

ANÁLISE DO CONSUMO ENERGÉTICO DE REFRIGERADORES

Aluno: Elvis Fernandes

Orientador: Mauro Tavares Peraça, Dr. Eng.

Coorientador: Clóvis Antônio Petry, Dr. Eng.

Florianópolis, 2025

SUMÁRIO

1) Introdução

1.1) Problema de Pesquisa

1.2) Justificativa

1.3) Objetivos

1.3.1) Objetivo Geral

1.3.2) Objetivos Específicos

2) Desenvolvimento

3) Metodologia

4) Análise e Discussão dos Resultados

5) Conclusão

1) INTRODUÇÃO

1.1) Problema de Pesquisa

Evitar o desperdício de energia em refrigeradores e preservar os recursos energéticos.

1) INTRODUÇÃO

1.2) Justificativa

Em geral, os refrigeradores não possuem um sistema de monitoramento capaz de medir o consumo de energia, a temperatura, e a abertura de portas e que faça conexão com computador e com *smartphone* para analisar os dados a fim de avaliar o seu desempenho energético.

1) INTRODUÇÃO

1.3) Objetivos

1.3.1) Objetivo Geral

O objetivo geral deste projeto é desenvolver um sistema de monitoramento energético para refrigeradores, com capacidade de medição de energia e temperatura.

1) INTRODUÇÃO

1.3.2) Objetivos Específicos

- a) medir o consumo energético do refrigerador;
- b) analisar o consumo ao longo do tempo para detectar **tendências e padrões**, a fim de detectar **anomalias** ou **necessidades de otimização**;
- c) medir a temperatura interna do refrigerador e a temperatura ambiente;

1) INTRODUÇÃO

1.3.2) Objetivos Específicos

- d) analisar ao longo do tempo se a temperatura do refrigerador está dentro dos parâmetros aceitáveis e se ela influencia no consumo de energia;
- e) enviar os dados do consumo energético e da temperatura para um aplicativo de celular;
- f) desenvolver um *software* que receba os dados de medição, configure parâmetros e faça alertas.

1) INTRODUÇÃO

Fatores que podem afetar o desempenho do consumo energético de refrigeradores:

- ☐ Temperatura(interna e ambiente);
- ☐ Quantidade de abertura de portas;
- ☐ Estado de conservação.
- A maioria dos refrigeradores não possui um sistema de monitoramento que possibilite acompanhar o consumo energético e isso **dificulta a identificação de desperdícios e a implementação de estratégias de economia de energia.**

1) INTRODUÇÃO

Parâmetros coletados e processados para poder calcular o **consumo energético** e fazer uma **estimativa do custo**:

- **Sensor de Energia** (Tensão, Corrente, Potência Ativa, Frequência e Fator de Potência);
- **Sensores de Temperatura** (Interna e Ambiente);
- **Sensor de Porta**;
- **Comunicação** (*Bluetooth* e USB);
- **Microcontrolador**

1) INTRODUÇÃO

- É levado em consideração durante os testes a precisão e a eficiência do protótipo, visando **validar a proposta** bem como sugerir **melhorias futuras**.
- Este estudo visa evitar o desperdício de energia em refrigeradores e preservar os recursos energéticos, bem como melhorar o **gerenciamento de energia** e a tomada de **decisões sustentáveis**.

2) DESENVOLVIMENTO

Revisão bibliográfica

- corrente elétrica;
- corrente alternada (CA);
- tensão ou diferença de potencial;
- potência;
- energia;
- senóide;
- função periódica;
- defasagem;

2) DESENVOLVIMENTO

Revisão bibliográfica

- ☐ fasores;
- ☐ potência média;
- ☐ valor RMS ou eficaz;
- ☐ potência aparente;
- ☐ fator de potência;
- ☐ potência complexa;
- ☐ medição de potência;
- ☐ o custo do consumo de energia elétrica;
- ☐ interface SPI.

3) METODOLOGIA

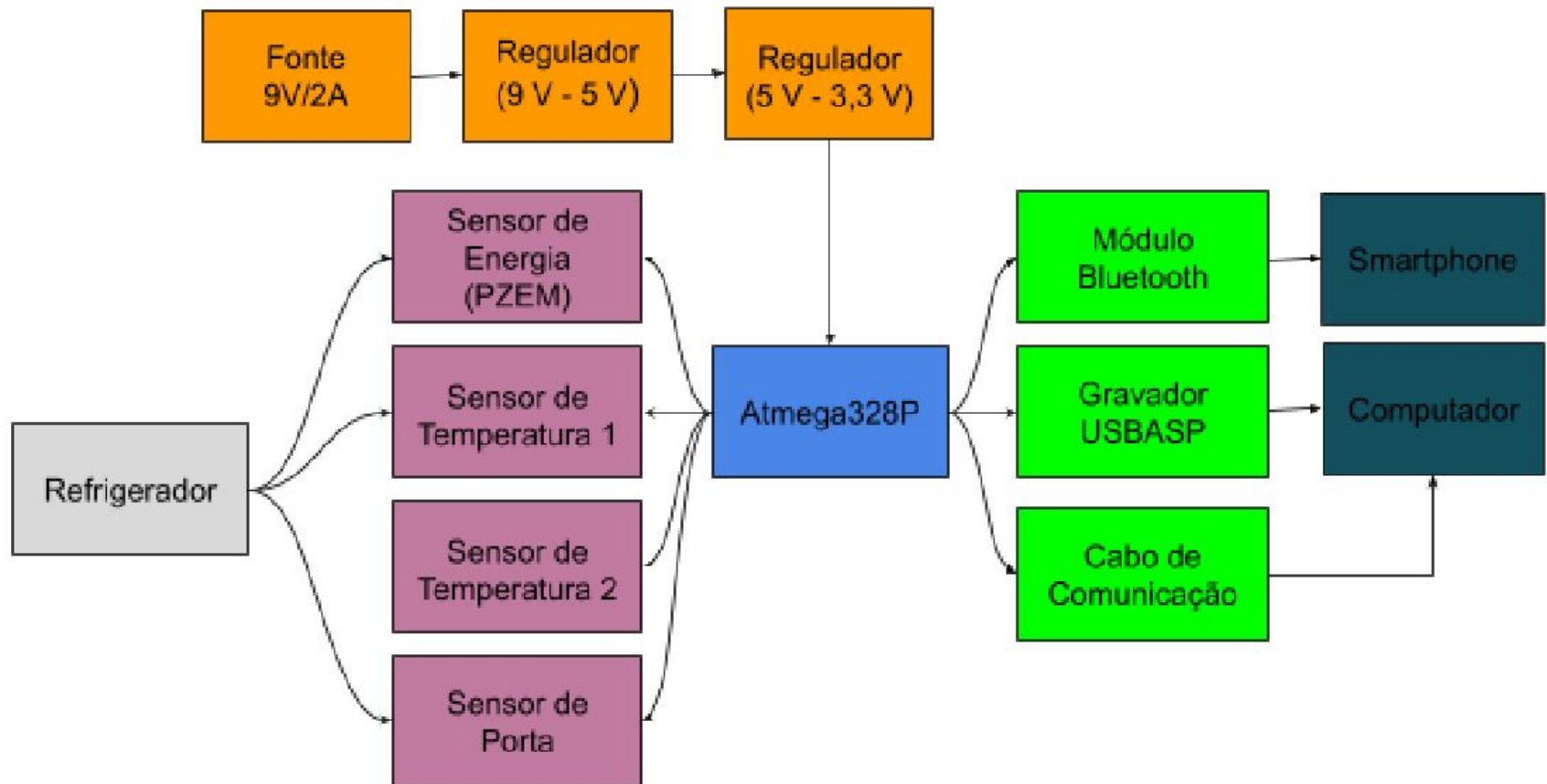
- 1) Revisão bibliográfica e análise os parâmetros e as diretrizes referentes ao projeto;
- 2) Escolher e montar os componentes;
- 3) Gravar o *firmware* (*arduino UNO*);
- 4) Testes unitários (*arduino UNO*);
- 5) Teste de integração (*arduino UNO*);
- 6) Validar os objetivos específicos de cada componente(*arduino UNO*);
- 7) Montagem do *hardware* em uma *PCB* em forma de um protótipo;

3) METODOLOGIA

- 8) Gravar o *firmware* (*PCB*);
- 9) Testes unitários (*PCB*);
- 10) Teste de integração (*PCB*);
- 11) Validar os objetivos específicos de cada componente(*PCB*);
- 12) Coletar os dados via *smartphone* e *PC*;
- 13) Registrar os dados;
- 14) Calcular a energia consumida e o custo.

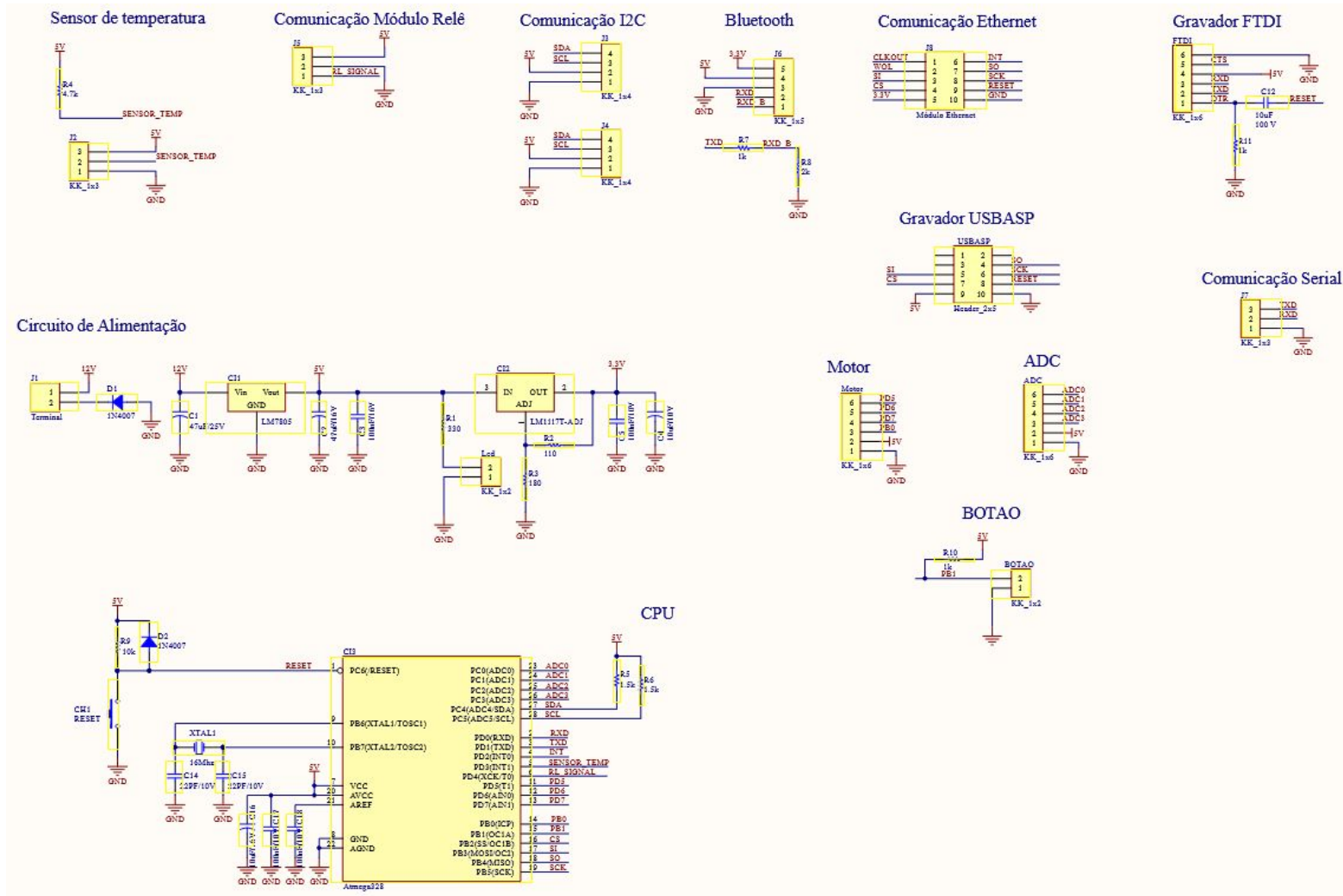
3) METODOLOGIA

PCB - DIAGRAMA DE BLOCOS



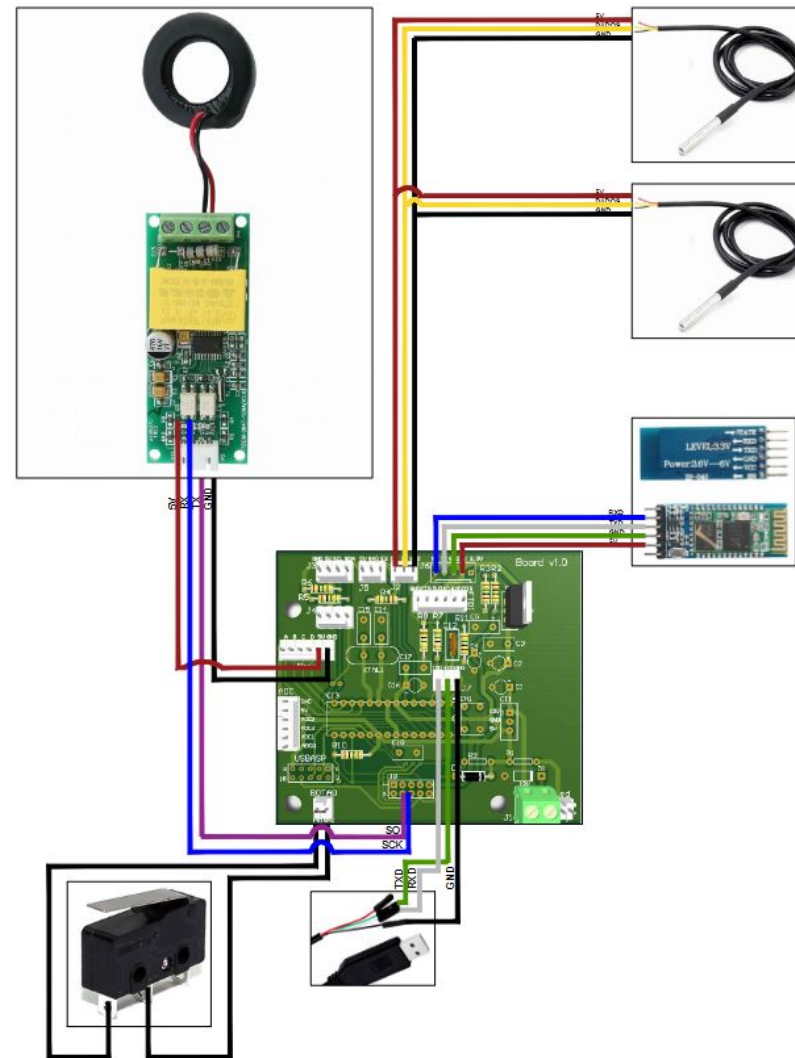
3) METODOLOGIA

PCB - ESQUEMÁTICO



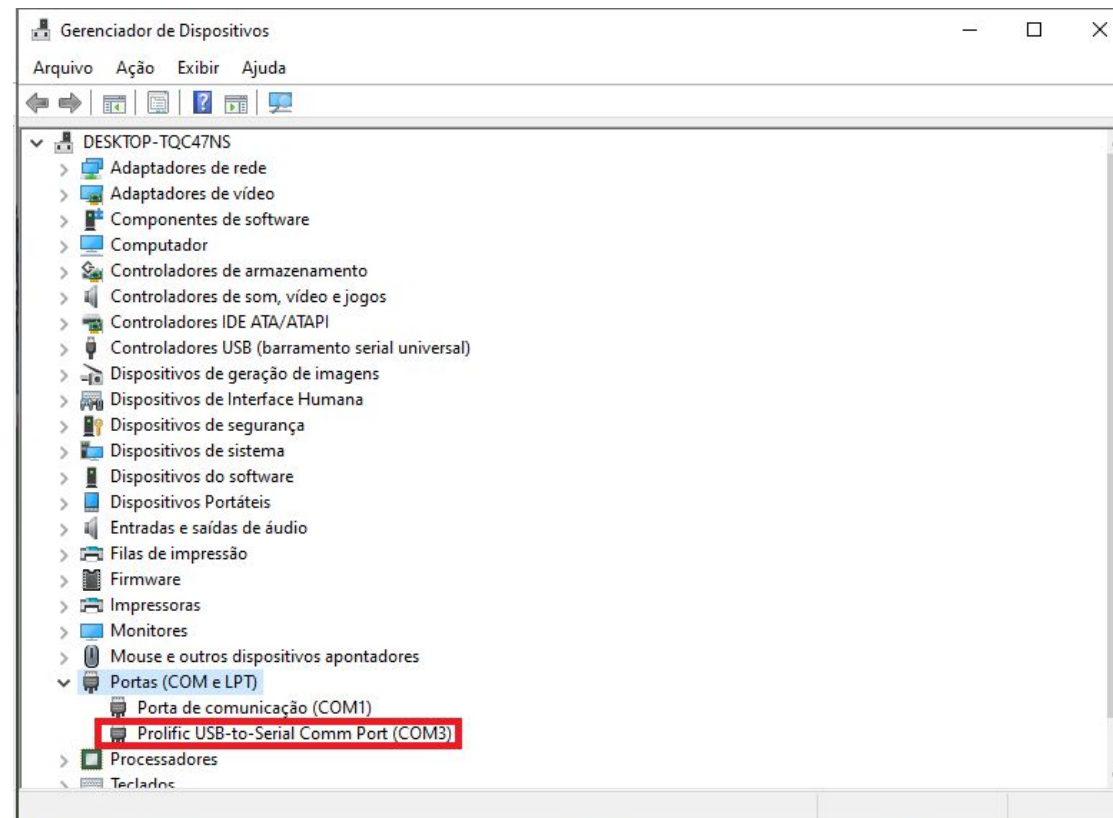
4) ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Integração dos componentes na PCB



4) ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Teste de Comunicação entre PCB e Software



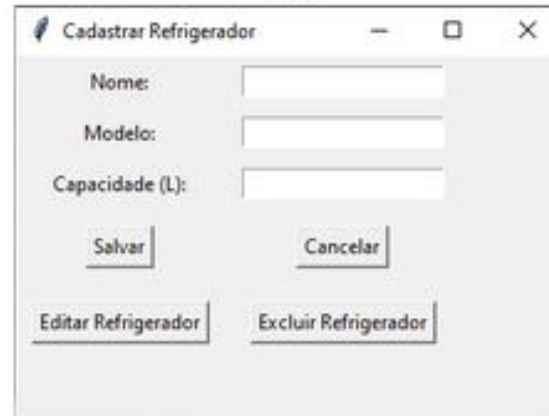
4) ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.2 Teste de Cadastro de Refrigerador

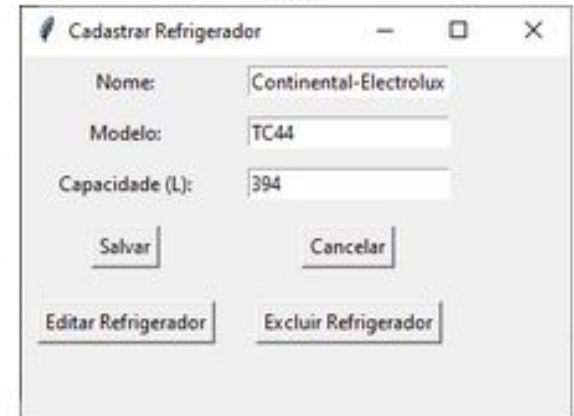
(a)



(b)

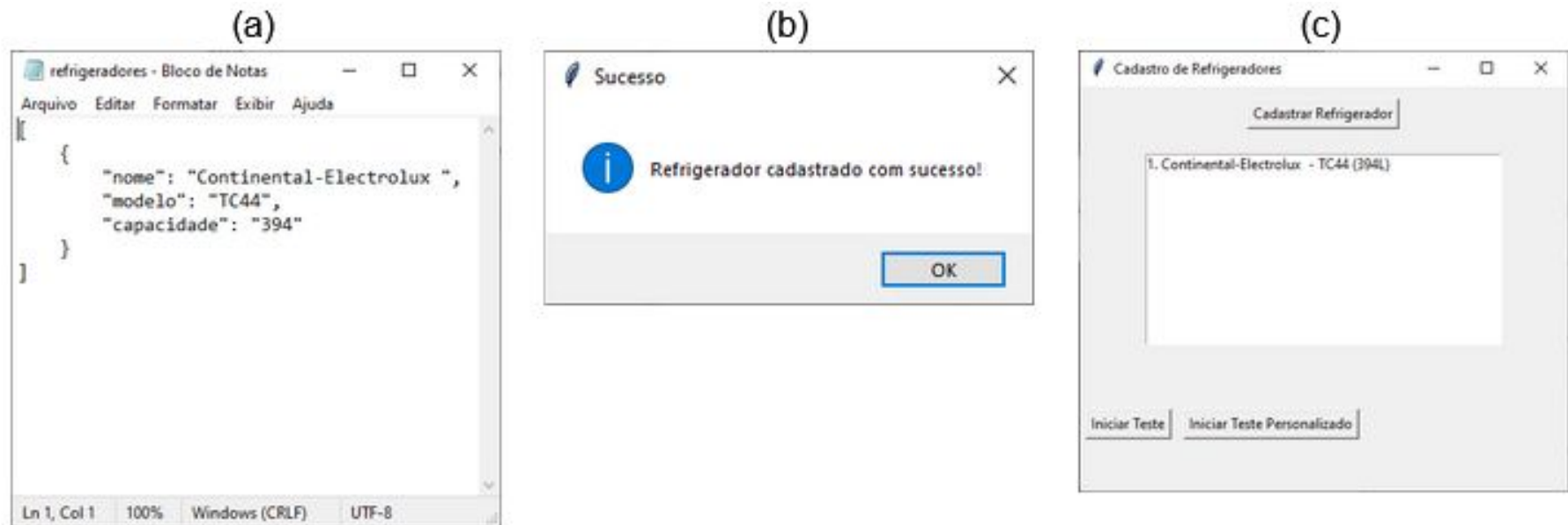


(c)



4) ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.2 Teste de Cadastro de Refrigerador



4) ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.3 Teste de Refrigerador Cadastrado

Analizador de Consumo Energético de Refrigeradores

Item testado: 1. electrolux-continental - TC44

Atualizar Variáveis

Tempo Decorrido: 0:00:08 | Iniciado em: 31-03-2025 20:44:11

Pausado em: N/A
Continuado em: N/A
Finalizado em: N/A
Dia Programado: N/A
Horário de Início: N/A
Horário de Fim: N/A
Tempo Restante: N/A

Continuar Teste
Pausar Teste
Finalizar Teste

Alerta: Consumo abaixo da média! 31-03-2025 20:44:11
Alerta: Temperatura do Sensor 1 acima da média! 31-03-2025 20:44:11
Alerta: Temperatura do Sensor 2 acima da média! 31-03-2025 20:44:12
Alerta: Porta aberta! 31-03-2025 20:44:11

Média Temperatura: 28.56 °C	Tarifa Energia (R\$/kWh):	0.8
Média Temperatura2: 29.40 °C	Potência Nominal (W):	218.0
Média Tensão: 229.68 V	Tensão Nominal (V):	220.0
Média Corrente: 0.10 A	Consumo Mensal Nominal (kWh):	55.3
Média Potência: 22.02 W	Limite Inferior do Consumo Mensal Nominal(kWh):	52.0
Média Potência Aparente: 21.89 VA	Limite Superior do Consumo Mensal Nominal (kWh):	57.0
Média Potência Reativa: 1.07 Var	Limite Inferior Sensor Temperatura 1 (°C):	25.0
Consumo Mensal Estimado: 15.85 kWh	Limite Superior Sensor Temperatura 1 (°C):	27.0
Diferença Absoluta do Consumo: 39.45 kWh	Limite Inferior Sensor Temperatura 2 (°C):	25.0
Porcentagem Relativa do Consumo: 71.33 %	Limite Superior Sensor Temperatura 2 (°C):	27.0
Custo Mensal Estimado: R\$ 12.68		
Energia: 0.000059 kWh		
Custo Total: R\$ 0.00004691		

Current: 0.0997 A
Power: 22.9000 W
Frequency: 59.9 Hz
PF: 0.55
SensorPorta: 1
Temperatura: 28.56 °C
Temperatura2: 29.44 °C
Voltage: 229.60 V
Current: 0.0845 A

4) ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.3 Teste de Refrigerador Cadastrado

dados_extraidos.xlsx - Microsoft Excel

ID	Potência	Horario	Delta	Pmed	Energia (W)	Energia Acumulada (Wh)
1	44,1	31-03 20:50:00	0			
2	25,3	31-03 20:50:01	1	34,7	0,009639	0,009639
4	21,4	31-03 20:50:03	2	23,35	0,012972	0,022611
5	14,5	31-03 20:50:04	1	17,95	0,004986	0,027597
6	16,7	31-03 20:50:05	1	15,6	0,004333	0,031931
7	16,3	31-03 20:50:06	1	16,5	0,004583	0,036514
8	16,4	31-03 20:50:07	1	16,35	0,004542	0,041056
9	16	31-03 20:50:08	1	16,2	0,0045	0,045556
10	17,6	31-03 20:50:09	1	16,8	0,004667	0,050222
11	18,7	31-03 20:50:11	2	18,15	0,010083	0,060306
12	20,5	31-03 20:50:13	2	19,6	0,010889	0,071194
13	27,4	31-03 20:50:14	1	23,95	0,006653	0,077847
14	21,6	31-03 20:50:15	1	24,5	0,006806	0,084653
15	29,5	31-03 20:50:16	1	25,55	0,007097	0,09175
16	20,7	31-03 20:50:17	1	25,1	0,006972	0,098722
17	16	31-03 20:50:18	1	18,35	0,005097	0,103819
18	20,6	31-03 20:50:19	1	18,3	0,005083	0,108903
19	21,2	31-03 20:50:21	2	20,9	0,011611	0,120514
20	25	31-03 20:50:22	1	23,1	0,006417	0,126931
21	15	31-03 20:50:23	1	20	0,005556	0,132486
22	15,6	31-03 20:50:24	1	15,3	0,00425	0,136736
23	16,6	31-03 20:50:26	2	16,1	0,008944	0,145681
24	23,8	31-03 20:50:27	1	20,2	0,005611	0,151292
25	30	31-03 20:50:28	1	26,9	0,007472	0,158764
26	21,3	31-03 20:50:30	2	25,65	0,01425	0,173014
27	19,6	31-03 20:50:31	1	20,45	0,005681	0,178694
28	27,3	31-03 20:50:32	1	23,45	0,006514	0,185208
29	30,9	31-03 20:50:33	1	29,1	0,008083	0,193292
30	25,9	31-03 20:50:34	1	28,4	0,007889	0,201181
31	22,5	31-03 20:50:36	2	24,2	0,013444	0,214625

Tela de Monitor de Consumo Energético

Soma da Potência:	373.38 W
Número de Amostras:	7
Média da Potência:	53.34 W
Fator de Potência Atual:	0.55
Energia Consumida (Integral):	0.103444 Wh
Tempo Decorrido do Teste:	0:00:10
Tempo Decorrido do Teste em Segundos:	10.487864
Consumo Mensal Estimado em Wh:	7.10 Wh
Consumo Mensal Estimado em kWh:	0.01 kWh
Custo Estimado do kWh:	R\$ 5.68

4) ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.3 Teste de Refrigerador Cadastrado

```
relatorio_teste_20250317_010800.t x +
Arquivo Editar Exibir

Relatório de Teste - 17/03/2025 01:08:00
-----
Refrigerador Testado: Item testado: 1. electrolux-continental - TC44
Início do Teste: 17-03-2025 00:08:00
Fim do Teste: 17-03-2025 01:08:00

Horários de Pausa:
Nenhuma pausa registrada.

Horários de Continuação:
Nenhuma continuação registrada.

Horários de Atualização:
Nenhuma atualização registrada.

Energia Consumida: Energia: 0.197662 kWh
Custo Total: Custo Total: R$ 0.15812958

Consumo Mensal Estimado: Consumo Mensal Estimado: 142.33 kWh
Erro Absoluto do Consumo: Diferença Absoluta do Consumo: 87.03 kWh
Erro Relativo do Consumo: Porcentagem Relativa do Consumo: 157.38 %
Custo Mensal Estimado: Custo Mensal Estimado: R$ 113.86

-----
Transições de Alertas:

Consumo:
Transição de Consumo: abaixo em 17-03-2025 00:08:00
Transição de Consumo: acima em 17-03-2025 00:15:53

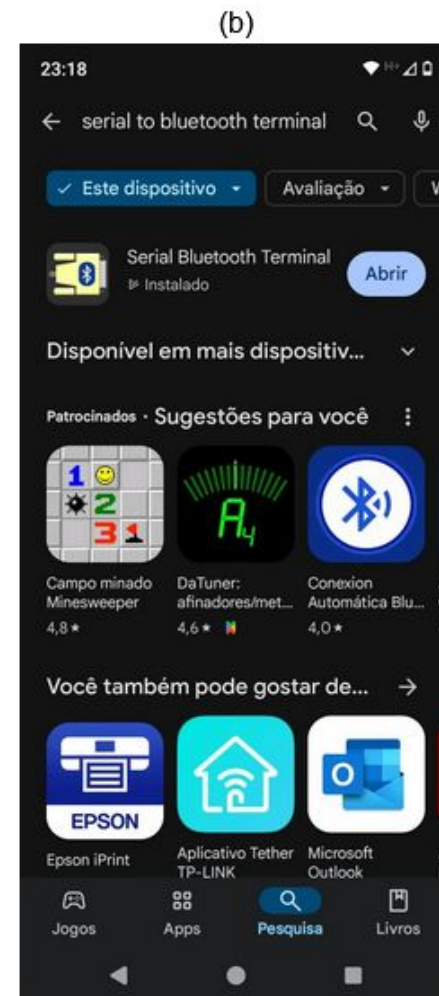
Temperatura Sensor 1:
Transição de Temperatura Sensor 1: abaixo em 17-03-2025 00:08:00

Temperatura Sensor 2:
Transição de Temperatura Sensor 2: abaixo em 17-03-2025 00:08:00
Transição de Temperatura Sensor 2: dentro em 17-03-2025 00:08:00
Transição de Temperatura Sensor 2: abaixo em 17-03-2025 00:21:52
Transição de Temperatura Sensor 2: dentro em 17-03-2025 00:21:58
Transição de Temperatura Sensor 2: abaixo em 17-03-2025 00:22:03

Sensor de Porta:
Transição: Porta fechada em 17-03-2025 00:08:00
-----
```

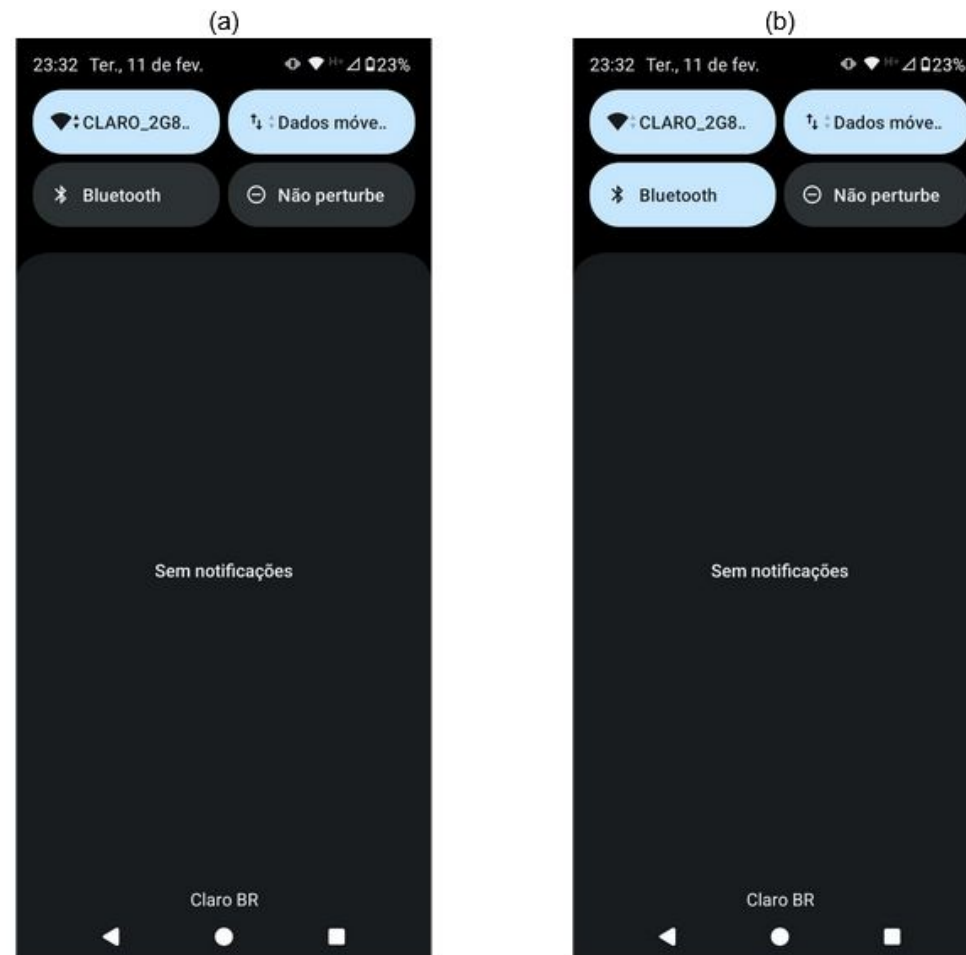

4) ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.3 Teste de Comunicação de Dados com o *smartphone*



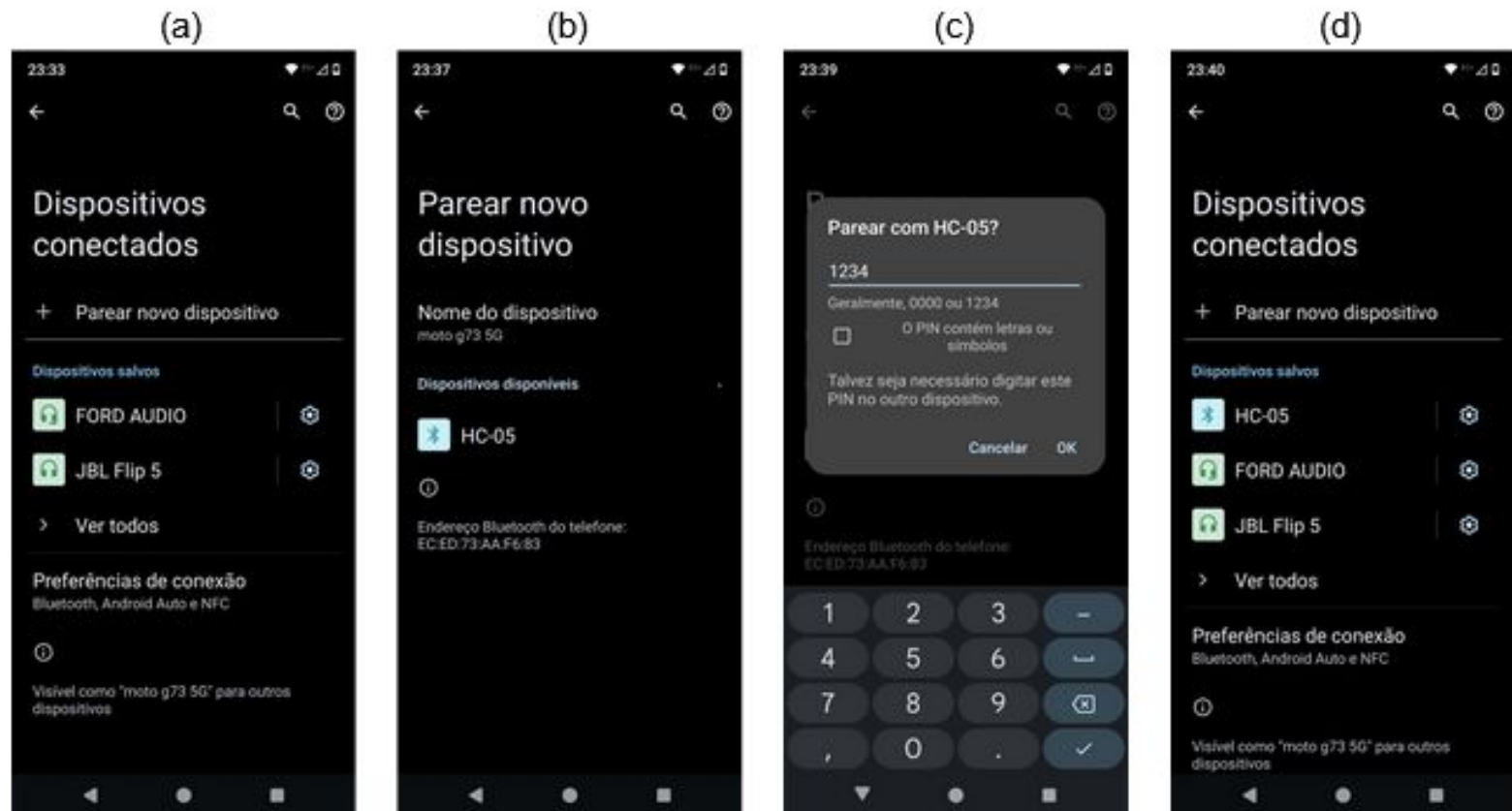
4) ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.3 Teste de Comunicação de Dados com o *smartphone*



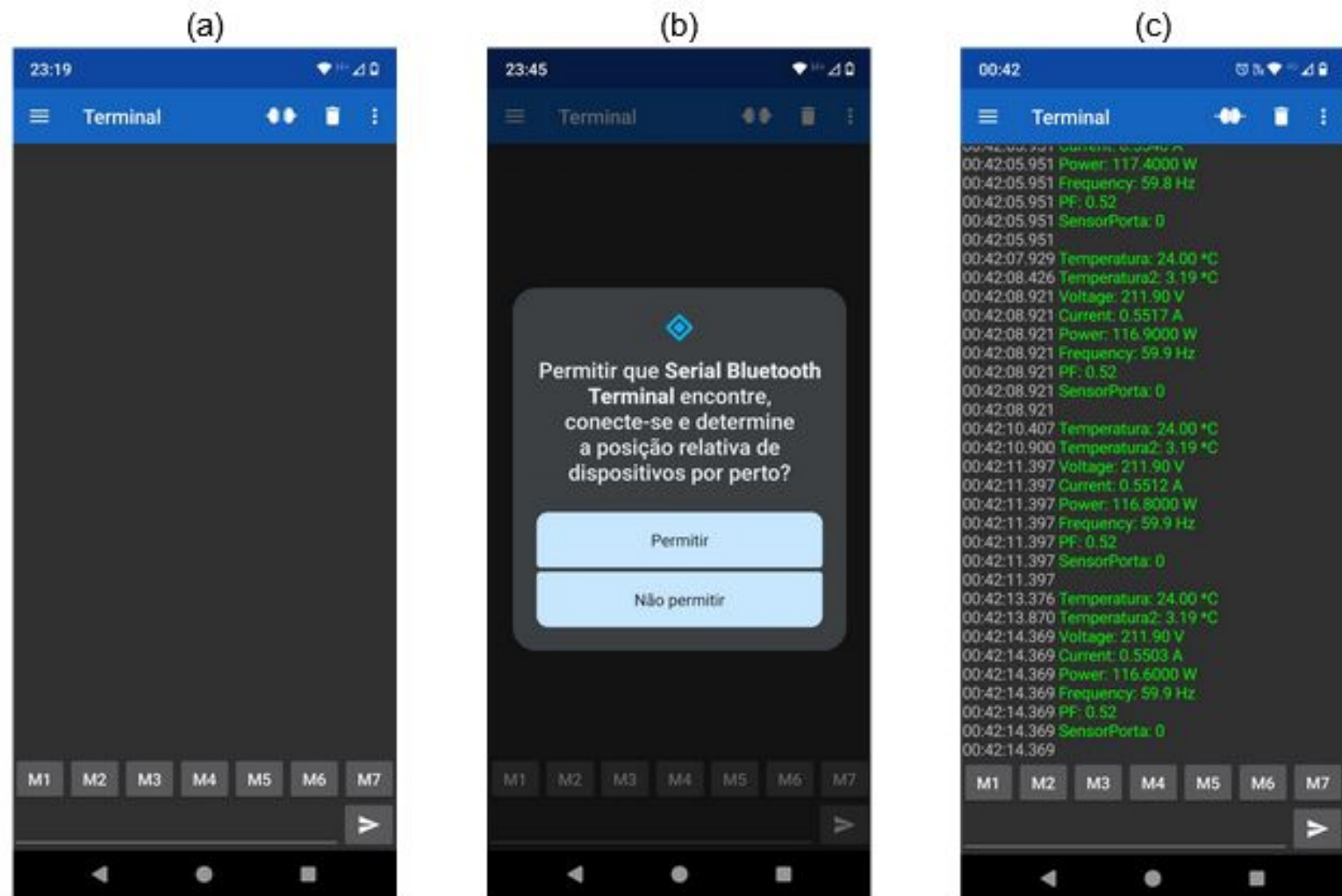
4) ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.3 Teste de Comunicação de Dados com o *smartphone*



4) ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.3 Teste de Comunicação de Dados com o *Smartphone*



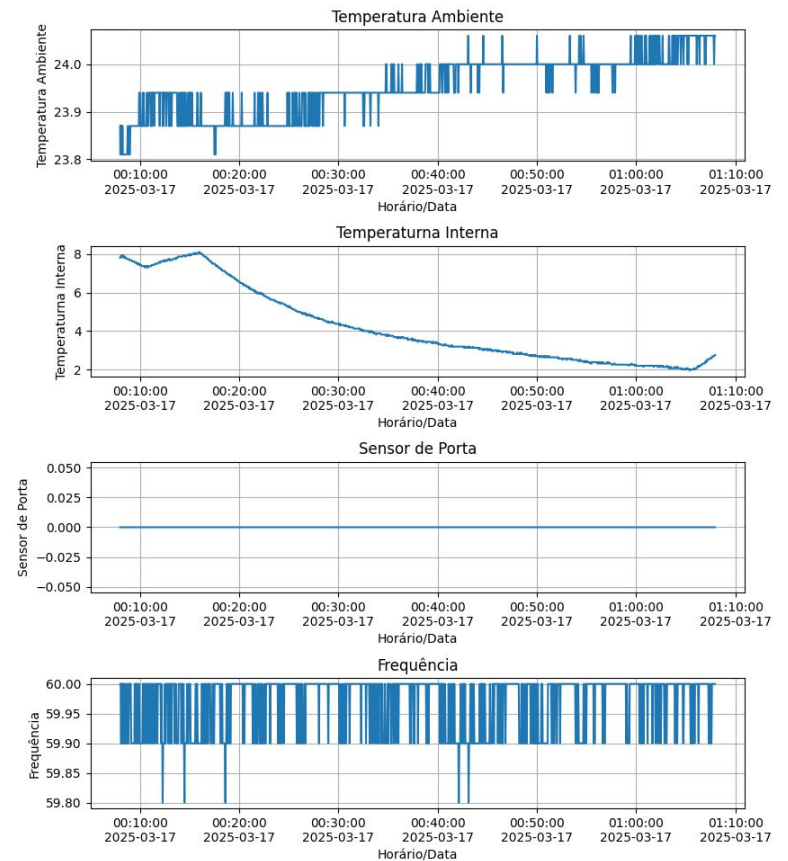
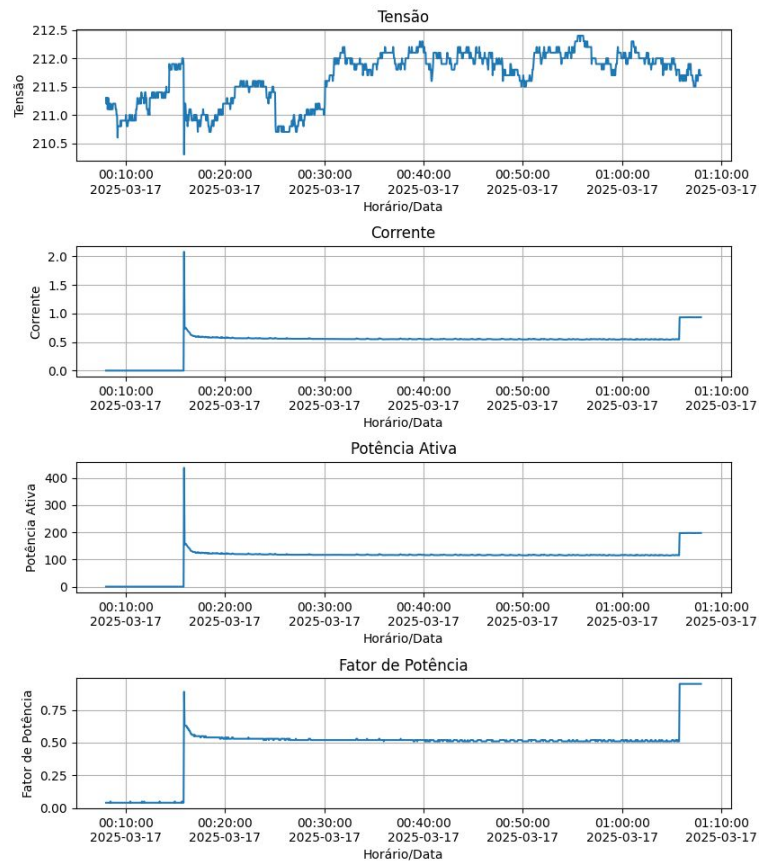
4) ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Setup de testes



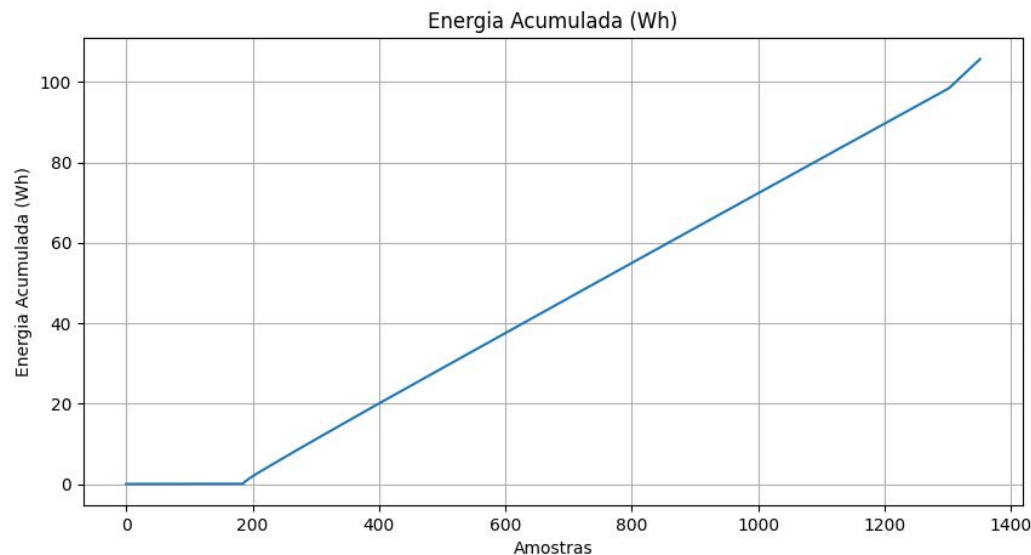
4) ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.4 Testes de *Software* - Por uma hora não abrir a porta



4) ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.4 Testes de *Software* - Por uma hora não abrir a porta



Tela de Monitor de Consumo Energético

Soma da Potência: 141908.90 W
Número de Amostras: 1352
Média da Potência: 104.96 W
Fator de Potência Atual: 0.95
Energia Consumida (Integral): 105.608583 Wh
Tempo Decorrido do Teste: 0:59:59
Tempo Decorrido do Teste em Segundos: 3599.733261
Consumo Mensal Estimado em Wh: 21.12 Wh
Consumo Mensal Estimado em kWh: 0.02 kWh
Custo Estimado do kWh: R\$ 16.90

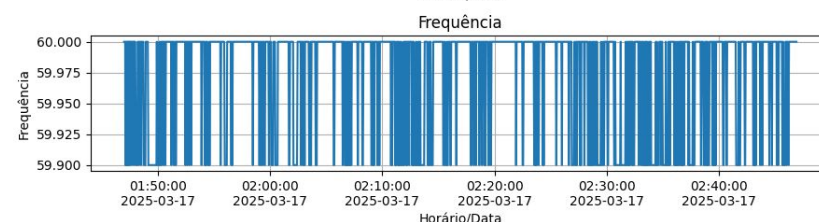
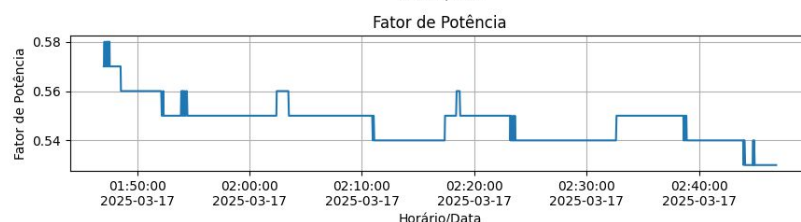
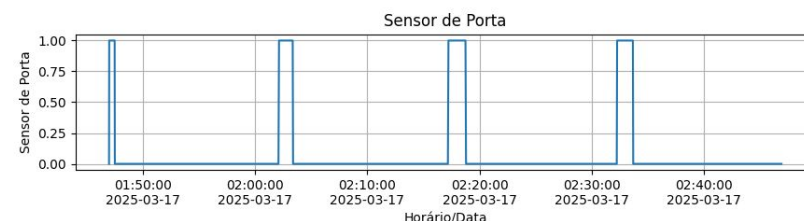
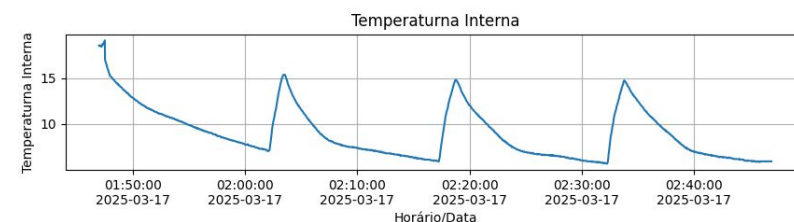
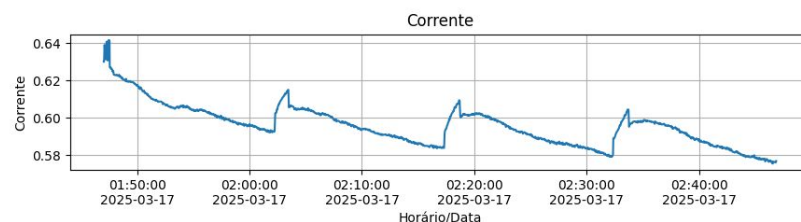
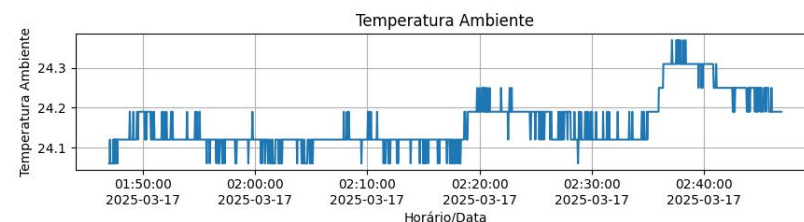
$$21,12 \times 3600 = 76032 \text{ Wh}$$

$$(76032 \text{ Wh})/1000 = 76,032 \text{ kWh}$$

$$(76,032) \times 0,8 = \text{R\$ } 60,83$$

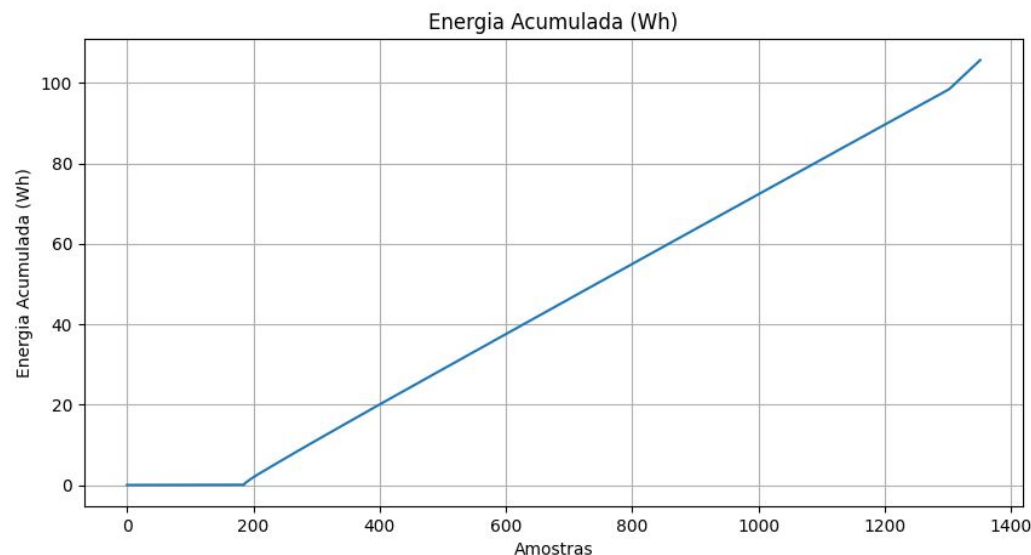
4) ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.4 Testes de Software - Por uma hora, abrir a porta 3 vezes por 1 minuto



4) ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.4 Testes de Software - Por uma hora, abrir a porta 3 vezes por 1 minuto



Tela de Monitor de Consumo Energético

Soma da Potência: 172945.60 W
Número de Amostras: 1368
Média da Potência: 126.42 W
Fator de Potência Atual: 0.53
Energia Consumida (Integral): 126.111889 Wh
Tempo Decorrido do Teste: 0:59:58
Tempo Decorrido do Teste em Segundos: 3598.579222
Consumo Mensal Estimado em Wh: 25.23 Wh
Consumo Mensal Estimado em kWh: 0.03 kWh
Custo Estimado do kWh: R\$ 20.19

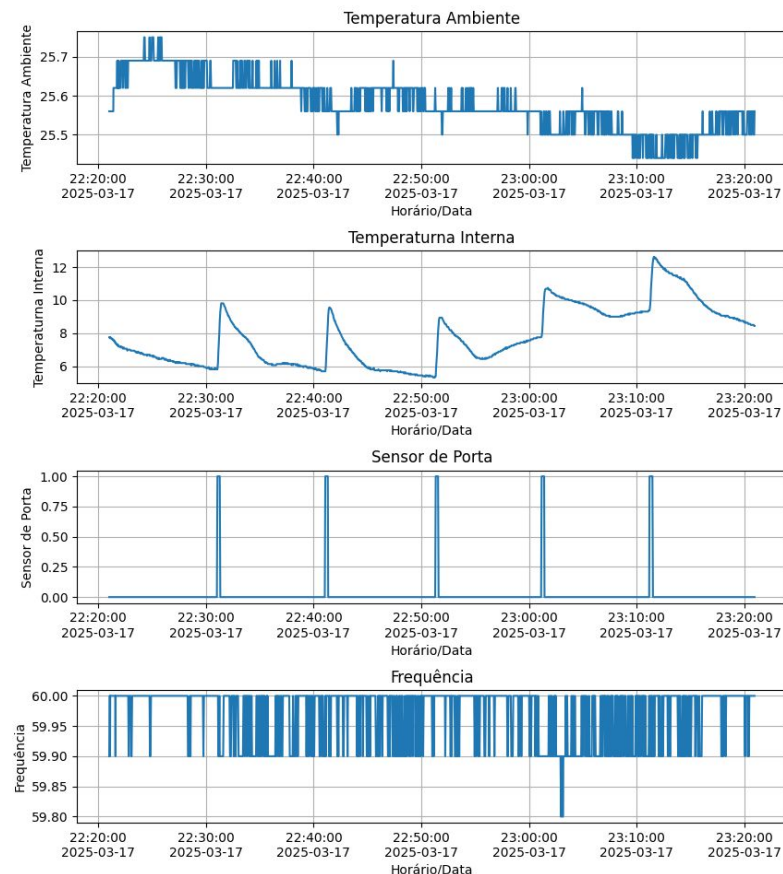
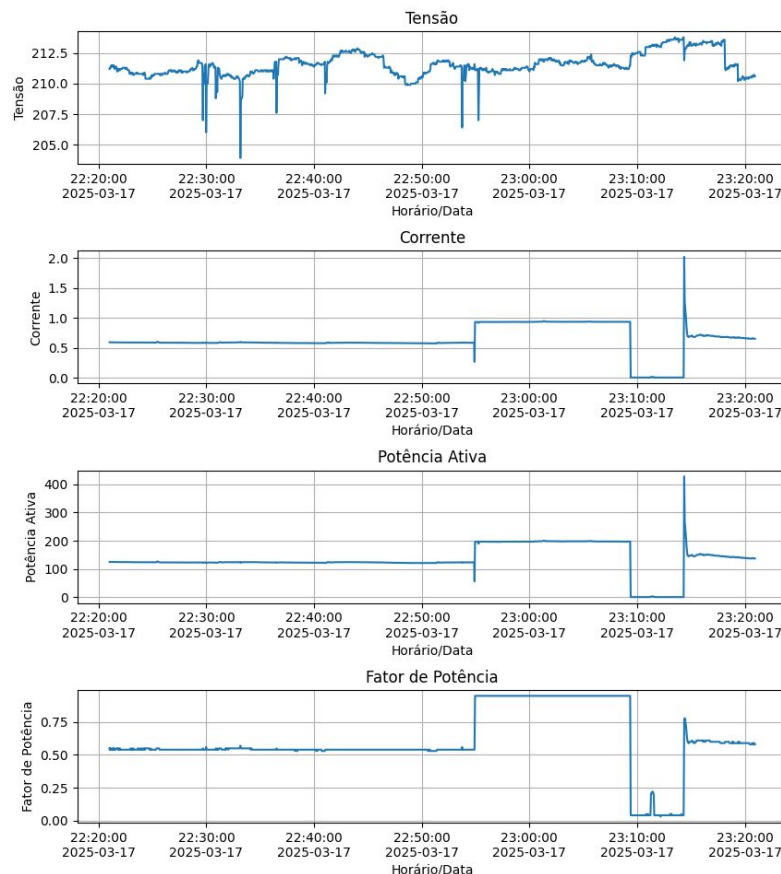
$$25,23 \times 3600 = 90828 \text{ Wh}$$

$$(90828 \text{ Wh})/1000 = 90,828 \text{ kWh}$$

$$(90,828) \times 0,8 = \text{R\$ } 72,66$$

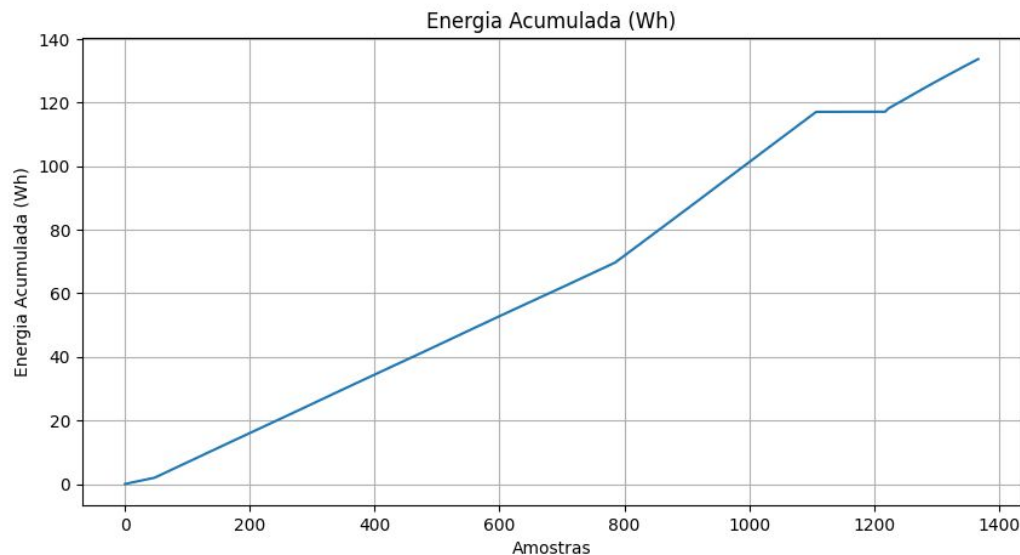
4) ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.4 Testes de Software - Por uma hora, abrir a porta a cada 10 minutos por 10 segundos



4) ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.4 Testes de *Software* - Por uma hora não abrir a porta



Tela de Monitor de Consumo Energético

Soma da Potência: 182732.50 W
Número de Amostras: 1368
Média da Potência: 133.58 W
Fator de Potência Atual: 0.58
Energia Consumida (Integral): 133.583333 Wh
Tempo Decorrido do Teste: 0:59:59
Tempo Decorrido do Teste em Segundos: 3599.420446
Consumo Mensal Estimado em Wh: 26.72 Wh
Consumo Mensal Estimado em kWh: 0.03 kWh
Custo Estimado do kWh: R\$ 21.38

$$26,72 \times 3600 = 96192 \text{ Wh}$$

$$(96192 \text{ Wh})/1000 = 96,192 \text{ kWh}$$

$$(96,192) \times 0,8 = \text{R\$ } 76,95$$

4) ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Considerações sobre os testes:

A corrente elétrica, a potência ativa e o fator de potência são diretamente proporcionais porque tiveram oscilações sincronizadas ao longo do tempo e nos mesmos instantes de tempo. O gráfico da temperatura interna do refrigerador mostrou que o seu valor decresceu após o acionamento do compressor e cresceu após o processo de degelo a fim de manter a temperatura dentro de uma faixa desejada.

Para os testes com abertura e fechamento de porta a temperatura interna cresceu gradativamente enquanto a porta estava aberta e decresceu gradativamente enquanto estava fechada. Portanto foi possível constatar que a temperatura interna do refrigerador é diretamente proporcional à corrente elétrica, à potência ativa e ao fator de potência.

4) ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Considerações sobre os testes:

Com relação ao consumo energético, a frequência de abertura de porta fez aumentar o consumo energético. Com o compressor ligado a potência ativa variou de 125 W até 155 W, e em processo de degelo a potência ativa ficou próximo dos 200 W. O refrigerador tem uma potência nominal de 242 W e em degelo de 218 W.

A tensão elétrica, a frequência e a temperatura ambiente tiveram poucas variações e não influenciaram significativamente nos testes.

5) CONCLUSÃO

O relatório gerado no fim dos testes indica que o consumo energético pode variar de acordo com a temperatura interna do refrigerador, com o período de funcionamento do compressor, com o período de processo de degelo e com a frequência da abertura da porta do refrigerador. O *software* desenvolvido em *Python* permitiu a conexão com o *hardware* bem como coletar, processar, armazenar, analisar os dados, exibir as informações necessárias e emitir alertas de transições de estados que podem indicar anomalias.

5) CONCLUSÃO

O sensor de energia AC PZEM-004T-100A-V3.0 permitiu a medição de potência ativa e dois sensores de temperatura DS18B20 permitiram as medições da temperatura interna do refrigerador e da temperatura ambiente, além do sensor de porta que permitiu a verificação de abertura e fechamento da porta do refrigerador. A comunicação de dados com o computador foi feita via USB por um cabo USB-TTL enquanto que a comunicação de dados com o *smartphone* foi feita utilizando o módulo *bluetooth* HC-05.

5) CONCLUSÃO

O protótipo pode ser melhorado, e projetado para ter memória interna para poder armazenar os dados em um SD Card, um relógio em tempo real (real-time-clock), um módulo ethernet para que seja possível enviar os dados para uma interface de programação de aplicação (API) via *internet*, um *display* para poder visualizar os dados e adicionar uma bateria ao sistema.

ANÁLISE DO CONSUMO ENERGÉTICO DE REFRIGERADORES

Aluno: Elvis Fernandes

Orientador: Mauro Tavares Peraça, Dr. Eng.

Corientador: Clóvis Antônio Petry, Dr. Eng.

Florianópolis, 2025