONAL", acessante: "", ...}
  acessante: ""
  agente: "CEMIG-D"
  classe: "RESIDENCIAL"
  modalidade: "CONVENCIONAL"
  posto: "NA"
  subclasse: "RESIDENCIAL"
  subgrupo: "B1"
  tarifaconsumote: "264.35"
  tarifaconsumotusd: "353.77"
  tarifademandatusd: "0"
  validadesde: "2020-05-28T00:00:00.000Z"
  __proto__: Object

```

Fonte: Próprio (2020)

É possível visualizar a classificação quanto a eficiência energética atualizada do aparelho, seguindo o mesmo cálculo apresentado no documento “Regulamento específico para uso da etiqueta nacional de conservação de energia – Linha de refrigeradores e assemelhados (congeladores, combinados e conservadores)”. É importante salientar que se trata de um cálculo aproximado, mas útil para se obter uma boa representação visual da eficiência energética do aparelho.

Utilizando o método de cálculo do índice de eficiência energética que foi apresentado no capítulo 2 para a geladeira Panasonic NR-BT40, temos um Volume Ajustado:



$$AV = Vr + \sum (f.Vc) = 292 + (1,85 \times 95) = 467,75$$

Onde o valor de  $f$  pode ser encontrado através da tabela 3. Para este caso, o equipamento possui apenas um compartimento refrigerador sendo ele 3 estrelas. Calcula-se agora o Consumo Padrão:

$$C_p = a.AV + b = (0,1059 \times 467,75) + 7,4862 = 57,0209$$

Os valores das constantes “a” e “b” podem ser encontrados na tabela 2. Para este caso, o equipamento se trata de um combinado *Frost-Free*. Para calcular o índice de eficiência energética, podemos utilizar a fórmula:

$$IEE = \frac{C}{C_p} \quad (4.3)$$

O Consumo declarado  $C$ , será calculado com base nas medições realizadas durante o ensaio. Para isso foi calculada a potência média de todas as medições realizadas durante o dia do ensaio (em kW) e, em seguida, multiplicado por 24 e por 30 (pois a geladeira fica ligada a rede elétrica 24 horas por dia durante os 30 dias do mês). A figura a seguir mostra o código Python utilizado para o cálculo.

**Figura 25 – Método da plataforma web que calcula o consumo declarado**

```
# 3 - Calcular o consumo declarado (C)
measures_queryset = Measure.objects.filter(household_appliance=household_appliance.pk)
power_sum = 0
for measure in measures_queryset:
    power_sum += measure.active_power
mean_power = power_sum/measures_queryset.count()
C = (mean_power*24*30)/1000
print("C :", C)
```

Fonte: Próprio (2020)

Pode-se ver o resultado no *console* através da função *print()* do Python:

**Figura 26 – Resultado do cálculo do consumo padrão exibido no *console***

C : 40.52959006211180124223602486

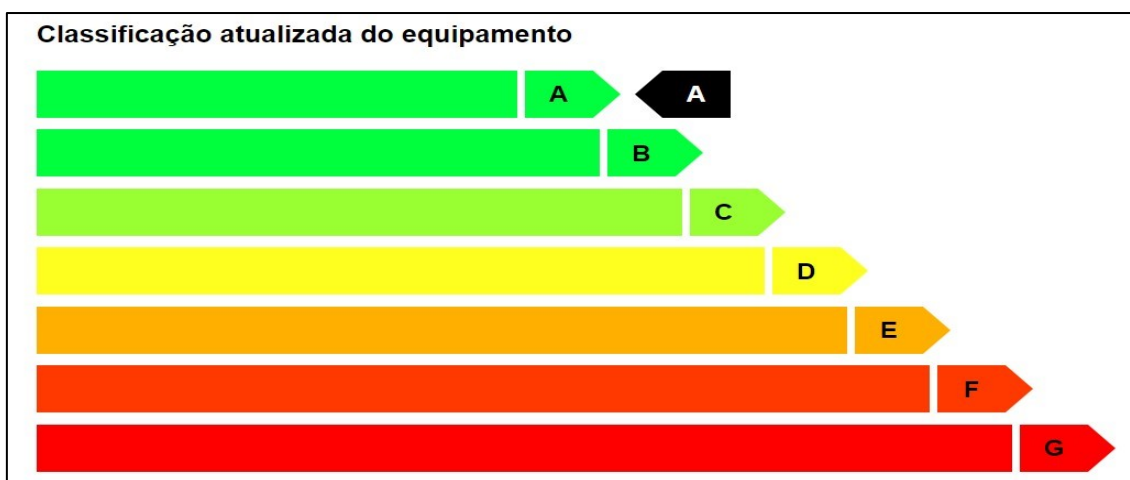
Fonte: Próprio (2020)

Pode-se então finalmente calcular o índice de eficiência energética do equipamento ensaiado:

$$IEE = \frac{C}{C_p} = \frac{40,5296}{57,0209} = 0,7108$$

Esse índice é menor que o limite mínimo de 0,869 e, portanto, o equipamento pode ser considerado classificação A. O painel exibe a classificação do equipamento calculada pela plataforma conforme a figura a seguir:

**Figura 27 – Etiqueta de eficiência energética fornecida pela plataforma**

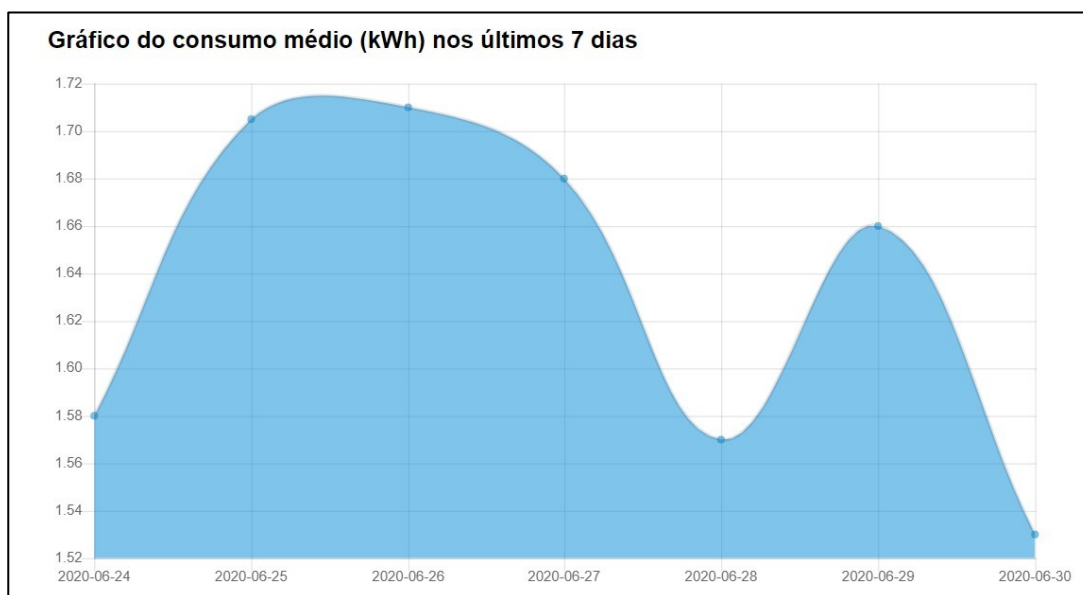


Fonte: Próprio (2020)

Outra informação apresentada no painel é o gráfico do consumo energético do equipamento nos últimos 7 dias. Como o ensaio foi realizado durante apenas um dia, o gráfico apresentaria o consumo energético apenas para o dia do ensaio. Para fins de ilustração, foram alteradas as datas de algumas medições em um período de sete dias. O gráfico como apresentado na Figura 28 mostra o consumo diário calculado como a média de todas as medições de energia

realizadas no dia em questão. Com esse tipo de gráfico é possível identificar problemas caso haja variações muito bruscas.

**Figura 28 – Gráfico do consumo médio da última semana**



Fonte: Próprio (2020)

Também é exibida uma tabela com todas as medições realizadas para o equipamento em questão. Utilizando a biblioteca “*DatatablesJS*” foi possível fazer a paginação de forma fácil e que não sobrecarregue a página em caso de grande quantidade de dados. Com esta tabela, pode-se visualizar a data e hora em que cada medição foi realizada e, também, ver todos os parâmetros medidos pelo medidor: tensão, corrente, potência ativa, fator de potência, frequência e energia. Essa tabela se faz útil para verificar possíveis anomalias no medidor. O espaçamento de tempo entre as medições foi escolhido de forma a conseguir captar os ciclos de liga e desliga do compressor, olhando por exemplo a potência ativa medida, que fica próxima de zero quando o compressor está desligado.

**Figura 29 – Tabela com todas as medições realizadas para o equipamento**

**Medições realizadas**

Show 10 rows ▾ Pesquisar

Tensão	Corrente	Potência Ativa	Fator de Potência	Frequência	Energia	Data
217.80	1.00	135.60	0.63	60.00	0.70	2020/11/02 21:51:14
217.00	0.94	118.20	0.58	60.00	0.71	2020/11/02 21:52:14
217.80	0.95	119.60	0.58	60.00	0.71	2020/11/02 21:53:14
217.70	0.95	119.70	0.58	60.00	0.71	2020/11/02 21:54:14
217.50	0.95	119.30	0.58	59.90	0.71	2020/11/02 21:55:15
218.40	0.95	119.00	0.57	60.00	0.72	2020/11/02 21:56:15
217.80	0.95	118.30	0.57	59.90	0.72	2020/11/02 21:57:15
217.40	0.95	117.90	0.57	60.00	0.72	2020/11/02 21:58:15
217.30	0.95	117.40	0.57	59.90	0.72	2020/11/02 21:59:15
219.00	0.95	117.50	0.56	59.90	0.72	2020/11/02 22:00:16
Tensão	Corrente	Potência Ativa	Fator de Potência	Frequência	Energia	Data

Mostrando de 41 até 50 de 1.449 registros

1 ... 4 5 6 ... 145

Fonte: Próprio (2020)

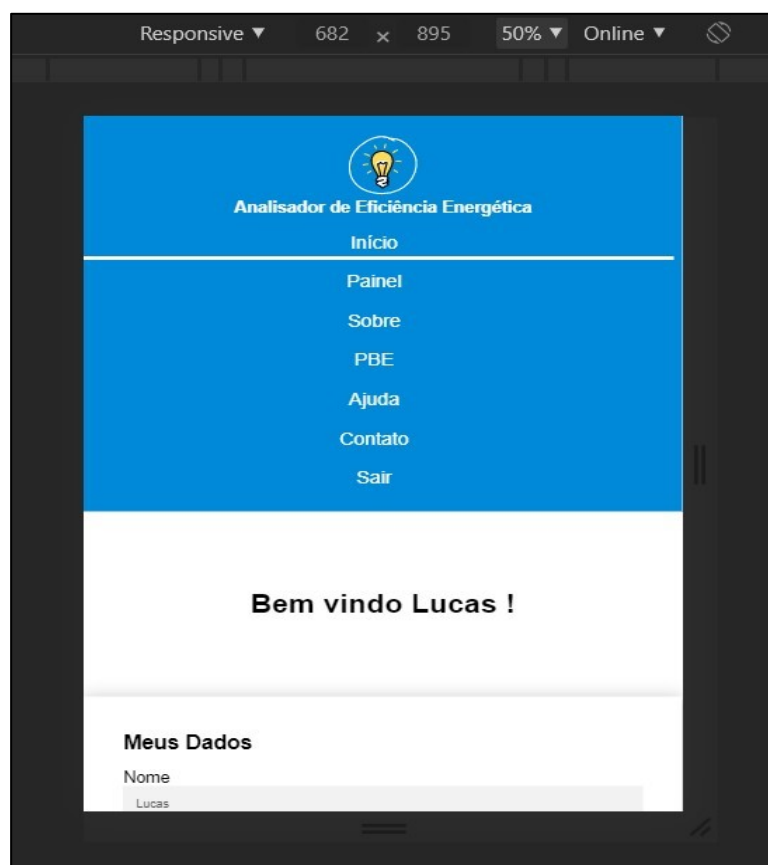
As demais opções da barra de navegação continuam a exibir o mesmo conteúdo que apresentam para usuários não autenticados.

#### 4.4 RESPONSIVO

Os dispositivos móveis estão cada vez mais poderosos e acabam sendo o meio preferido para navegação na internet de várias pessoas. Por este motivo é importante adaptar sites ou plataformas *web* para serem exibidas de forma correta e legível nestes dispositivos. Duas possíveis soluções foram

consideradas para este problema, sendo a primeira seria a criação de um aplicativo nativo que se comunique com a mesma base de dados da aplicação *web*, mas esta opção seria trabalhosa demais para um protótipo simples. Por isso, a solução escolhida foi utilizar *media queries* do CSS3 para adaptar o *layout* para telas de diferentes larguras. Dessa forma, a mesma plataforma é acessada pelos navegadores em dispositivos móveis apenas sendo apresentada diferente, como por exemplo, o menu que passa a ser vertical para aproveitar melhor o espaço disponível.

**Figura 30 – Tela inicial da plataforma quando acessada por dispositivo móvel**



Fonte: Próprio (2020)

## 5 CONCLUSÕES

Como já discutido anteriormente, o projeto possui bastante espaço para melhorias a começar pela plataforma *web*, abordando outros tipos de eletrodomésticos implementando a lógica correta para classificação quanto a sua eficiência. Uma vez que o projeto já está com o MVP (*Minimum Viable Product*) pronto, não é uma tarefa tão difícil implementar novas funcionalidades no sistema, existe inclusive a possibilidade de reaproveitamento de código. Também pode-se discutir a utilização de um banco não relacional para aproveitar sua melhor performance e alta escalabilidade, já que como apresentado no modelo, trata-se de um banco simples com poucas tabelas e que não utiliza muitos relacionamentos complexos. Ainda com relação à plataforma *web*, poderia ser pensado também em um aplicativo para dispositivo móvel, tendo em vista o constante crescimento do uso desse tipo de aparelho.

Quanto ao medidor, por não ter sido o foco principal do projeto, foi construído da forma mais simples possível de maneira que se pudesse realizar as medidas e enviá-las para o servidor do banco de dados. Para uma versão final, poderia ser utilizado o protocolo MQTT (*MQ Telemetry Transport*) em substituição ao HTTP, pois ele oferece maior suporte para situações onde é necessário fazer várias requisições em um curto período de tempo e, também, lida melhor com conexões de internet ruins e lentas. Além disso, seria interessante acoplar o NodeMCU e o medidor PZEM em uma “caixa preta”, soldando as conexões necessárias para que as mesmas não fiquem expostas.

Os resultados do ensaio da geladeira Panasonic NR-BT40 foram satisfatórios. Por se tratar de um equipamento com poucos anos de uso, era de se esperar que sua classificação com relação à sua eficiência energética continuaria A, conforme a etiqueta. Para um resultado ainda mais preciso, poderia ter sido utilizado um medidor de energia melhor que o PZEM-004t, mas apesar de ser a opção mais barata encontrada, as medições realizadas por ele foram boas o suficiente para realizar as análises na plataforma. Outra forma de se obter dados ainda melhores para análise seria estender o tempo de medição de um dia para todo o mês

## 6 REFERÊNCIAS

- [1] ANEEL, Programa de Eficiência Energética. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica>>. Acesso em: 05 mai. 2020.
- [2] DJANGO SOFTWARE FOUNDATION, Django Documentation. Disponível em: <<https://docs.djangoproject.com/en/3.1/>>. Acesso em: 20 jun. 2020.
- [3] INMETRO, Regulamento específico para utilização da etiqueta de eficiência energética em refrigeradores, 2005. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pdf/resp001.pdf>>. Acesso em: 17 dez. 2019.
- [4] INNOVATORS GURU, PZEM-004T-V3.0 User Manual. Disponível em: <<https://innovatorsguru.com/wp-content/uploads/2019/06/PZEM-004T-V3.0-Datasheet-User-Manual.pdf>>. Acesso em: 07 jul. 2020.
- [5] MANDULAJ, Repositório da biblioteca PZEM-004T-v3. Disponível em: <<https://github.com/mandulaj/PZEM-004T-v30>>. Acesso em: 07 jul. 2020.
- [6] O SETOR ELÉTRICO, Projeto de residência com melhor aproveitamento energético. Disponível em: <<https://www.osetoelettrico.com.br/projeto-de-residencia-com-melhor-aproveitamento-energetico/>>. Acesso em: 05 mai. 2020.
- [7] PANASONIC, Manual da família de refrigeradores NR-BT40. Disponível em: <<https://www.panasonic.com/br/consumidor/eletrodomesticos/refrigeradores/nr-bt40bd1w.html>>. Acesso em 17 dez. 2019.
- [8] ROBOCORE, Comparação entre Protocolos de Comunicação Serial. Disponível em: <<https://www.robocore.net/tutoriais/comparacao-entre-protocolos-de-comunicacao-serial.html>>. Acesso em 13 jul. 2020
- [9] SALVADOR, Emerson. Eficiência Energética em Refrigeradores. Disponível em: <<https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/831>>. Acessado em 06 mai. 2020.
- [10] WAY2, API do Setor Elétrico. Disponível em: <<https://www.way2.com.br/especiais/api-setor-eletrico/>>. Acesso em 26 out. 2020.

## APÊNDICE A – Código do medidor no NodeMCU ESP8266

```

#include <PZEM004Tv30.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>
#include <ArduinoJson.h>

PZEM004Tv30 pzem(5, 4);
const char* SSID = "network "; // rede wifi
const char* PASSWORD = "password"; // senha da rede wifi
int household_id = 1;
int user_id = 1;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  initWiFi();
}

void loop() {
  float voltage = pzem.voltage();
  if( !isnan(voltage) ){
    Serial.print("Voltage: "); Serial.print(voltage);
Serial.println("V");
  } else {
    Serial.println("Error reading voltage");
  }

  float current = pzem.current();
  if( !isnan(current) ){
    Serial.print("Current: "); Serial.print(current);
Serial.println("A");
  } else {
    Serial.println("Error reading current");
  }

  float power = pzem.power();
  if( !isnan(power) ){
    Serial.print("Power: "); Serial.print(power);
Serial.println("W");
  } else {
    Serial.println("Error reading power");
  }

  float energy = pzem.energy();
  if( !isnan(energy) ){
    Serial.print("Energy: "); Serial.print(energy, 3);
Serial.println("kWh");
  } else {
    Serial.println("Error reading energy");
  }

  float frequency = pzem.frequency();
  if( !isnan(frequency) ){

```



```

        Serial.print("Frequency: "); Serial.print(frequency, 1);
Serial.println("Hz");
    } else {
        Serial.println("Error reading frequency");
    }

    float pf = pzem.pf();
    if( !isnan(pf) ){
        Serial.print("PF: "); Serial.println(pf);
    } else {
        Serial.println("Error reading power factor");
    }

    Serial.println(WiFi.localIP());

    // REQUISIÇÃO WEB

    HTTPClient http;
    http.begin("http://192.168.100.84:5000/measures_api/");
    http.addHeader("Content-Type", "text/plain");

    StaticJsonDocument<200> doc;
    doc["user"] = user_id;
    doc["household"] = household_id;
    doc["voltage"] = voltage;
    doc["current"] = current;
    doc["power"] = power;
    doc["frequency"] = frequency;
    doc["energy"] = energy;
    doc["pf"] = pf;
    String json;
    serializeJson(doc, json);
    int httpCode = http.POST(json);
    String payload = http.getString();
    Serial.println(httpCode);
    Serial.println(payload);
    http.end();
    Serial.println();
    delay(60000);
}

void initWiFi() {
    delay(10);
    Serial.println("Conectando-se em: " + String(SSID));

    WiFi.begin(SSID, PASSWORD);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(100);
        Serial.print(".");
    }
    Serial.println();
    Serial.print("Conectado na Rede " + String(SSID) + " | IP => ");
    Serial.println(WiFi.localIP());
    delay(5000);
}

```

## APÊNDICE B – Código da plataforma para cálculo da nova classificação quanto à eficiência energética

```

def get_new_classification (household_appliance):

    # 1 - Calcular volume ajustado: AV = Vr + Somatoria(f*Vc)
    f = 0.0
    if household_appliance.freezer_stars == 1:
        f = 1.41
    if household_appliance.freezer_stars == 2:
        f = 1.63
    if household_appliance.freezer_stars == 3:
        f = 1.85
    Vr = household_appliance.refrigerator_volume
    Vc = household_appliance.freezer_volume
    AV = Vr + (f*Vc)

    # 2 - Calcular consumo padrão: Cp = a*AV + b
    if household_appliance.category == "Refrigerador":
        a = 0.0346
        b = 19.117
    if household_appliance.category == "Combinado" and
household_appliance.is_frost_free is False:
        a = 0.0916
        b = 17.083
    if household_appliance.category == "Combinado" and
household_appliance.is_frost_free is True:
        a = 0.1059
        b = 7.4862
    if household_appliance.category == "Congelador Vertical" and
household_appliance.is_frost_free is False:
        a = 0.0211
        b = 39.228
    if household_appliance.category == "Congelador Vertical" and
household_appliance.is_frost_free is True:
        a = 0.0178
        b = 58.712
    if household_appliance.category == "Congelador Horizontal":
        a = 0.0758
        b = 13.095
    Cp = (a*AV) + b

    # 3 - Calcular o consumo declarado (C)
    measures_queryset =
Measure.objects.filter(household_appliance=household_appliance.pk)
    power_sum = 0
    for measure in measures_queryset:
        power_sum += measure.active_power
    mean_power = power_sum/measures_queryset.count()
    C = (mean_power*24*30)/1000
    print("C :", C)

    # 4 - Calcular índicepytho de eficiência energética: IEE = C/Cp

```

```
IEE = float(C)/float(Cp)
print(IEE)

# 5 - Definir classificação

if IEE < 0.869:
    return 'A'
if IEE < 0.949:
    return 'B'
if IEE < 1.020:
    return 'C'
if IEE < 1.097:
    return 'D'
if IEE < 1.179:
    return 'E'
if IEE < 1.267:
    return 'F'
else:
    return 'G'
```